

517 | Mai 1991

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Hock Seng KOH

**Ein rechnergestütztes Verfahren für  
den Generalplanentwurf von Schiffen**

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

**Ein rechnergestütztes Verfahren für den Generalplanentwurf von Schiffen**

Hock Seng Koh, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1991

ISBN: 3-89220-517-5

© Technische Universität Hamburg-Harburg  
Schriftenreihe Schiffbau  
Schwarzenbergstraße 95c  
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 517

**Ein rechnergestütztes Verfahren für den  
Generalplanentwurf von Schiffen**

von

Hock Seng KOH

Mai 1991

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	1
1.2	Begriffe . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation und Zielsetzung</b>	<b>3</b>
2.1	Modellansätze zur Darstellung von 3D-Objekten . . . . .	3
2.1.1	Drahtmodell . . . . .	4
2.1.2	Flächenmodell . . . . .	4
2.1.3	Volumenmodell . . . . .	6
2.2	Stand der Technik . . . . .	7
2.3	Problematik beim Einsatz von schiffbauspezifischen und allgemeinen CAD-Systemen . . . . .	10
2.4	Zielsetzung . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Ein neuer Ansatz zur Raumaufteilung</b>	<b>12</b>
3.1	Qualitative Betrachtung . . . . .	12
3.2	Geometrische Primitiva . . . . .	17
3.3	Ein Datenstrukturmodell für Raumaufteilungen . . . . .	20
3.3.1	Abbildung auf ein Datenmodell . . . . .	20
3.3.2	Beschreibung der geometrischen Datenelemente . . . . .	20
3.4	Speicherungsstrukturmodell . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Methoden der geometrischen Verarbeitung</b>	<b>30</b>
4.1	Das Schnittprinzip . . . . .	30
4.1.1	Ermittlung der Geometrie von Schnittebenen . . . . .	30
4.1.2	Abschneiden einer raumbegrenzenden Fläche . . . . .	31
4.2	Ermittlung der Begrenzungen eines Raumes . . . . .	31
4.3	Bearbeitung geometrischer Fragestellungen . . . . .	32
4.4	Mengentheoretische Verknüpfungen von Volumina . . . . .	33
4.4.1	Verschmelzungsalgorithmus Typ I . . . . .	34
4.4.2	Verschmelzungsalgorithmus Typ II . . . . .	34
4.4.3	Mengentheoretische Operationen für Polygone . . . . .	36

4.5	Ermittlung der Schnittkanten zweier ebener Flächen . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Hilfstechniken zur 3D-Darstellung</b>	<b>43</b>
5.1	Hidden-Line-Techniken . . . . .	43
5.2	3D-Fenstertechniken . . . . .	49
5.2.1	Allgemeines . . . . .	49
5.2.2	Die Schnittbildung mit Beispielen . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Auslegung des Schiffsraumaufteilungssystems</b>	<b>52</b>
6.1	Systemarchitektur bei Raumaufteilung . . . . .	52
6.2	Steuerung- und Verwaltungsfunktionen . . . . .	54
6.3	Generierungsfunktionen . . . . .	55
6.3.1	Definition von Ebenen . . . . .	55
6.3.2	Definition von Kurven . . . . .	56
6.3.3	Definition von Räumen . . . . .	56
6.3.4	Definition von Modulen und Domäne . . . . .	64
6.3.5	Definition von Spanttabellen . . . . .	64
6.4	Manipulationsfunktionen . . . . .	69
6.4.1	Modifizieren . . . . .	69
6.4.2	Ersetzen . . . . .	69
6.4.3	Löschen . . . . .	69
6.5	Berechnungsfunktionen . . . . .	70
6.6	Visualisierungsfunktionen . . . . .	70
6.7	Anwendungsbeispiel . . . . .	74
<b>7</b>	<b>Interaktives Generieren des Generalplans</b>	<b>82</b>
7.1	Konzeption . . . . .	82
7.2	Ein Zeichnungsmodell für die Generalplanzeichnung . . . . .	82
7.3	Arbeitstechniken zur rechnergestützten Generalplanbestimmung . . . . .	83
7.3.1	Steuerung von Bildern . . . . .	83
7.3.2	Generierung von Bild-Einheiten . . . . .	83
7.3.3	Manipulation von Bild-Einheiten . . . . .	87
7.3.4	Weitere Funktionen . . . . .	87

7.4	Ergebnisse . . . . .	87
<b>8</b>	<b>Generalplanverarbeitung mit AutoCAD</b>	<b>90</b>
8.1	Konzeption . . . . .	90
8.2	Arbeitstechniken . . . . .	91
8.3	Ergebnisse . . . . .	95
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>98</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>100</b>
<b>A</b>	<b>Datenelemente für die schiffsinnere Raumaufteilung</b>	<b>104</b>
<b>B</b>	<b>Datenelemente für die Generalplan-Basiszeichnung</b>	<b>108</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Abbildungsvorgang vom realen Objekt zur rechnerinternen Darstellung . . . . .	3
2.2	Konstruktionsprinzipien bei verschiedenen Modellierungsverfahren . . . . .	5
2.3	Grobarchitektur für die Generalplanerstellung . . . . .	11
3.1	Die <i>analysing and merging</i> Methode bei Raumaufteilung . . . . .	13
3.2	Beispiele von zusammengesetzten Räumen . . . . .	15
3.3	<i>Merged</i> Raum durch Addition und Subtraktion . . . . .	16
3.4	<i>Chopping</i> eines zusammengesetzten Raumes . . . . .	16
3.5	Überblick über die geometrischen Primitiva . . . . .	19
3.6	Hierarchische Representation der schiffsinneren Raumaufteilung . . . . .	21
3.7	Logische Darstellung der Datenstruktur . . . . .	22
3.8	Darstellung von <i>Room</i> . . . . .	24
3.9	Darstellung von <i>Module</i> . . . . .	25
3.10	Schnittkanteneinteilung . . . . .	27
3.11	Darstellung von <i>Edge</i> . . . . .	28
4.1	Neuraumgenerierung nach dem Schnittprinzip . . . . .	30
4.2	Die mengentheoretischen Verknüpfungen . . . . .	33
4.3	Typ I - Verschmelzung . . . . .	35
4.4	Typ II - Verschmelzung . . . . .	35
4.5	Herleitung der Ergebniskontur zweier Flächen . . . . .	37
4.6	Winkelsummentest . . . . .	38
4.7	Vorgehensweise zur Ermittlung von Schnittkanten . . . . .	40
4.8	Liniensegment bleibt unberücksichtigt . . . . .	42
5.1	Graphische Darstellung eines Aufbaudecks mit allen Kanten . . . . .	43
5.2	Beispiele von gegenseitigen Verdeckungen . . . . .	44
5.3	Darstellung der Raumaufteilung eines Containerschiffes . . . . .	47
5.4	Vorteile der Visibilitätsprüfung . . . . .	48
5.5	Schnittquader für das 3D-Fenster . . . . .	49
5.6	Schnittdarstellung einer Tankanordnung . . . . .	50
5.7	Schnittgeometrie des Containerschiffes . . . . .	51
6.1	Systemkonzept für den rechnergestützten Generalplanentwurf . . . . .	53

6.2	Definitionsmöglichkeiten von Ebenen . . . . .	57
6.3	Abschneiden der Außenhaut eines Schiffes . . . . .	59
6.4	Abschneiden von Quadern zur Generierung eines Ruderhauses . . . . .	60
6.5	Abschneiden eines Raumes . . . . .	61
6.6	Abschneiden eines zusammengesetzten Raumes . . . . .	62
6.7	Raumgenerierung durch die Verknüpfung-Technik . . . . .	63
6.8	Schiffsraumaufteilung durch eine Modul-Beschreibung . . . . .	65
6.9	Doppelbodenbereich eines Mehrzweckfrachters . . . . .	66
6.10	Innere Topologie eines Containerschiffes . . . . .	67
6.11	Innere Einteilung eines Aufbaudecks . . . . .	68
6.12	Tankanordnung im unteren Maschinenraumbereich . . . . .	68
6.13	Verschiedene Darstellungsarten . . . . .	73
6.14	Die Außenhaut eines Mehrzweckfrachters . . . . .	75
6.15	Darstellung der Begrenzungskurven des Schiffsrumpfes . . . . .	75
6.16	Darstellung des Schiffsrumpfes als Raum . . . . .	76
6.17	Darstellung des Schiffes als Modul . . . . .	76
6.18	Die Bodentanks . . . . .	77
6.19	Die Laderäume . . . . .	78
6.20	Weitere Räume . . . . .	79
6.21	Weitere Unterteilung des 2. Decks . . . . .	79
6.22	Innere Einteilung des Mehrzweckfrachters . . . . .	80
6.23	3D-Raumanordnung im 1. Aufbaudeck . . . . .	80
6.24	Darstellung der Schiffsraumaufteilung . . . . .	81
7.1	Ein Spantquerschnitt an einem Schott . . . . .	85
7.2	Beispiel eines Längsschnittes . . . . .	86
7.3	Generalplan-Basiszeichnung eines Mehrzweckfrachters . . . . .	88
7.4	Generalplan-Basiszeichnung eines Containerschiffes . . . . .	89
8.1	Einrichtungsgegenstände . . . . .	92
8.2	Kücheneinrichtungen . . . . .	93
8.3	Navigationsausrüstungen . . . . .	93
8.4	Ausrüstungsgegenstände . . . . .	94
8.5	Anordnung der Einrichtung der Räume . . . . .	95

8.6	Generalplan eines Mehrzweckfrachters . . . . .	96
8.7	Generalplan eines Containerschiffes . . . . .	97

## **Tabellenverzeichnis**

6.1	Tank-Zusammenstellung . . . . .	71
6.2	Menükarte VIEW . . . . .	72
7.1	Strichtypen . . . . .	84

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Seit Ende der 50er Jahre wurden Rechner beim Schiffsentwurf eingesetzt, da die Berechnung von Volumen, Flächen und Schwerpunkten des freigeformten Schiffskörpers numerisch sehr aufwendig ist. Im Laufe der Zeit wurde die Anwendung auf statische und hydrodynamische Berechnungen ausgeweitet. In den letzten Jahren ging man immer mehr zur Nutzung des Rechners für Optimierungsaufgaben bei Entwurf, Konstruktion und Fertigungsvorbereitung über.

Das Problem des Generalplanentwurfes ist dabei etwas zu kurz gekommen. Es besteht in der funktionsgerechten Anordnung der verschiedenen Räume unter Beachtung aller wesentlichen Einflüsse auf den Entwurf, wie sie sich aus Hydrostatik, Hydrodynamik, Festigkeit und Schiffsbetrieb ergeben, sowie in der Positionierung und Unterteilung der Aufbauten und Deckshäuser.

Die Unterteilung des durch die Außenhaut umschlossenen Volumens eines Schiffes in die einzelnen Nutzzone ist eine entscheidende Stufe im gesamten schiffbaulichen Entwurfskonzept und legt die Eigenschaften des Schiffes hinsichtlich der effektiven Ausnutzung des vorhandenen Volumens, der Wirtschaftlichkeit und der Fertigungsfreundlichkeit mehr oder weniger fest; weiter dient der Generalplan als ein Überblick über den Funktionsumfang und das betriebliche Verhalten des Schiffes.

Zusammen mit dem Liniенriß ist der Generalplan z.B. nötig, um den Laderauminhalt, eine der wichtigsten Vertragsgrößen für ein Frachtschiff, kontrollieren zu können. Die aus der inneren Unterteilung festgelegten Schwerpunktlagen und Trägheitsmomente bestimmen weitgehend das physikalische Verhalten des Schiffes wie Trimm, Stabilität, Lecksicherheit und Längsfestigkeit.

Der Generalplan bildet auch die Grundlage für den weiteren Konstruktionsvorgang des Schiffes, da die zur räumlichen Gliederung des Schiffes verwendeten Elemente gleichzeitig die Hauptbauteile der Stahlstruktur des Schiffskörpers darstellen.

In der Konstruktionsphase erfüllt der Generalplan die Funktion eines Vermittlers zwischen den diversen Konstrukteuren der Werft und Fremdfirmen. Ebenso beziehen sich die Abteilungen des Maschinenbaus sowie der Einrichtung und Ausrüstung bei der Planung ihrer Aggregate auf die durch die Raumaufteilung gegebenen Stellflächen und Raumhöhen.

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Festlegungen der inneren Raumaufteilung ist es notwendig, ihre Auswirkungen auf das gesamte schiffbauliche Entwurfskonzept in einem möglichst frühen Entwurfsstadium durch wenige Eingabeinformationen schnell und wirkungsvoll zu erfassen. Die starke Einbindung in den Gesamtprozeß ist dabei zu beachten, um einen eventuellen Rationalisierungseffekt durch effiziente Ausnutzung der Informationen zu erzielen. Bedingt durch das sehr komplex zu erstellende Produkt und die heute üblichen terminlichen Rahmenbedingungen ist eine frühzeitige Bewertung der anfallenden Informationen erforderlich.

## 1.2 Begriffe

In der Schiffstechnik sind unterschiedliche Festlegungen für den Begriff **Generalplan** zu finden. Diese entstehen durch die verschiedenen Funktionen der Generalpläne von der Auftragsentwicklungsphase bis zur Ablieferung eines Schiffes.

Zu den ersten Überlegungen beim Projektentwurf eines Schiffes gehört dessen grundlegende Raumaufteilung, die in einer *Generalplanskizze* oder *-zeichnung* festgehalten wird. In einer Vorauftragsphase werden sie als *Vertragsgeneralpläne* bezeichnet, da sie als Informationswerkzeug zwischen Bauwerft und Reederei dienen und auf Werften Teil der Bauvertragsdokumentation sind. Bei Fertigstellung des Schiffes sind die *Ablieferungsgeneralpläne* mit ihrer Fülle von Einzelheiten unabdingbare Ablieferungsunterlagen für die Werftkunden.

Zur Lösung der Problematik zum Thema Generalplan wurde ein gemeinsamer Arbeitskreis der Normenstelle Marine (NM) und des Normenausschusses Schiffbau (HNA) gegründet. Dabei lehnt man sich an die frühere Ausgabe von DIN 80 002/10.72 [59] an. Im Laufe der Normierungsarbeiten wurde die nachstehende Definition für den Begriff Generalplan erarbeitet:

*Ein Generalplan ist als Vertragsbestandteil für den Bau eines Schiffes ein maßstäblicher Anordnungsplan (DIN 199 Teil 1), in dem die räumliche und funktionsabhängige Aufteilung des Schiffes festgelegt und in Verbindung mit anderen schiffspezifischen Darstellungen beschrieben wird.*

In dieser neuen Norm DIN 80 002 Teil 1 (z.Z. noch bearbeitet) wird eine einheitliche Festlegung der Inhalte und Arten der Darstellung (Ansichten, Schnitte) für den Vertragsgeneralplan der unterschiedlichen Schiffstypen festgeschrieben, um die Erstellung eindeutiger Angebotsunterlagen zu unterstützen. Damit läßt sich eine Rationalisierung bei der sehr zeitaufwendigen Ausarbeitung der Generalpläne erzielen.

Unter dem Begriff **Generalplanentwurf** soll im weiteren der Prozeß verstanden werden, mit dem die funktionsgerechte Raumanordnung im Schiffsinnern entwickelt und bildlich dargestellt wird. M.a.W. beim Generalplanentwurf sind drei Ausprägungen zu erkennen:

- die Raumanordnung und -unterteilung und ihre Darstellung als Generalplan
- die Evaluierung nach den Entwurfsforderungen und Kriterien z.B. bezüglich Lade-rauminhalte, Trimm, Stabilität, Leckverhalten, Längsfestigkeit etc.
- die Komplettierung des Generalplans mit Einrichtungs- und Ausrüstungsdetails.

## 2 Ausgangssituation und Zielsetzung

### 2.1 Modellansätze zur Darstellung von 3D-Objekten

Die geometrische Beschreibung technischer Objekte (Schiffe, Flugzeuge, Maschinenteile, Bauwerke etc.) mit Hilfe des Rechners erfordert die rechnerinterne Darstellung der Objekte mit formalen Modellen. Dazu bedarf es einer Datenstruktur, die neben der individuellen Geometrie auch die topologischen Eigenschaften berücksichtigt und die es gestattet, jederzeit schnell auf die für eine bestimmte Tätigkeit (Entwurf, grafische Darstellung, Berechnung, etc. eines Objektes) benötigte Information zuzugreifen. Abbildung 2.1 zeigt die stufige Abbildung eines realen technischen Objektes in eine rechnerinterne Darstellung nach Krause [45].

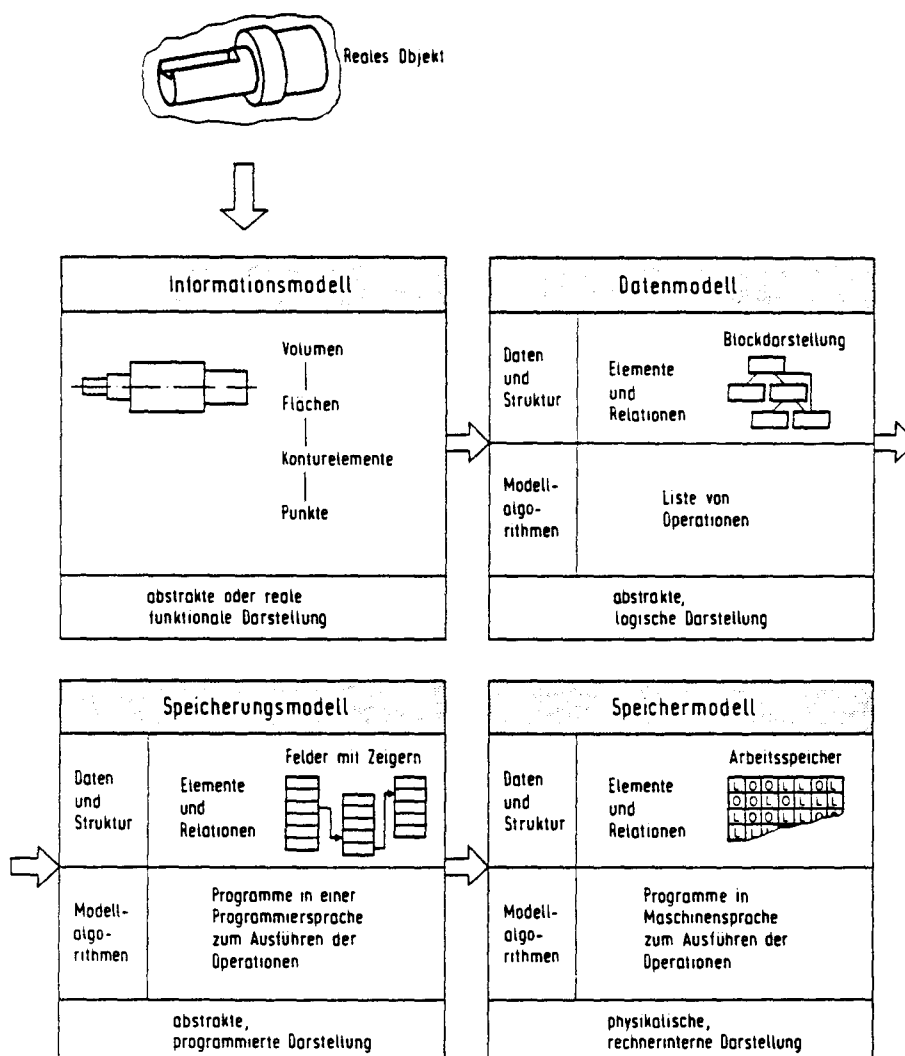


Abb. 2.1: Abbildungsvorgang vom realen Objekt zur rechnerinternen Darstellung

Ziel der geometrischen Modellierung ist die Erzeugung einer rechnerinternen Darstellung eines technischen Objektes, aus der sich seine geometrischen und technischen Eigenschaften, somit auch seine 2D-Zeichnungsgeometrie etc. ableiten lassen. Im Laufe der Jahre sind verschiedene Modellansätze zur Gestaltung von Modellersystemen entwickelt worden. Die Beschreibung kann dabei entweder kanten-, flächen- oder volumenorientiert erfolgen.

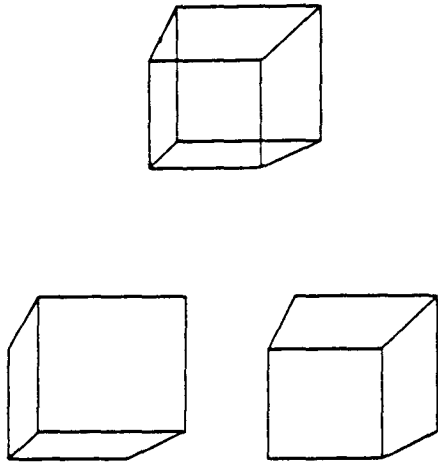
Im folgenden wird nur eine Übersicht über die drei wichtigsten Modelle zur Beschreibung räumlicher Objekte dargelegt. Ausführliche Darstellungen zu diesem Thema enthalten [1] – [7].

### 2.1.1 Drahtmodell

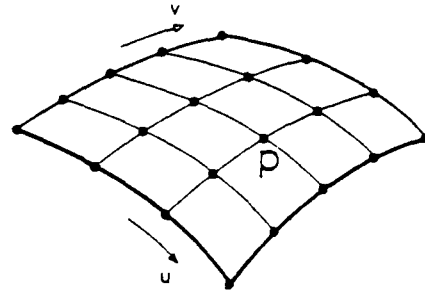
Die Behandlung des 3D-Objektes erfolgt beim Draht- oder Kantenmodell nur durch Kanten und Punkte (Abb. 2.2 a)). Das Datenmodell enthält keine logischen Informationen darüber, welche Flächen und Volumina durch diese Kanten begrenzt werden. Solche einfache Struktur ist deshalb nachteilig (bzw. unbrauchbar) für die Schnittbildung, für die Verbesserung der Anschaulichkeit (z.B. Ausblendung verdeckter Kanten) oder für die Massenberechnungen. Bei einer Schnittbildung durch das Kantenmodell können nur die Durchstoßpunkte der objektbeschreibenden Kanten mit der Schnittebene ermittelt werden. Andere Nachteile sind: die Darstellung ist im allgemeinen nicht eindeutig (eine Darstellungsform ist eindeutig, falls jede geometrische Form der realen Welt nur eine einzige rechnerinterne Darstellung besitzt), eine Konsistenzprüfung (d.h. die richtige Abbildung des Objektes) ist nicht möglich, und das Eingeben der Punkte und Linien ist langwierig und schwierig. Der Vorteil dieser Darstellungsform ist in der schnellen grafischen Darstellung zu sehen. Über Drahtmodelle lassen sich aber auch in komplexen Modellersystemen erste Vorentwürfe von Objekten sinnvoll erfassen.

### 2.1.2 Flächenmodell

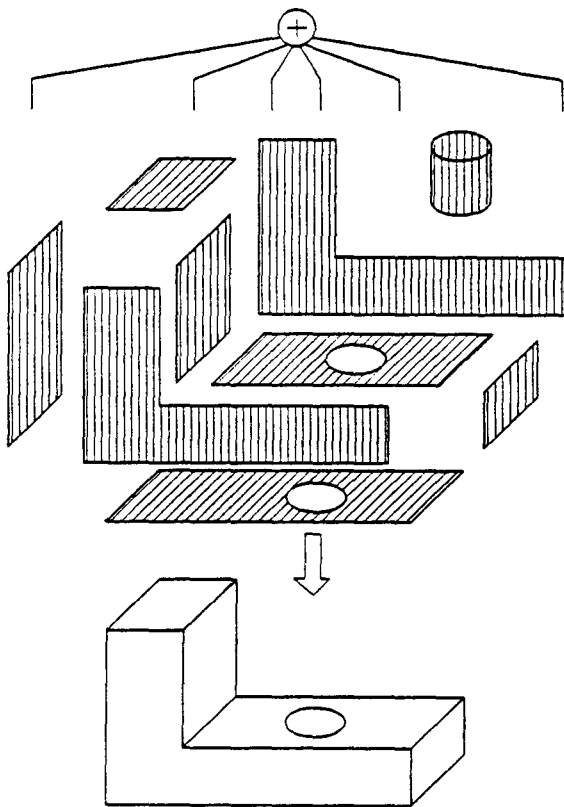
Im Flächenmodell zur Beschreibung unterschiedlicher Flächentypen (ebene Flächen, Freiformflächen etc.) wird das Objekt durch die Gestalt der begrenzenden Oberflächen und die sie jeweils im aktuellen Fall begrenzenden Raumkurven (Kanten) dargestellt. Eine Kopplung der Körperoberflächen mit den entstehenden Volumina wird jedoch rechnerintern auch nicht unmittelbar berücksichtigt. Die Interpretation, auf welcher Seite der Flächen sich das Volumen befindet, ist dem Konstrukteur überlassen. Abbildung 2.2 b) zeigt eine Freiformfläche in der Darstellung im Flächenmodell. Mit Hilfe dieses Modells ist in jedem Fall eine eindeutige Darstellung erreichbar. Eine Konsistenzprüfung ist durch einen beträchtlichen algorithmischen Aufwand möglich. Dabei ist der Beschreibungsaufwand komplexer Objekte groß, Schnittoperationen und Sichtbarkeitsberechnungen benötigen viel Rechenzeit. Bei einem Schnitt durch das Flächenmodell erhält man als Ergebnis lediglich die Schnittkurven aller objektbeschreibenden Flächen mit der Schnittebene und nicht automatisch die Schnittfläche des geschnittenen Objektes.



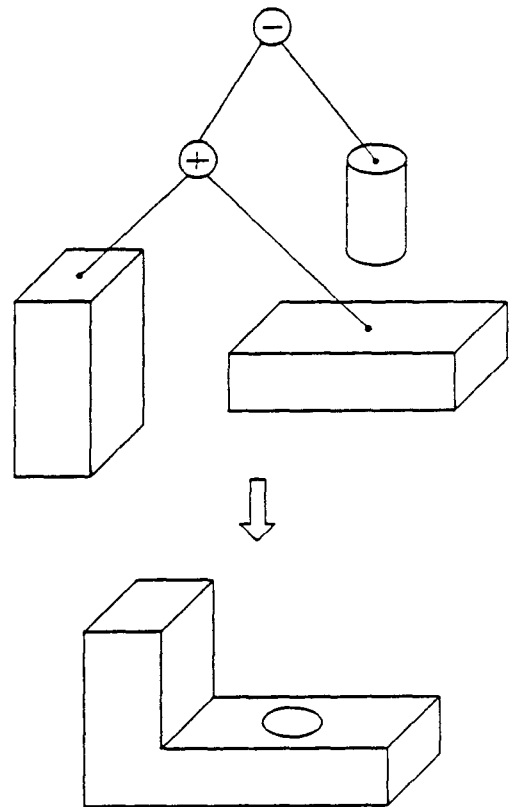
a) Mehrdeutigkeit bei Drahtmodell



b) Flächenmodell



c) Flächenbegrenzungsmodell (B-rep)



d) Vollkörpermodell (CSG)

Abb. 2.2: Konstruktionsprinzipien bei verschiedenen Modellierungsverfahren

### 2.1.3 Volumenmodell

Bei den 3D-Volumenmodellen zur Beschreibung volumenbehafteter Körper sind zwei Konzeptionen zu unterscheiden:

- Flächenbegrenzungsdarstellung (Boundary Representation, B-rep)
- Vollkörpermodell (Constructive Solid Geometry, CSG)

Die Beschreibung räumlicher Objekte mit Hilfe der Flächenbegrenzungsdarstellung geschieht durch deren begrenzende Flächen, die die Flächen begrenzenden Kanten und die die Kanten begrenzende Punkte. Die das Objekt umgebenden Flächen werden orientiert zu einem Volumen zusammengefaßt. Die Beziehung der Flächen zueinander wird mitgespeichert.

Abbildung 2.2 c) zeigt ein einfaches Objekt mit der entsprechenden Flächenbegrenzungsdarstellung, bestehend aus acht ebenen Flächen und einer gekrümmten Fläche, welche den Zylindermantel darstellt. Der Rand der einzelnen Flächen besteht aus Kanten und Kreisbögen.

Die Darstellung eines Objektes durch seine Begrenzungsflächen (mit Orientierung) ist eindeutig. Konsistenz und geometrische Eigenschaften sind schwieriger zu überprüfen und verlangen oft erheblichen algorithmischen Aufwand. Neben analytischen Flächen sind auch Freiformflächen zugelassen.

Beim Vollkörpermodell wird ein komplexes Objekt als mengentheoretische Verknüpfung einfacher analytischer Grundkörper (Primitiva) wie Würfel, Zylinder, Pyramide, Kugel, Kegel, Torus etc., aufgebaut. Die Primitiva lassen sich durch die Operatoren Translation, Rotation und Skalierung transformieren und mit den Mengenoperationen Vereinigung, Durchschnitt und Differenz kombinieren.

Abbildung 2.2 d) zeigt das gleiche Beispiel, repräsentiert durch einen Konstruktionsbaum aus Quadern und Zylinder. In den Blättern des Konstruktionsbaumes stehen die Primitiva und die Angabe von Parametern für die Transformation, in den Knoten sind die binären Mengenoperationen angegeben.

Auch diese Darstellung ist eindeutig. Die verwendeten Operationen führen die Primitiva immer in einen konsistenten Ergebniskörper über. Die Beschreibung eines Objektes mit Hilfe eines Konstruktionsbaumes ist einfach im Vergleich zu den flächenorientierten Modellen, aber die grafische Darstellung des Objektes ist rechenaufwendig, obwohl viele geometrische Eigenschaften nachträglich ableitbar sind. Zudem sind Freiformflächen schwierig einzubeziehen.

In beiden Fällen lassen sich Zeichnungsdaten durch Projektion oder Schnitte des 3D-Modells erzeugen. Die Visibilitätsuntersuchung und die Schattierung sind auf Grundlage der Volumenmodellierung möglich.

## 2.2 Stand der Technik

Bei dem experimentellen Programm COMPOSE [8] von Nehrling wird zunächst durch mathematische Formeln eine einfache Schiffsform festgelegt. Diese wird durch Eingabe der Topologie der verschiedenen Räume, d.h. die grundsätzliche Lage und Anordnung der Räume, jedoch noch ohne Maßangaben, unterteilt. Erst in einer späteren Phase werden den Raumgrößen aktuelle Maßzahlen zugeordnet, die dann vom Programm iterativ ergänzt und aneinander unter Berücksichtigung des verfügbaren Rauminhalts angepaßt werden. Dies ist vorteilhaft am Anfang der Raumaufteilung, wenn die Anordnung noch sehr freizügig variiert werden kann.

Die Arbeiten erfolgen im Dialog in einer symbolischen Eingabesprache. Das Schiff wird zunächst der Länge nach in Segmente aufgeteilt; diese werden vertikal in Schichten unterteilt, und die Schichten werden in Zellen eingeteilt. Die Zellen dürfen vier Grundformen haben: Rechteck, T-Form, L-Form und C-Form. Kompliziertere Formen können durch Kombination dieser Grundformen zusammengefaßt werden.

Die Räume können verkettet oder verschachtelt werden. Man kann Raumgruppen an andere Stellen des Decks versetzen, umbenennen oder auch mit selbst aufgebauten Raumschemata arbeiten.

Vorteilhaft erscheint hier, daß man die Topologie getrennt von den Raumabmessungen angibt, so daß man die Raumgrößen dem vorhandenen oder dem benötigten Raumvolumen anpassen kann. Nachteilig ist, daß die äußere Begrenzung des Schiffes durch einfache mathematische Formeln definiert werden muß. Dies mag für Aufbauten und Deckshäuser geeignet sein; für die hier hauptsächlich interessierenden Räumlichkeiten von Frachtschiffen ist es weniger geeignet. Die Begrenzung der Unterteilungselemente wird hier nicht abgebildet, und deshalb kann die Bearbeitung der Raumaufteilung nicht für die Beschreibung der strukturellen Anordnungen herangezogen werden.

Weitere Beschreibungen über die Ansätze von Nehrling sind in [9] und [10] gegeben.

In dem bei AMTE (Admiralty Marine Technology Establishment UK) entwickelten Programm GODDESS [12] werden das Schiff, seine innere Topologie und Einrichtungsdetails in einer Datenbank mit Baumstruktur abgebildet. Die Raumaufteilung erfolgt durch fortlaufende Unterteilung von Zellen, wobei auch das Verschieben und die Rücknahme von Unterteilungen möglich ist. Die Daten eines Raumes enthalten z.B. Zeiger zu den Daten der Raumbegrenzungen, diese enthalten z.B. Maßangaben zur Lage und Form der Begrenzungen. Diese Speicherungstechnik gestattet es, die Raumeinteilung interaktiv aufzubauen und abzuändern, z.B. Räume neu zu definieren oder vorhandene zu löschen. Man beginnt dabei mit der Beschreibung der Außenhaut und fügt dann Deckshäuser an. Danach kann das Rauminnere durch Decks, Wände und Schotte untergliedert werden.

Vorteile des Systems sind, daß Raumattribute wie Stellfläche, Volumen, etc. berechnet werden und daß Schnittbilder und perspektivische Darstellungen ausgegeben werden können. Ein Nachteil ist, daß das System nur zum Entwurf von Marineschiffen ausgelegt ist, bei denen die Einrichtung und Ausrüstung die größte Rolle spielt: für Handelsschiffe, deren Raumaufteilung nach ganz anderen Gesichtspunkten erfolgt, ist es wenig geeignet.

In [13] – [16] werden die Entwicklung und theoretischen Grundlagen des Systems aufgezeigt.

Von Poddar [17] wurde ein zeichnungsorientierter Ansatz zur Erstellung eines Generalplans entwickelt. Die Erzeugung eines ersten Generalplanentwurfs erfolgt automatisch aus den Ergebnissen vorgelagerter Entwurfsprogramme, und er kann dann anschließend vom Entwerfer interaktiv geändert werden. Die dafür anzuwendenden Entwurfsalgorithmen sind stark vom Schiffstyp abhängig und schränken damit die Flexibilität entsprechend ein. Für die Schnittberechnungen zwischen Außenhaut und raumteilenden Elementen müssen zusätzliche Vorkehrungen getroffen werden.

Erfolgsversprechender erscheint das prototypische System von Schumann-Hindenberg zur Modellierung der schiffsinneren Raumaufteilung [18]. Die Bausteine des Datenmodells sind: *element* als raumteilendes Flächenelement, *volume* zur Abbildung von Räumen und *curve* zur Beschreibung der Gestalt der Flächenelemente.

Die Flächenbegrenzungsmodellierung (Boundary Representation) der Geometrie von Räumen und Flächen wird durch die Beziehungen: *section*, *vertex*, *bound* und *volbound* realisiert. Mit *section* erfolgt die Modellierung der Durchdringung von *elements* und der daraus resultierenden Geometrie. *Bound* enthält die Flächenbegrenzungsbeziehung, *vertex* die Schnittpunktsbeziehung und *volbound* die Raumbegrenzungsbeziehung. Die Relationen *extrema* und *edge* stellen Erweiterungen des Flächenbegrenzungsmodells dar: *extrema* bildet den umhüllenden Quader von *elements* ab und wird für die Schnittabschätzung benötigt. *Edge* enthält Zeiger zu den Teilkurven, die die Kanten von Teilverolumina bilden.

Die Darstellung der Elemente und deren Beziehungen zueinander basiert auf dem Entity-Relationship-Modell [19]. Mit Hilfe dieses Datenmodells können Räume und die sie begrenzenden Flächen abgebildet werden.

Der Nachteil besteht darin, daß die Gestalten der Strukturelemente wie Decks oder Schotte durch die Angabe einer Ebene und die Benennung aller Begrenzungsebenen auf dieser Fläche vorab erfolgen müssen. Dies erfordert aber einen hohen Eingabeaufwand. Dazu kommt, daß es bei komplizierten Strukturen schwierig sein kann, alle begrenzenden Elemente zu erkennen. Darüber hinaus ist der Benutzer mit einem Kommandovorrat für die Strukturbeschreibung zusätzlich belastet. Die Realisierung der Funktionen des relationalen Datenbanksystems durch DINAS-Funktionen ergibt eine effizienzmindernde doppelte Abbildung.

Ein Ansatzpunkt für eine flexible Beschreibung von Schiffsraumaufteilungen bildet das System von Hills [20]. Bei diesem System ist der Generalplanentwurf als das Ergebnis eines zweistufigen Prozesses anzusehen: Anordnung und Aufteilung.

In der ersten Stufe erfolgt die Verteilung und Positionierung der (primären und teilweise sekundären) Strukturelemente im Schiffsinnern. Diese beinhalten die Lage und die Form der verschiedenen strukturellen Begrenzungen. Zur Behandlung der schiffsinneren Anordnungen stehen eine Menge von geometrischen begrenzenden Primitiva zur Verfügung. Die innere Einteilung kann durch eine interaktive Eingabe mit der Tastatur, eine interaktive Eingabe mit Skizze auf einem grafischen Tablett sowie durch Freehand-

Eingabe mit Hilfe des Fadenkreuzes am Bildschirm aufgebaut werden.

Ausgehend von den vordefinierten Strukturelementen erfolgt in der zweiten Stufe die Modellierung der Räume in einer relationalen Datenstruktur durch die interaktiv-grafische Identifizierung der Raumbegrenzungen. Die Speicherungstechnik umfaßt drei Dateien: Begrenzungs-Definitions-Datei, Element-Datei und Raum-Definitions-Datei.

Wie bei dem System von Schumann-Hindenberg sowie beim GODDESS hat das den Nachteil, daß erst nach der Festlegung der Ausdehnung der Strukturelemente der Raum-anordnungsprozeß ablaufen kann.

Zusammen mit dem BWB hat die Firma MTG (Marinetechnik GmbH) das CAD-System CADIS2D für den geometrischen Entwurf von Schiffen (z.B. die Erstellung von Typübersichts- und Decksplänen, diversen Einrichtungsplänen und maschinenbaulichen/elektrotechnischen Schemata) in der Projektarbeit eingesetzt [21].

Sehr aufwendig ist dieses Verfahren jedoch bei nachträglichen Änderungen der Geometrie, da die Änderungen in allen Ansichten getrennt vorgenommen werden müssen. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist: ein 2D-System ohne räumliche Verbindung erschwert die automatische Weiterbearbeitung der in der Zeichnung enthaltenen Information für schiffbauliche Berechnungen. Darüber hinaus ist das System nur zum Entwurf von Marineschiffen konzipiert.

Die Entwicklung der Raumaufteilung bei der Optimierung des Schiffsentwurfes explizit zu berücksichtigen, erschien mit analytischen Ansätzen [11] zu komplex und hat sich daher nicht durchsetzen können. Allerdings gehen die bisherigen Methoden nur von sehr primitiven Bewertungskriterien wie z.B. Laderaumvolumen [22] und vereinfachter Raumaufteilung [23] aus. Sie sind meistens auf einen bestimmten Schiffstyp [24] zugeschnitten und beschränken die Einsatzbarkeit bei unkonventionellen Schiffsprojekten. Es ist möglich, daß bei Berücksichtigung einer Reihe weiterer Kriterien für die schiffstechnische Raumanordnung der Rechenaufwand so groß wird, daß man mit geeigneteren interaktiven Arbeitstilen schneller zu Lösungen für die Lage der Raumbegrenzungen kommt.

Bekannt und erfolgreich implementiert ist jedoch die Optimierung von Teilsystemen auf Schiffen. Ein Beispiel für die Anordnung von Maschinen im Maschinenraum von Schiffen mit der Forderung nach minimalen Kosten für die Rohrleitungen geben Dulčić und Senjanović [25].

Ähnliche Aufgaben werden auch beispielsweise im Bauingenieurwesen [30] – [33] behandelt. Hier sind eine Reihe ähnlich aufgebauter Methoden entwickelt worden, zum Teil auch mit heuristischen Ansätzen [26] – [29]. Eine Mehrzahl der Ansätze zur Problemlösung bei Planungs- und Anordnungsaufgaben setzen ein 2D-Modell des Grundrisses voraus. Haas [34] gibt einen Überblick über den Stand der Anwendung von CAD-Systemen in der Bautechnik.

## 2.3 Problematik beim Einsatz von schiffbauspezifischen und allgemeinen CAD-Systemen

Die heute existierenden schiffbaulichen Programme [35], [36], [55] und Entwurfssysteme sowie die Konstruktionsbeschreibungssysteme wie AUTOKON [38], SCHIFFKO [39], FORAN [40], STEERBEAR [41] etc. sind nach Gesichtspunkten des Generalplanentwurfes von untergeordneter Bedeutung oder für die Verarbeitung geometrischer Objekte wie z.B. Räume und ihrer topologischen Zusammenhänge unzureichend ausgerüstet. Ein kurzer Überblick über einige der genannten Systeme findet sich in [42].

Es ist wohl allgemein bekannt, daß die Vielzahl der z.Z. auf dem Markt angebotenen CAD-Produkte reine 2D-Zeichnungssoftware oder 3D-Systeme für den Aufbau von räumlichen Modellen (Vollkörpermodelle, s. Abschn. 2.1.3) am Bildschirm zum Zweck besserer Visualisierung sind. Darüber hinaus sind sie meistens auf einzelne Anwendungsbereiche wie Maschinenkonstruktion, Werkzeugbau etc. zugeschnitten. Eine Schnittstelle für die Verknüpfung der 2D-Systeme für die Generalplanerstellung an schiffbautechnische Programmsysteme ist oft nur unzufriedenstellend. Die heutigen 3D-CAD-Systeme sind ebenfalls auf diesen Einsatz nicht ausreichend vorbereitet. Schwerpunkte der Argumentation sind die Schwierigkeit, Notwendigkeit sowie Aufwendigkeit, Vollkörpermodelle von Schiffen für die Entwurfstätigkeit einzusetzen.

Mit dem im Maschinenbau weit verbreiteten Verfahren, aus geometrischen Grundkörpern wie Würfel, Kreiszylinder und allgemeinen Prismen über mengentheoretischen Operationen komplizierte Strukturen zu modellieren, ist im schiffbaulichen Entwurf sicherlich nicht anwendbar, da die schiffsinnere Raumaufteilung im Gegensatz zum maschinenbaulichen Entwurf dadurch geprägt wird, daß die Räumlichkeiten im wesentlichen aus Teilräumen mit flächenhaften Elementen bestehen. Für eine weiterführende Behandlung allgemeiner CAD-Systeme sei auf [43] – [45] verwiesen.

## 2.4 Zielsetzung

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß eine spürbare Lücke in der Rechnerunterstützung des Generalplanentwurfes besteht. Die funktional oder räumlich getrennten, unabhängigen Komponenten der Raumaufteilung, der schiffsgeometrischen Berechnungen und der Generalplanbearbeitung (die z.Z. noch weitgehend am Zeichenbrett geschieht) erlauben keinen optimalen Einsatz für den Benutzer. Weder die strenge Optimierung noch die automatische Erzeugung der realistischen Raumaufteilung des gesamten Schiffes bietet eine brauchbare Lösung für die Praxis. Vielmehr bedarf es der Realisierung eines Software-Werkzeuges für die interaktive geometrische Bearbeitung der inneren Raumaufteilung von Schiffen, die schnelle Berechnung ihrer Folgen für das gesamte Schiff (Volumina und Schwerpunkte von Schiffsräumen, Trimm, Stabilität, Leckverhalten, Biegemomente des Schiffes abhängig von der Raumaufteilung), die automatische Abänderung der Raumaufteilung bei veränderter Topologie und den Einsatz eines geeigneten Software-Systems für die Generalplanerarbeitung, um eine durchgängige Unterstützung des Entwerfens problemlos zu gewährleisten.

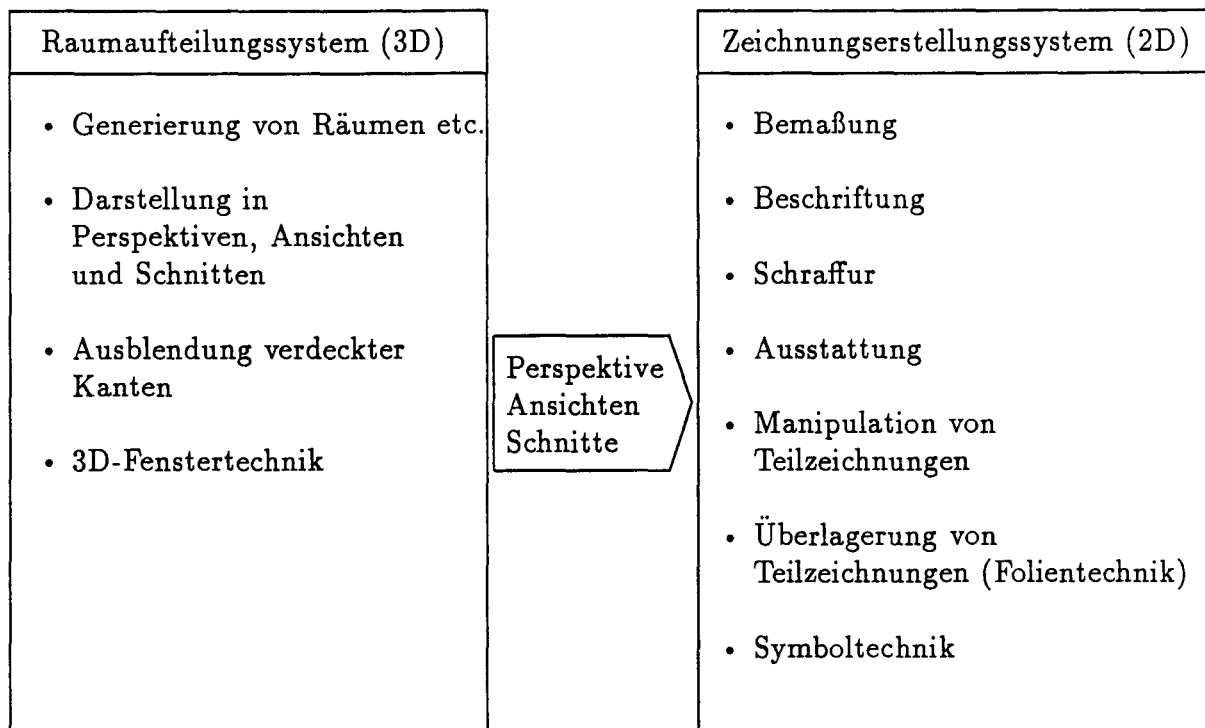


Abb. 2.3: Grobarchitektur für die Generalplanerstellung

Die innere Raumaufteilung des Stahlschiffskörpers muß dabei der wesentliche Ausgangspunkt einer rechnerinternen Darstellung des geometriebezogenen Teiles des Generalplans sein. Hierbei nimmt die Erstellung eines räumlichen Schiffsmodells im Rechner-system eine Schlüsselstellung ein. In diesem sind praktisch alle notwendigen gestaltbeschreibenden Informationen für die komfortable Generierung von Schnitten, Ansichten und perspektivischen Darstellungen enthalten. Diese Bildinformationen können an ein fertiges 2D-CAD-System, z.B. AutoCAD, übergeben und dort durch Hinzufügen von schiffbaulichen zeichnungstechnischen Elementen zur endgültigen Generalplanzeichnung ergänzt werden. Abbildung 2.3 skizziert die Architektur für die Generalplanerstellung. Die dazu durchzuführenden Berechnungen wie Form-, Schwimmfähigkeits-, Leckstabilitäts- oder Längsfestigkeitsrechnungen zum Nachweis der Richtigkeit und Zulässigkeit des Generalplans schließen sich dann an die Raumaufteilung an.

Ziel der Arbeit ist es, ein rechnergestütztes Verfahren zum interaktiven Entwerfen des Generalplans von Frachtschiffen zu entwickeln. Dieses Verfahren soll bessere Möglichkeiten zur Verarbeitung der geometrischen Gegebenheiten bei Raumaufteilungsaufgaben ergeben.

## 3 Ein neuer Ansatz zur Raumaufteilung

### 3.1 Qualitative Betrachtung

Kennzeichnend für alle Frachtschiffe sind die im Vergleich zu anderen geometrischen Objekten (z.B. Maschinenteile) vielfältigen inneren Unterteilungen eines hohlen Schwimmkörpers. Anders als bei der Architektur lassen sich bei Schiffen die Unterteilungen nicht beliebig durch vertikale Verschiebeoperationen [46] erzeugen. Man kann sich vorstellen, daß das heterogene Schiff aus vielen inneren räumlichen Gebilden wie hohlen Polyedern mit vielen einfachen gemeinsamen Flächen besteht. Die meisten Modellierungsarten sowie die z.Z. im Einsatz befindlichen Systeme (s. Abschn. 2.2 und Abschn. 2.3) eignen sich jedoch nicht zur Verwendung in einem weitgehend interaktiven Generalplanentwurfsprozeß. Sie werden den besonderen Anforderungen eines Generalplanentwurfes nicht gerecht.

Daher wird im folgenden ein rechnergestütztes, flächenorientiertes 3D-Verfahren zur Gestaltung räumlicher und insbesondere hohler Objekte mit inneren Unterteilungen vorgestellt. Ein räumliches umschlossenes Volumen wird in sich gegenseitig ausschließende funktionsgerechte Räumlichkeiten zergliedert (*analysing*), deren Begrenzungsflächen aus ebenen Schnitten bestehen. Mehrere solcher getrennter ebenflächig begrenzter Gebilde können zusammengesetzt werden (*merging*), wie Abbildung 3.1 zeigt, um ein komplexes räumliches Gebilde mit beliebigen Unterteilungen zu bilden. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß ein Raum das zentrale Objekt der Beschreibung darstellt. Es wird dabei nicht von einzelnen schiffbaulichen Grundstrukturelementen ausgegangen, sondern es werden zusammenhängende Räume benannt.

Dabei stehen folgende drei wichtigen Überlegungen im Vordergrund:

- Die Grundidee ist, daß der Schiffskörper sich in seine Hauptbauteile wie Decks, Schotte, Wände sowie die untergeordneten Elemente wie Bodenwrangen, Längsträger, Tankschotte gliedern läßt und die dadurch entstehenden Räume – z.B. Laderaum, Tank, Versorgungsraum – sich am einfachsten durch diese flächenhaften Elemente beschreiben lassen. Damit trägt ein flächenorientiertes Modell dem Denken des Konstrukteurs besser Rechnung.
- Es steht nicht so sehr die exakte Gestaltdefinition der raumteilenden Elemente im Vordergrund des Interesses als viel mehr die Auswertung gewisser Volumenintegrale (Volumen, Schwerpunkte, Momente). Die Gestalten der raumteilenden Elemente können mit Hilfe der so in dem Rechner eingespeicherten Schiffsräume automatisch erzeugt werden.
- Nur durch ein 3D-Modell ist gewährleistet, daß die räumliche Geometrie vollständig im Rechner abgebildet wird. Das Ableiten von 2D-Zeichnungsgeometrien aus einem flächenorientierten Volumenmodell erfordert weniger Aufwand. Dies verspricht geringere Antwortzeiten beim grafischen interaktiven Arbeiten.

Die Geometrie des Schiffes ist durch eine Menge von Räumen modelliert, welche durch

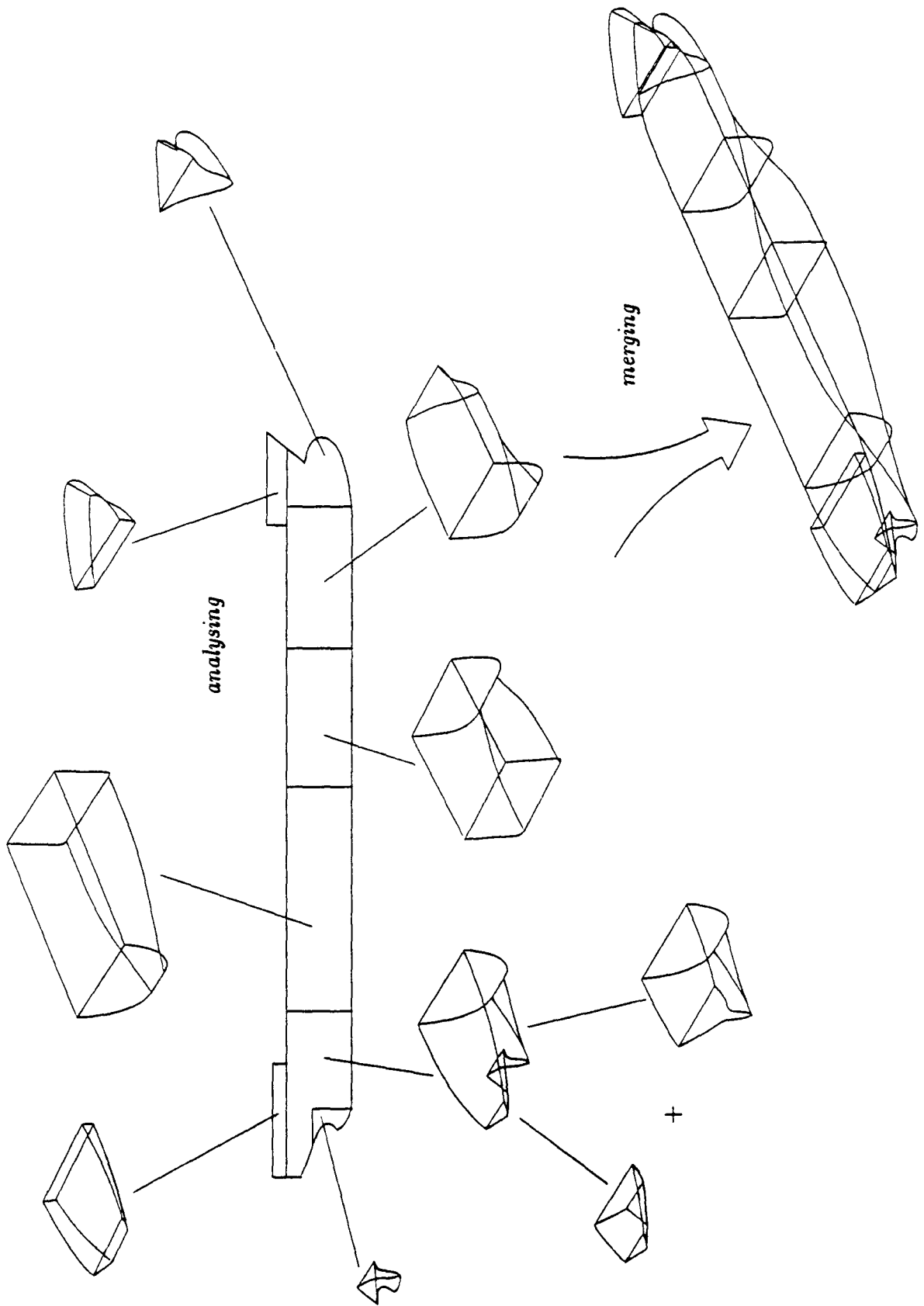


Abb. 3.1: Die *analysing and merging* Methode bei Raumaufteilung

ebene Paneele begrenzt sind. Diese modular vorliegenden Volumina können nun in der Art eines Baukastens rechnerintern miteinander verknüpft werden. Durch die Verketzung sowie Verschachtelung der 3D-Gebilde wird die Gestalt der inneren Einteilungen generiert.

Zur Beschreibung von Räumen hat man zwischen zwei übergeordneten Verfahren zu unterscheiden. Eines der Verfahren beruht auf dem Prinzip der Volumenverknüpfung (*merging*). Das andere Verfahren beruht darauf, existierende Volumina mit spezifizierten Ebenen zu schneiden (*chopping*), um dadurch neue Volumina zu erzeugen. Beliebige Zahl von Schnittebenen ist zulässig.

Für die Definition des Raumes können die Begrenzungsflächen aus mehreren Teilflächen, oder der Raum kann aus mehreren aufgeteilten Räumen durch Anwendung von zwei Operatoren Addition und Subtraktion zusammengefaßt werden. Insbesondere können komplizierte Raumgebilde oder Schiffsräume mit Eindringung durch Angabe einer beliebigen Zahl von Teilräumen positiv oder negativ aggregiert werden, und außerdem wird der Beschreibungsaufwand verringert. Dazu sind Programmbausteine bereitgestellt, die diese Verknüpfung von Volumina zu einem komplexen Volumen rechnerintern steuern (s. Abschn. 4.4 auf Seite 33).

Abbildung 3.2 a) veranschaulicht z.B. den durch die Vereinigung von 9 Teilräumen entstehenden Laderaum eines Containerschiffes. Für die additive Verknüpfung dürfen sich die Teilräume nicht gegenseitig durchdringen; d.h. sie müssen disjunkt sein. Ein leeres Volumen wird durch einen negativen Raum charakterisiert. Er muß sinnvollerweise ganz innerhalb eines positiven Raumes liegen. Dadurch wird bei der Addition eines positiven und eines negativen Raumes das leere Volumen von dem positiven Raum beseitigt. In Abbildung 3.3 ist als Beispiel die Erzeugung eines Raumes aus drei Teilräumen gezeigt. Der Teilraum B wurde additiv und der rechteckige Teilraum C subtraktiv verknüpft.

Durch Abschneiden kann ein Teil aus einem vorhandenen Raum als neuer Raum definiert werden. Im weiteren gestaltet das Abschneiden komplizierter Räume eine komfortable Neuraumgenerierung. Beim Abschneiden eines zusammengesetzten Raumes können mehrere getrennte Räume entstehen (Abb. 3.4).

Diese Art der Vorgehensweise (*analysing und merging*) ist auch geeignet für die Gestaltung der kompliziert strukturierten Aufbauten von Schiffen. Vor allem ist die Raumaufteilung von verschiedenen Schiffstypen mit dieser Methode leicht zu erfassen.

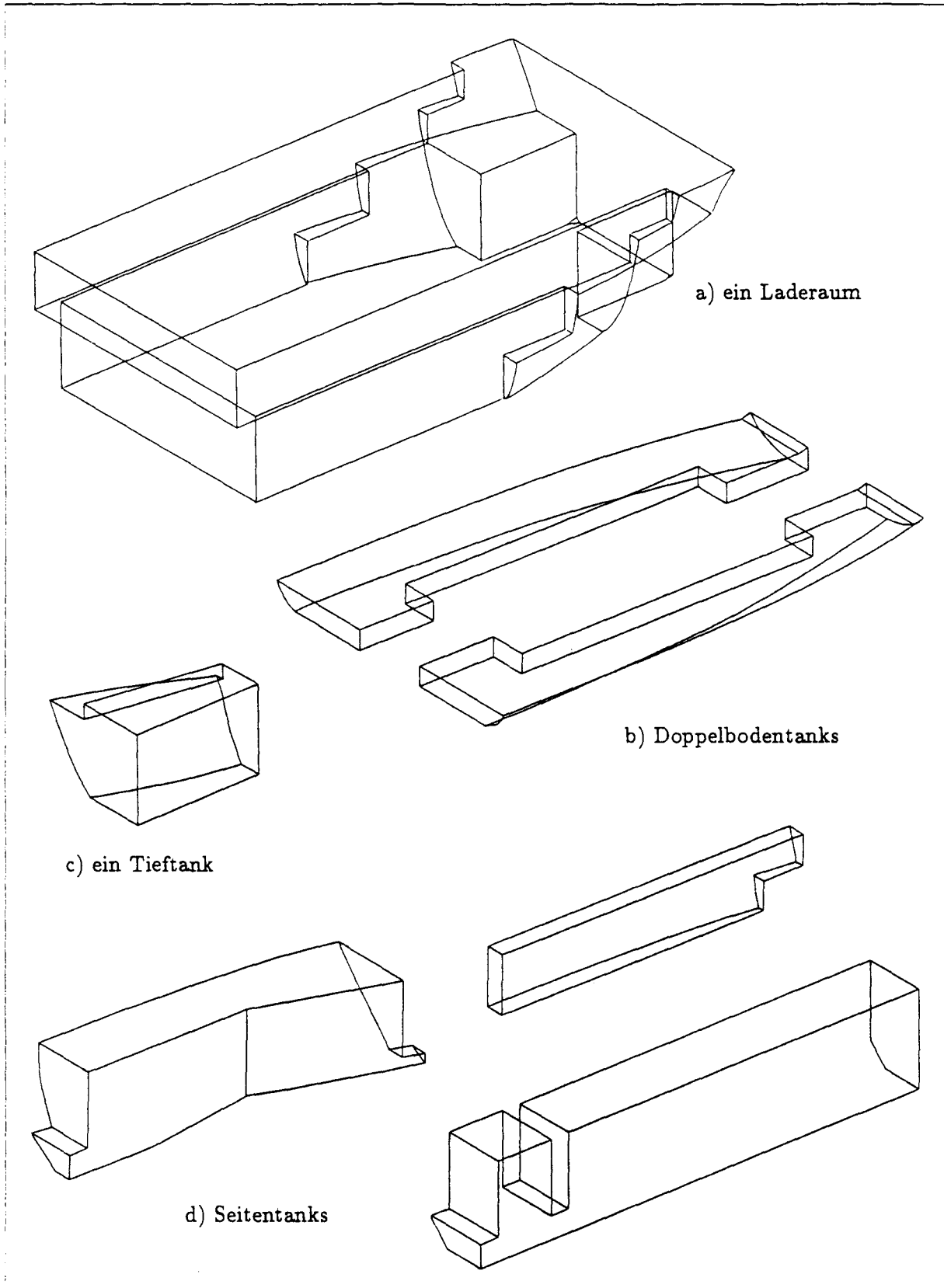


Abb. 3.2: Beispiele von zusammengesetzten Räumen

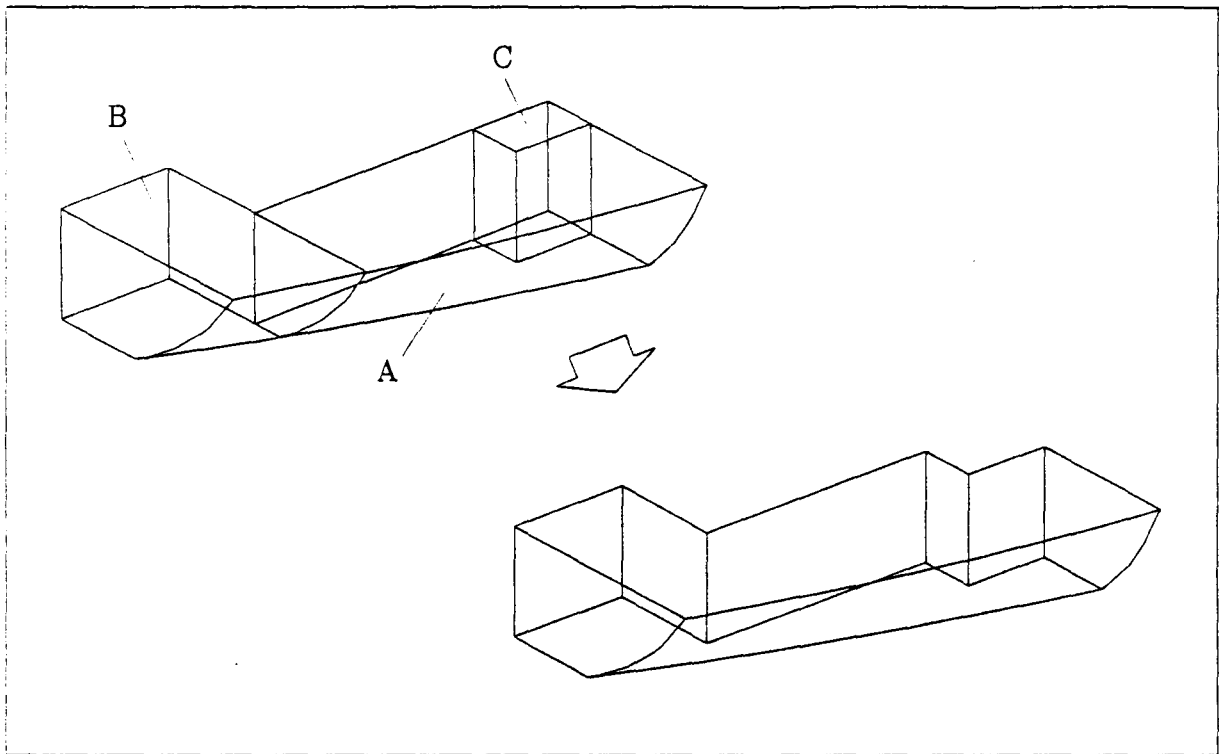


Abb. 3.3: *Merged* Raum durch Addition und Subtraktion von Teilräumen

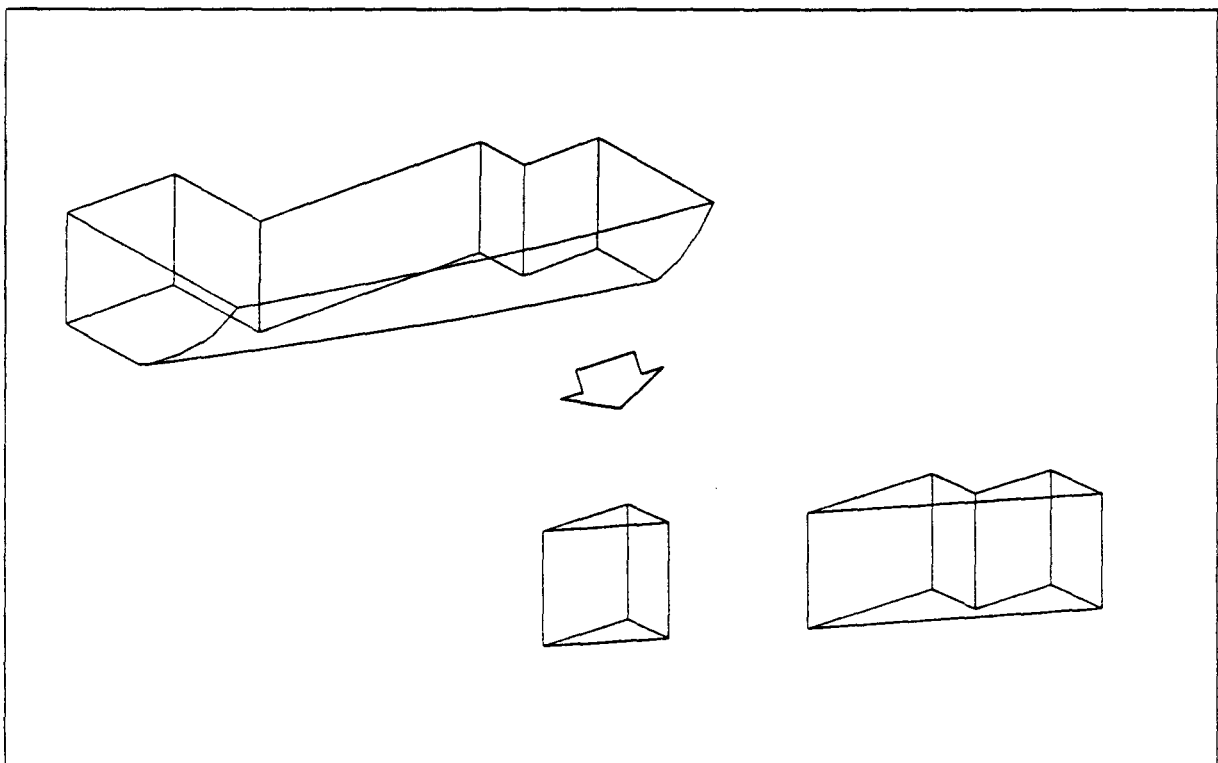


Abb. 3.4: *Chopping* eines zusammengesetzten Raumes

## 3.2 Geometrische Primitiva

Zur Gestaltung eines geometrischen Modellersystems sind geometrische Primitiva unterschiedlicher Komplexität zweckmäßig. Jedoch wirkt die Zulassung mehrerer verschiedener Primitiva sich nachteilig auf die Datenstruktur aus. Gleichfalls steigt der Aufwand für die Verarbeitungsalgorithmen bei der Kombination verschiedener geometrischer Primitiva stark an.

Den vielfältigen Anforderungen eines schiffbaulichen Modellersystems wird daher mit einer kleinen Menge von Primitiva genügt. Zur Zeit werden folgende Primitiva zur geometrischen Schiffsbeschreibung vorgesehen:

- **Ebene**

Ein großer Teil der geometrischen Aufgabenstellungen spielt sich in der Ebene ab oder läßt sich auf ebene Probleme reduzieren. Durch die Ebene können alle ebenen Verbände beschrieben werden, z.B. Querschotte, Längsschotte, Decks.

- **Kurve**

Sie kann durch den Schnitt einer Ebene mit einer Form (s. unten) entstehen und weiter durch Ebenen abgegrenzt werden. Sie läßt sich auch durch die implizite Angabe einer Folge von Raumpunkten definieren.

Dieses Primitivum modelliert die Begrenzungskonturen von Räumen. Ein Beispiel ist die Vorschiffskontur. Außerdem wird sie zur Erzeugung von beliebigen Schnittkonturen z.B. Spantquerschnitt oder Deckslinien für die weiterführende Erstellung von Generalplan-Basiszeichnungen eingesetzt (s. Abschn. 7 auf Seite 82) .

- **Form**

Das Primitivum Form stellt jeden beliebigen Körper dar, dessen analytisch nicht beschreibbare Oberfläche mit dem Programm EUMEDES [56] interpoliert wird. Für übliche schiffbauliche Entwurfsaufgaben ist z.B. ein Schiff eine Form.

Eine Form wird durch zwei Sätze von sich kreuzenden Kurvenscharen (räumlich gekrümmte Quer- und Längslinien) beschrieben. Diese Kurven werden mit kubischen parametrisierten Splines angenähert. Die Oberfläche wird durch mehrere, möglichst viereckige Flächenstücke (Patches) dargestellt.

Dieses Primitivum bietet eine einfache Möglichkeit der Freiformflächenbeschreibung.

- **Quader**

Von den parametrischen 3D-Objekten wird nur der Quader implementiert, da er zur Raumbeschreibung das häufigste und wichtigste Element darstellt. Beschrieben wird er durch einen Einheits-Würfel, den man mit Hilfe der Parameter Länge, Breite und Höhe formmäßig ändern und beliebig positionieren kann. Obwohl er anders als Form definiert ist, unterliegen die beiden Primitiva einer ähnlichen Verarbeitung.

Dieses Primitivum beschreibt ein rechteckiges Volumen zur Einbeziehung von einfachen Räumen wie Deckscontainer, Luken etc. Kompliziertere Formen, z.B. der Aufbau oder das Deckshaus, können am einfachsten und schnellsten durch Schnitte von Quadern erzeugt sowie mit Hilfe solcher erzeugten Volumina durch Verknüpfung aufgebaut werden.

Abbildung 3.5 gibt einen Überblick über die implementierten geometrischen Primitiva, mit deren Hilfe die Schiffsraumaufteilung definiert werden kann.

Eine vollständige Erfassung der geometrischen Primitiva erfordert das Abspeichern der zugehörigen räumlichen Lageinformation des mit dem Primitivum verbundenen Koordinatensystems (lokales Koordinatensystem). Dadurch können die Primitiva bezogen auf ein fest gewähltes Koordinatensystem (globales Koordinatensystem) rotiert und verschoben werden.

Ein Punkt in einem lokalen Koordinatensystem wird durch den Ortsvektor  $(x_l, y_l, z_l)$  dargestellt; derselbe Punkt soll in einem globalen Koordinatensystem durch  $(x, y, z)$  dargestellt werden. Die Transformation geschieht durch folgende Matrixbeziehung:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \mathbf{S} \begin{pmatrix} x_l \\ y_l \\ z_l \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{pmatrix}$$

wobei:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & -\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ \cos \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma \\ -\sin \beta & \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

- $\delta x$  = Translation in X-Richtung
- $\delta y$  = Translation in Y-Richtung
- $\delta z$  = Translation in Z-Richtung
- $\alpha$  = Rechtsdrehung um die X-Achse
- $\beta$  = Rechtsdrehung um die Y-Achse; und
- $\gamma$  = Rechtsdrehung um die Z-Achse

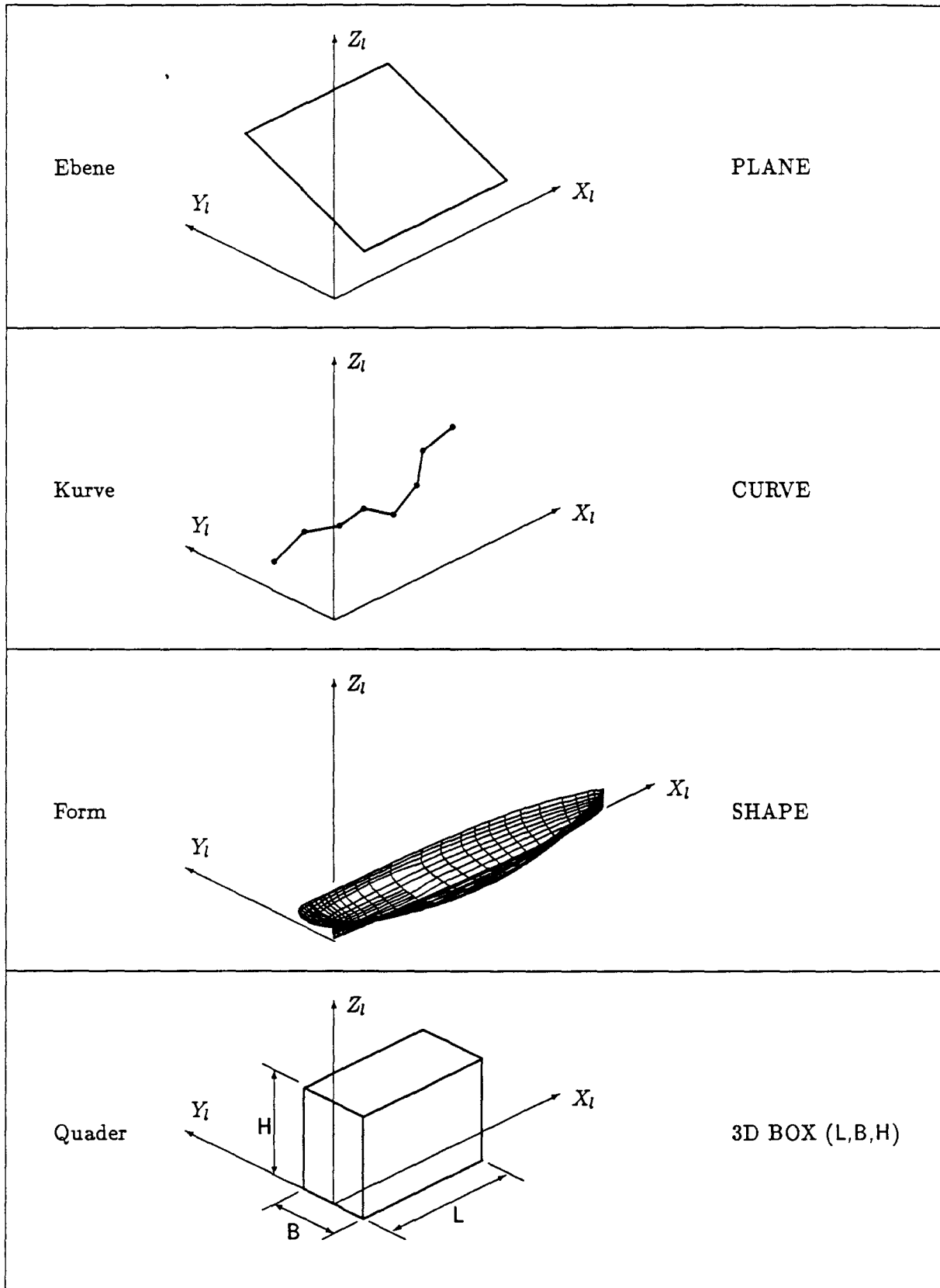


Abb. 3.5: Überblick über die geometrischen Primitiva

### 3.3 Ein Datenstrukturmodell für Raumaufteilungen

#### 3.3.1 Abbildung auf ein Datenmodell

Um Raumaufteilungsprozesse zu automatisieren bzw. im Dialog mit dem Benutzer durchzuführen, bedarf es der modellhaften Beschreibung raumteilender Elemente des Schiffes in geeigneter Datenstruktur und der Entwicklung geeigneter Algorithmen (s. Abschn. 4). Die Datenstruktur nimmt eine Schlüsselstellung bei der Entwicklung des Raumaufteilungssystems ein, da sie bestimmend für die Flexibilität und Leistungsfähigkeit eines solchen Systems ist. Bei der Lösung der Raumaufteilungsprobleme ist es daher von bestimmender Bedeutung, die Wirklichkeit auf ein möglichst einfaches jedoch hinreichend wirkungsvolles 3D-Modell – das Schiffmodell – abzubilden. Mit dem rechnerintern aufgebauten Schiffmodell sind dann alle für die Raumaufteilung relevanten Aspekte eindeutig, konsistent und redundanzfrei darstellbar.

Hier wurde eine hierarchische Verknüpfung der Elemente der Datenstruktur realisiert. Eine solche Datenstruktur für die Behandlung der raumbeschreibenden Daten ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Die Beziehungen von Räumen sowie ihrer Begrenzungen können dadurch modelliert werden. Ein Datenelement soll einem Typ zugeordnet sein. Daneben können für verschiedene Zwecke zusätzliche Datenfelder oder Attribute in den einzelnen Datenelementen mitgeführt werden.

Dieses Datenmodell für die schiffsinnere Raumaufteilung enthält sämtliche Informationen sowohl über die topologische Definition der Begrenzungen von Räumen als auch über die geometrische Beschreibung aller flächenhaften Elemente des Schiffskörpers. Die abgelegte Geometrie ist Voraussetzung für weitere schiffsgeometrische Berechnungen, die Berechnung der Gestalten der Unterteilungen, die Erzeugung von 3D-Darstellungen, die Ausblendung von verdeckten Kanten, die Ableitung von 2D-Generalplänen etc.

#### 3.3.2 Beschreibung der geometrischen Datenelemente

Die abstrakte Beschreibung von Raumaufteilungen besteht im realisierten System aus den folgenden Datenelementen:

- *Plane* (Ebene)
- *Curve* (Kurve)
- *Frame* (Spanttable)
- *Face* (Flächenelement)
- *Contour* (Kurvensegment)
- *Matrix* (Transformationsmatrix)
- *Room* (Raum)
- *Module* (Modul)

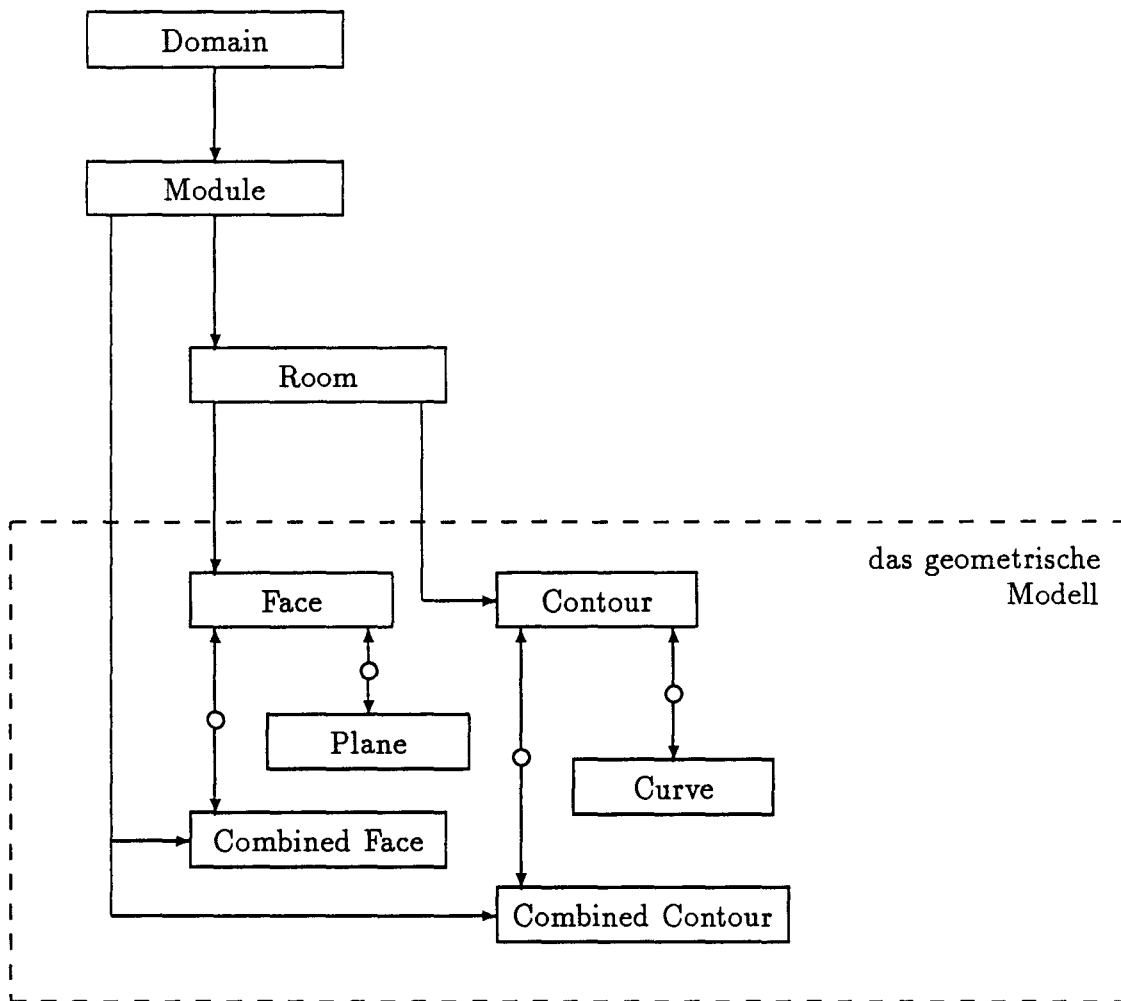


Abb. 3.6: Hierarchische Representation der schiffsinneren Raumaufteilung

- *Domain* (Domäne)
- *Combined Face* (Zusammengesetzte Fläche)
- *Combined Contour* (Zusammengesetzte Kurve)
- *Edge* (Schnittkante)
- *Section* (Berechnungsspant)

Im folgenden werden die englischen Benennungen verwendet, wenn das Datenelement gemeint ist. Die ausführliche Beschreibung der Parameter der Datenelemente ist in Anhang A zu finden und lehnt sich an die Darstellung in VDA-artiger Syntax [47] an. Abbildung 3.7 enthält die entsprechende logische Darstellung der Datenstruktur für die schiffsinnere Raumaufteilung. Diese wird dann in Strukturen des Datenverwaltungssystems, das im Abschnitt 3.4 beschrieben wird, umgesetzt.

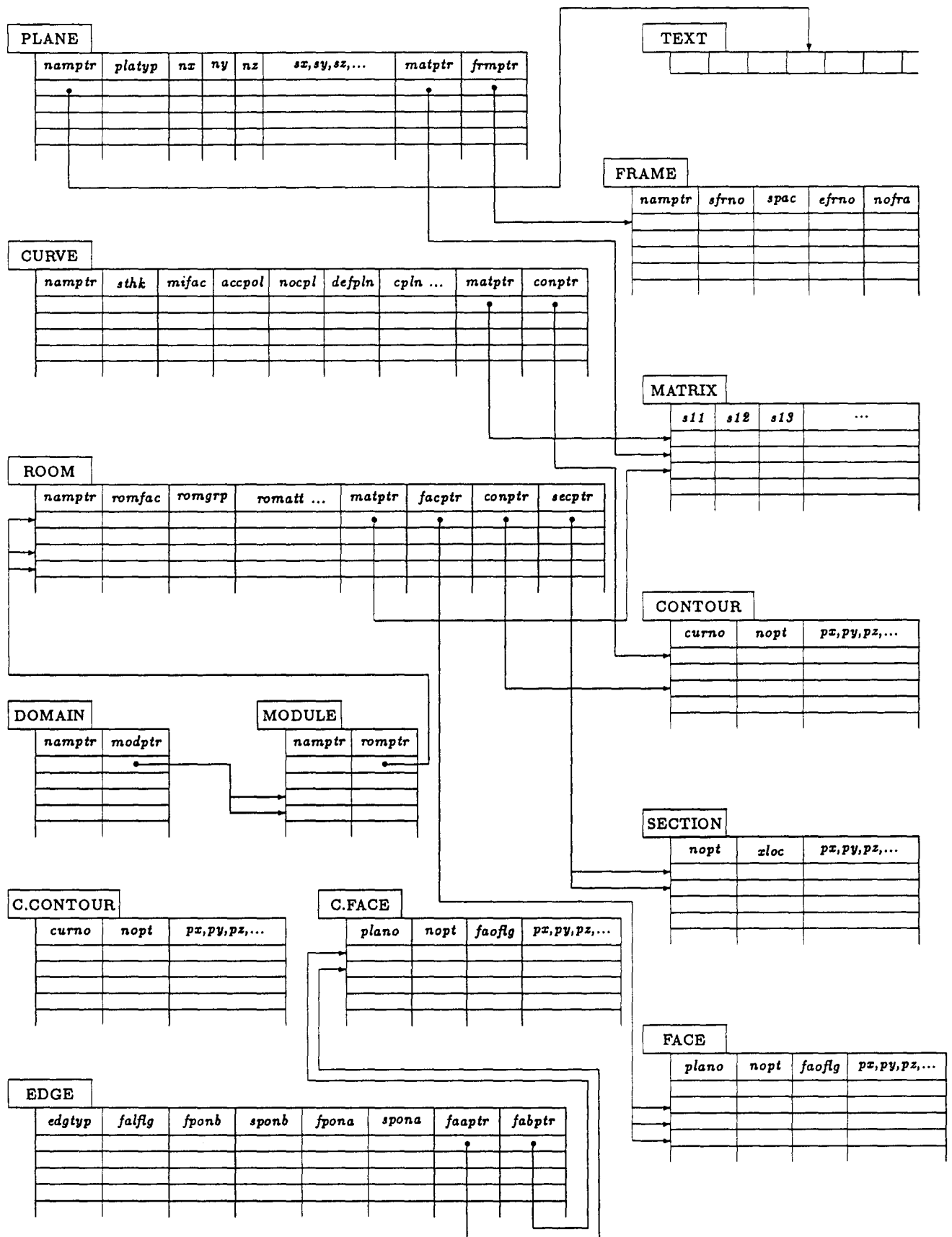


Abb. 3.7: Logische Darstellung der Datenstruktur

## Die Datenelemente *Plane* und *Frame*

*Plane* ist praktisch ein ebenes flächenhaftes Element ohne Begrenzung zur Beschreibung von ebenen physikalischen Bauteilen, die beliebig im Raum liegen können, wie Deck, Schott etc. Es ist durch die Koordinaten von drei nicht kollinearen Raumpunkten im lokalen Koordinatensystem definiert und zusätzlich mit einem Namen und einer Typangabe charakterisiert. Ebenen, die parallel zu Koordinatenebenen liegen, können jeweils durch einen Wert, bei dem die Ebene eine orthogonale Koordinatenachse schneidet, definiert werden. Der dazu gehörige normierte Normalenvektor wird vom Programm errechnet und gespeichert. Er ist redundant, aber effizienzsteigernd.

Um die x-Koordinaten als Bauspantnummer angeben zu können, muß das Bauspant-raster als *Frame* definiert werden.

## Das Datenelement *Face*

*Faces* sind ebene geschlossene Polygonzüge, die die Koordinaten der Punktfolge der äußeren Berandungen der abgrenzenden Flächen beschreiben. Sie dienen der geometrischen Erfassung der Begrenzungen der raumteilenden Elemente sowie der raumumgebenden Flächen. Die Berandungskontur (die tatsächliche Gestalt) dieses Flächenelementes entsteht durch die Begrenzung oder den Schnitt mit anderen begrenzenden Ebenen eines Raumes. Die Form der Berandungskonturen wird aus der Definition des Raumes mit ihrer begrenzenden Geometrie vom Programm bestimmt.

*Face* ist das eigentliche manipulierbare Element der Raumaufteilung und das zentrale Beschreibungselement des raumteilenden Elementes. Es ist durch eine Außenkontur und mehrere Innenkonturen gekennzeichnet. *Face* wird als Zeigerattribut dem *Room* zugeordnet und mittels eines Attributs mit dem geometrischen Datenelement *Plane* in Beziehung gesetzt.

## Das Datenelement *Curve*

*Curve* ist eine endlich lange Kurve im 3D-Raum und läßt sich durch eine Folge von fortlaufenden Raumpunkten beschreiben. Sie dient dem Zweck der eindeutigen Darstellung von Räumen und läßt sich so unmittelbar zur grafischen Ausgabe verwenden. Zusätzlich ist jede *Curve* durch ihren Namen gekennzeichnet.

## Das Datenelement *Contour*

*Contour* wird eingesetzt, um die Kurvenssegmente, die eine *curve* bilden, zu beschreiben. Die Punktfolgedaten der Kurvenssegmente können geschlossen oder offen sein. *Contour* wird als Zeigerattribut dem *Room* zugeordnet und mittels eines Attributs mit dem geometrischen Datenelement *Curve* in Beziehung gesetzt.

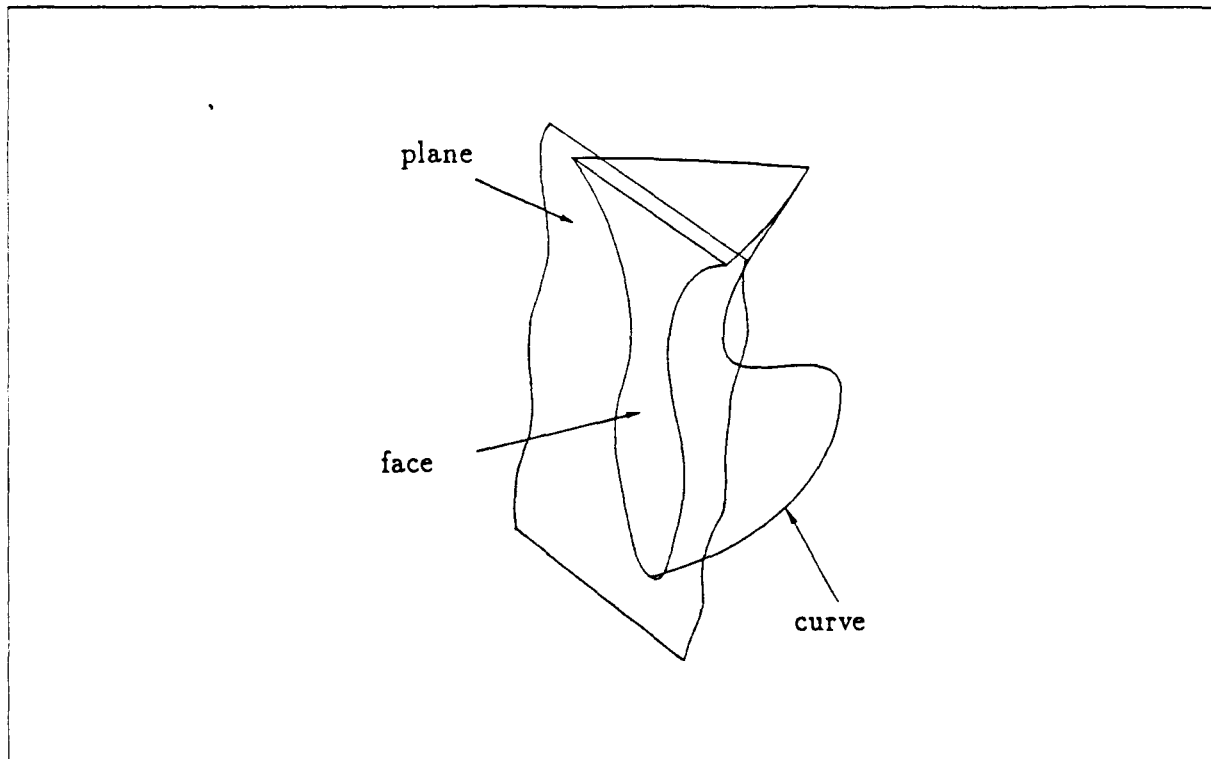


Abb. 3.8: Darstellung von *Room*

### Die Datenelemente *Room*, *Section* und *Matrix*

*Room* dient zur Modellierung von Volumina, die durch eine Menge von Flächenelementen beschrieben sind. Das Volumen kann durch einen Teil der Außenhaut und/oder mehrere Ebenen begrenzt sein. Darüber hinaus kann es auch durch Kurvensegmente begrenzt werden, z.B. den Vorsteven oder Achtersteven (Abb. 3.8). Weiter enthält ein *Room* eine Anzahl von *Sections*, die mit Polygonen angenähert sind. Diese *Sections* dienen der Berechnung von Volumenintegralen.

Jeder *Room* besitzt die Attribute Name, Flutbarkeit, Raumgruppierung und andere raumtypabhängige organisatorische Inhalte (z.B. ob die Schiffsform gespiegelt werden soll, die maximale Abweichung zwischen dem Polygon und der Schiffsform sowie die Stärke der Außenhaut), wobei aus der Raumgruppierung sein Verwendungszweck oder die Art seines Inhaltes ersichtlich wird.

Um die Lage der Räume bezüglich des globalen Koordinatensystems positionieren zu können, gibt man den Ursprung des lokalen Koordinatensystems und die Rotationswinkel zwischen beiden Koordinatensystemen ein. Diese räumlichen Informationen werden in dem Datenelement *Matrix* gespeichert.

Volumina enthalten Zeigerlisten zu den begrenzenden Flächenelementen der Räume. Dies ist dem Gedanken der Flächenbegrenzungsdarstellung ähnlich. Zunächst werden die Außenkontur und dann die inneren Konturen gespeichert.

### Das Datenelement *Module*

Als weiteres topologisches Element wird der *Module* verwendet. *Module* stellt die Gesamtheit der Räume für die Erfassung der groben flächigen Struktur dar und erhält einen Satz von *Rooms* in beliebiger Reihenfolge und ebenfalls einen Namen als Attribut. Der *Module* entsteht durch die rekursiven mengentheoretischen Verknüpfungen von Räumen. Er enthält die dadurch entstehenden raumteilenden Elemente eines Schiffes (Abb. 3.9).

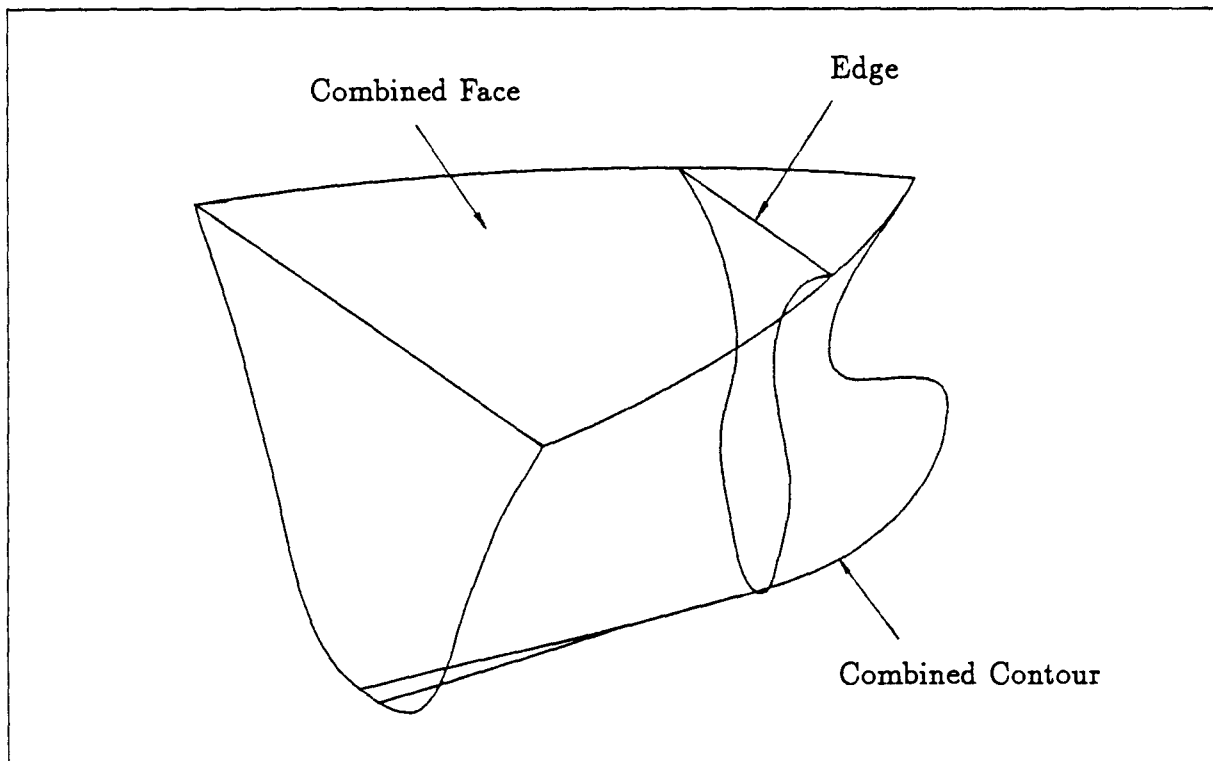


Abb. 3.9: Darstellung von *Module*

### Das Datenelement *Domain*

*Domain* besteht aus einer Menge von *Modules* zusammen mit dem Attribut Name. Unter *Domain* ist z.B. die Realisation eines Schiffes, das in mehrere Volumina (z.B. Vorschiff und Hinterschiff) zerlegt ist, zu verstehen. Der Vorgang der Aggregation läuft genau wie bei *Module* ab.

### Die Datenelemente *Combined Face* und *Combined Contour*

Als weiteres flächenhaftes Element wird noch das *Combined Face* eingeführt. *Combined Face* entsteht durch die Aggregation der auf der gleichen Ebene liegenden Flächenelemente zu einer oder mehreren Außenkonturen und dient zur Beschreibung der wirklich vorhandenen Konturen der raumteilenden Elemente. Eine solche Kontur enthält ebenfalls eine geordnete Punktmenge, die durch orientierte Liniensegmente verbunden sind. Dabei muß der Linienzug geschlossen sein; d.h. daß die Koordinaten des letzten

Punktes gleich denen des ersten gesetzt werden müssen. Es dürfen sich jedoch keine Linien überschneiden, so daß eine einfache Fläche entsteht. Jedoch kann eine Außenkontur Innenkonturen enthalten. Die so entstehenden raumteilenden Elemente repräsentieren die exakte Geometrie aller Bestandteile der Raumaufteilung.

*Combined Contour* ist durch einen geschlossenen oder offenen Linienzug, der aus mehreren Kurvensegmenten zusammengesetzt wird, modelliert.

### Das Datenelement *Edge*

Die geometrische Nachbarschafts- sowie Flächenschnittbeziehung zweier *Combined Faces* wird als *Edge* bezeichnet. *Edge* ist eine gerade Verbindung zweier Raumpunkte. Sie können durch gegenseitige Begrenzung oder Durchdringung von zusammengesetzten Flächen entstehen. Sie dient besonders zur Darstellung des Schnittes zwischen zwei raumteilenden Elementen eines Schiffes und ist das wichtigste Hilfsmittel zur Beschreibung der Topologie der raumteilenden Elemente. An einem Querschott wäre das der Schnitt mit dem Innenboden und mit den durchlaufenden Zwischendecks.

Grundsätzlich kann man vier verschiedene Arten von Schnittkanten unterscheiden (s. Abb. 3.10):

- *Art I-Kante*

Sie beschreibt die Durchdringung zweier Elemente, bei der das zweite Element zur Gänze innerhalb des ersten liegt.

- *Art II-Kante:* A begrenzt B

Sie gibt die Tatsache an, daß ein Element durch ein anderes begrenzt wird.

- *Art III-Kante:* A begrenzt B und wird von B begrenzt

Sie entspricht der gemeinsamen Begrenzungskante zweier Elemente.

- *Art IV-Kante:*

Sie beschreibt wiederum die Durchdringung zweier Elemente, wobei das zweite Element zum Teil innerhalb des ersten liegt.

Sie erhalten Zeiger zu den *Combined Faces* A und B, die die Schnittkante bilden. Die Attributwerte enthalten die Kantenindizes von *Combined Face B*, die den Anfangs- sowie Endpunkt der Schnittkante kennzeichnen, und gegebenenfalls auch die Kantenindizes von *Combined Face A*, falls es sich um eine *Art III-Kante* handelt.

Abbildung 3.11 zeigt verschiedene Kanten an einen *Module*.

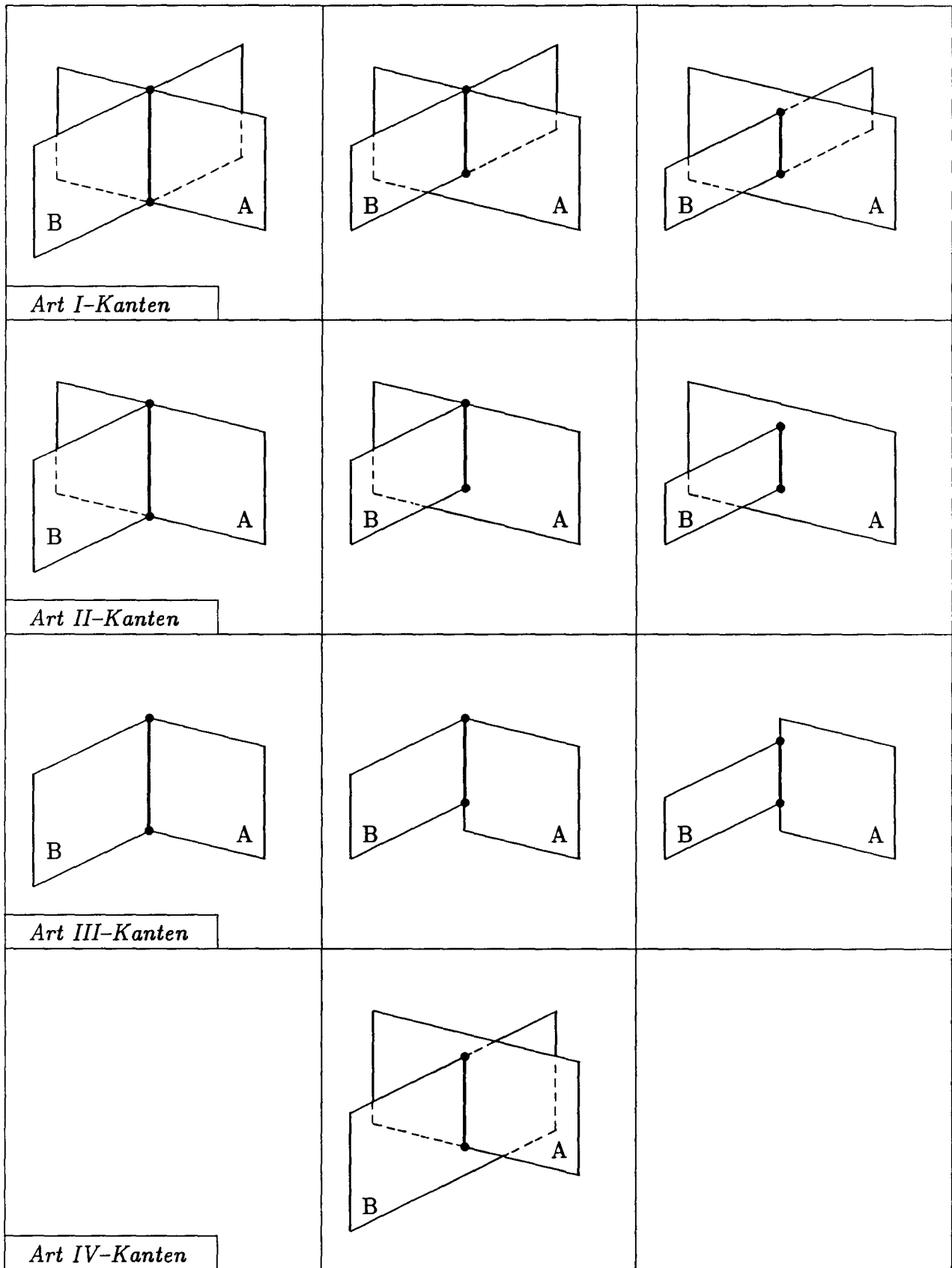


Abb. 3.10: Schnittkanteneinteilung

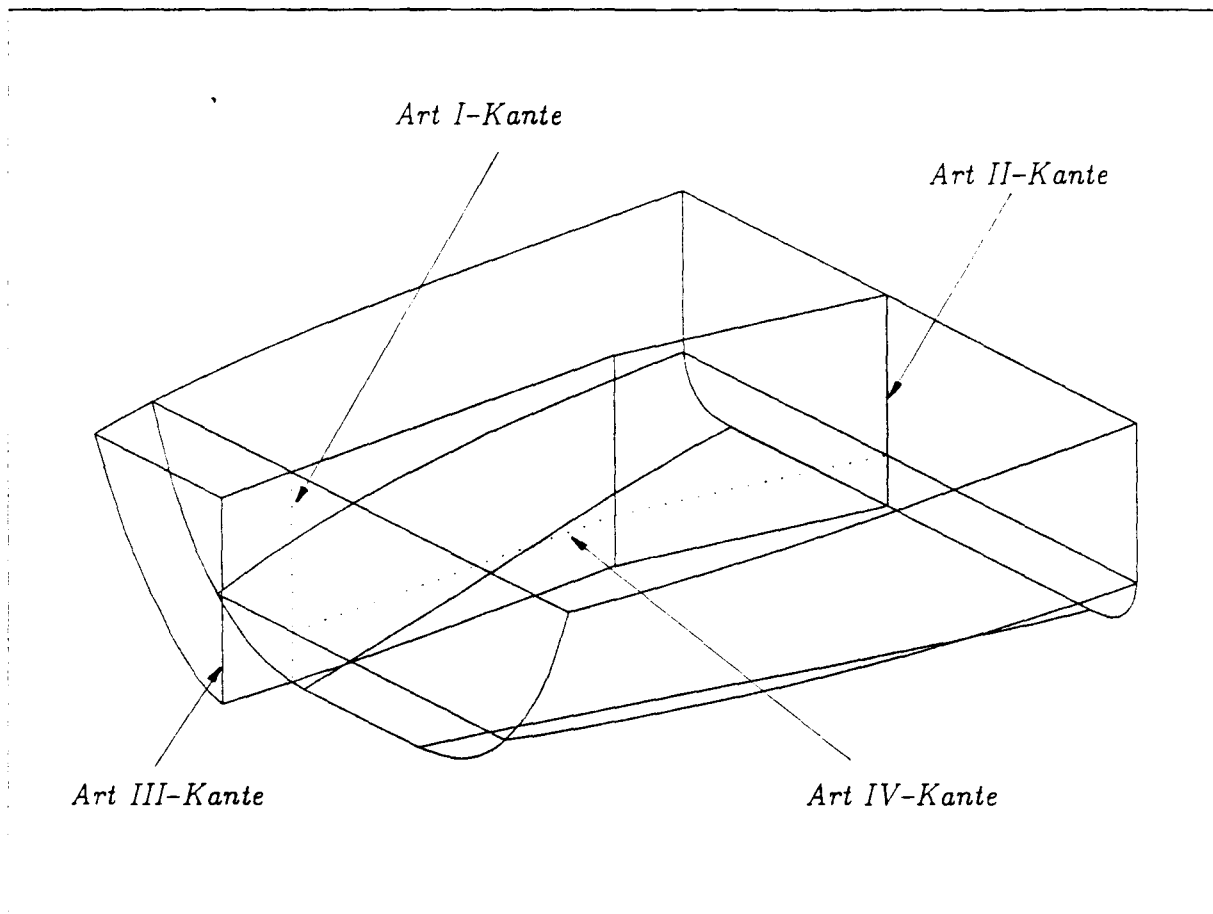


Abb. 3.11: Darstellung von *Edge*

Die drei Datenelemente *Combined Face*, *Combined Contour* und *Edge* repräsentieren im vorliegenden System eine Erweiterung der Methodik des Volumenmodells und enthalten Informationen für die weiteren Bearbeitungsschritte zur Erstellung des Generalplans sowie der Stahlkonstruktion. Sie haben temporären Charakter und lassen sich durch entsprechende Evaluierungsfunktionen jeweils dann, wenn sie benötigt werden, berechnen.

Diese Modellierungsart reduziert den Anteil der topologischen Daten erheblich. Das Datenmodell benötigt neben der geometrischen Definition aller Ebenen der raumteilenden Elemente nur die topologische Definition der Raumbegrenzungen, aus denen das zu modellierende Objekt Schiff zusammengesetzt wird. Damit können die geometrischen Eigenschaften der raumteilenden Elemente und deren Beziehungen untereinander beschrieben werden. In allen Fällen sind topologische und geometrische Informationen gemeinsam zu bearbeiten. Die hierfür benötigte topologische Beziehung bleibt dem Benutzer unsichtbar.

### 3.4 Speicherungsstrukturmodell

Die Verwirklichung der logischen Datenstruktur im Rechner ist die Speicherungsstruktur. Die das Schiffmodell beschreibende Information ist im vorliegenden System mittels des von Söding entwickelten hierarchischen Speicherungsmodells abgebildet. Dieses auf Fortran basierende baumstrukturierte Datenmodellkonzept findet schon in vielen Programmen [55] Anwendung.

Die unterste Stufe der Software dient zur Bearbeitung von hierarchischen Strukturen. Das sind Tripel, bestehend aus

- Strukturtyp
- einer geordneten Menge von Substrukturen
- und einer geordneten Menge von Attributen.

Ein Strukturtyp (reelle Zahl) kennzeichnet eine Struktur. Attribute werden durch reelle Zahlen oder Textzeiger charakterisiert und Substrukturen enthalten Zeiger (auch reelle Zahlen) zu anderen Strukturen. Substrukturen ermöglichen die Abbildung von Beziehungen der Strukturen zueinander. Eine solche Struktur sei z.B. die *Plane* (Strukturtyp = 8; Substruktur ist *Matrix*, *Frame*; Attribut = Textzeiger, Typangabe, Einheitsnormalenvektor und die Punktkoordinaten).

Es existieren FORTRAN-Unterprogrammaufrufe für die folgenden Operationen mit Strukturen:

- Generieren einer Struktur
- Auffinden oder Ändern des Strukturtyps
- Auffinden oder Ändern eines Strukturzeigers oder eines Attributs
- Auffinden aller Substrukturen eines bestimmten Typs zu einer gegebenen Struktur
- Austauschen einer Substruktur gegen eine andere
- Kopieren einzelner Unterstrukturen einer gegebenen Struktur
- Löschen aller Strukturen

Zur Handhabung von Texten sind Routinen zum Einfügen in ein Fortran-Textfeld und zum Wiederauffinden des Zeigers zu gegebenem Text vorhanden.

Aufbauend auf dieser untersten Software-Stufe sind Unterprogrammpakete für die Geometrieerzeugung, Manipulation, Berechnung und Bildgenerierung der geometrischen Datenelemente realisiert worden (s. Abschn. 6 auf Seite 52).

## 4 Methoden der geometrischen Verarbeitung

### 4.1 Das Schnittprinzip

Ein neuer Raum wird durch Abschneiden mit Ebenen aus einem vorhandenen Raum generiert. Die Vorzeichen der Schnittebenen geben an, ob in Richtung (+) oder in Gegenrichtung (-) der Normalen der Raum beseitigt werden soll. Dieses *Chopping* Verfahren arbeitet nach dem allgemeinen Schnittprinzip. So wird nach Abbildung 4.1 ein bestimmtes Volumen von einem Quader abgeschnitten, ohne daß dieses Volumen im einzelnen definiert wird.

Die Evaluierung der Raumbegrenzungen beschränkt sich im wesentlichen auf die Ermittlung der Begrenzungen der Schnittebenen und das Abschneiden der begrenzenden Flächen des vorhandenen Raumes.

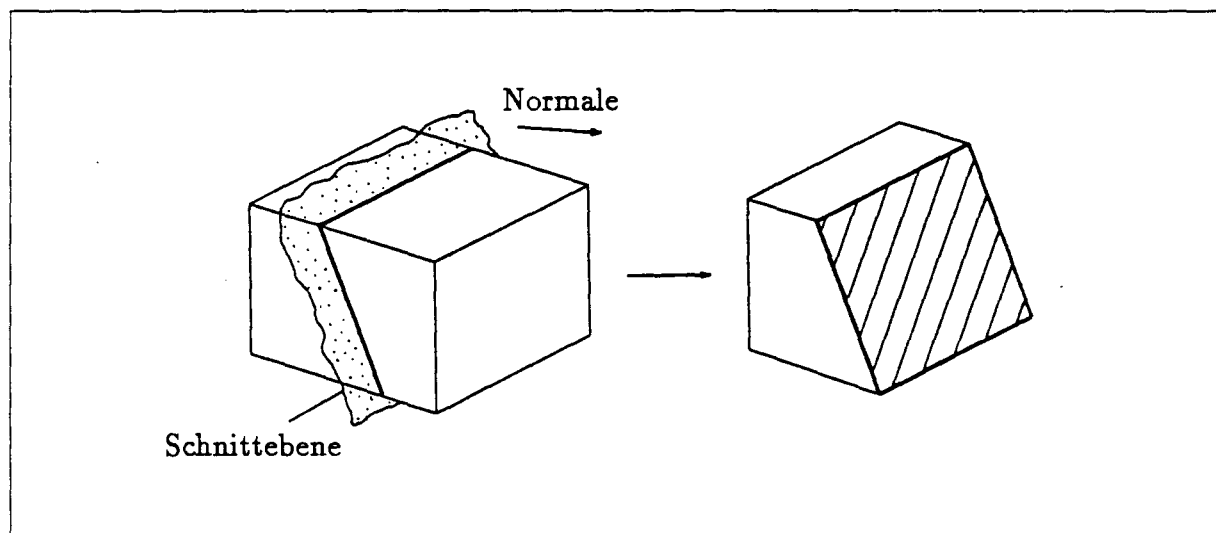


Abb. 4.1: Neuraumgenerierung nach dem Schnittprinzip

#### 4.1.1 Ermittlung der Geometrie von Schnittebenen

Die Ermittlung der Begrenzungskontur (des äußeren Randes) einer Schnittebene ist die wichtigste Funktion zur Beschreibung des raumteilenden Elementes. Aus der Topologie eines Raumes ergibt sich die eigentliche Elementgestalt in Form von Berandungskanten, die durch Schnittbildung mit einer Form oder eines Quaders sowie mit den begrenzenden Flächen des Raumes entstehen.

Diese Aufgabenstellung kann in zwei Teilaufgaben zerlegt werden:

- Ist eine Oberfläche nach der Methode von [56] numerisch beschrieben, lassen sich Schnittkurven beliebiger Ebenen mit der Form berechnen. Sie werden getrennt aus allen Flächenstücken berechnet, aus denen die Oberfläche zusammengesetzt ist.

Eine Routine wurde erstellt, die hauptsächlich darin besteht, die Begrenzungskonturen einer Schnittebene mit der Oberfläche zu bestimmen. Sie wertet die Datenstruktur der Formschnittstelle aus, löst verschiedene Interpolationsaufgaben nach einer Interpolationsvorschrift für die Flächenstücke, bereitet die Daten auf und löst die Strakaufgaben. Sie wird von allen Algorithmen verwendet, die auf die Formschnittstelle zugreifen. Das Ergebnis dieser Berechnung ist ein geschlossener Polygonzug.

Für den Quader gilt eine ähnliche Vorgehensweise.

- Das errechnete Polygon einer Schnittebene wird von den übrigen spezifizierten Schnittebenen (falls vorhanden) sowie den Ebenen der Begrenzungsflächen des vorhandenen Raumes abgeschnitten. Aus dem Polygon wird ein neues Polygon so berechnet, daß die umschlossene Fläche auf den gegenüberliegenden Seiten zur Normalen dieser Ebenen liegt.

Dafür wird von der funktionalen Darstellung einer Ebene  $f(x, y, z)$  Gebrauch gemacht. Alle Punkte  $(x, y, z)$  mit  $f(x, y, z) = 0$  liegen auf der Ebene, alle Punkte mit  $f(x, y, z) > 0$  liegen auf der einen und die mit  $f(x, y, z) < 0$  liegen auf der anderen Seite dieser Ebene. Diese Kenntnis ist zudem recht brauchbar in vielen Fällen – insbesondere für die Behandlung von Algorithmen zur Ausblendung verdeckter Kanten (s. Abschn. 5.1).

#### 4.1.2 Abschneiden einer raumbegrenzenden Fläche

Aus dem Polygonzug eines raumbegrenzenden Flächenelementes wird ein neues Polygon so berechnet, daß die umschlossene Fläche auf den gegenüberliegenden Seiten zur Normalen der Schnittebenen liegt.

## 4.2 Ermittlung der Begrenzungen eines Raumes

In den meisten Fällen stellen die so generierten Polygone schon die Begrenzungsflächen von neuen Räumen durch Abschneiden dar.

Ungleich komplizierter wird das Problem beim Abschneiden eines Raumes, der untergeordnete Räume enthält; d.h. daß der Raum durch vorangegangene Verknüpfung entsteht. Dazu bedarf es einer Baumstruktur, die die untergeordneten Räume rechnerintern verwaltet und steuert, um das Abschneiden mit den Räumen zu ermöglichen. Das Ergebnis ist eine Polygonmenge, und darauf aufbauend werden diese Polygone automatisch unter Anwendung der mengentheoretischen Operationen, wie im folgenden Abschnitt 4.4 beschrieben, wiederum rechnerintern miteinander verknüpft. Dadurch wird die Geometrie des neuen Raums generiert.

Unabhängig von den Raumbeschreibungsarten werden alle Räume einheitlich durch ihre ebenen Begrenzungsflächen in linear verbundener Punktfolge  $(x, y, z)$  in die Datenbank gebracht.

Gebogene Grenzflächen von Räumen werden implizit berücksichtigt. Dafür sind Kurvenbegrenzungen hilfreich. Beim Abschneiden eines Raumes wird die neue Kurvenbegrenzung so berechnet, daß die Punktmenge ebenfalls auf den gegenüberliegenden Seiten zur Normalen der Schnittebenen liegt.

### **4.3 Bearbeitung geometrischer Fragestellungen**

Zur Problemlösung bei der geometrischen Verarbeitung, z.B. bei der Schnittpunktberechnung, Bildung von Teilkurven, Durchdringung zweier durch Kanten berandeter Flächen etc. sind Programmodule erstellt worden. Einige der vorstehenden geometrieverarbeitenden Routinen sind so allgemein entwickelt worden, daß sie für die verschiedenen Algorithmen ebenso für die Zeichnungserstellung anwendbar sind.

#### 4.4 Mengentheoretische Verknüpfungen von Volumina

Der logische Vorgang der Verknüpfung von Volumina sowie die Gestaltbestimmung der raumteilenden Elemente (*merging*) wird als Verschmelzung bezeichnet. Die Verknüpfungsfunktionen gewährleisten die mengentheoretischen Operationen: Vereinigung ( $\cup$ ), Durchschnitt ( $\cap$ ) und Differenz ( $-$ ) zweier Polygone (Abb. 4.2).

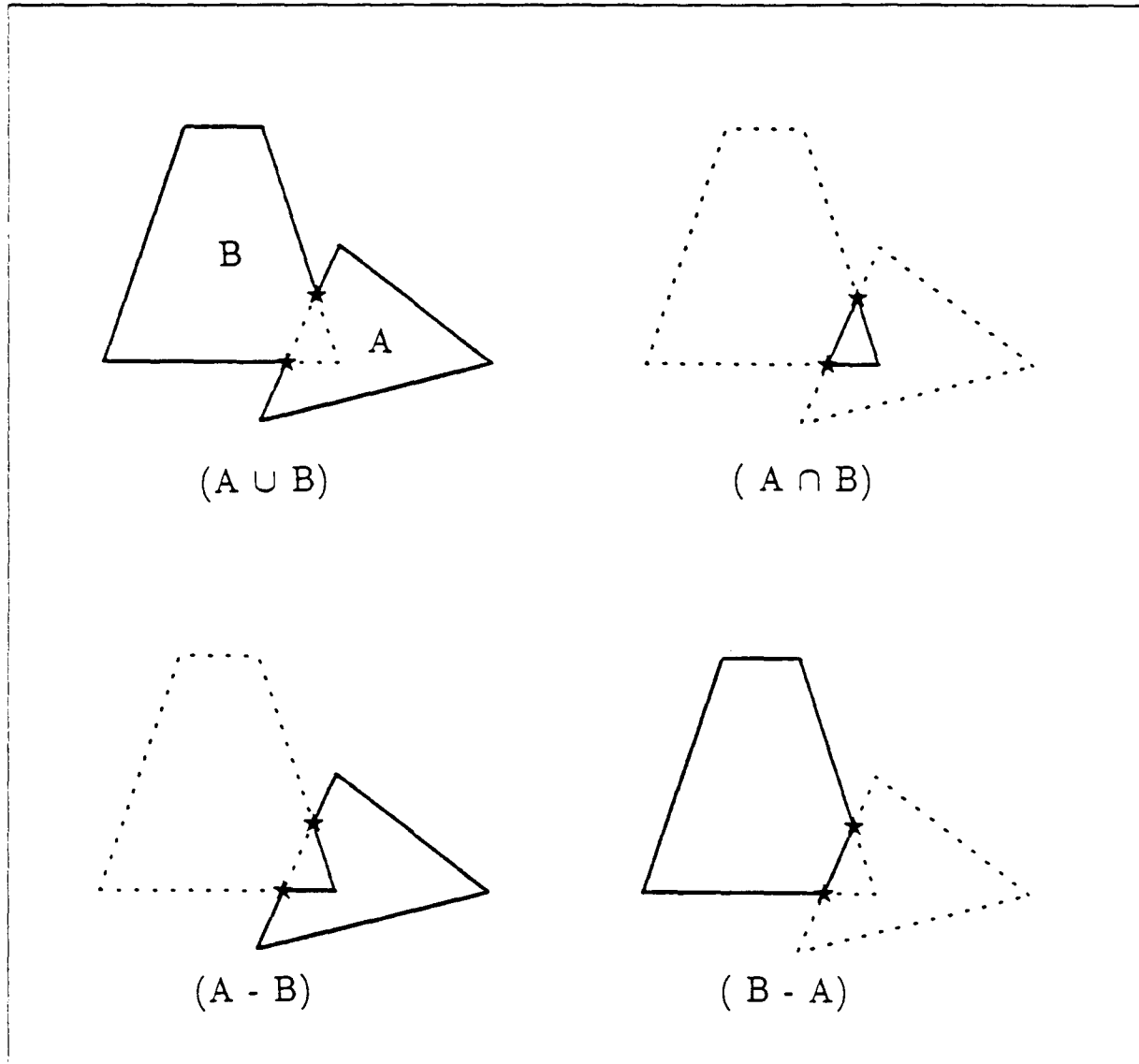


Abb. 4.2: Die mengentheoretischen Verknüpfungen

Bei dem hier angewendeten Kontaktflächenverfahren lassen sich Volumenelemente an ebenen Flächen verknüpfen. Die Flächenpaare, die in derselben Ebene liegen und aneinander angrenzen oder sich gegenseitig überlappen, werden zu resultierenden Flächen zusammengefaßt. An der Kontaktfläche findet dann die Verschmelzung statt, in dem die Flächen modifiziert oder teilweise gelöst werden. Die Verknüpfung wird somit auf eine Analyse der Berandungskanten der beteiligten Volumenelemente zurückgeführt.

Für die programmtechnische Verarbeitung der Flächenverknüpfungen sind zwei unterschiedliche Algorithmen entwickelt worden, nämlich:

- Verschmelzungsalgorithmus Typ I
- Verschmelzungsalgorithmus Typ II

Beide Algorithmen sind weitgehend 2D-Operationen. Sie ergeben Schnittkoordinaten als neue Eckpunkte. Daraus ergibt sich der Vorteil, daß die Berandungskanten des resultierenden Volumens die Summe aller Kanten oder Kantensegmente der beiden Volumenelemente sind.

Hierbei stehen geeignete mathematische Operationen im Mittelpunkt der Geometrieerzeugung (s. Abschn. 4.4.3).

#### 4.4.1 Verschmelzungsalgorithmus Typ I

*Additiv:*  $A \oplus B :=$  Vereinigung der Mengen  $A$  und  $B$ , wobei die Schnittmenge von  $A$  und  $B$  gelöscht wird

$$\begin{aligned} A \oplus B &= (A \cup B) - (A \cap B) \\ &= (A - B) \cup (B - A) \end{aligned}$$

*Subtraktiv:*  $A \ominus B :=$  Menge  $A$ , wobei die Schnittmenge von  $A$  und  $B$  gelöscht wird

Die Typ I - Verschmelzung dient der Vereinigung oder Trennung von Volumenelementen. Die Volumenelemente werden an den Berührungsflächen zu einem neuen Volumen verschmolzen. Die gemeinsame Berührungsfläche wird entfernt oder als nicht vorhanden betrachtet. Alle anderen Flächen und Kanten bleiben praktisch unverändert.

Abbildung 4.3 veranschaulicht das Prinzip von Typ I - Verschmelzung für die Vereinigung und Trennung zweier Volumenelemente. Das hier verwendete Verfahren geht davon aus, daß zu einem Volumenelement weitere Volumenelemente additiv hinzugefügt oder subtraktiv abgezogen werden können.

#### 4.4.2 Verschmelzungsalgorithmus Typ II

*Additiv:*  $A + B :=$  Vereinigung der Mengen  $A$  und  $B$   
 $A + B = (A \cup B)$

Abbildung 4.4 verdeutlicht das Prinzip von Typ II - Verschmelzung für die Kombination zweier Volumenelemente. Hierbei werden Volumenelemente an den Kontaktzonen übereinander geklebt. Der Algorithmus beruht darauf, daß die gemeinsamen Kontaktflächen der beiden Volumenelemente ignoriert werden.

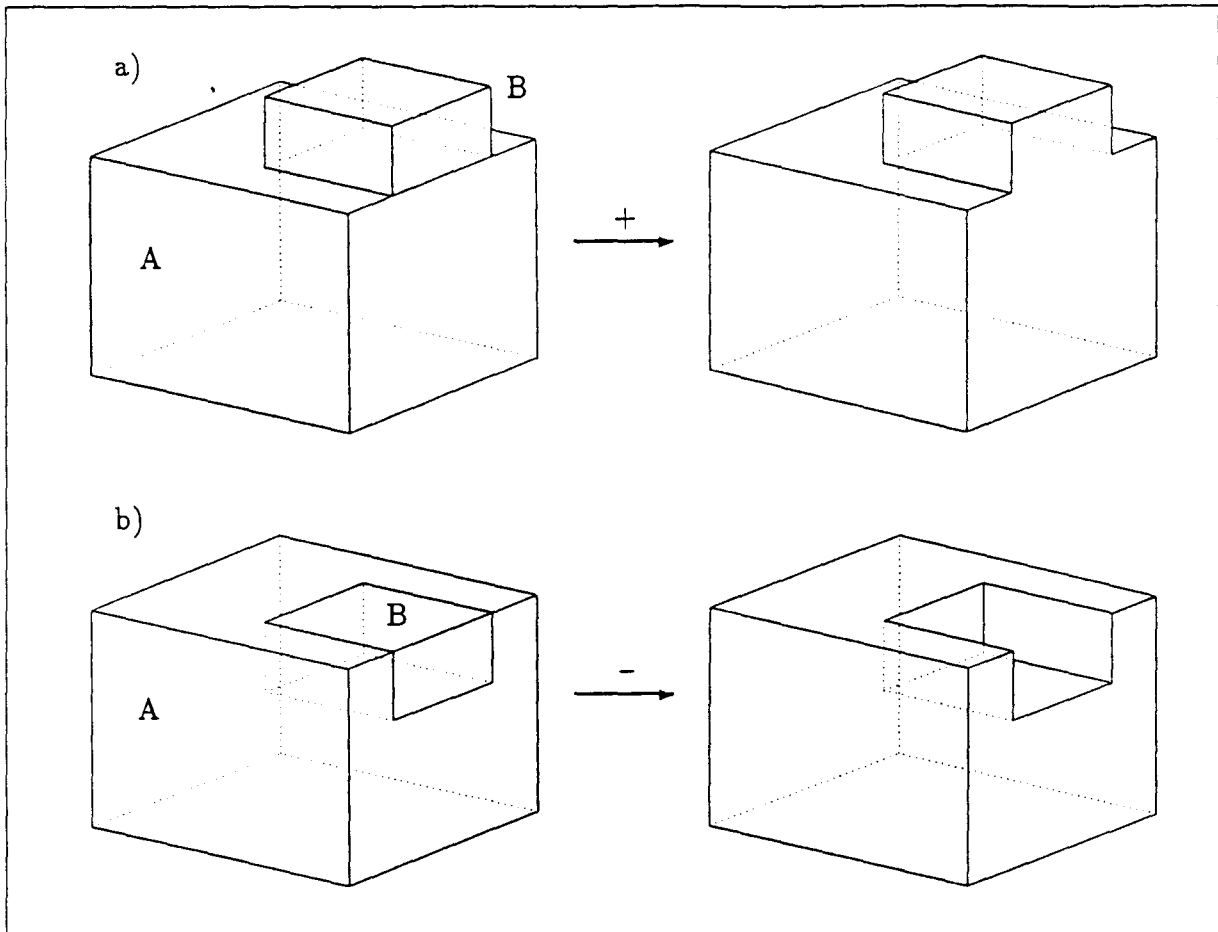


Abb. 4.3: Typ I - Verschmelzung

a) *Additiv* : A, B positiv und disjunkt

b) *Subtraktiv* : A positiv, B negativ und innerhalb von A

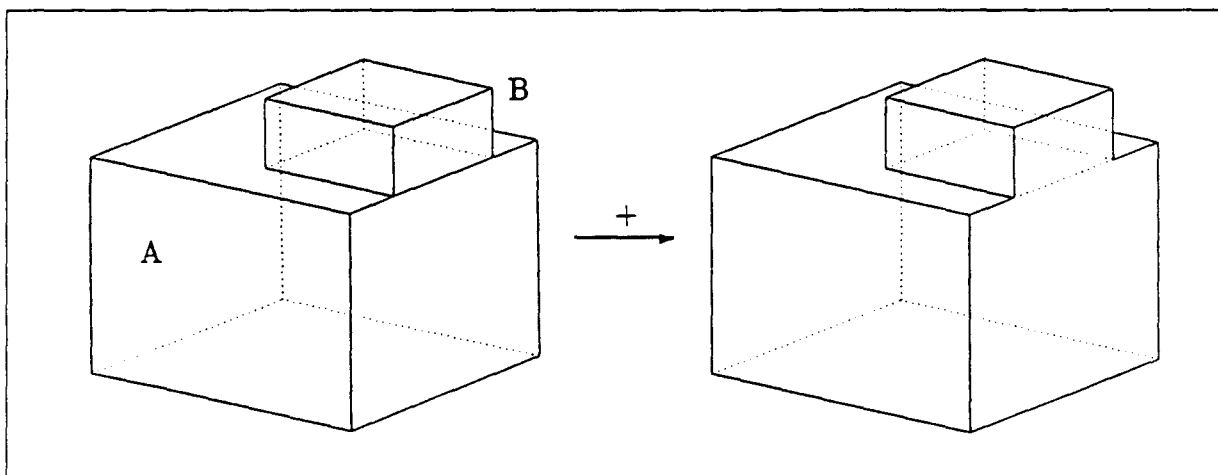


Abb. 4.4: Typ II - Verschmelzung

*Additiv* : A, B positiv

### 4.4.3 Mengentheoretische Operationen für Polygone

Der Erzeugungsprozeß, dem die beiden Verschmelzungsalgorithmen zugrunde liegen, wird dabei in mehreren Schritten abgewickelt. Im folgenden wird am Beispiel der Abbildung 4.3 a) und 4.4 der Ablauf der positiven Verknüpfung der Räume A und B durch die Kantenganalyse erläutert.

- Schritt 1 (Vorbereitung)

Im ersten Schritt werden zunächst alle Flächenelemente beider Volumenelemente auf die entsprechenden 2D-Koordinatenebenen projiziert, mit dem Ziel, diese Flächenelemente als 2D-Flächen, die aus Polygonen bestehen, behandeln zu können und festzustellen, ob sie potentielle Kontaktflächen (z.B. Fläche A von Raum A und Fläche B von Raum B in Abb. 4.5) aufweisen.

Jedes Polygon ist durch einen geschlossenen Linienzug mit den x- und y-Koordinaten der Eckpunkte definiert. Die Eckpunkte der 2D-Außenkontur einer jeden Fläche sind in dem Gegen-Uhrzeigersinn sortiert. Dies geschieht durch die Bestimmung des Vorzeichens des Flächeninhaltes mit der Formel:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

wobei  $((x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n)$  die  $n$  Eckpunkte eines Polygons sind. Ein im Gegen-Uhrzeigersinn orientiertes Polygon ist durch einen positiven Inhalt gekennzeichnet. Die Eckpunkte eines inneren Polygons werden dementsprechend im Uhrzeigersinn angeordnet, d.h. in Kantenrichtung gesehen, befindet sich die Fläche stets links von den Kanten.

Aus Gründen der schnellen mengentheoretischen Operationen werden aber zusätzlich die Extremwerte jeder Fläche in den zwei Achsrichtungen des Koordinatensystems berechnet und zwischengespeichert. Die hierdurch aufgespannten umschließenden Rechtecke werden für die Erkennung der Überlappung benötigt. Von vornherein sind nur aneinanderstoßende oder sich gegenseitig überlappende Flächen von der Verknüpfung betroffen.

- Schritt 2 (Bestimmung von Überlappungen)

Jeweils vor der Ausführung der Verschmelzung zweier Flächen werden die Polygone der Flächen gegebenenfalls miteinander zum Schnitt gebracht (s. hierzu Schritt 3 für die Schnittberechnungen mit Geradengleichungen). In Abhängigkeit davon, ob die Flächen sich durchdringen, überlappen oder voneinander trennbar sind, wird eine rechnerinterne Zuordnung der mengentheoretischen Operationen hinsichtlich der Verschmelzungsart getroffen ( $A - B$  in Abb. 4.5 a) und  $A \cup B$  in Abb. 4.5 b) ).

Für die weitere Behandlung der Operation Differenz sind die Laufrichtungen der Polygone der abzuziehenden Fläche umzuändern. Z.B. die Orientierung des Polygons B für die Operation  $A - B$  ist im Uhrzeigersinn zu richten.

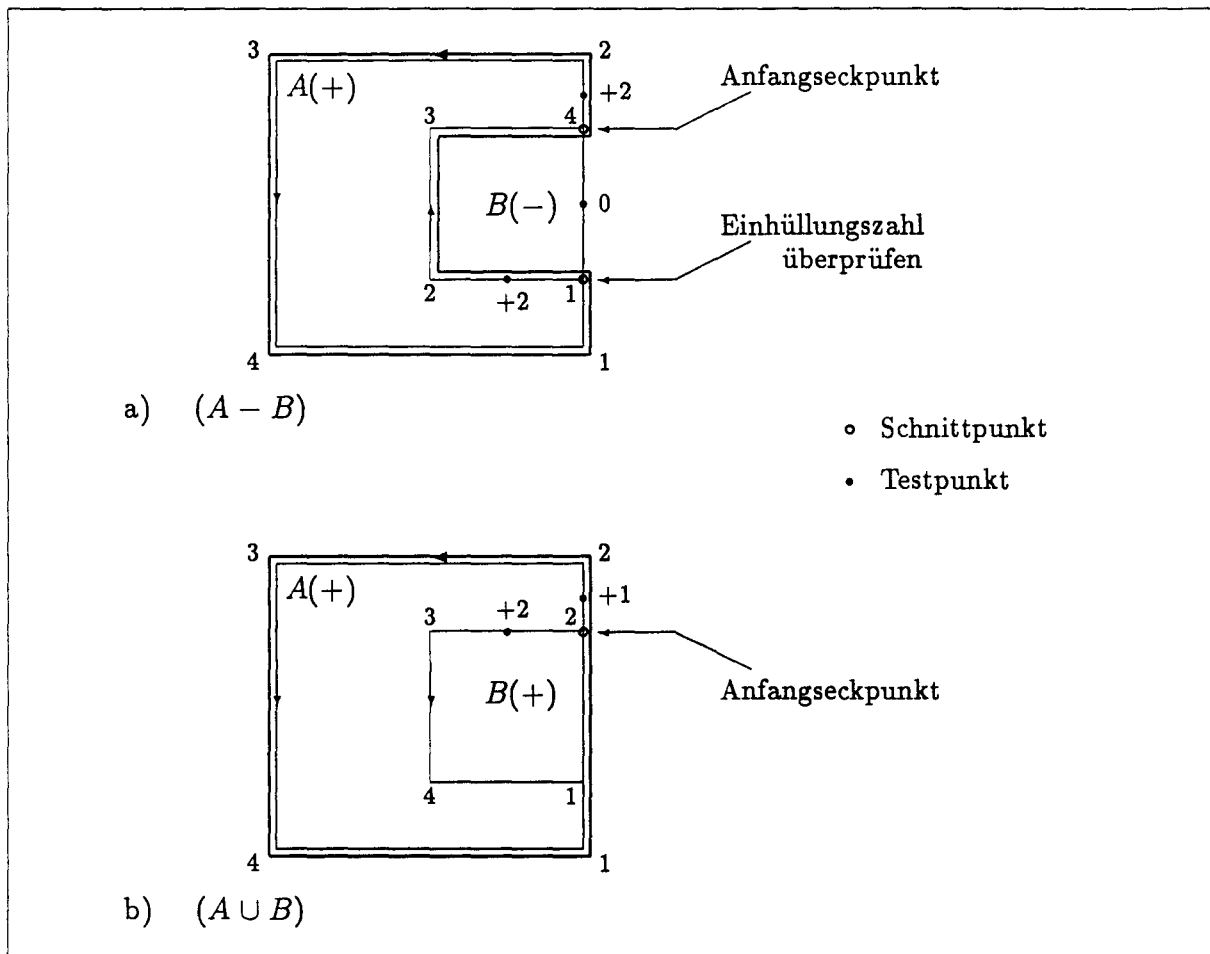


Abb. 4.5: Herleitung der Ergebniskontur zweier Flächen

• Schritt 3 (Schnittbestimmung)

Alle Kanten einer von zwei schnittfähigen Polygonen z.B.  $A, B$  werden mit denen des anderen Polygons verglichen und durchstoßen, falls dies erforderlich ist. Um möglichst wenige solcher Schnittpunkte zu berechnen und dadurch die Verarbeitungsgeschwindigkeit für die Behandlung des Schnittproblems einer Kante mit einem Polygon zu erhöhen, werden die zur Erzeugung von potentiellen Schnitten uninteressanten Fälle vorab ausgeschieden. Dazu werden die Extremwerte der Kante bestimmt und mit dem umhüllenden Rechteck des Polygons verglichen. Ferner wird untersucht, ob das Polygon auf derselben Seite der Kante oder komplett auf der anderen Seiten der Geraden durch die Kantenendpunkte im rechten Winkel zu der Kante liegt.

Das Verfahren zur Schnittpunktbestimmung zweier Kanten mit den jeweiligen Parameterwerten  $\mu$  und  $\lambda$  beruht auf der Grundlage der mathematischen Schnittpunktbestimmung zweier Geraden, die in der Punkt-Richtungsform dargestellt sind. Ein Schnittpunkt existiert nur, falls die beiden Geraden nicht parallel sind und wenn der Abstand zwischen ihnen gleich Null ist. Falls  $\mu, \lambda \notin (0; 1]$ , schnei-

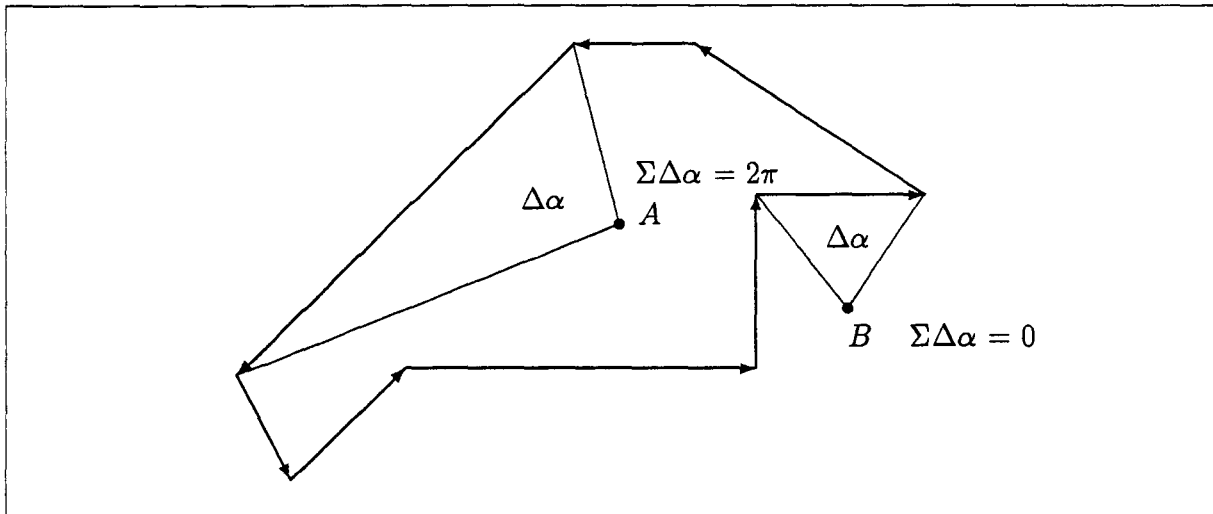


Abb. 4.6: Winkelsummentest: Testpunkt  $A$  liegt innerhalb,  $B$  außerhalb des Polygons

den sich die beiden Kanten nicht. Die Erkennung von Kantenberührungen oder -überlappungen und die daraus auftretenden Schnittpunkte bedürfen einer besonderen Zulässigkeitsprüfung. Diese Besonderheiten sind ausführlich in [57] behandelt. Die Parameterwerte der Schnittpunkte  $\mu, \lambda$  sowie die Kantenindizes der Endpunkte der beiden Kanten werden in einer Liste zwischengespeichert.

- Schritt 4 (Herleitung neuer Flächen)

Im letzten Schritt geschieht das Ermitteln der Ergebnisberandungskonturen beider Polygone. Die Schnittpunkte dienen als neue Eckpunkte für die Ergebniskonturen. Alle Kanten werden an den Schnittpunkten in Kantensegmente aufgegliedert, falls sie nicht Endpunkte von Kanten sind. Die Kanten oder Kantensegmente erhalten eine 'Einhüllungszahl', die angibt, ob sie gegenüber der anderen Fläche außerhalb, innerhalb oder auf dem Rand liegen. Ein Kantensegment (bzw. eine Kante), das durch einen Testpunkt repräsentiert ist, befindet sich innerhalb oder außerhalb der Fläche, falls die Einhüllungszahl des Testpunktes gleich 2 bzw. 1 ist. Liegt das ganze Kantensegment auf einer Kante oder einem Kantensegment der korrespondierenden Fläche, beträgt die Einhüllungszahl 0, falls weitere Untersuchungen zeigen, daß dieses ein unbrauchbares Kantensegment ist.

Zur Problemlösung dieser Frage wird von dem Winkelsummentest (Abb. 4.6) Gebrauch gemacht. Der Testpunkt ist der Mittelpunkt des jeweiligen Kantensegmentes. Beim Durchlaufen des Randes eines Polygons mit gleichzeitiger Berechnung des einzelnen Winkels  $\Delta\alpha$  (mit Vorzeichen) und anschließendem Aufsummieren  $\Sigma\Delta\alpha$ , kann festgestellt werden, ob der Testpunkt innerhalb ( $\Sigma\Delta\alpha = 2\pi$ ), außerhalb ( $\Sigma\Delta\alpha = 0$ ) oder auf dem Rand des Polygons liegt. Abhängig davon, ob es sich um ein positives oder negatives Polygon handelt, wird die Einhüllungszahl entsprechend um 1 erhöht oder verringert.

Abschließend erfolgt das Bilden der Ergebniskontur durch eine Kantenanalyse. Beginnend auf einem Schnittpunkt und in Kantenrichtung werden die Einhüllungs-

zahlen der Kanten oder Kantensegmente der beiden Polygone berechnet. Die erste Kante der Ergebniskontur entspricht der Kante oder dem Kantensegment desjenigen Polygons, dessen Einhüllungszahl mit dem gewünschten Einhüllungszahlparameter der jeweiligen mengentheoretischen Operation (z.B. 2 für  $A - B$ ; 1 für  $A \cup B$ ) übereinstimmt.

Beim nachfolgenden Durchlaufen des gewählten Randes werden die Eckpunkte der Ergebniskontur durch Aneinanderreihen der zugehörigen Eckpunkte des Polygons aktualisiert, bis zur Entdeckung eines Schnittpunktes. Es wird auf ein Kantensegment des anderen Polygons gewechselt, wenn der Schnittpunkt kein Endpunkt einer Kante ist, d.h. wenn der Schnittpunkt am Kreuzungspunkt zweier Kanten steht. Andernfalls wird eine Neuprüfung der Einhüllungszahl der beiden beteiligten Kanten durchgeführt. Spezielle Fälle wie die Berührung oder Überlappung von Kanten sind mit Sorgfalt zu behandeln.

Dieses Umlaufverfahren wiederholt sich bis zum Treffen des ersten Schnittpunktes. Durch die Bestimmung des Vorzeichens des Flächeninhaltes der Ergebniskontur, die geschlossen ist, kann festgestellt werden, ob es sich um ein positives oder negatives Polygon handelt.

Der ganze Vorgang der Herleitung wird wiederholt bis alle verbleibenden Schnittpunkte abgearbeitet. Alle identische, ineinander- oder auseinanderliegende Polygone, die keine Schnittpunkte aufweisen, werden nun untersucht, um festzustellen, ob sie als Ganzes Ergebniskonturen bilden.

Das Endergebnis sind eine oder mehrere Flächen mit oder ohne innere Polygone.

Für die Algorithmen zu Schritt 3 und 4 ist ein Softwarepaket [57], das im Rahmen dieser Arbeit entstanden ist, vorgesehen.

Die Implementation der zweidimensionalen mengentheoretischen Operationen bildet den umfangreichsten Teil des vorliegenden Raumaufteilungssystems. Abbildung 4.2 ist durch Aufruf des genannten Softwarepaketes erstellt worden.

## 4.5 Ermittlung der Schnittkanten zweier ebener Flächen

Schnittkanten entstehen, wenn sich jeweils zwei benachbarte Flächen berühren oder durchdringen.

Eine solche Schnittkante wird nur einmal errechnet. Für die Darstellung wird sie somit nur einmal gezeichnet und für die weiterführenden Berechnungen sowie die Schnittbildung durch die Unterteilungselemente nur einmal erfaßt (s. Abschn. 7.3.2 auf Seite 83). Die hier zugrundeliegende Datenstruktur läßt insbesondere bei den Algorithmen zur Ausblendung verdeckter Kanten erkennen, ob sich die Flächen gegenseitig durchdringen oder an einer Kante zusammenstoßen oder aneinander angrenzen.

Die Durchdringung zweier Ebenen liefert lediglich eine Gerade im Raum. Ungleich schwieriger werden die Probleme beim Schnitt zweier durch Kanten berandeter Flächen da die Schnittlinie endlich ist. Das Ergebnis besteht in diesem Fall aus einem oder mehreren Liniensegmenten. Schnittkanten verschiedener Art können entstehen.

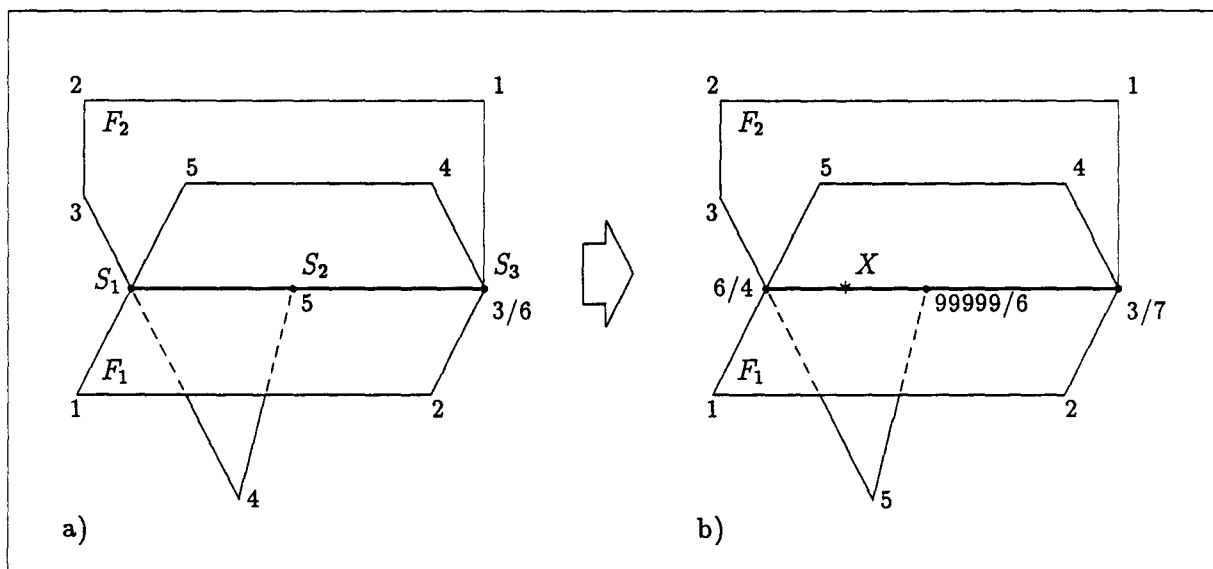


Abb. 4.7: Vorgehensweise zur Ermittlung von Schnittkanten

Die Ermittlung der Schnittkanten wird im folgenden anhand des Schnittes zweier ebener Flächen kurz beschrieben. Der Algorithmus zur Problemlösung gliedert sich in vier Hauptschritte:

- **Schnittpunktbestimmung der Kanten zweier Flächen**  
Die Schnittpunkte zwischen den einzelnen Kanten der Fläche  $F_1$  mit der Fläche  $F_2$  in der höheren Liste werden ermittelt. Die Schnittpunkte ( $S_1, S_2, S_3$  in Abb. 4.7 a)) werden in einer Liste zwischengespeichert.
- **Schnittpunktanordnung auf der Schnittlinie**  
Ein Schnittpunkt gehört stets zu beiden Flächen. Falls der Schnittpunkt mit keinem der Eckpunkte der Flächen übereinstimmt, müssen zusätzliche Eckpunkte

eingeführt, die Kanten zerlegt und die Kantenindizes neu durchnummeriert werden.

Abbildung 4.7 verdeutlicht den Vorgang bei Einführung eines neuen Eckpunktes mit anschließender Sortierung der Kantenindizes entsprechend der Orientierung beider Flächen. Der neue Eckpunkt wird an dem Schnittpunkt  $S_1$  (Abb. 4.7 b)) eingeführt. Kante 5-1 von Fläche  $F_1$  wird in zwei Kanten 5-6 und 6-1 und Kante 3-4 von Fläche  $F_2$  in zwei Kanten 3-4 und 4-5 zerlegt.

Da sich der Schnittpunkt  $S_2$  innerhalb der Fläche  $F_1$  befindet und nicht einem Eckpunkt zugeordnet werden kann, wird er durch 99999 markiert und mit dem Kantenindex 6 von Fläche  $F_2$  gekennzeichnet.

Der Schnittpunkt  $S_3$  stimmt mit jeweils einem der Eckpunkte der beiden Flächen überein. Keine Kantenaufteilung sowie Eckpunkteinführung ist dann erforderlich.

- Ermittlung der Liniensegmente, die zu beiden Flächen gehören

Die Parameterwerte  $\mu$  der aufeinanderfolgenden Schnittpunkte werden berechnet. Danach werden die Schnittpunkte in aufsteigender Reihenfolge umsortiert, d.h. der Schnittpunkt mit kleinstem  $\mu$  steht am Beginn der Liste. Zur Bestimmung der wirklichen Schnittkanten wird die Schnittlinie an den Schnitt- sowie Berührungspunkten segmentiert. Je zwei benachbarte Schnittpunkte werden miteinander verbunden und bilden ein Liniensegment.

In Abbildung 4.7 wird die Schnittlinie in zwei Segmente (Liniensegment 4-6 und 6-7 bezüglich  $F_2$ ) aufgeteilt.

- Klassifikation der Schnittkanten

Der Algorithmus klassifiziert die Schnittkante in vier Gruppen: *Art I* bis *IV-Kanten*.

Diese Klassifikation beruht auf der Lagebeziehung des Liniensegmentes zu beiden Flächen. Diese Beziehung ist durch die Booleschen Variablen  $inF_1$  und  $inF_2$  gekennzeichnet. Das Liniensegment muß den Flächen gegenübergestellt werden, und es ist zu untersuchen, ob sich weitere Eckpunkte der jeweiligen Flächen zwischen den Kantenindizes der Anfangs- sowie Endpunkte des Liniensegmentes befinden.

Das Ergebnis am Beispiel der Abbildung 4.7 b) liefert  $inF_1 = False$  und  $inF_2 = False$  für Liniensegment 4-6 und  $inF_1 = False$  und  $inF_2 = True$  für Liniensegment 6-7. Das Liniensegment 6-7 bildet eine *Art II-Kante*.

Im ersten Fall muß der Mittelpunkt  $X$  des Liniensegmentes errechnet und geprüft werden, ob er innerhalb oder außerhalb der Fläche  $F_2$  liegt. Dafür ist der Algorithmus zur Bestimmung der Einhüllungszahl aufzurufen. In diesem Beispiel liegt er jedoch in Fläche  $F_2$ . Es handelt sich um eine *Art I-Kante*. Die Daten der *Art I-Kante* enthalten z.B. die Attributwerte 1; 4; 6; 0 und Zeiger zu den Flächen  $F_1$  und  $F_2$ .

Falls der Testpunkt  $X$  sich außerhalb  $F_2$  befindet, kann das Liniensegment keine Schnittkante bilden (Abb. 4.8).

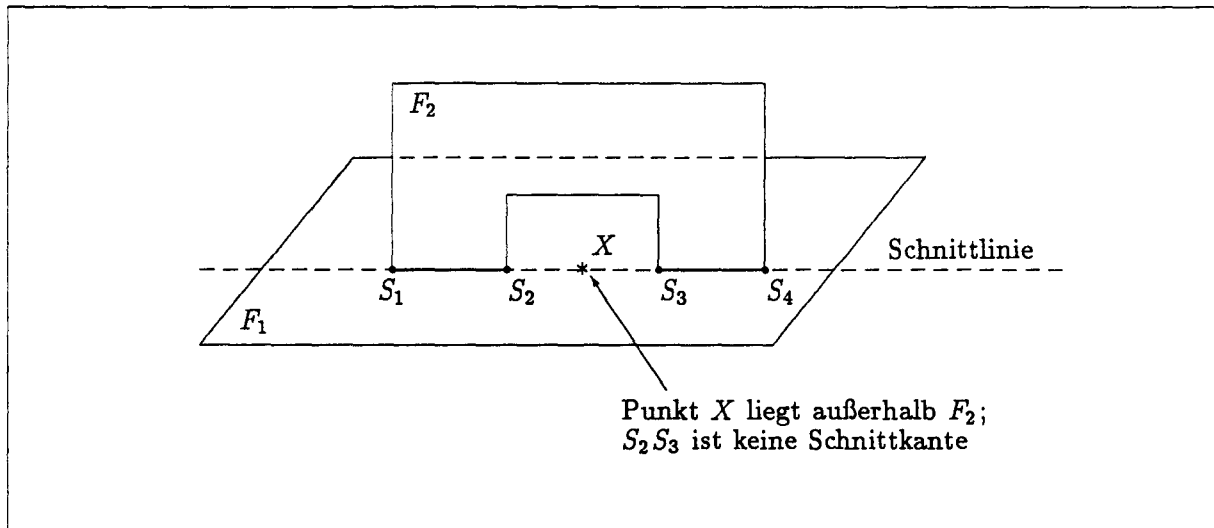


Abb. 4.8: Liniensegment bleibt unberücksichtigt

Dieses Verfahren zur Bestimmung einer *Art I-Kante* führt gleichzeitig auch zum Ziel, daß sich zwei durchdringende Flächen an den beiden Durchstoßpunkten indirekt aufgeteilt werden.

## 5 Hilfstechiken zur 3D-Darstellung

Die grafische 3D-Darstellung räumlicher Objekte erfordert zur Vermittlung eines realistischen und anschaulichen Bildes zwei Techniken:

- Ausblenden verdeckter Kanten
- 3D-Fenster

Ohne diese Techniken erhält man unübersichtliche und mehrdeutige Darstellungen (Abb. 5.1, vgl. hierzu Abb. 6.11 mit Ausblendung aller verdeckten Kanten).

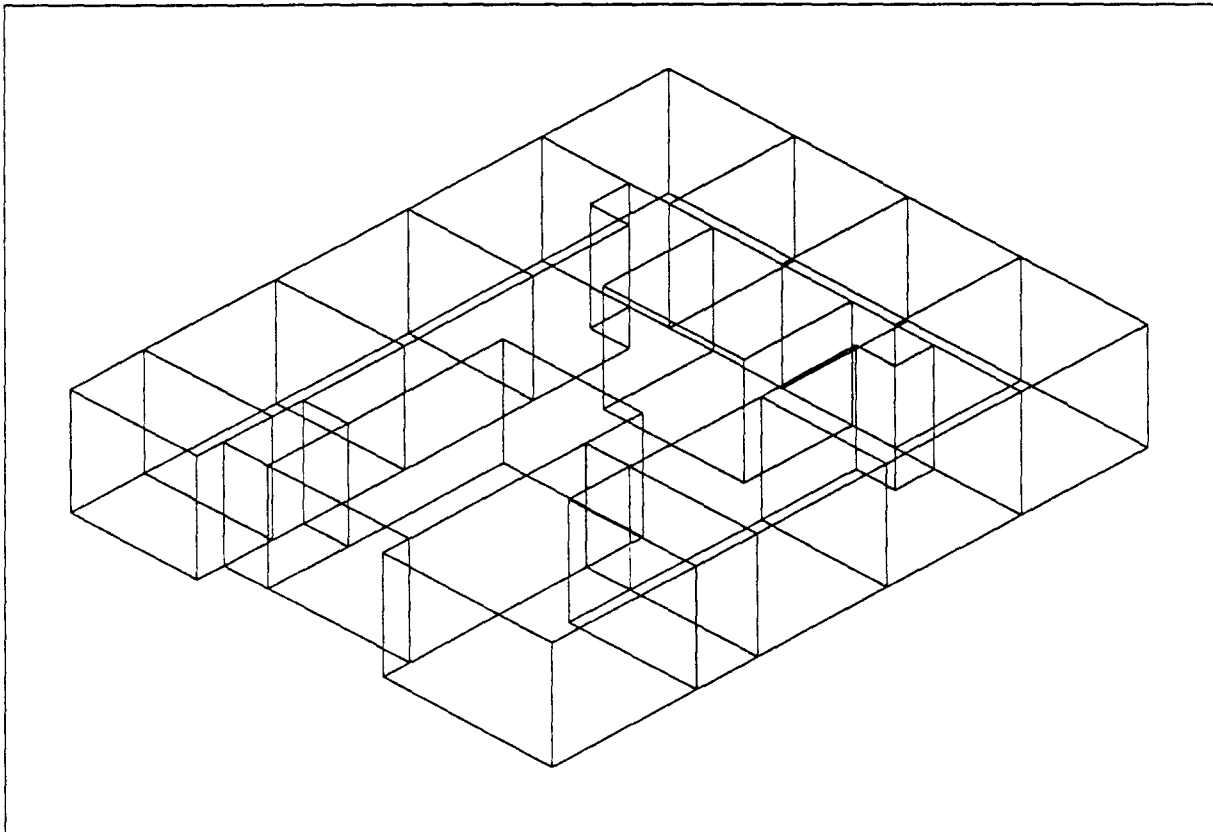


Abb. 5.1: Grafische Darstellung eines Aufbaudecks mit allen Kanten

### 5.1 Hidden-Line-Techniken

Diejenigen Teile eines Gebildes, die dem Beobachter nicht sichtbar erscheinen, weil sie entweder vom Gebilde selbst verdeckt oder durch andere Gebilde verdeckt werden, entfallen bei der Darstellung im Zweidimensionalen oder werden andersartig (z.B. gestrichelt) dargestellt.

Bis heute sind eine Reihe verschiedener Sichtbarkeitsverfahren [49] – [53] je nach Anwendungsgebiet oder Geräteeigenschaften entwickelt worden. Die meisten Algorithmen

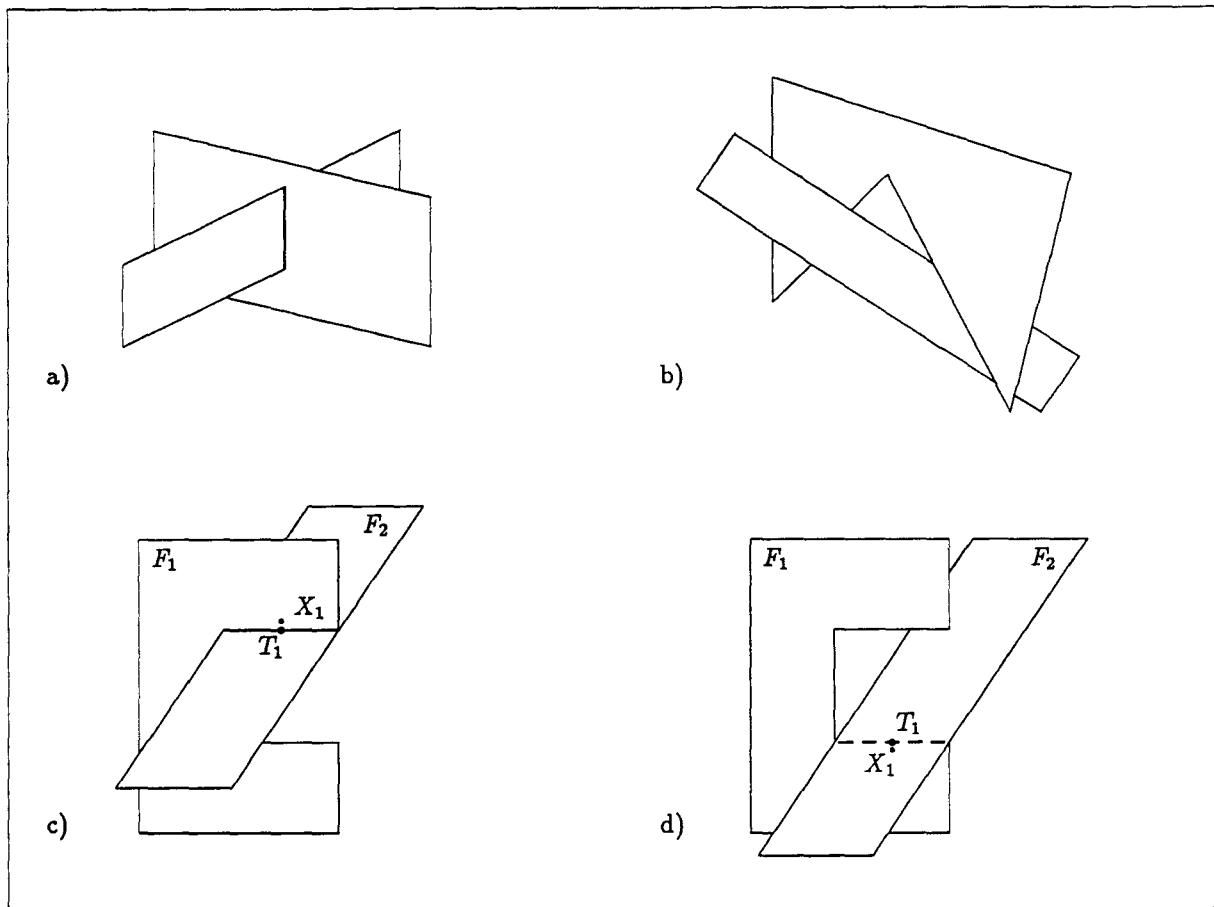


Abb. 5.2: Beispiele von gegenseitigen Verdeckungen

setzen voraus, daß sich die Objekte nicht gegenseitig durchdringen dürfen und linear trennbar sein müssen. Manche Algorithmen beschränken sich nur auf die Darstellung und Bearbeitung von konvexen Volumina. Die Polyeder (ebenbegrenzte Körper) müssen so aufgebaut werden, daß die Flächennormalenvektoren stets so orientiert sind, daß sie aus dem eingeschlossenen Volumen herausragen. Eine Klassifizierung der Sichtbarkeitsalgorithmen hinsichtlich des Arbeitsraumes sowie Arbeitsprinzips enthält die Arbeit von Sutherland, Sproull und Schmacker [49].

Für die hier hauptsächlich interessierenden schiffsinneren Räume, die nicht nur durch konkave Flächen oder Flächen mit Löchern begrenzt werden, sondern auch durch Unterteilungsflächen, die sich durchdringen oder verzahnt ineinander liegen können, eignen sich diese Algorithmen wegen der strengen einschränkenden Anforderungen nicht zum Lösen des Hidden-Line-Problems. Dazu benötigt man einen effizienten Algorithmus zur Problemlösung bei der Bestimmung der verdeckten sowie sichtbaren Kanten von beliebigen ebenflächig begrenzten Gebilden, auch wenn sich die Flächen durchdringen oder sogar gegenseitig verdecken (Abb. 5.2).

Die allgemeine Anwendbarkeit des Verfahrens ist zurückzuführen auf einen vorge-schalteten Algorithmus, der rechnerintern zwischen allen Flächen die Schnittkanten ver-

schiedener Arten (*Art I- bis IV-Kanten*) ermittelt (s. Abschn. 4.5 auf Seite 40) und abspeichert. Somit kann man ohne mehr Berechnungsaufwand die Flächenbegrenzung in geradlinige trennbare Kanten zerlegen und gleichzeitig für die Sichtbarkeitsprüfung einsetzen. Im Anschluß daran vollzieht sich die Sichtbarkeitsprüfung aller Kanten der Flächen.

Der folgende Hidden-Line-Algorithmus geht davon aus, daß die Gebilde durch Parallelprojektion abgebildet sind, wobei der Betrachter (oder das Projektionszentrum) im Unendlichen liegt. Das gleiche Prinzip kann auch für Gebilde, die durch Zentralprojektion dargestellt sind, angewendet werden.

Durch die Projektion des 3D-Gebildes erhält man für jeden Objektpunkt die entsprechenden 2D-Betrachterkoordinaten. Diese erlaubt die Sichtbarkeitsuntersuchung auf der Betrachtungsebene (d.h. zunächst zweidimensional) vornehmen zu können. Die Punktkoordinaten der 2D-Außen- sowie Innenkontur sind durch Bestimmung des Flächeninhaltes in dem Gegen-Uhrzeigersinn bzw. Uhrzeigersinn gerichtet.

Für jede 2D-Fläche wird ein umhüllendes Rechteck, dessen Seiten parallel zu den Koordinatenachsen verlaufen, definiert. Um die Zahl der zu testenden Kanten zu reduzieren, werden alle Flächen untersucht, um festzustellen, mit welchen anderen Flächen sie aufgrund ihrer Ausdehnung in Richtung der X- und Y-Achse zu einer Verdeckung kommen können. Als Ergebnis des Suchvorgangs wird eine Matrix generiert, in der die Nichtüberlappung von Flächen eingetragen ist. Dieser Schritt bewirkt, daß die folgenden rechenintensiven Arbeitsgänge nur noch für die gefundenen möglichen Verdeckungs-paare erforderlich sind.

In einem ersten Prozeß werden die Kanten der jeweils einer Fläche mit allen anderen Flächen verglichen. Es wird vor der Ausführung des Vergleiches einer Kante mit einer Fläche angenommen, daß die ganze Kante (d.h. NOS=1) sichtbar ist.

Sobald eine *Art III-Kante* festgestellt wird, wird die Sichtbarkeitsprüfung für diese Kante beendet. Da eine *Art III-Kante* die gemeinsame berührende Begrenzungskante zweier Fläche darstellt, wird diese somit nur einmal untersucht.

Die meisten Flächen brauchen allerdings bei der Betrachtung irgendeiner Kante nicht genauer untersucht zu werden. Die Extremwerte für die einzelnen Kanten werden bestimmt und mit dem umhüllenden Rechteck der Flächen solange verglichen, bis die Kante das Rechteck schneidet. Die Kante wird mit der Fläche zum Schnitt gebracht, um damit festzustellen, welche Kantenteile sichtbar und welche verdeckt sind. Die vorangehende Ausscheidung von leicht erkennbaren Situationen sowie die nachfolgende Behandlung der Schnittpunkte erfolgt unter Verwendung der aus dem Abschnitt 4.4.3 (Schritt 3) bekannten Prüfkriterien sowie Methoden der Schnittpunktberechnungen.

Die Schnittpunkte der Kante mit einer Fläche teilen die Kante in sichtbare und unsichtbare Bereiche, nämlich wenn sie durch die Fläche verdeckt sind. Die Parameterwerte der aufeinanderfolgenden Schnittpunkte werden berechnet und darauf aufbauend werden die Schnittpunkte aufsteigend sortiert.

Die Kante wird an den Schnittpunkten in eine Reihe Kantensegmente gegliedert. Die Feststellung der Sichtbarkeit erfolgt durch die Bestimmung eines Testpunktes (Mittelpunkt eines Segmentes) auf jedem Segment und die Überprüfung, ob der Testpunkt

durch die Fläche verdeckt wird. Der Mittelpunkt  $(x_m, y_m)$  des jeweiligen Segmentes zwischen zwei Schnittpunkten wird zuerst getestet, ob er innerhalb oder außerhalb der Fläche liegt. Der Algorithmus zur Bestimmung der Einhüllungszahl, wie er im Abschnitt 4.4.3 beschrieben ist, wird aufgerufen. Liegt der Testpunkt außerhalb, ist das durch ihn repräsentierte Kantensegment potentiell sichtbar. Die anschließende Prüfung im 3D-Objektraum auf mögliche Verdeckung durch die Fläche hängt davon ab, ob der Testpunkt  $(x_m, y_m, z_m)$  bezüglich der Ebene der Fläche den Betrachter  $(x_v, y_v, z_v)$  zu oder von ihm wegweist. Dann genügt es nämlich, die Vorzeichen von  $f(x_m, y_m, z_m)$  und  $f(x_v, y_v, z_v)$  zu bestimmen. Sind sie verschieden, d.h. der Testpunkt und der Betrachter liegen auf entgegengesetzten Seiten der Fläche, dann wird das Kantensegment als unsichtbar gekennzeichnet. Vollständig unsichtbare Kanten werden im weiteren nicht mehr untersucht.

Liegt eine Kante auf der Fläche, handelt es sich um eine *Art II-Kante*. Sie wird unmittelbar darauf untersucht, ob sie als Ganzes sichtbar ist oder nicht. Der Test besteht darin, das Lageverhältnis der Kante bezüglich der Fläche zu spezifizieren. Ein Punkt (z.B.  $X_1$  in Abbildung 5.2 (unten)) in der unmittelbaren Nähe des Testpunktes  $T_1$  auf der Fläche  $F_1$  der Kante wird ermittelt und geprüft, ob er bezüglich der zweiten Fläche  $F_2$  innerhalb oder außerhalb liegt bzw. auf den Betrachter zu oder von ihm wegrichten. In Abbildung 5.2 c) liegt  $X_1$  vor der Fläche  $F_2$  und in d) liegt die Fläche  $F_2$  zwischen dem Betrachter und  $X_1$ . Im ersteren ist die *Art II-Kante* potentiell sichtbar, und im letzteren wird sie von Fläche  $F_2$  komplett verdeckt. Dadurch entfällt für sie die weiteren Vergleiche.

Abschließend werden bei der Sichtbarkeitsuntersuchung alle potentiell verdeckten *Art I-* und *Art IV-Kanten*, die die Durchdringung zweier Flächen bilden, daraufhin untersucht, welche von ihnen sichtbar sind (Abb. 5.2 a)).

In dem Hidden-Line-Algorithmus wird folgendes Vorgehen adoptiert. Die Parameterwerte der Schnittpunkte, bezüglich der Endpunkte des  $k$ -ten sichtbaren Segmentes, sind in einem Array  $RM(1:2,K)$  abgelegt. Sobald ein verdecktes Segment entdeckt wird, werden die Werte in  $RM$  und  $NOS$  entsprechend auf den neuesten Stand gebracht. Sind alle Flächen mit der Kante derart verglichen worden, so bleiben am Ende nur die  $NOS$  sichtbaren Segmente. Dieses Vorgehen wurde der Arbeit von Angell [54] entnommen.

Abbildung 5.3 zeigt als Ergebnis dieser Sichtbarkeitsuntersuchung die allgemeine Parallelprojektion eines Containerschiffes. Der Algorithmus ermöglicht zudem eine gestrichelte Darstellung verdeckter Kanten (Abb. 5.4).

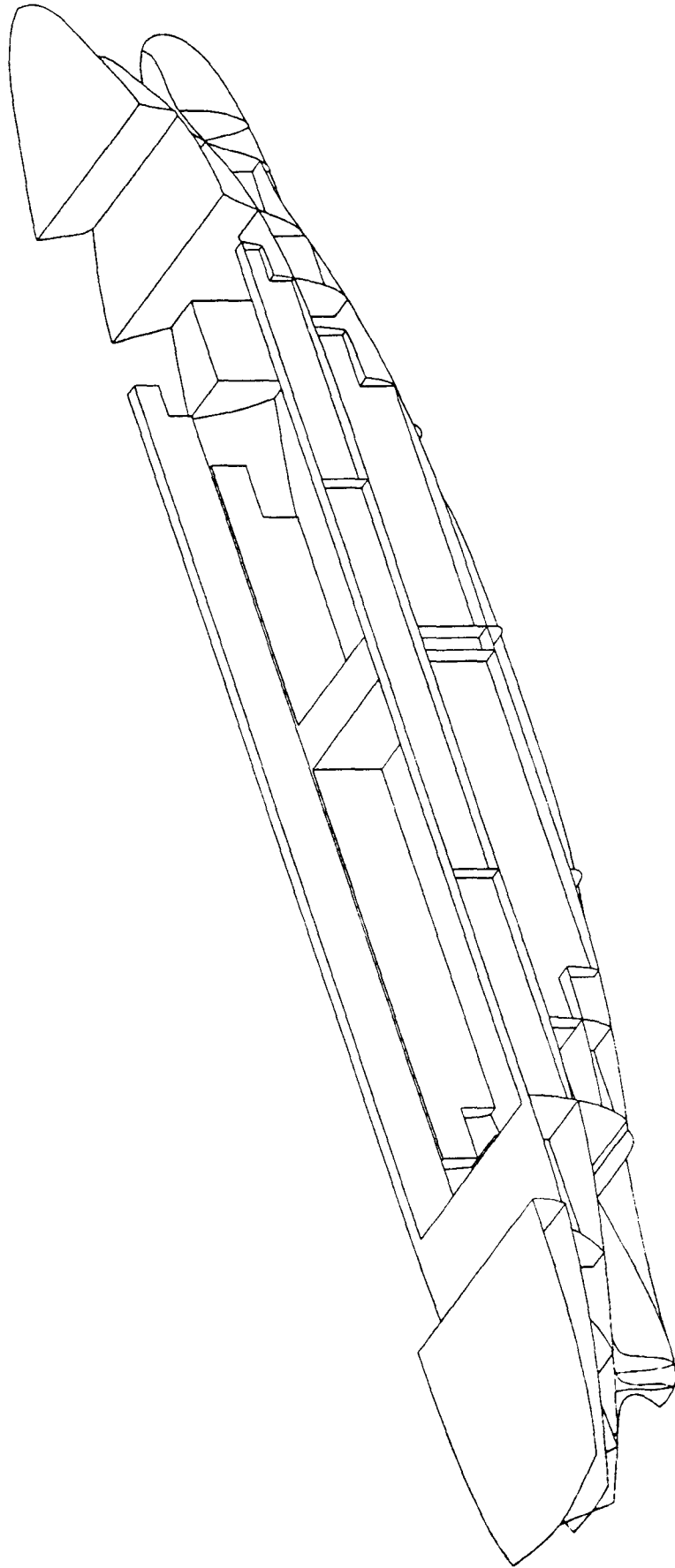
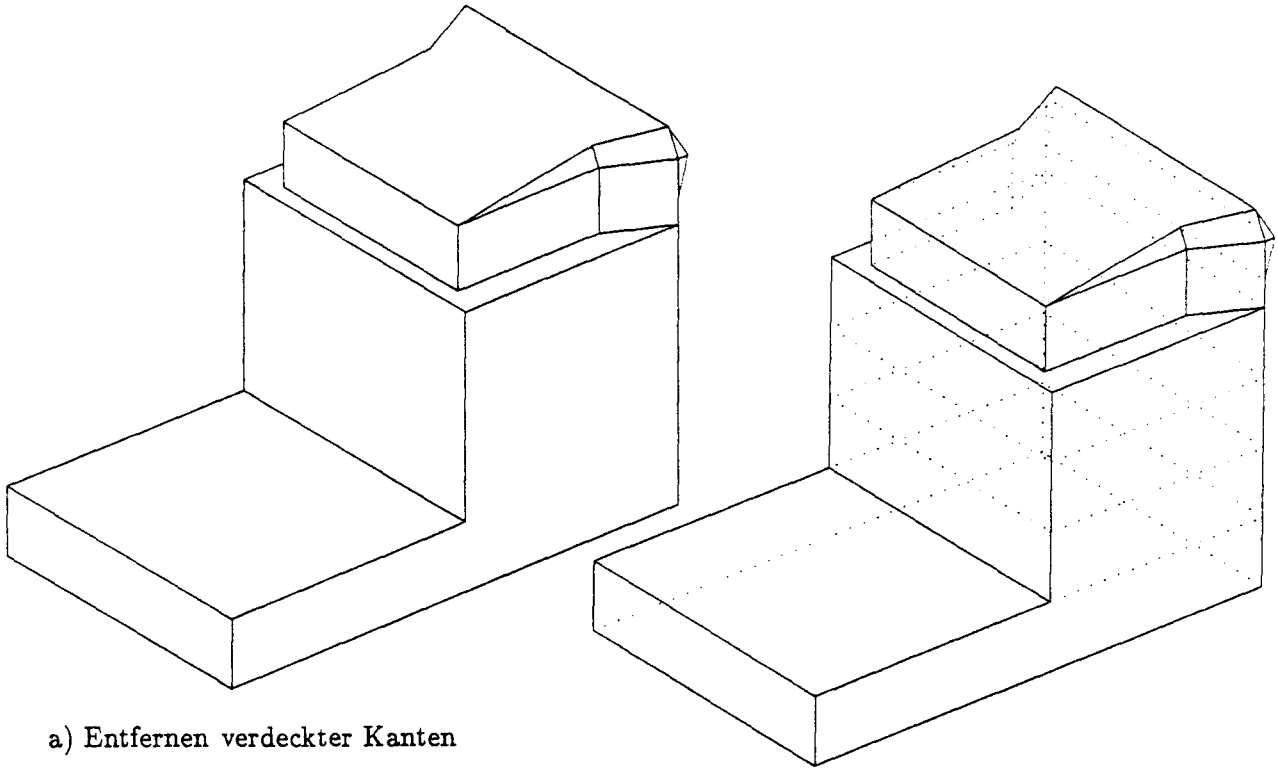
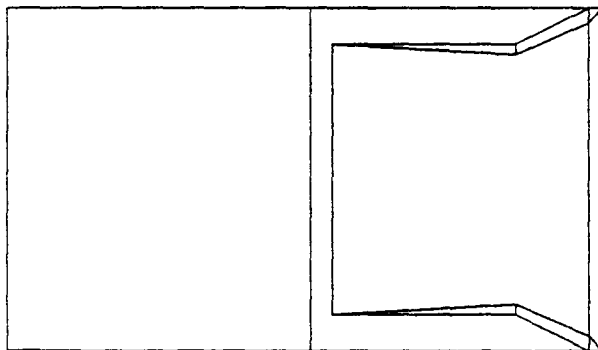
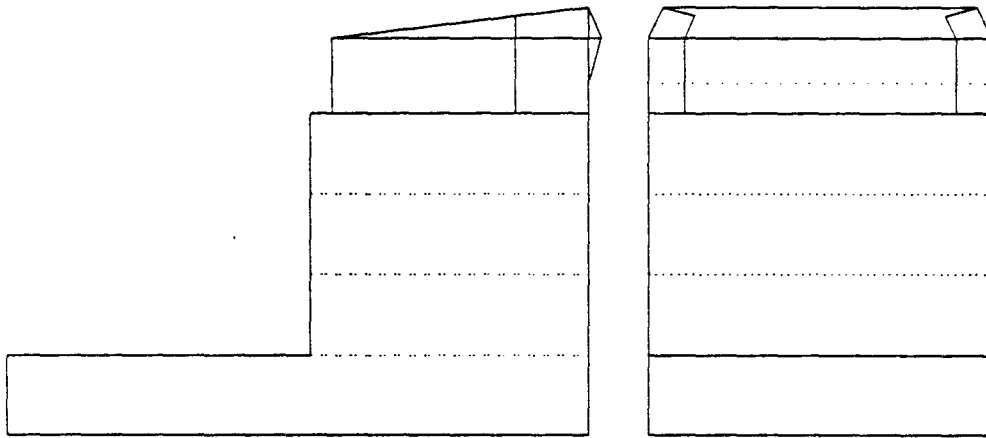


Abb. 5.3: Darstellung der Raumaufteilung eines Containerschiffes



a) Entfernen verdeckter Kanten

b) gestrichelte Darstellung verdeckter Kanten



c) Drei-Tafel-Projektion

Abb. 5.4: Vorteile der Visibilitätsprüfung

## 5.2 3D-Fenstertechniken

### 5.2.1 Allgemeines

Die 3D-Fenstertechnik sorgt für eine schnelle Darstellung von verdeckten Geometrien und verborgenen Details im Gebildeinnern, die in Ansichten nicht oder in Parallelprojektionen sowie Perspektiven lediglich unbefriedigend dargestellt werden können. Auf der Grundlage der 3D-flächenorientierten rechnerinternen Darstellung kann die Ermittlung der gestaltbeschreibenden Information im Prinzip automatisch erfolgen. Dafür ist ein entsprechend definierter Quader zugrundegelegt.

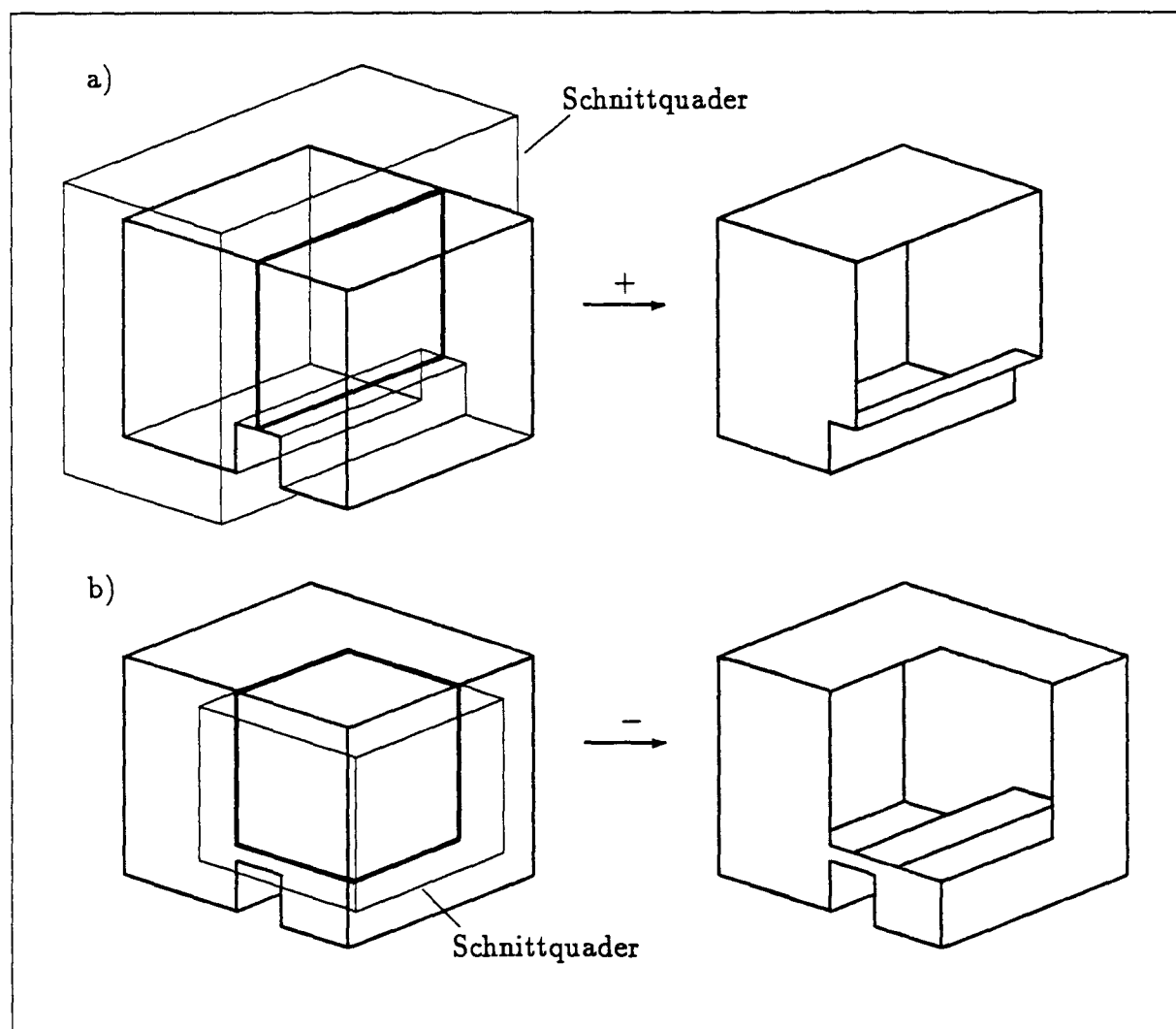


Abb. 5.5: Schnittquader für das 3D-Fenster

- a) *Positiv* : Geometrie innerhalb des Fensterbereichs bleibt erhalten
- b) *Negativ* : Geometrie innerhalb des Fensterbereichs wird weggeschnitten

Ein positiver Quader beschreibt die Gebildeflächen im Quaderinnern durch das Entfernen der entsprechenden Flächen, die außerhalb des Quaders liegen. Flächen, die nur

teilweise außerhalb des Fensters liegen, werden abgeschnitten. Sie werden damit nicht dargestellt. Beim negativen 3D-Fenster werden die vom Quader umkleideten Flächen weggeschnitten (Abb. 5.5). Ferner können die Flächen Löcher enthalten.

### 5.2.2 Die Schnittbildung mit Beispielen

Die 3D-Fenstertechnik vereinigt Eigenschaften des Schnitt- und Verknüpfungsprinzips.

Durch das Benennen eines Quaders werden nämlich rechnerintern die sechs Schnittebenen so errechnet, daß die Konturen des geschnittenen Gebildes durch Anwendung des Schnittprinzips (s. Abschn. 4.1.2) innerhalb des Quaders erhalten bleiben.

Danach erfolgt die Weiterverarbeitung der Schnittbildung beim positiven Quader (sowie negativen Quader in der ersten Verarbeitungsstufe) durch die additive mengentheoretische Verknüpfung (s. Abschn. 4.4.3) der so geschnittenen Flächen des Schnittgebildes. Beim negativen Quader schließt sich lediglich ein zusätzlicher Verarbeitungsschritt an und zwar wird das Bilden von Schnitten weiter durch die subtraktive mengentheoretische Verknüpfung der dadurch entstehenden Schnittflächen und der umgebenden sowie unterteilenden Flächen des Schnittgebildes fortgesetzt.

Die geschnittene Geometrie kann in beliebigen Ansichten und Projektionen ausgegeben werden. Ein Beispiel für das Erzeugen von Schnitten mittels eines positiven 3D-Fensters und das Ausblenden der verdeckten Kanten ist in Abbildung 5.6 dargestellt. Eine Anwendung des negativen 3D-Fensters veranschaulicht die Abbildung 5.7 anhand einer Schnittdarstellung des Containerschiffes in parallelprojizierter Projektion. Die beiden zugehörigen vollständigen Modelle zeigen die Abbildung 6.10 bzw. Abbildung 6.12.

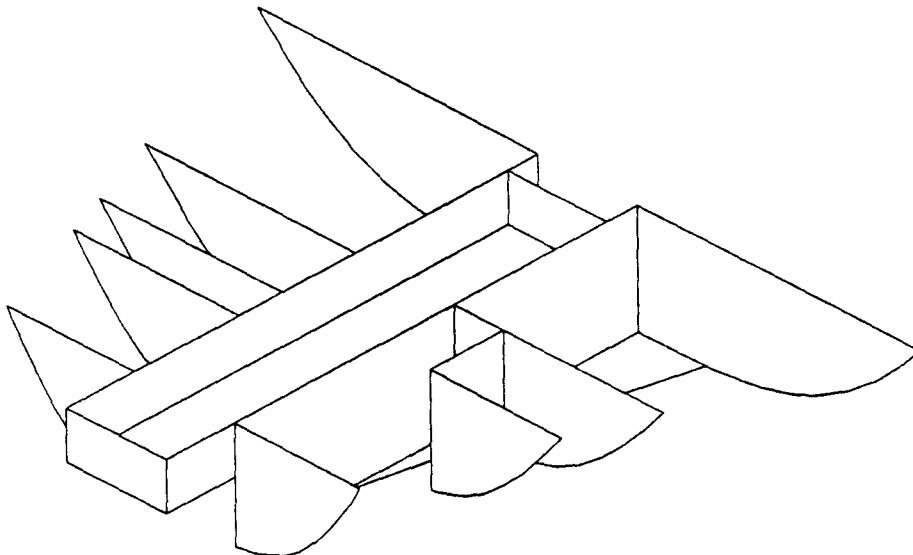


Abb. 5.6: Schnittdarstellung einer Tankanordnung

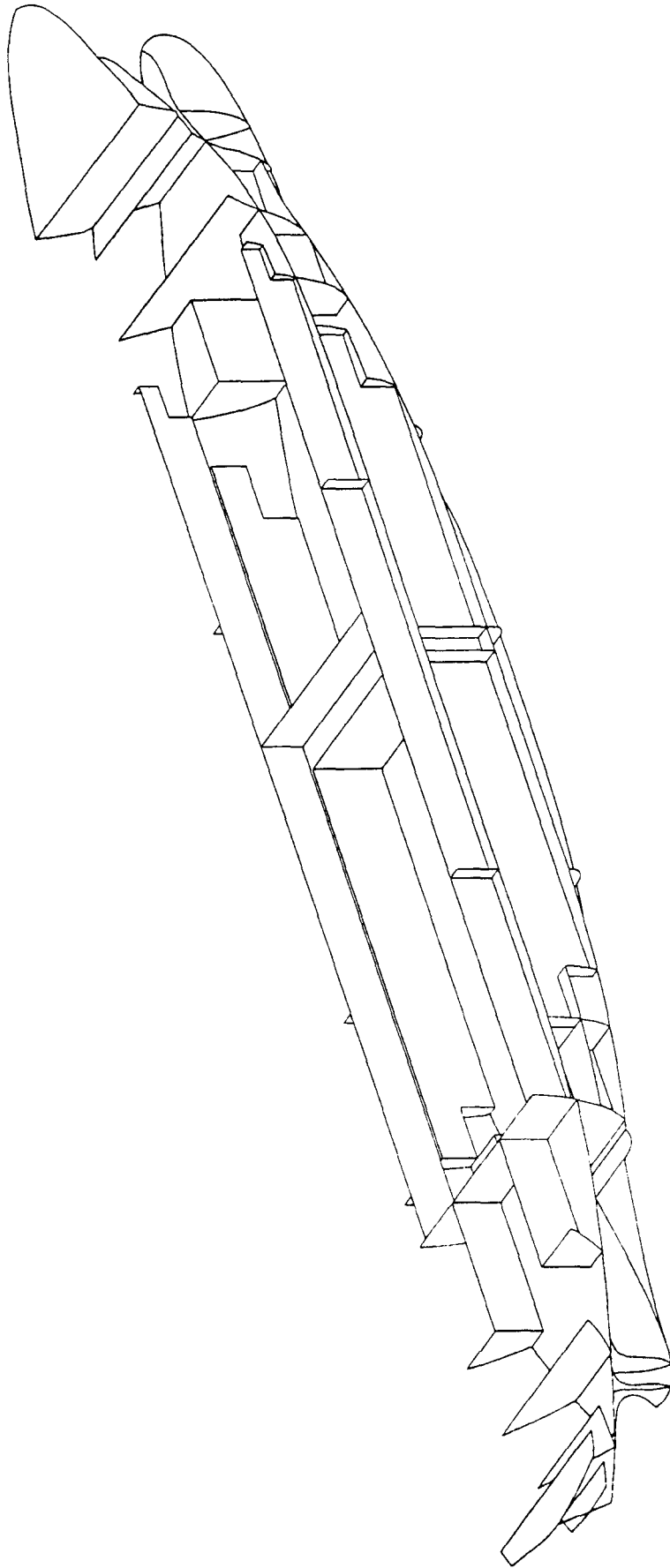


Abb. 5.7: Schnittgeometrie des Containerschiffes

## 6 Auslegung des Schiffsraumaufteilungssystems

Das hier entwickelte Raumaufteilungssystem ist ein umfangreiches rechnergestütztes System mit Berücksichtigung der Software- und Hardware-Entwicklung zur geometrischen Beschreibung der Unterteilung des von einer freigeformten Schiffshülle umschlossenen Volumens in Räume.

Eine Besonderheit stellt die Verbindung mit der Erstellung von Generalplanzeichnungen dar. Dieses Konzept ist der erste Schritt zur Weiterentwicklung zu einem integrierten schiffbaulichen Entwurfssystem.

### 6.1 Systemarchitektur bei Raumaufteilung

Die vorbereitenden Berechnungen eines Schiffsentwurfes umfassen die Optimierung oder Bestimmung der Hauptkennwerte Länge, Breite, Tiefgang, Seitenhöhe, Formkoeffizienten und Lage des Verdrängungsschwerpunktes sowie der erforderlichen Antriebsleistung etc. Diese Entwurfstätigkeit und die numerische Beschreibung der Schiffsform sind als Ergebnisse des Entwurfsprozesses anzusehen und dienen als Eingangsinformation für den Generalplanentwurf. Diese Daten und die Geometrie der äußeren Schiffsform werden als gegeben vorausgesetzt.

Der damit entworfene und abgeglichene Linienriß wird mit einem getrennten Strakprogramm EUMEDES [56], welches an der Uni-Hamburg (Institut für Schiffbau) entwickelt wurde, numerisch beschrieben und dem Raumaufteilungssystem zur Verfügung gestellt.

Damit können die raumbegrenzenden Flächen beschrieben und zur Definition von Räumen benutzt werden. Diese Räume erlauben wiederum die Definition von Modulen. Endprodukt ist ein Datensatz für weitere geometrische Berechnungen und ein Datensatz für die Zeichnungsdarstellung sowie -bearbeitung innerhalb des AutoCAD-Systems. In Abbildung 6.1 ist das Systemkonzept für den Generalplanentwurf dargestellt.

Nach erfolgter Einteilung ergibt eine Raumbilanz im Vergleich mit den geforderten Werten einen Bedarf bzw. Überschuß an Volumen für die einzelnen Räume, die durch Verschieben oder Rücknahme raumteilender Elemente ausgeglichen werden können. Bei der Festlegung von Rauminhalten sind aber auch die Auswirkungen auf Längsfestigkeit, Trimm und Stabilität zu beachten (s. Abschn. 6.5). Weiterhin ergeben sich Raumbegrenzungen aus Vorschriften, z.B. Klassifikationsregeln für Vor- und Achterpiekschott, IMO-Vorschriften für die Unterteilung von Schiffen bezüglich Lecksicherheit. Zum anderen folgt die Notwendigkeit aus einer Vielzahl möglicher Lösungen, die sich durch die Variation von Raumanordnung und -inhalten ergibt, diejenige auszuwählen, die den Entwurfsgegebenheiten am besten entspricht.

Für die Erstellung von Generalplan- oder Entwurfszeichnungen sowie von Tankplänen werden die notwendigen Rumpfkonturen (Deckslinien, Umrißkonturen) zusammen mit den Schnitten (Längsschnitt, Decks-Horizontalschnitt) und Ansichten (Seitenansicht) verarbeitet und automatisiert in einer Bilddatei abgelegt (s. Abschn. 7 auf Seite 82). Über eine entsprechende Schnittstelle können die erzeugten Daten in das AutoCAD-System

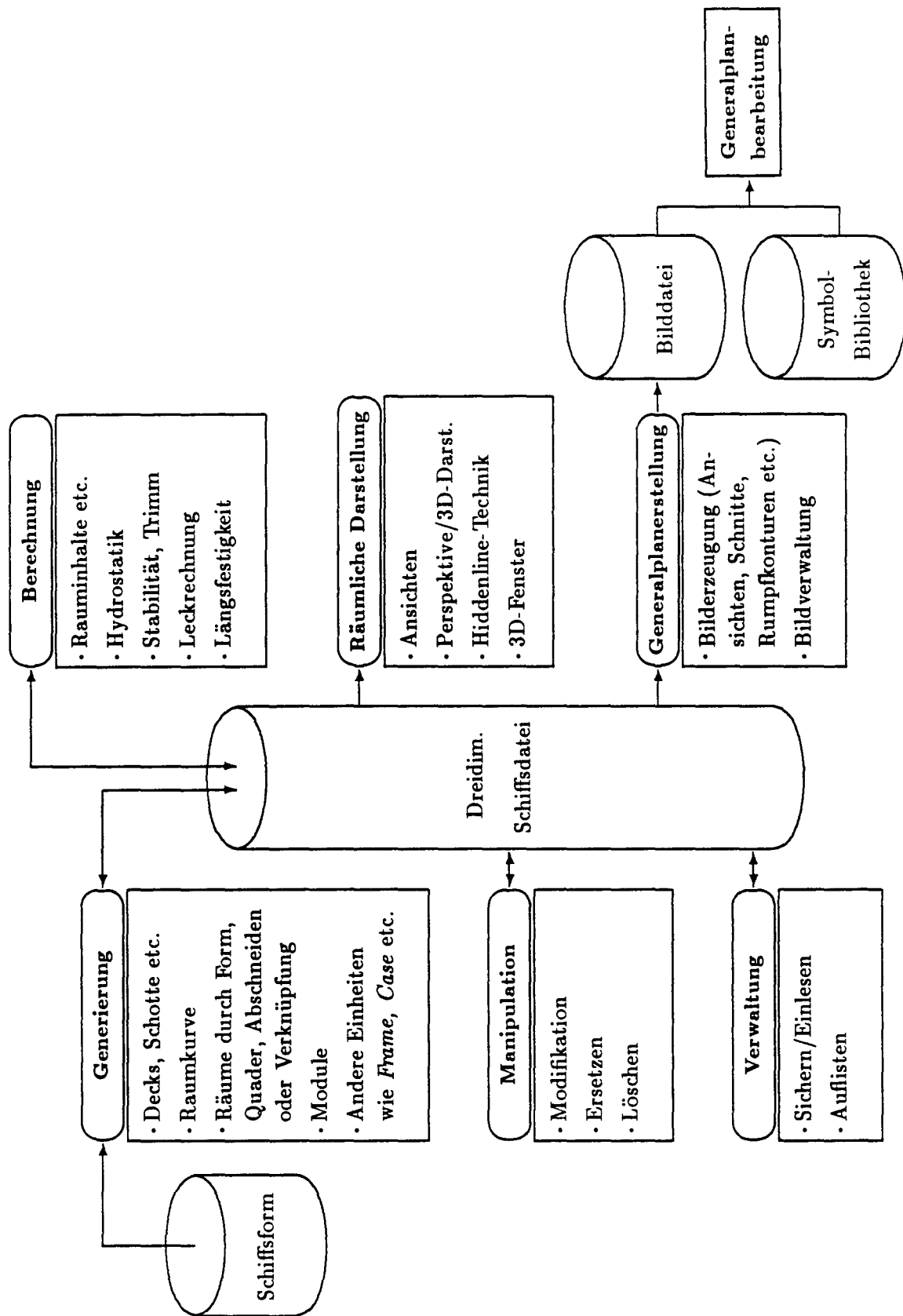


Abb. 6.1: Systemkonzept für den rechnergestützten Generalplanentwurf

übertragen werden. Diese Generalplan-Basiszeichnungen können dann für die Einrichtung im Wohnbereich, die maschinenbauliche sowie die schiffbauliche Ausrüstung referenziert werden. Für den AutoCAD-Einsatz im Rahmen der rechnergestützten Ausarbeitung von entsprechenden Generalplänen werden die Arbeiten und erzielten Anwendungsergebnisse im Abschnitt 8 auf Seite 90 dargelegt.

Der Raumaufteilungsprozeß kann beginnen, auch wenn die genaue Form der Außenhaut noch nicht feststeht. Die bei einem Entwurf mit einer vorläufigen Außenhautgeometrie später nötig werdenden Änderungen in den raumteilenden Elementen, lassen sich unter Zuhilfenahme der Topologie automatisch vom Rechner und somit unter geringem Aufwand nachvollziehen. Da nachträgliche Änderungen direkt in das rechnerinterne Schiffsmodell eingehen, werden sie bei der Neuberechnung der Geometrie, Ansichten etc. automatisch berücksichtigt.

Außerdem existieren verschiedene Lösungen für die Raumaufteilung; die innere Schiffsaufteilung kann aus verschiedenen Konfigurationen von Räumen erstellt werden. Das eingesetzte Datenstrukturmodell ist in der Lage, diesen besonderen Anforderungen der Mehrfachrepräsentation Rechnung zu tragen.

Für die Raumaufteilung sind problemspezifische Elemente wie Decks, Schotte, Räume etc. vorgesehen. Sie werden aus der Benutzersicht im folgenden als Einheiten bezeichnet.

Zur Unterstützung des Raumaufteilungsprozesses stellt das System folgende Funktionen zur Verfügung:

- Steuerungs- und Verwaltungsfunktionen
- Generierungsfunktionen
- Manipulationsfunktionen
- Berechnungsfunktionen
- Visualisierungsfunktionen
- Funktionen zur Generierung der Generalplan-Basiszeichnung (s. Abschn. 7)

Jedes der sechs Teilsysteme kann als selbständiges System betrachtet werden obwohl sie auf die gleiche Datenbank zugreifen. Rechnerabhängigkeit wird durch Realisierung der Software in Standard-FORTRAN 77 weitgehend vermieden.

## 6.2 Steuerung- und Verwaltungsfunktionen

Für die Realisierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im vorliegenden System wird die interaktive Arbeitsweise (Frage-Antwort-Kommunikation) gewählt, da diese Methode gute Flexibilität und leichte Handhabung der Eingabe gewährleistet. Die Benutzerschnittstelle ist durch unterschiedliche Menüs zur Dialogsteuerung charakterisiert, so daß sich ein Anfänger schnell einarbeiten kann. Die Programme sind so ausgelegt, daß die

kleine Benutzeroberfläche einfach auszuwechseln ist. Sie kann für den täglichen Einsatz gegen eine komfortablere ausgetauscht werden.

Neben der Nutzersteuerung ist aber auch eine batch-orientierte Verarbeitung möglich, denn in vielen Fällen kann bei Neuentwürfen auf vorhandene Entwürfe zurückgegriffen werden.

Die Verwaltungsfunktionen umfassen in erster Linie das Sichern und Einlesen des raumorientierten Schiffsmodells auf bzw. von einer externen Datei. Zur Beurteilung, Auswertung und Sichtung der Ergebnisse können die Ergebnisausgaben auf dem Bildschirm betrachtet oder/und langfristig in externen Speichern aufbewahrt werden. Hinzu kommt die Möglichkeit der Protokollierung und Auflistung der generierten Einheiten.

Der Ablauf beim Aufbau der Dateien und Rechnungen wird mit Warnungen, Zusatzinformationen und Fehlermeldungen protokolliert. Dies geschieht über eine Fehlerverwaltung.

## 6.3 Generierungsfunktionen

Das für alle Geometrieangaben vereinbarte Koordinatensystem zeigt mit der X-Achse in Schiffsängsrichtung nach vorne, mit der Y-Achse zur Backbordseite und mit der Z-Achse nach oben.

Die Definition einer Einheit besteht aus der Wahl der Einheit, der Konkretisierung der zugehörigen Parameter, ggf. der Festlegung einer geometrischen Transformation und der Zuweisung von organisatorischen Informationen. Die geometrische Transformation gibt die räumliche Lageinformation eines geometrischen Primitivums an und beinhaltet die x-, y- und z-Koordinaten des Ursprunges des lokalen Koordinatensystems, mit denen sich das Primitivum positionieren läßt und die drei Rotationswinkel mit denen das lokale Koordinatensystem um die X-, die Y-Achse und zuletzt um die Z-Achse des globalen Koordinatensystem gedreht wird.

### 6.3.1 Definition von Ebenen

Für die Erfassung der flächenhaften Elemente wie innenliegende Decks oder wasserdichte Schotte sowie das Generieren von Räumen durch das Abschneiden von einem vorhandenen Raum sind vom Benutzer geeignete Ebenen auszuwählen und innerhalb des Schiffskörpers zu positionieren. Jede Ebene verfügt über einen eindeutigen Namen.

Die Definition des geometrischen Primitivums Ebene erfolgt durch Angabe der Koordinaten dreier nicht kollinearen Raumpunkte bezüglich des räumlichen lokalen Koordinatensystems  $((x_l, y_l, z_l)$ -System). Der normale Vektor zeigt unter Verwendung der rechten Hand-Regel in die Richtung des Daumens, wenn die Finger entlang der drei Raumpunkte drehen. Da die überwiegende Mehrzahl der raumteilenden Elemente Standardfälle sind, wie z.B. normales Querschott oder waagerechtes ebenes Deck, die parallel zu den Koordinatenebenen liegen, stehen einfache Eingaben zur Verfügung. Dabei genügt es, einen Typ (kennzeichnet Schott, Deck, etc.) und jeweils den Wert anzugeben, bei dem die

Ebene die orthogonale Koordinatenachse schneidet.

- **Querschott**

Als geometrisches Primitivum wird eine Ebene verwendet, die im Standardfall parallel zur YZ-Koordinatenebene ist, von dieser den Abstand  $x$  hat oder auf der Bauspantebene liegt. Die Normale zeigt in X-Richtung.

- **Längsschott**

Als geometrisches Primitivum wird ebenfalls eine Ebene verwendet, die im Standardfall parallel zur XZ-Koordinatenebene im Abstand  $y$  verläuft. Die Normale zeigt in Y-Richtung.

- **Deck**

Hier ist das geometrische Primitivum ebenfalls eine Ebene, die in diesem Fall parallel zur XY-Koordinatenebene im Abstand  $z$  verläuft. Die Normale zeigt in Z-Richtung

Andere Elemente, wie wasserdichte Bodenwrangen, Längsträger, Tankdecken, etc., lassen sich wie Decks oder Schotte behandeln.

Weitere Definitionsmöglichkeiten gibt es für Strukturelemente, die senkrecht zu den Koordinatenebenen stehen. Sie entstehen durch die Angabe zweier X-Z-Koordinatenpaare, zweier X-Y-Koordinatenpaare, zweier Y-Z-Koordinatenpaare für ein um die Y-Achse, Z-Achse gedrehtes Schott bzw. X-Achse gedrehtes Deck. Entsprechend der im Schiffbau üblichen, zur Mittschiffsebene spiegelsymmetrischen Bauweise, können durch Spiegelung um die Schiffslängsrichtung Ebenen definiert werden. Abbildung 6.2 veranschaulicht die Definitionsmöglichkeiten von Ebenen.

### 6.3.2 Definition von Kurven

Neben den schiffbaulichen flächenhaften Elementen zur Darstellung von Strukturelementen gibt es auch Definitionsmöglichkeiten für das geometrische Primitivum: Kurve für die Gestaltung der Umrandung von Räumen sowie Nachbildung von markanten Konturen des Schiffskörpers, z.B. Stevenkontur.

Dabei hat man zwischen zwei Verfahren zu wählen. Eines der beiden Verfahren beruht auf dem Schnitt einer Ebene mit einer Form (z.B. die Schiffsform); das andere Verfahren beruht auf einer punkweisen Beschreibung (wahlweise mit Kurventangenten) einer Kurve. Anschließend können Schnittebenen zur Abgrenzung der Kurve sowie nichtgeometrische Größen eingegeben werden. Jede Kurve ist durch einen Namen gekennzeichnet.

### 6.3.3 Definition von Räumen

Die topologische Anordnung von Räumen nimmt eine zentrale Stellung bei dem Entwurf eines Raumes ein. Ein Raum kann z.B. ein Schiff, ein Tank, ein Laderaum sein. Insbesondere durch das Ausnutzen des Verknüpfungs- und Schnittprinzips vereinfacht und beschleunigt sich der Aufbau der Räume.

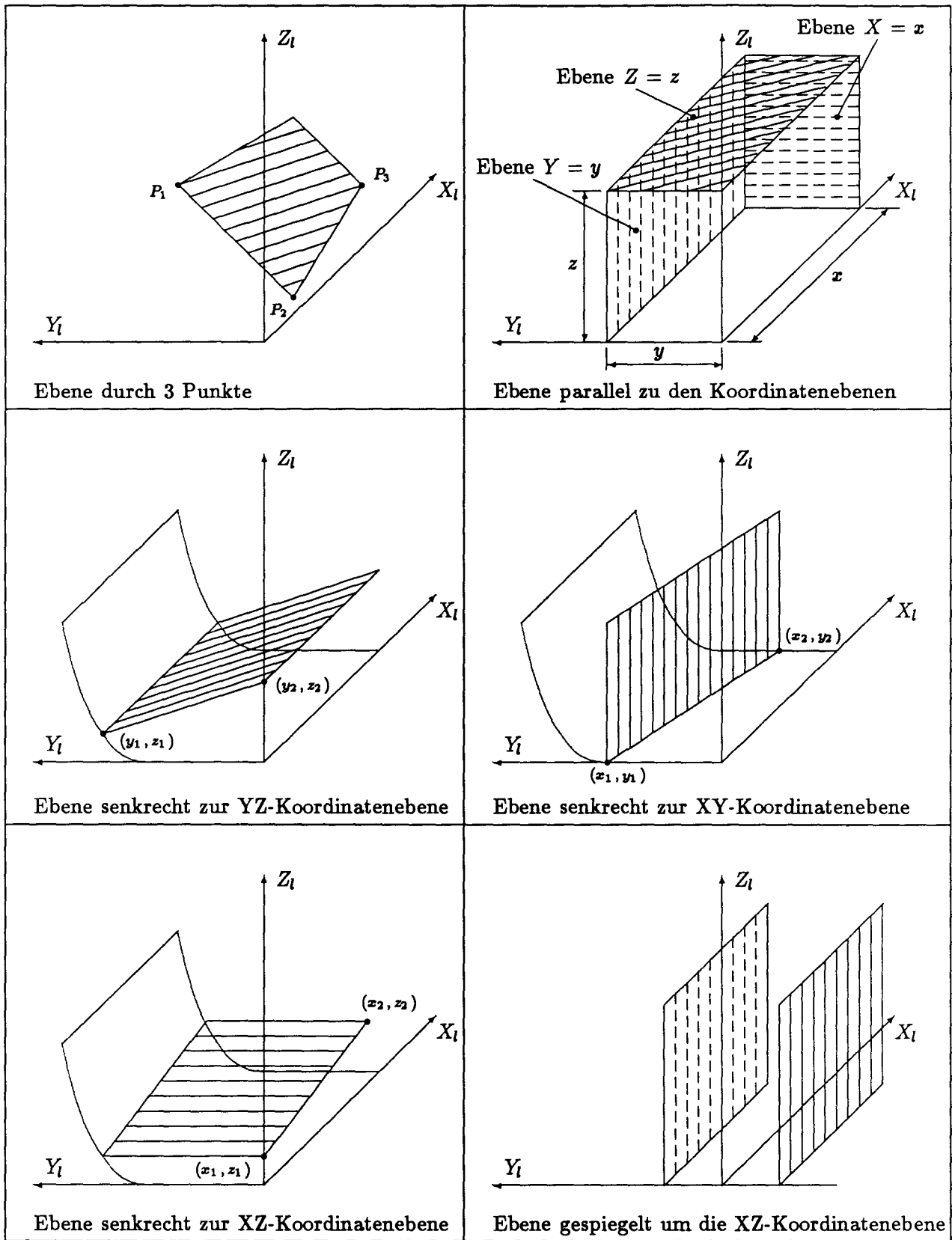


Abb. 6.2: Definitionsmöglichkeiten von Ebenen

Abhängig von der Gestalt und Lage des zu beschreibenden Raumes kann der Anwender einen Raum, der in die Schiffsdatei aufgenommen werden soll, auf eine von vier verschiedenen Arten beschreiben. Darauf aufbauend bestimmt der Rechner die erforderliche Geometrie der Raumbegrenzungen. Zur Generierung von Räumen gehören auch weitere Zuweisungen wie der Name, die Raumgruppierung und die Flutbarkeit.

- **Definition und Schneiden einer Form**

Das Abschneiden einer Form ist der erste Schritt zur Generierung eines Raumes.

Ein Raum kann bei dieser Möglichkeit, wenn nötig, durch die Angaben der ihn bildenden Ebenen (z.B. das obere Deck) mit jeweils einem Vorzeichen (+ oder -), das zusätzlich die Ausrichtung des Körperinneren relativ zur Fläche der assoziierten Ebene kennzeichnet, generiert werden. Positives Vorzeichen bedeutet, daß der Halbraum in Normalenrichtung abgeschnitten werden soll. Der Raum kann ebenfalls (wenn gewünscht) durch Kurven umkleidet sein.

Dadurch wird die Gestalt der Räume unter Beachtung topologischer Zuordnungen automatisch bestimmt (s. Abschn. 4.1 auf Seite 30). Nach diesen wenig rechenzeit-aufwendigen Schritten kann bereits eine grafische Kontrolle auf korrekte Eingabe am Bildschirm vorgenommen werden (s. Abschn. 6.6).

Am Beispiel der Abbildung 6.3 wird diese Technik verdeutlicht. Die entsprechenden Berechnungsspannen der Räume sind auch dargestellt.

- **Definition und Schneiden eines Quaders**

In unserem Modell können auch Primitiva wie Quader zur Konstruktion der Räume herangezogen werden. Hier müssen die Länge, Breite und Höhe des Quaders und ihre Lage bezüglich des globalen Koordinatensystems eingegeben werden. Beim Generieren solcher Räume können zusätzlich Schnittebenen für die berandeten Begrenzungsflächen eingegeben werden. Abbildung 6.4 zeigt ein Ruderhaus, das durch Abschneiden eines Quaders sowie eine nachfolgende additive Verknüpfung der drei Teilräume entsteht.

Diese Besonderheit wird hauptsächlich dafür verwendet, um Räume zu bilden, die die Kabinen etc. im Aufbau darstellen.

- **Schneiden eines Raumes mit Ebenen**

Der Vorgang des Generierens von Räumen durch Abschneiden von bereits vorhandenen Räumen (direkt oder indirekt über andere Räume) durch die Angabe der generierten Ebenen, die z.B. Decks, Schotte darstellen, entspricht genau der Technik des Abschneidens einer Form oder eines Quaders.

Ein Raum, der den "Vorpiek Tank" darstellt, kann durch das Abschneiden des Schiffes bis zum oberen Deck mit einer Ebene, die das "Vorpiek Schott" darstellt, erzeugt werden (Abb. 6.5 rechts).

Räume können auch nach der Verknüpfung geschnitten werden. Diese gewünschten Ausschnitte können wiederum zur Neuraumgenerierung(en) verwendet werden (Abb. 6.6).

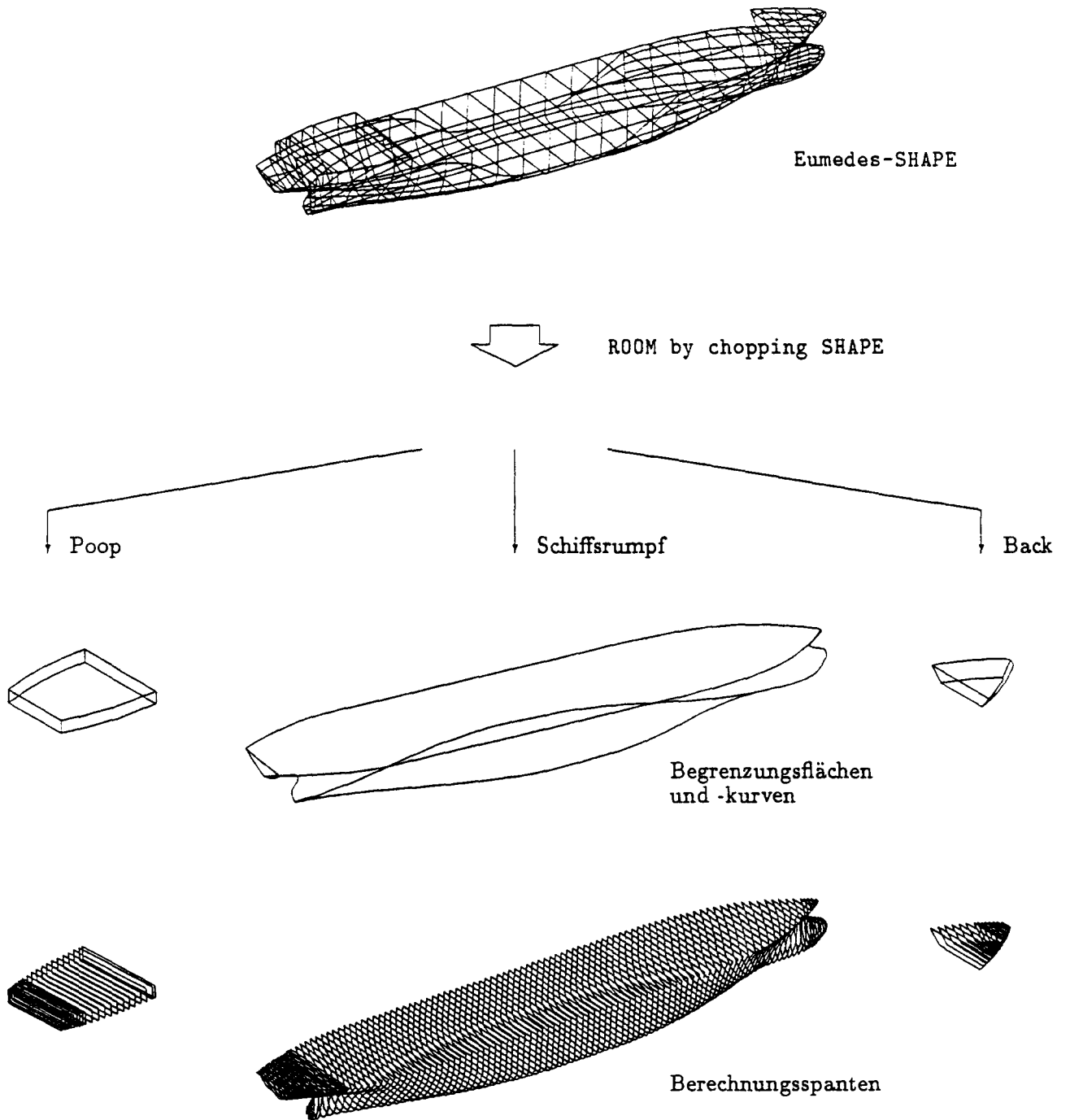


Abb. 6.3: Abschneiden der Außenhaut eines Schiffes

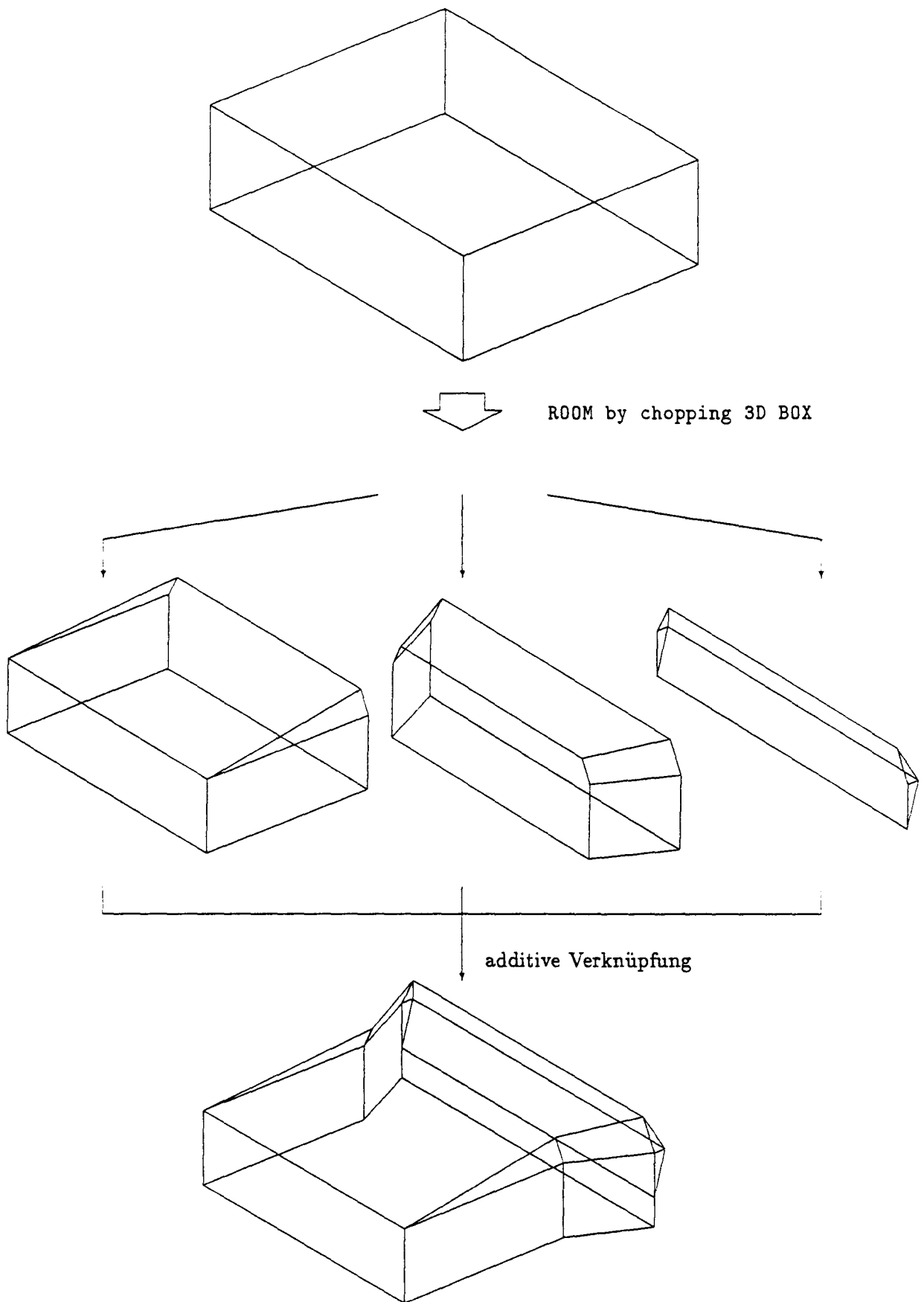


Abb. 6.4: Abschneiden von Quadern zur Generierung eines Ruderhauses

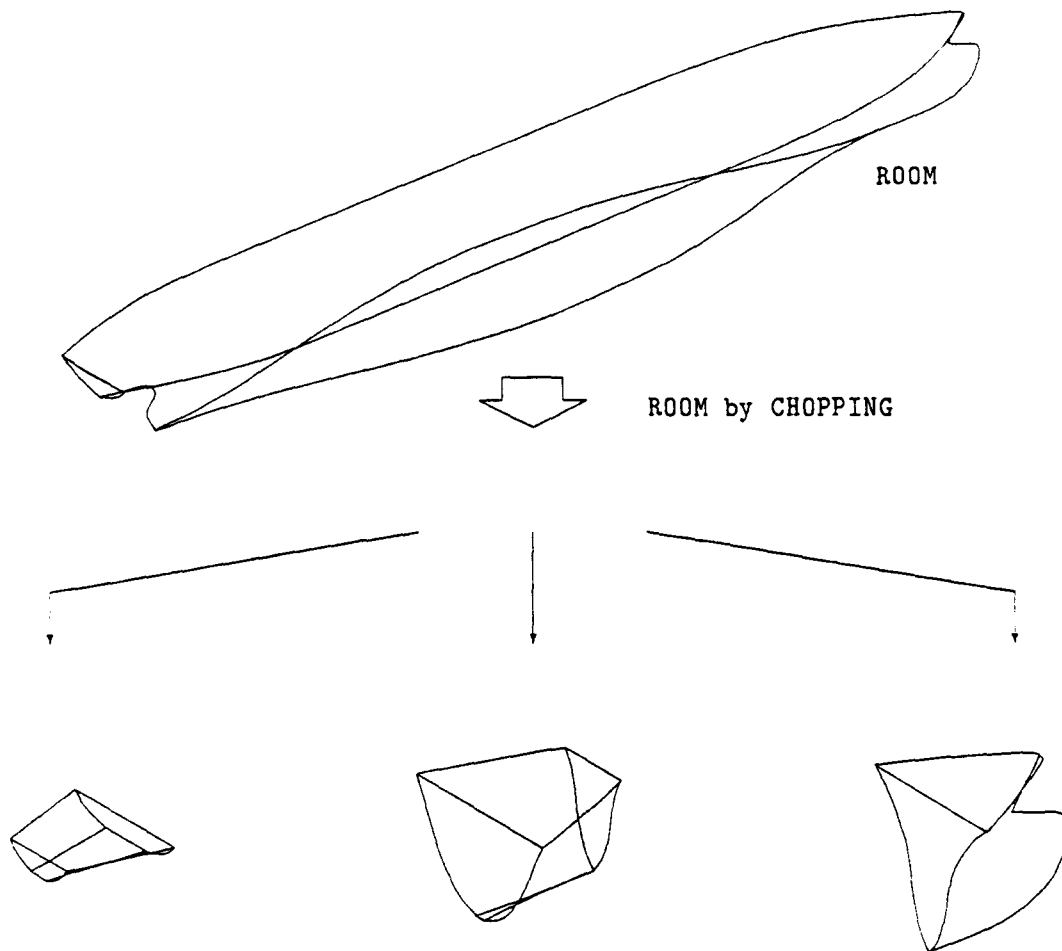


Abb. 6.5: Abschneiden eines Raumes

- **Verknüpfung der Teilräume durch Addition und Subtraktion**

Die alleinige Generierung von Räumen durch Abschneiden von bereits generierten Räumen ist nicht ausreichend für die Erfassung von möglichen Raumformen. Somit existiert die Möglichkeit, durch Aneinandersetzen mehrerer Teilräume diese zu einem komplizierten Raum zusammenzufassen.

Die Operation gestattet sowohl eine additive als auch eine subtraktive Verknüpfung der Räume. Abbildung 6.7 veranschaulicht, wie man durch Addition (+) und Subtraktion (-) aus den vorhandenen Räumen komplizierte Räumen aufbaut. Negative Räume gestatten die Beseitigung von Teilen eines Raumes. Die Räume können in verschiedenen Koordinatensystemen liegen. Weiterhin können die so generierten Räume wieder mit anderen Räumen verknüpft oder als eigenständige Einheiten weiterverarbeitet werden.

Es können also auch schrägliegende und geknickte Tanks berechnet werden. Ein Knickschott kann durch die Verkettung zweier Räume generiert werden.

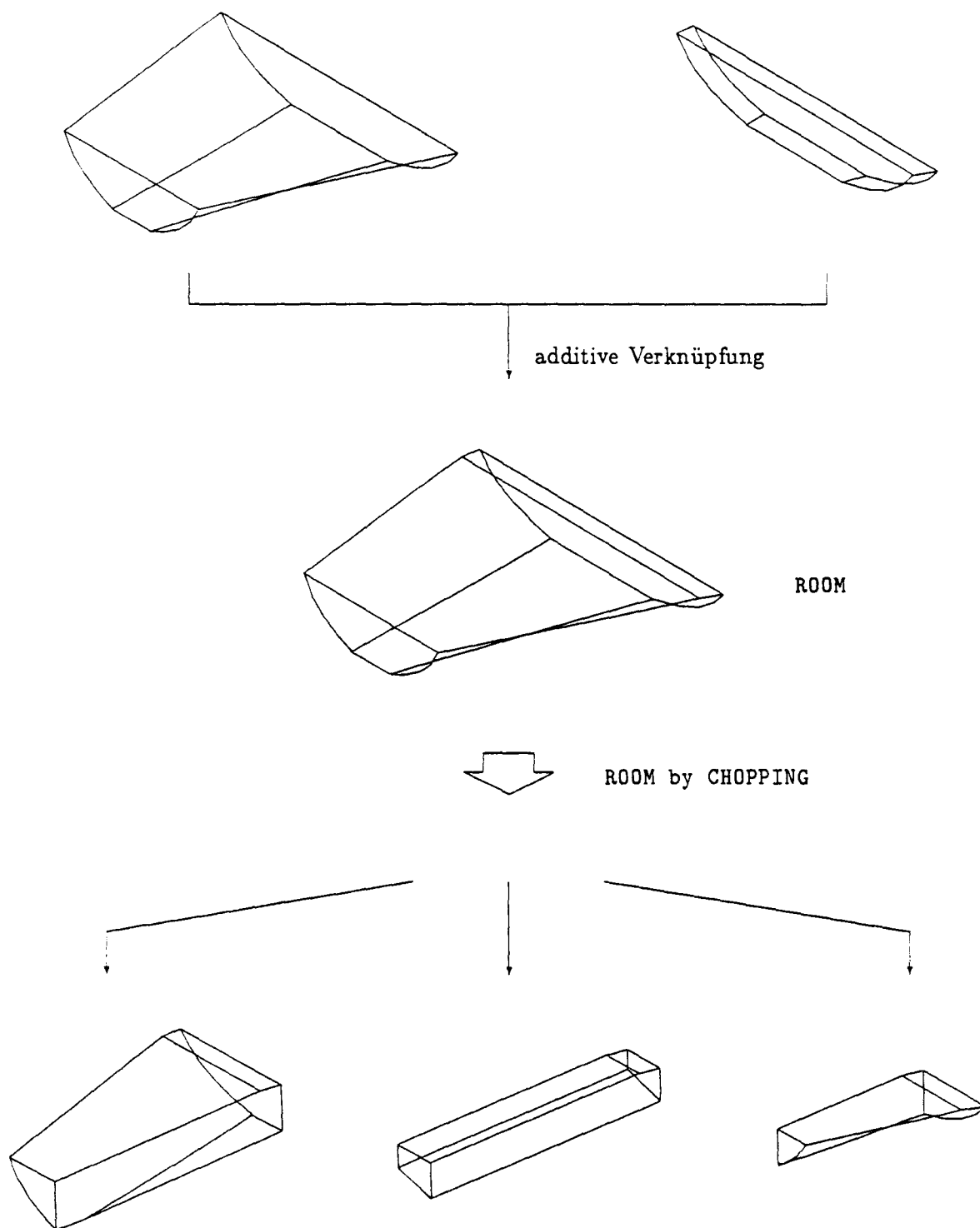
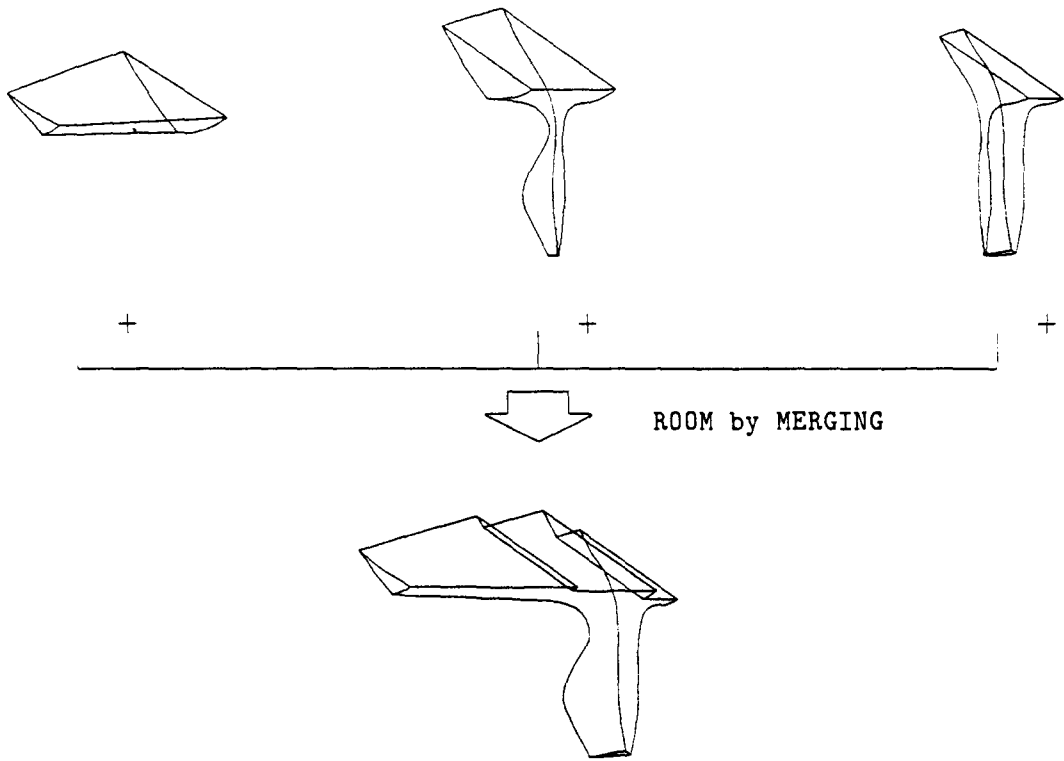
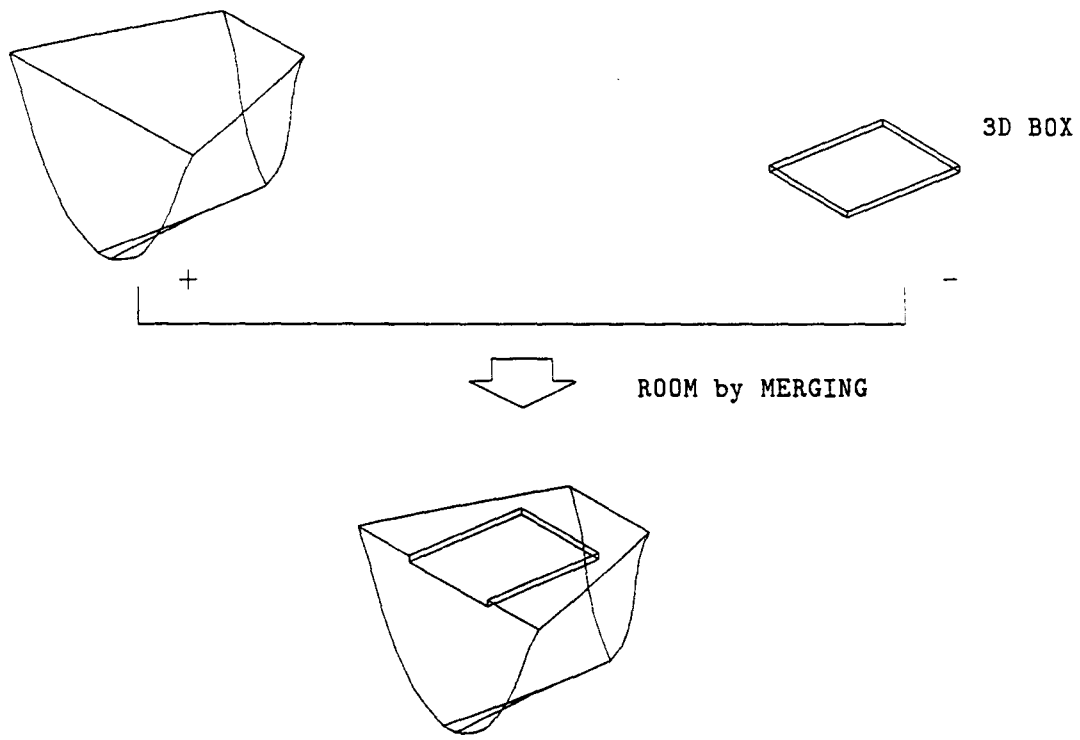


Abb. 6.6: Abschneiden eines zusammengesetzten Raumes



a) Teilraum - Addition



b) Teilraum - Subtraktion

Abb. 6.7: Raumgenerierung durch die Verknüpfung-Technik

Diese Raumgenerierungsmethode kann für alle Schiffstypen angewendet werden, hat aber besondere Bedeutung für Schiffe mit untypischen Bauformen, für welche noch keine Beschreibungsmethode vorhanden ist.

#### 6.3.4 Definition von Modulen und Domäne

Zusätzlich können solche Räume durch die Einbeziehung von Modulen zu einem komplexen Objekt wie dem Schiff aggregiert werden. Auf diese Weise enthält z.B. eine Modul-Beschreibung die Nummer der gebildeten Räume, zusammen mit einem eindeutigen Modul-Namen. Die Modul-Beschreibung in Abbildung 6.8 erzeugt durch Verkettung sowie Verschachtelung eine Schiffsraumauftelung, die aus zehn Räumen besteht.

In welchem Maße dabei die Gesamtheit des Schiffes modularisiert wird, ist nicht verbindlich und kann nach eigenem Ermessen vom Benutzer festgelegt werden. So scheint es vernünftig, Räume, die eine funktionale Einheit bilden, zu einem Modul zusammenzufassen.

Eine Domäne ist ein Satz von Modulen. Die Domäne-Beschreibung enthält die Nummer der gebildeten Module. Sie ist zusätzlich durch einen Namen gekennzeichnet.

Die Begrenzungen der raumteilenden Elemente werden automatisch durch die Gesamtheit der Räume bestimmt. Hierdurch hat der Benutzer die Möglichkeit, aus der basisgeometrischen und -topologischen Beschreibung nur den Teil der Konfiguration zu evaluieren oder darzustellen, der für ihn von Interesse ist.

Abbildung 6.9 veranschaulicht den Doppelbodenbereich eines Mehrzweckfrachters. Abbildung 6.10 zeigt die innere Topologie eines Containerschiffes. Die innere Einteilung eines Aufbaudecks ist in Abbildung 6.11 dargestellt. Die Tankanordnung im unteren Maschinenraumbereich des Containerschiffes zeigt die Abbildung 6.12. Alle diese Abbildungen wurden mit Hilfe einer Modul-Beschreibung erzeugt.

#### 6.3.5 Definition von Spanttabellen

*Frame* dient insbesondere der Erstellung von Bauspanttabellen durch die Erfassung eines jeden Spantbereichs mit unterschiedlichen Bauspantabständen. Sie erfolgt durch die Angabe der ersten Spantnummer und für jeden nachfolgenden Spantbereich: der Abstand der Spanten, die letzte Spantnummer sowie die Anzahl der äquidistanten Spanten des Bereichs. Die letzte Angabe ermöglicht die Beschreibung von Zwischenspanten. Einer Spanttabelle ist eine Bezeichnung zugeordnet.

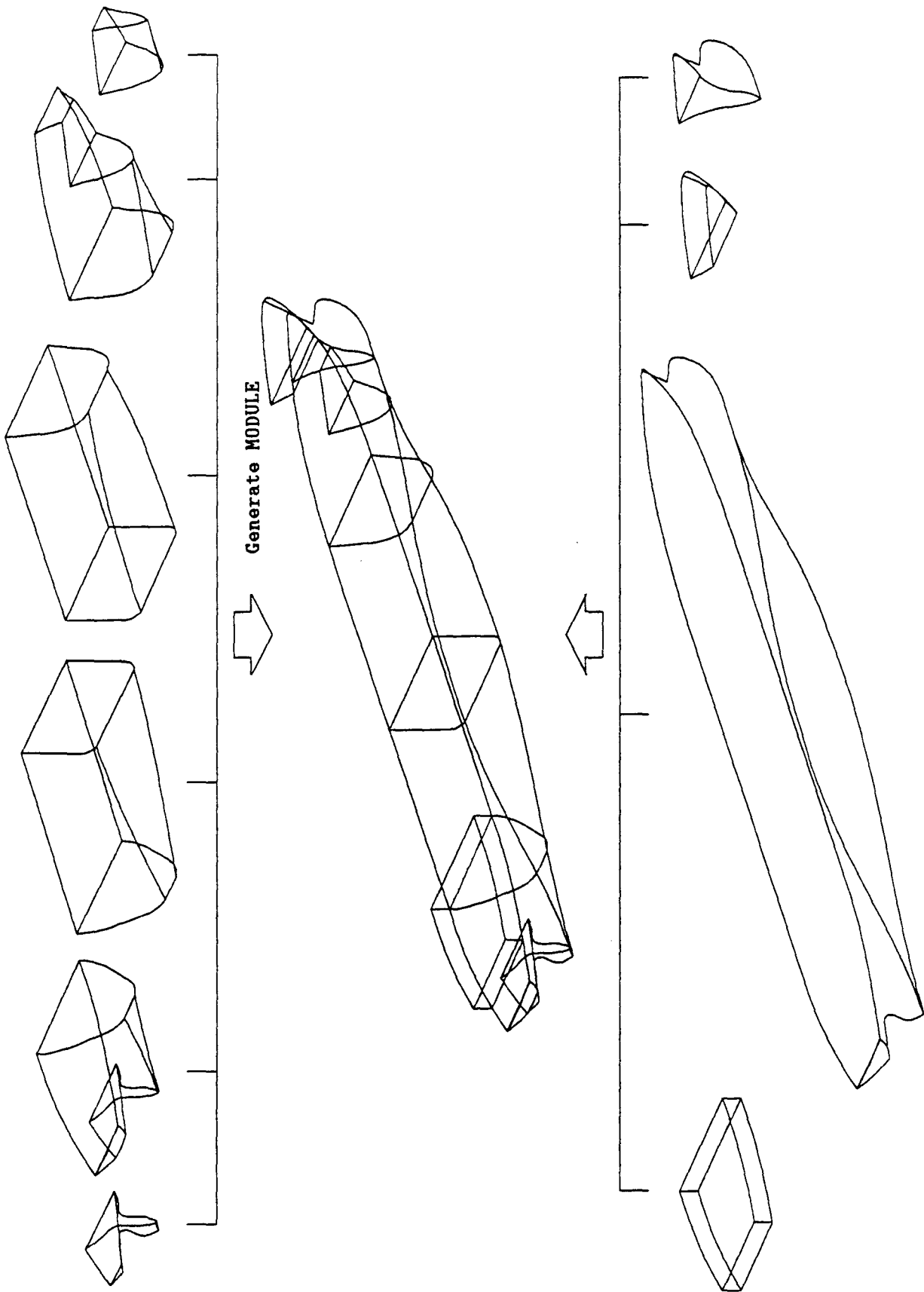


Abb. 6.8: Schiffsraumaufteilung durch eine Modul-Beschreibung

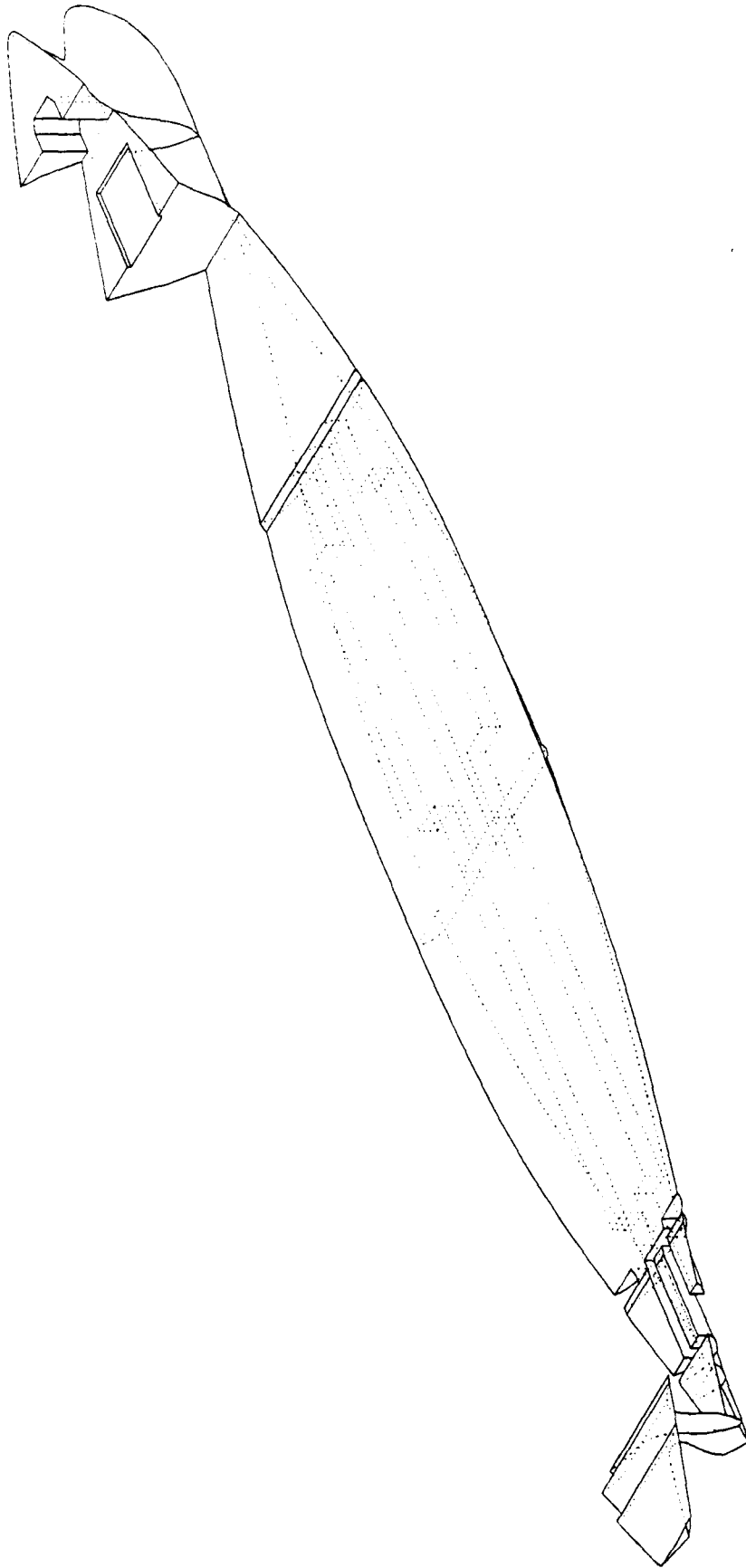


Abb. 6.9: Doppelbodenbereich eines Mehrzweckfrachters

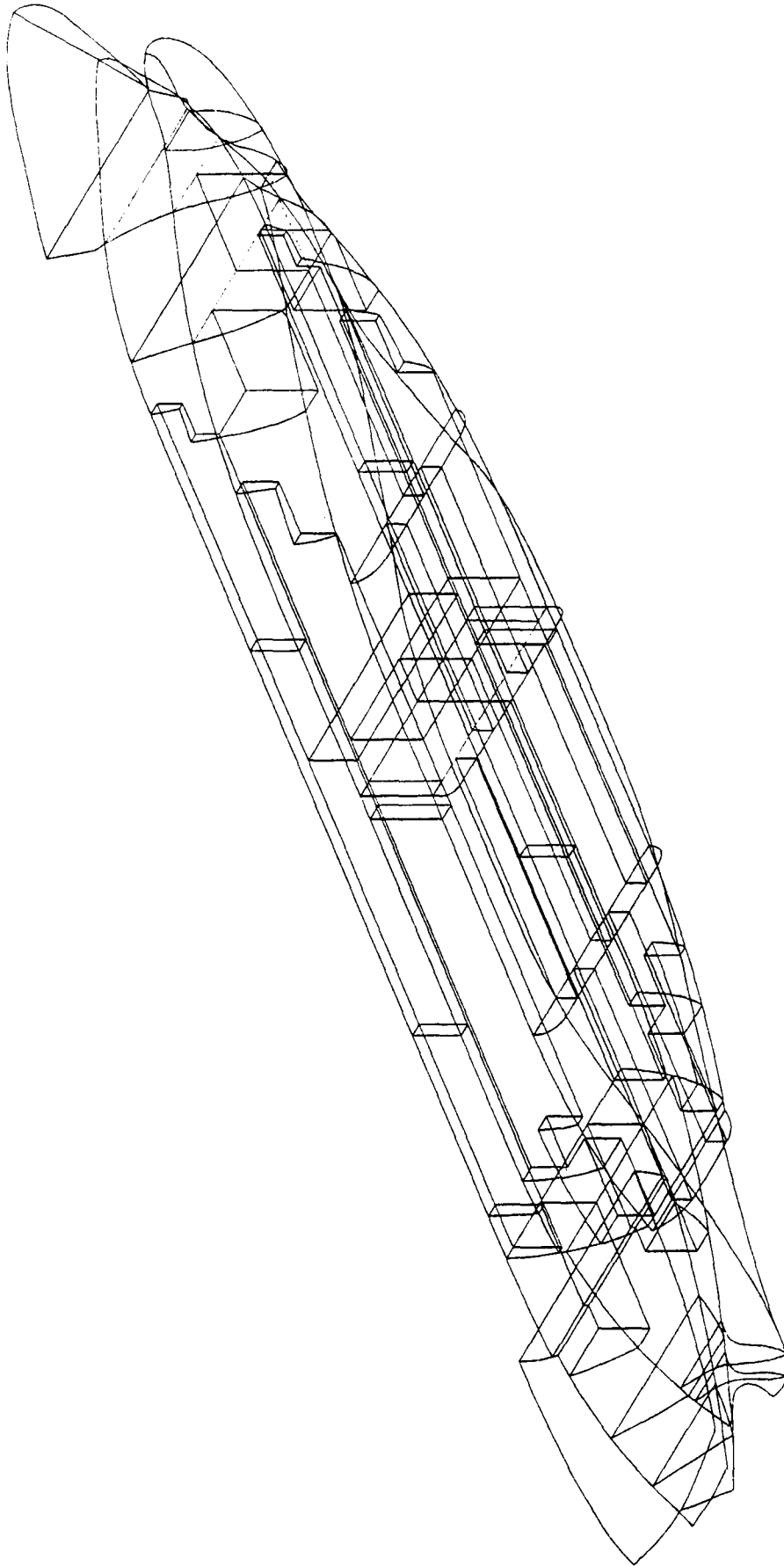


Abb. 6.10: Innere Topologie eines Containerschiffes, parallelprojizierte Projection

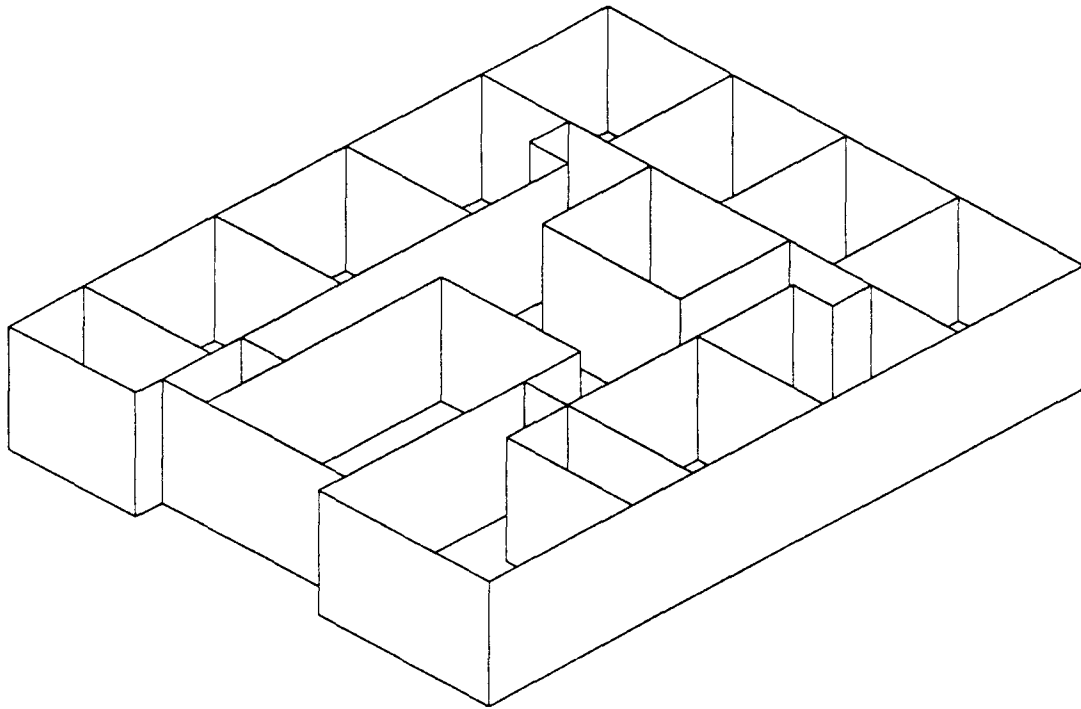


Abb. 6.11: Innere Einteilung eines Aufbaudecks

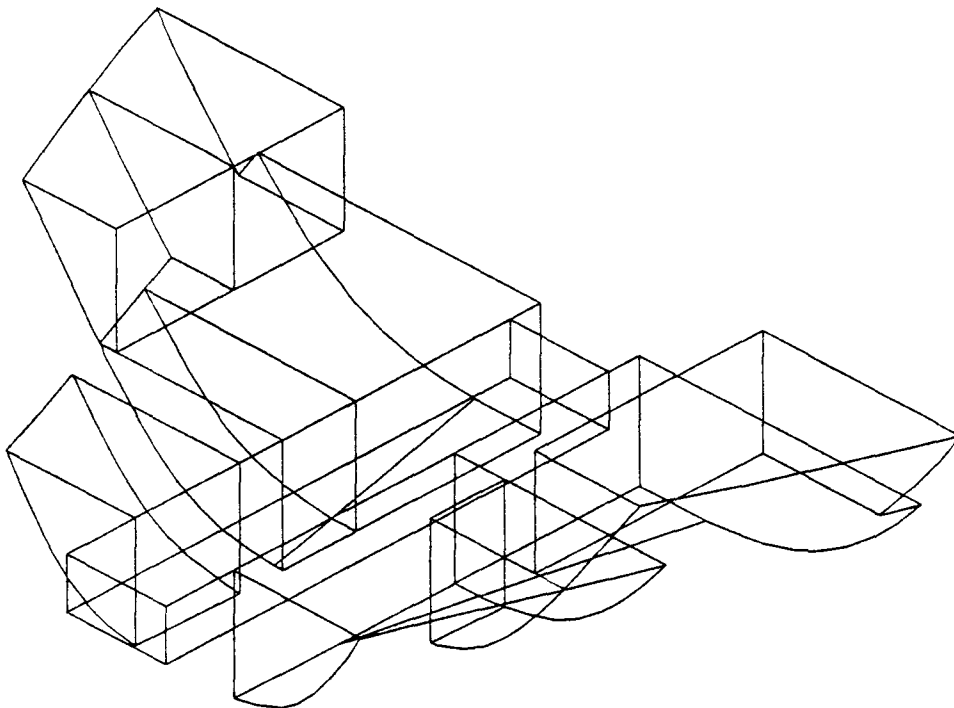


Abb. 6.12: Tankanordnung im unteren Maschinenraumbereich

## 6.4 Manipulationsfunktionen

Die Manipulationsfunktionen umfassen alle Fähigkeiten zur Abänderung der mit den Generierungsfunktionen erzeugten Informationen. Diese Funktionen zur Manipulation von Einheiten lassen sich in drei Tätigkeitsbereiche einteilen:

- Modifizieren
- Ersetzen
- Löschen

### 6.4.1 Modifizieren

Die Vornahme sowohl geometrischer als auch topologischer Änderungen an den Einheiten ist notwendig, da sich das Entwurfskonzept im Laufe des Entwurfes ändern kann. Das Modifizieren oder Ändern von Einheiten (z.B. Lageänderung einer Begrenzungsebene oder Neudefinition eines Raumes) ermöglicht es wiederum, auf verschiedene Arten eine generierte Einheit zu verändern. Dabei stehen zwei grundsätzliche Verfahren zur Auswahl.

Mit Hilfe des ersten Verfahrens läßt sich eine einmal eingegebene Generierungsfolge nachträglich rückgängig machen bzw. modifizieren. Zu diesem Zweck wird die Befehlsfolge auf eine benutzereigene Datei zwischengespeichert. Diese Befehlsfolge kann vom Benutzer editiert und neu gestartet werden. Diese Modifizierungsart bedeutet nichts anderes als einen erneuten Durchlauf der Einheitsgenerierung.

Beim zweiten Verfahren kann der Benutzer in die rechnerinterne Darstellung indirekt eingreifen. Es können auf diese einfache Weise z.B. Attributwerte geändert werden.

### 6.4.2 Ersetzen

Änderungen an den Einheiten können durch Löschen und Ersetzen einer vorhandenen Einheit durch eine neudefinierte Einheit vorgenommen werden. Bedingt durch die komplexe Struktur der Einheiten und deren eventuell vorhandenen vielfältigen Beziehungen untereinander, erfordert das Ersetzen eine besondere Sorgfalt, da die Operation leicht die Regelmäßigkeit der gesamten Datenbasis gefährden kann. Alle von dem Ersetzen betroffenen Einheiten werden aufgelistet, und sie müssen nach Bedarf entsprechend geändert werden.

### 6.4.3 Löschen

Das Löschen einer Einheit **E** bewirkt das Löschen aller Einheiten, die nach **E** generiert sind, um die Konsistenz der Datenbasis zu bewahren. Jedoch ist das Löschen einer einzigen Einheit durch die Technik des Ersetzens zu bewältigen.

## 6.4 Manipulationsfunktionen

Die Manipulationsfunktionen umfassen alle Fähigkeiten zur Abänderung der mit den Generierungsfunktionen erzeugten Informationen. Diese Funktionen zur Manipulation von Einheiten lassen sich in drei Tätigkeitsbereiche einteilen:

- Modifizieren
- Ersetzen
- Löschen

### 6.4.1 Modifizieren

Die Vornahme sowohl geometrischer als auch topologischer Änderungen an den Einheiten ist notwendig, da sich das Entwurfskonzept im Laufe des Entwurfes ändern kann. Das Modifizieren oder Ändern von Einheiten (z.B. Lageänderung einer Begrenzungsebene oder Neudefinition eines Raumes) ermöglicht es wiederum, auf verschiedene Arten eine generierte Einheit zu verändern. Dabei stehen zwei grundsätzliche Verfahren zur Auswahl.

Mit Hilfe des ersten Verfahrens läßt sich eine einmal eingegebene Generierungsfolge nachträglich rückgängig machen bzw. modifizieren. Zu diesem Zweck wird die Befehlsfolge auf eine benutzereigene Datei zwischengespeichert. Diese Befehlsfolge kann vom Benutzer editiert und neu gestartet werden. Diese Modifizierungsart bedeutet nichts anderes als einen erneuten Durchlauf der Einheitsgenerierung.

Beim zweiten Verfahren kann der Benutzer in die rechnerinterne Darstellung indirekt eingreifen. Es können auf diese einfache Weise z.B. Attributwerte geändert werden.

### 6.4.2 Ersetzen

Änderungen an den Einheiten können durch Löschen und Ersetzen einer vorhandenen Einheit durch eine neudefinierte Einheit vorgenommen werden. Bedingt durch die komplexe Struktur der Einheiten und deren eventuell vorhandenen vielfältigen Beziehungen untereinander, erfordert das Ersetzen eine besondere Sorgfalt, da die Operation leicht die Regelmäßigkeit der gesamten Datenbasis gefährden kann. Alle von dem Ersetzen betroffenen Einheiten werden aufgelistet, und sie müssen nach Bedarf entsprechend geändert werden.

### 6.4.3 Löschen

Das Löschen einer Einheit **E** bewirkt das Löschen aller Einheiten, die nach **E** generiert sind, um die Konsistenz der Datenbasis zu bewahren. Jedoch ist das Löschen einer einzigen Einheit durch die Technik des Ersetzens zu bewältigen.

## 6.5 Berechnungsfunktionen

In direkter Verbindung oder durch Aufruf anderer Programme basierend auf den Informationen aus dem Schiffsmodell, können alle schiffsgeometrischen Berechnungen durchgeführt werden.

Alle geometriebezogenen Berechnungsfunktionen im vorliegenden System basieren auf der Flächen- und Momentenberechnung der einzelnen Berechnungsspanen. Sie werden in X-Richtung integriert und in die Volumen- und Momentenberechnung der einzelnen Räume und Raumkombinationen überführt. Die Berechnungen finden in dem jeweiligen lokalen Koordinatensystem statt; sie werden in das globale Koordinatensystem für die endgültige Ausgabe transformiert.

In jedem Entwicklungsstand können folgende volumetrische Berechnungen zur Auswertung der Eigenschaften der Raumanordnungen aktiviert werden:

- Rauminhalts-, Gewichts- und Schwerpunktberechnungen;
- hydrostatische Formwerte;
- Anfangsstabilität und Trimm (Gleichgewichtslage) für verschiedene Ladefälle des intakten oder lecken Schiffes
- Berechnung der Pantokarenen und Hebelarme für das intakte und lecke Schiff im Glattwasser oder in einer Welle;
- Längsfestigkeitsberechnungen für das Schiff im Glattwasser oder in einer Welle

Aus der Arbeit [55] von Söding wurden Berechnungsalgorithmen in das System eingebettet und zum großen Teil durch Eigenentwicklungen angereichert.

Tabelle 6.1 zeigt die Zusammenstellung der Tanks und das Ergebnis der Rauminhalts-, Gewichts- und Schwerpunktberechnungen für einen Mehrzweckfrachter.

## 6.6 Visualisierungsfunktionen

Für die Grafikschnittstelle ist vor allem auf Geräteunabhängigkeit zu achten. Hier wird eine eigene Plot-Software mit GKS-Elementen [60], [61] verwirklicht, um die 2D- und 3D-Zeichnungsausgabe des rechnerintern aufgebauten Modells zu unterstützen. Somit kann der Anschluß an unterschiedliche Grafikgeräte mit geringem Aufwand hergestellt werden.

Aufgrund der eingegebenen Daten kann ein geometrisches Gebilde z.B. ein Raum grafisch auf dem Bildschirm ausgegeben werden, was der Kontrolle der Eingaben, deren richtigen Interpretation und deren Realisierbarkeit dienen soll. So kann sich der Benutzer in jeder Zwischenphase über den Stand eines Entwurfes informieren und mit Hilfe der Generierungsfunktionen oder Manipulationsfunktionen diesen Entwurf entsprechend ändern oder erweitern.

C A P A C I T Y & C G calculation for case: 2

Name of CASE 2: Tank-Compilation

Compartment	Content	Capacity [m3]	Weight [t]	xV [m]	yV [m]	zV [m]
FOREPEAK	No. 1 BW	258.93	265.41	121.39	0.00	6.15
DB TANK	No. 2 BW	345.23	353.86	111.94	0.00	4.61
DB TANK	No. 3 BW	244.98	251.11	97.69	0.00	0.89
DB TANK	No. 4 BW	219.00	224.48	72.01	-6.74	0.75
DB TANK	No. 5 BW	219.00	224.48	72.01	6.74	0.75
DB TANK	No. 6 BW	243.47	249.56	41.68	-5.46	0.75
DB TANK	No. 7 BW	244.04	250.14	41.63	5.45	0.75
AFTERPEAK	No. 8 BW	92.64	94.96	2.97	0.00	7.11
DB TANK	No.11 HO	207.06	196.71	73.33	2.39	0.70
DB TANK	No.12 HO	207.07	196.72	73.33	-2.39	0.70
DB TANK	No.13 HO	241.83	229.74	40.04	0.00	0.70
SERVICE TK.	No.14 HO	27.11	25.76	9.06	0.00	6.00
SETT. TANK	No.15 HO	20.36	19.34	9.64	2.58	6.24
SETT. TANK	No.16 HO	20.36	19.34	9.64	-2.58	6.24
2.DK.ST.TK.	No.17 HO	65.31	62.04	8.07	5.73	9.77
DB TANK	No.18 OVERFL.	24.84	23.60	17.56	2.10	0.87
DB COL. TK.	No.20 LO	8.71	7.84	16.73	-0.85	1.04
STORAGE TK.	No.21 LO	10.90	9.81	12.59	8.27	9.88
STORAGE TK.	No.22 LO	11.67	10.50	12.45	6.13	9.65
SETTL. TK.	No.23 LO	10.34	9.30	12.66	4.20	9.65
STORAGE TK.	No.24 DO	108.74	92.43	7.57	-6.06	9.81
SERVICE TK.	No.25 DO	8.00	6.80	12.55	-5.58	9.65
DB DI.O.TK.	No.26 SLUDGE	7.19	6.76	18.59	-3.15	1.00
DB CWD.TK.	No.27 SLUDGE	9.47	8.90	11.22	0.00	0.88
DB SLUD.TK.	No.28 SLUDGE	9.44	8.87	8.59	0.00	0.90
2. DK. TK.	No.31 FW	97.12	97.12	0.26	3.69	9.98
2. DK. TK.	No.32 FW	64.75	64.75	-1.27	-3.18	10.06
=====						
TOTAL		3027.57	3001.69	62.60	0.02	3.11

Tab. 6.1: Tank-Zusammenstellung

Mit Hilfe einer 3D-Zeichnung sind Fehlerquellen leicht auszuschalten, die bei einer 2D-Zeichnung aufgrund der fehlenden räumlichen Anschaulichkeit nicht zu erkennen wären. Das Vorliegen einer 3D-Zeichnung bedeutet für viele Konstruktionsabteilungen eine weitere wesentliche Erleichterung der Arbeit.

Über wenige Eingabebefehle ermöglicht die Plot-Software die Erstellung von Zeichnungen in der Vorderansicht, Seitenansicht, Draufsicht und allen beliebigen parallelprojizierten (z.B. verzerrte Ansichten) oder perspektivischen Darstellungen eines Teiles des räumlichen oder des gesamten geometrischen Modells. Einige grafische Darstellungsarten sind anhand des Containerschiffes in Abbildung 6.13 als Beispiel vorgelegt. Diese Darstellungen sind als Kontrollzeichnungen für die erfolgte Erstellung eines Entwurfes nutzbar.

Um die Benutzerschnittstelle möglichst einfach zu halten, können die fest vorgegebenen Darstellungsarten über eine Menükarte gemäß Tabelle 6.2 ausgewählt werden. Weitere Darstellungsarten sind Entfernung verdeckter Kanten (s. Abschn. 5.1) und 3D-Fenstertechnik (s. Abschn. 5.2). Manche Menüfelder bieten Voreinstellungen an, die vom Benutzer durch Betätigen der RETURN-Taste entweder akzeptiert oder durch Neueingabe geändert werden können.

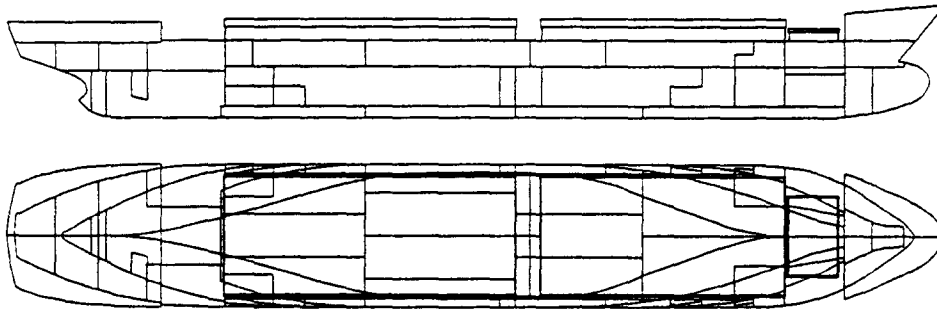
```

Main(11) ]- Plot(*) ]- VIEW
          == Menu VIEW ==
Enter NUMBER to DRAW: <HIDDEN: OFF> <WINDOW: OFF>
-----
/ RETURN to   1 SIDE VIEW      5 SIDE + TOP VIEW      11 3D WINDOWING
  menu PLOT   2 TOP VIEW       6 SIDE + BACK VIEW     12 TOGGLE WINDOW
              3 BACK VIEW     7 SIDE + FRONT VIEW
              4 FRONT VIEW    8 3-VIEWS (BACK)      13 TOGGLE HIDDEN
                                   9 3-VIEWS (FRONT)      14 PLOT MODE
                                   10 PARALLEL PROJECTION  15 DCL COMMAND
=====
INPUT </> =>

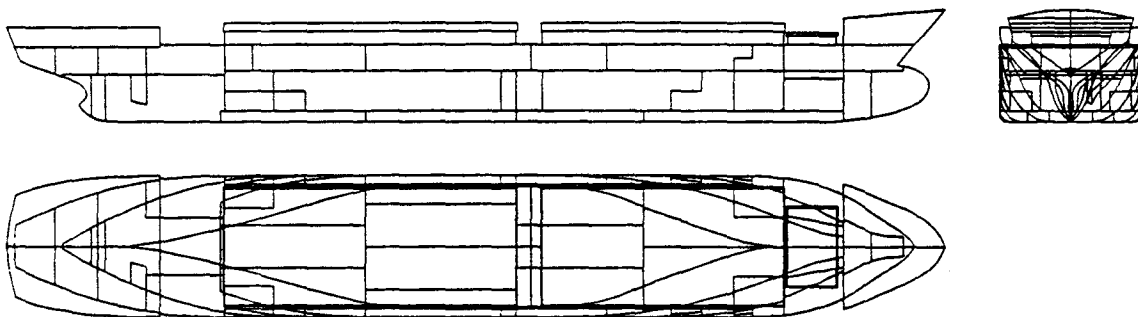
```

Tab. 6.2: Menükarte VIEW

View-Mode: 5 (Side + Top View)



View-Mode: 8 (3 Views)



View-Mode: 10 (Parallel Projection)

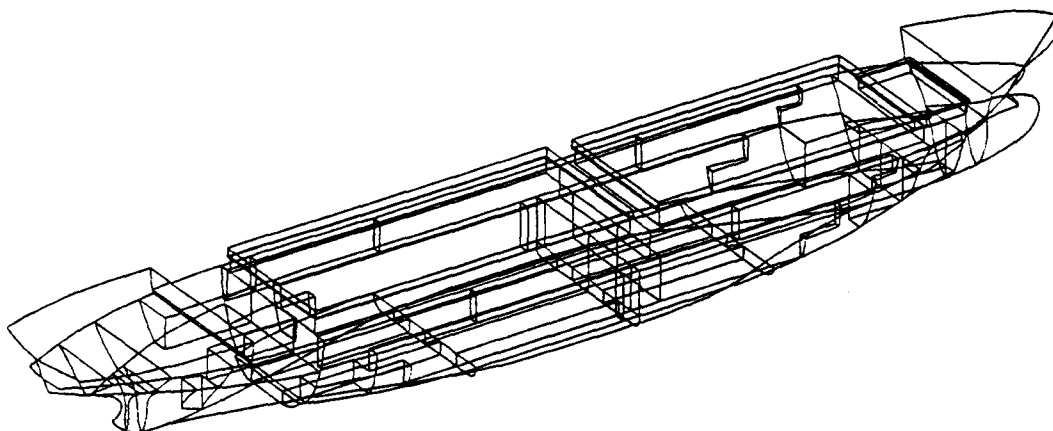


Abb. 6.13: Verschiedene Darstellungsarten

## 6.7 Anwendungsbeispiel

Als Beispiel, bei dem die 3D-Raumgenerierung Vorteile bietet, soll der Raumaufteilungsvorgang eines Mehrzweckfrachters, wie er sich für einen Anwender darstellt, betrachtet und demonstriert werden.

Voraussetzung ist das Vorhandensein der Geometrie der äußeren Schiffsform. Abbildung 6.14 zeigt die mit dem Programm EUMEDES [56] repräsentierte Außenhaut des Mehrzweckfrachters.

Der Schiffsrumpf ist durch das ebene Hauptdeck und die Begrenzungskurven Vorsteven, Achtersteven, Heckkontur und Flachbodenkontur begrenzt. Alle vier Konturen (Abb. 6.15) sind durch das geometrische Primitivum CURVE beschrieben, wobei die Heckkontur sich durch die implizite Angabe einer Raumpunktfolge definieren läßt. Das Hauptdeck wird durch die Einbeziehung von PLANE abgebildet. Ferner können die Bauspantabstände eingegeben werden.

Die Beschreibung des Schiffsrumpfes als ROOM erfolgt im wesentlichen durch die Angabe der Schnittebene des Hauptdecks sowie die begrenzenden Konturen (Abb. 6.16). Die Poop und die Back können ebenfalls aus der FORM herausgeschnitten werden.

Nun können die Räume zur Eingabekontrolle geplottet werden. Ebenfalls können die verschiedenen volumetrischen Berechnungen durchgeführt werden. Die drei Räume können zu einem MODULE verkettet werden. Dieser kann zu Kontrollzwecken (Abb. 6.17) ausgegeben oder zur Erstellung einer Generalplan-Basiszeichnung benutzt werden. Damit ist der Zugriff auf bereits generierte Daten in jeder Stufe des Entwurfes möglich.

An dieser Stelle kann man das Deckshaus anfügen oder das Rauminnere durch Decks, Wände und Schotte aufteilen, um weitere Räumlichkeiten zu erzeugen.

Hier wird zunächst die Definition der einzelnen Tanks (Abb. 6.18), der Laderäume (Abb. 6.19) sowie anderer Räume (Abb. 6.20) im Schiffsinnern vorgenommen. Die Laderäume können auch mit Luken versehen werden. Dies geschieht in beliebiger Reihenfolge mit einer der vier Raumgenerierungsmethoden (s. Abschn. 6.3.3). Auf diese Weise können alle Räume definiert werden. Diese Räume können wiederum geteilt werden, um untergeordnete Räume zu erzeugen. Abbildung 6.21 zeigt eine weitere Unterteilung des 2. Decks in Tanks sowie Betriebsräume.

Diese generierten Räume können nun zu einem MODULE kombiniert werden. Abbildung 6.22 zeigt die mit dem *analysing* und *merging* Verfahren entworfene Raumaufteilung des Mehrzweckfrachters.

Das Schiff kann auch durch das Deckshaus sowie den Schornstein vervollständigt werden. In diesem Beispiel erfolgt die vertikale Einteilung des Deckshauses in Räumen durch das Einbeziehen von 3D-BOX gemäß Abbildung 5.4. Der Raum zwischen zwei Deckshausdecks kann weiter in mehrere Räumlichkeiten unterteilt werden (Abb. 6.23).

Abbildung 6.24 zeigt die Darstellung der Schiffsraumaufteilung mit Deckshaus und Schornstein.

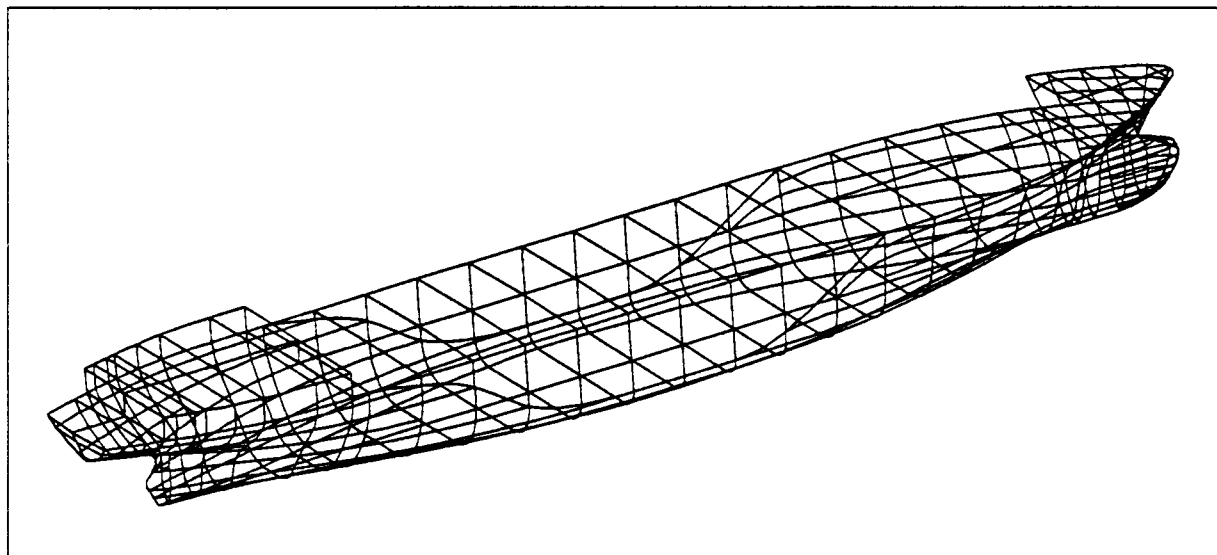
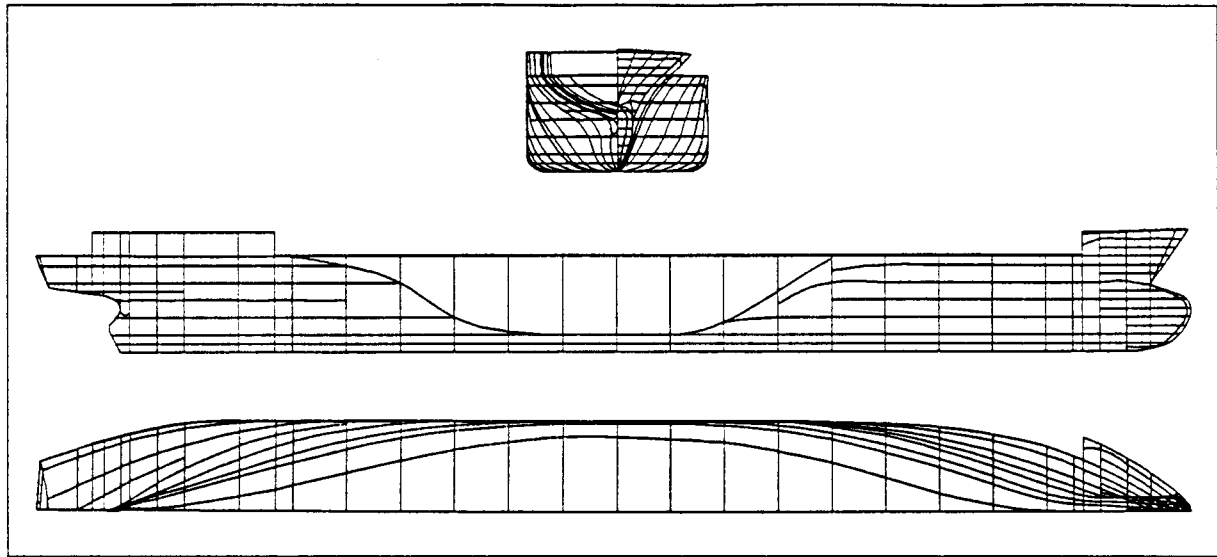


Abb. 6.14: Die Außenhaut eines Mehrzweckfrachters

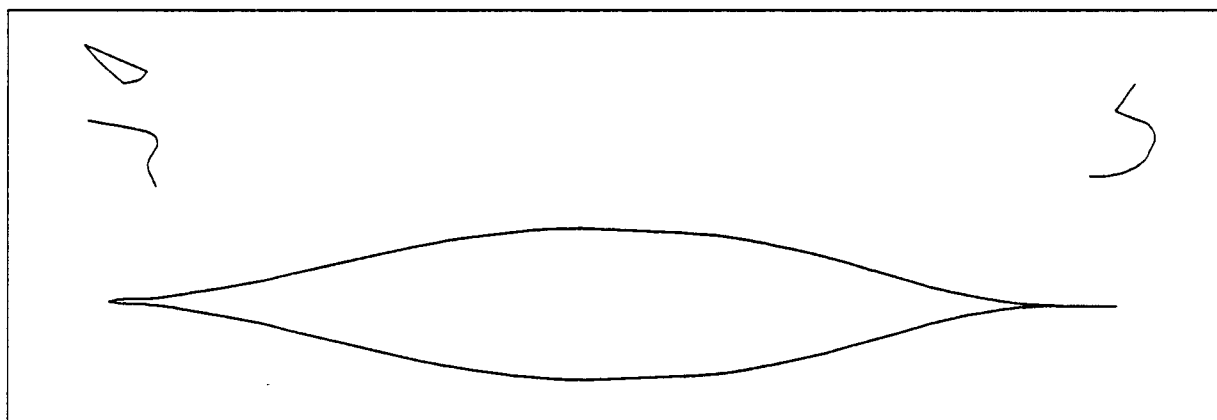


Abb. 6.15: Darstellung der Begrenzungskurven des Schiffsrumpfes

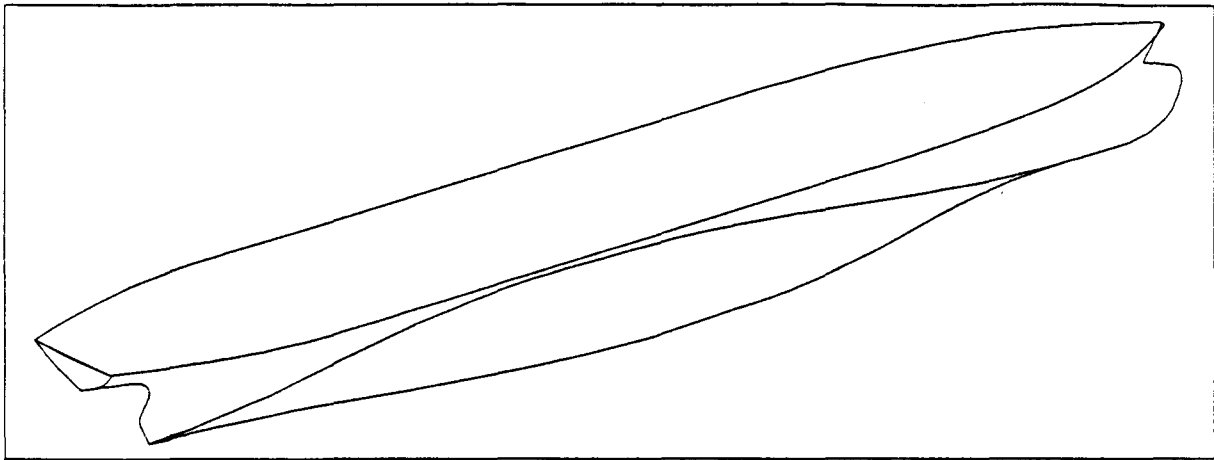


Abb. 6.16: Darstellung des Schiffsrumpfes als Raum

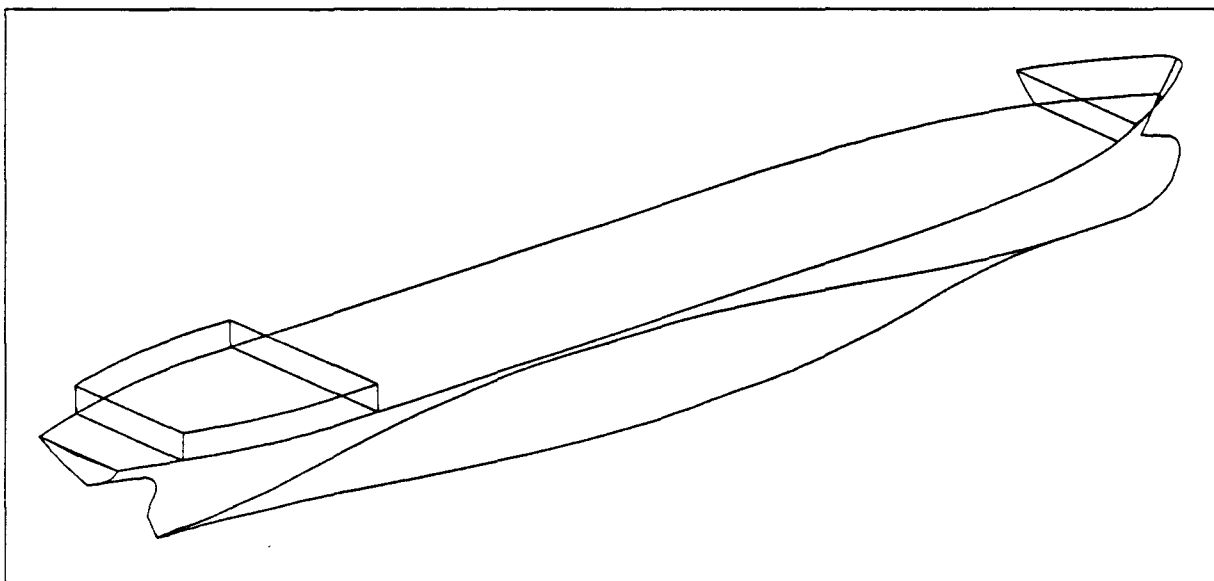
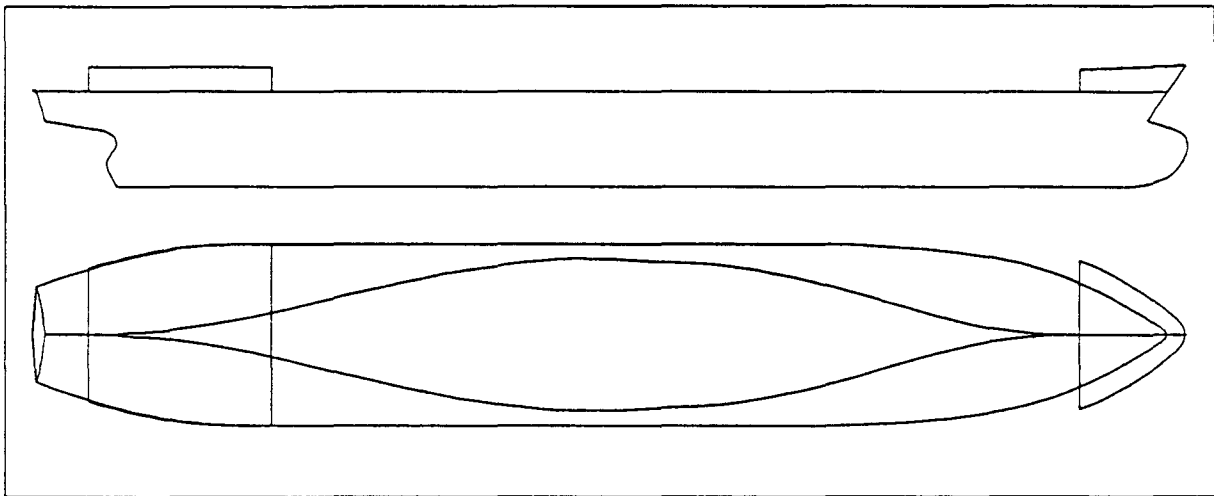


Abb. 6.17: Darstellung des Schiffes als Modul

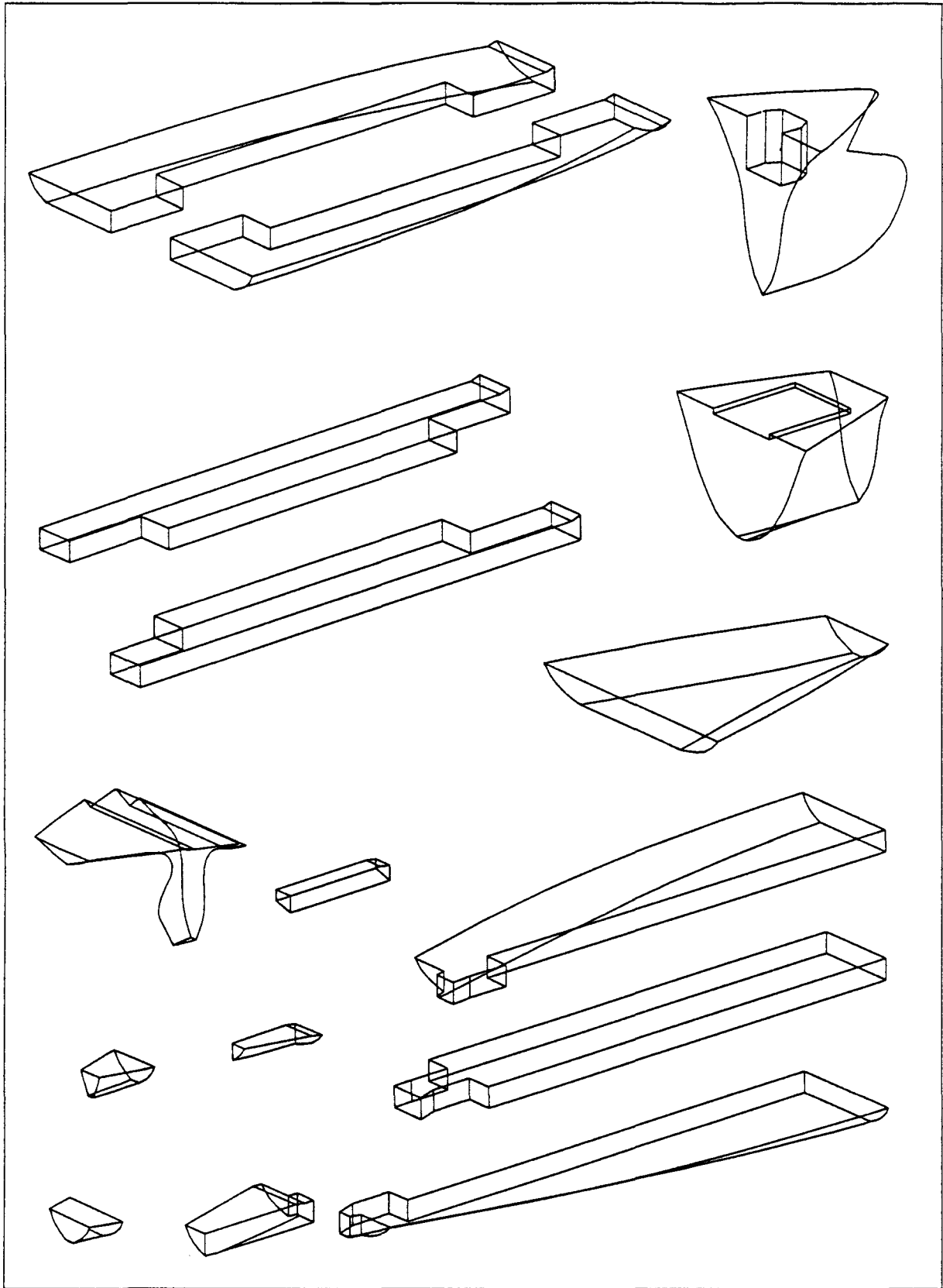


Abb. 6.18: Die Bodentanks

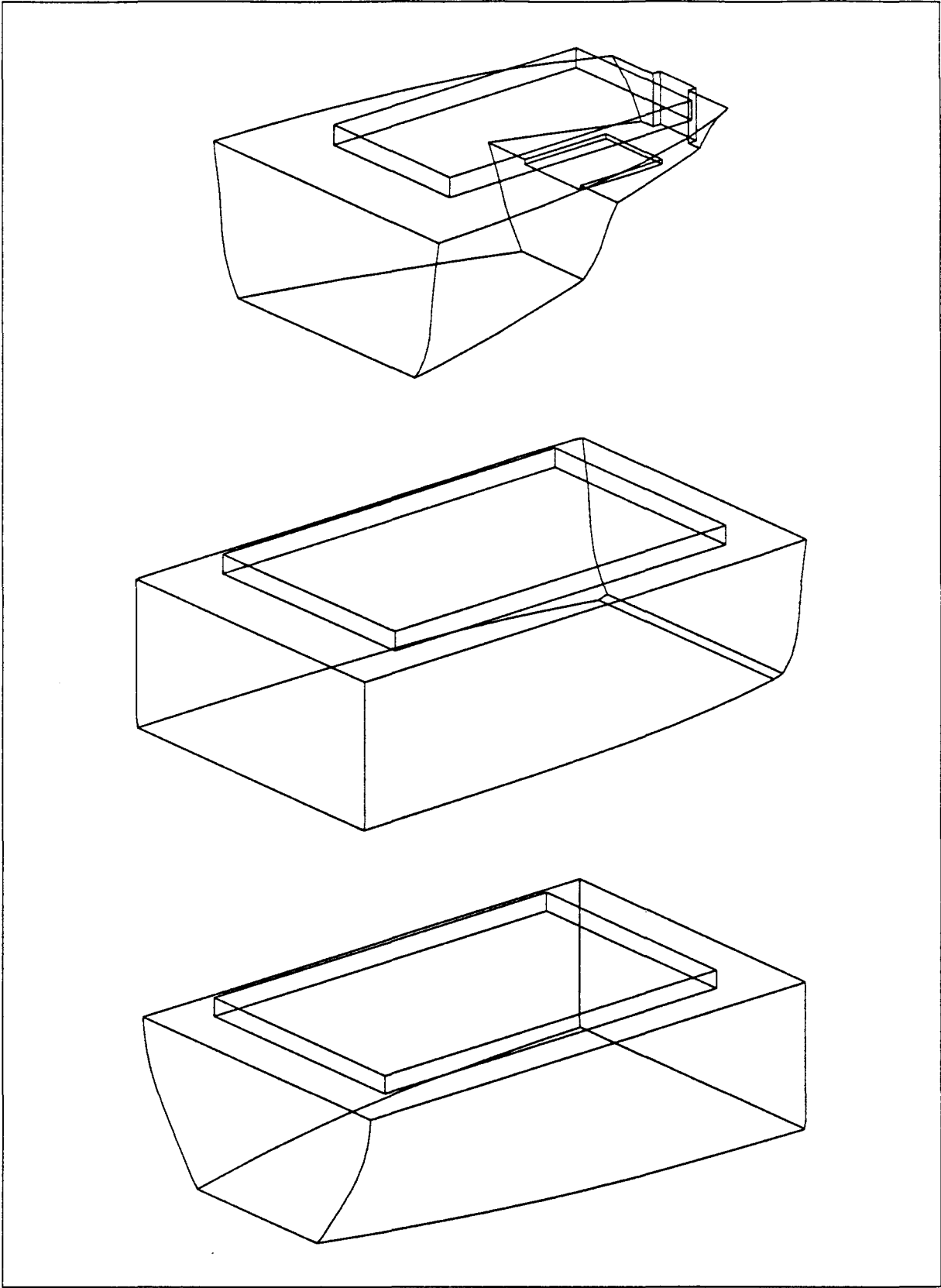


Abb. 6.19: Die Laderäume

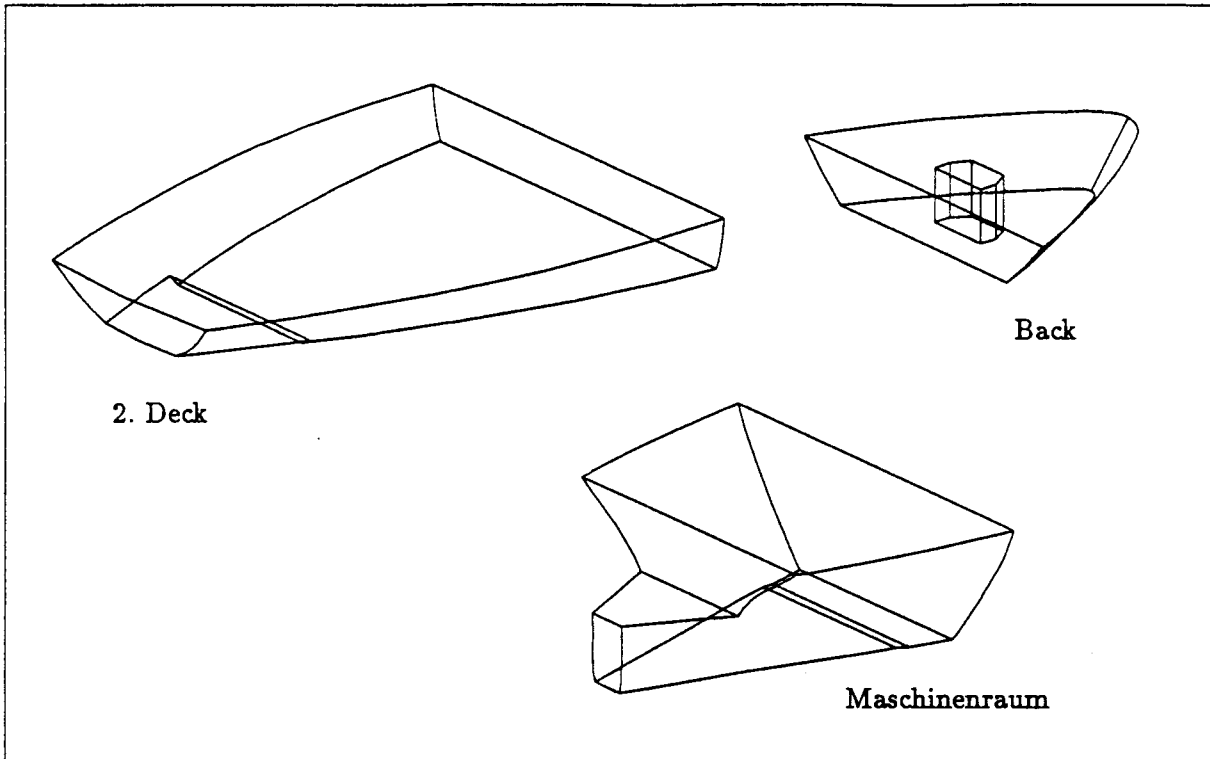


Abb. 6.20: Weitere Räume

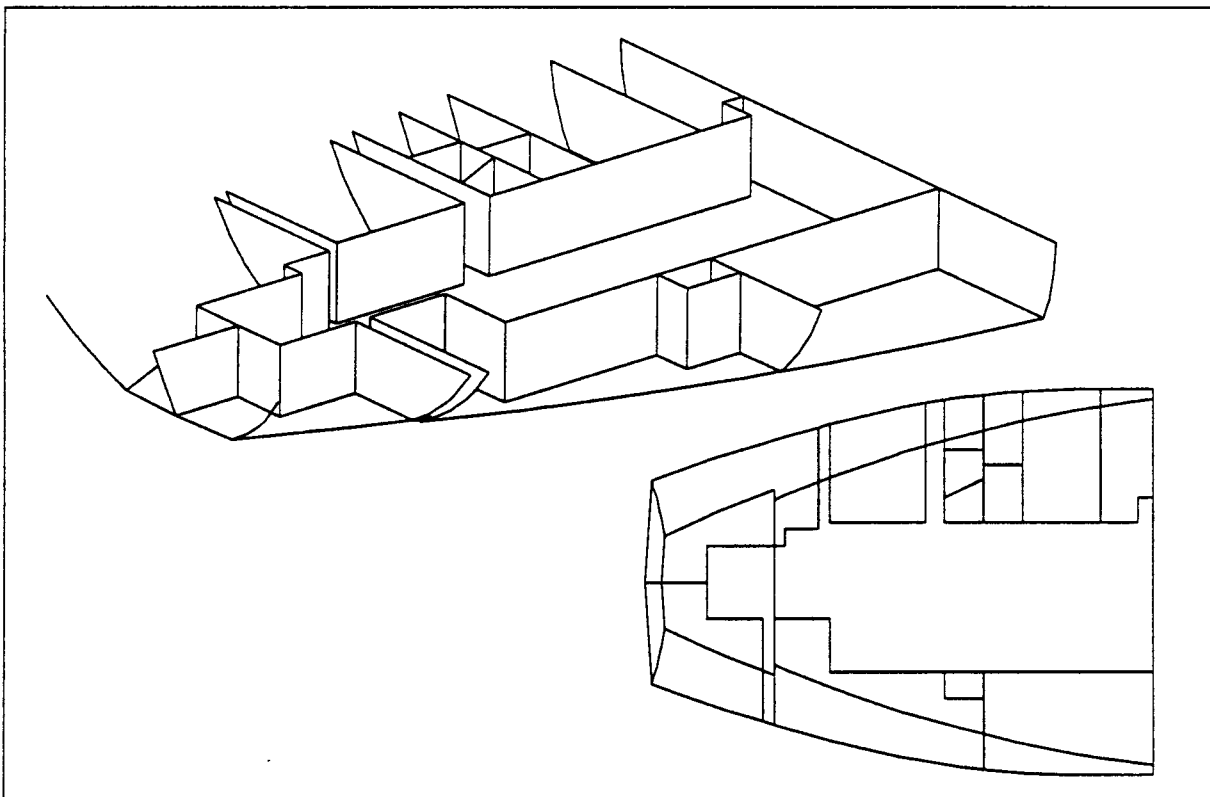


Abb. 6.21: Weitere Unterteilung des 2. Decks

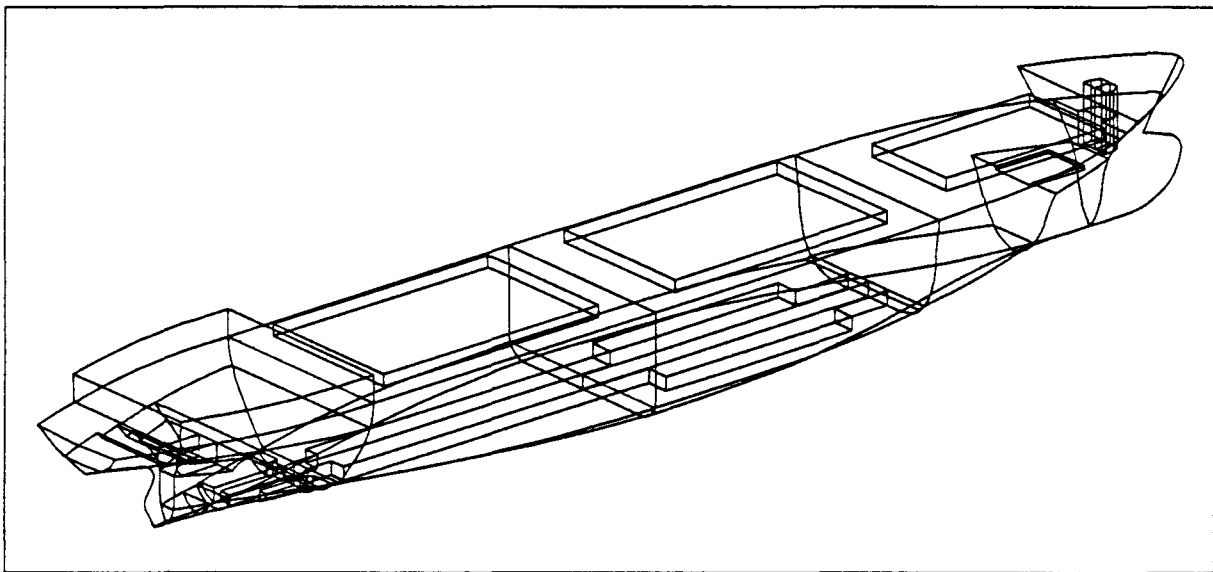
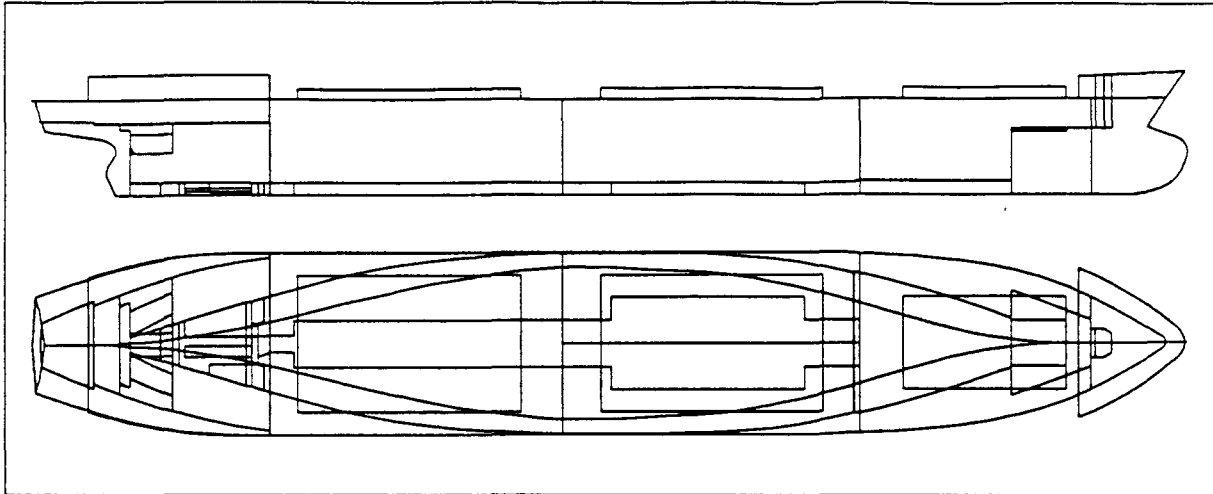


Abb. 6.22: Innere Einteilung des Mehrzweckfrachters

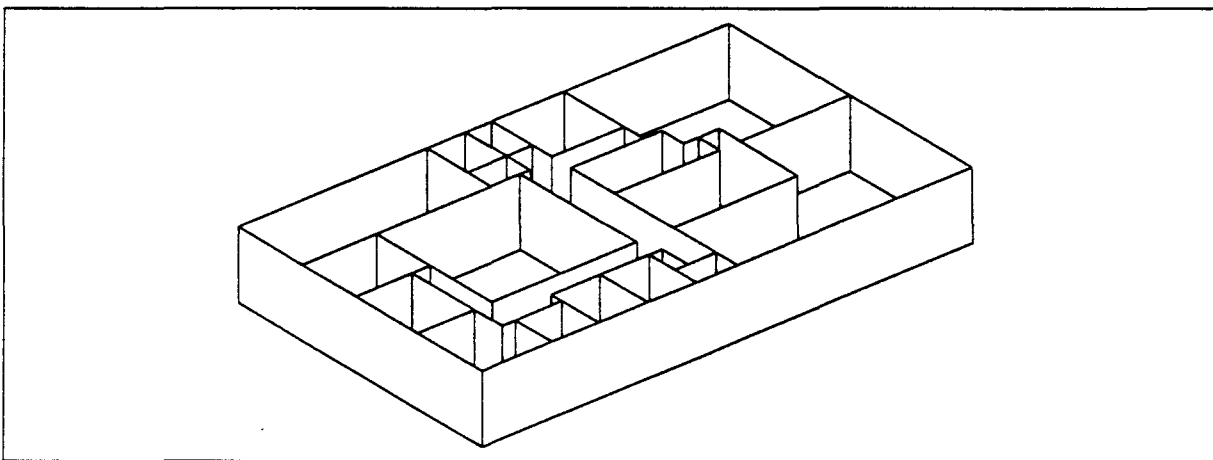


Abb. 6.23: 3D-Raumanordnung im 1. Aufbaudeck

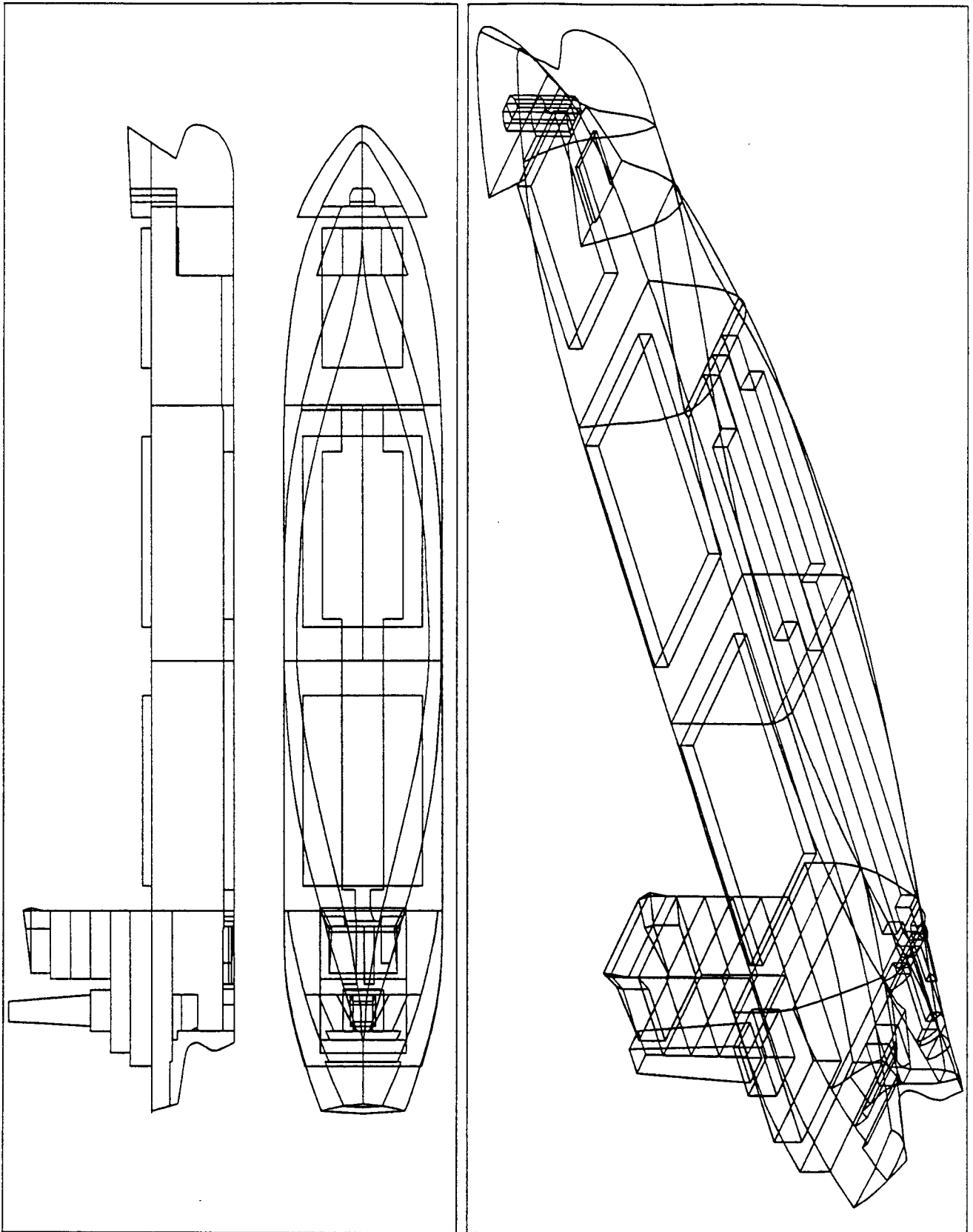


Abb. 6.24: Darstellung der Schiffsraumaufteilung

## 7 Interaktives Generieren des Generalplans

### 7.1 Konzeption

Wenn die äußere Schiffsform und die schiffsinnere Raumaufteilung als Ergebnis des Entwurfes bestimmt werden, liegt es nahe, die Daten in Form eines Generalplans zu entwickeln und niederzulegen. Im Gegensatz zu technischen Zeichnungen im Maschinenbau fehlt es bei der Generalplanbestimmung von Schiffen an festen Richtlinien und Gesetzmäßigkeiten. Daher drängt sich ein interaktiver Arbeitsstil auf, d.h. das Arbeiten wird vom Entwerfer gesteuert und vom Rechner registriert und unterstützt, da die Formulierung eines automatischen, vollständig algorithmisierten Ablaufs große Schwierigkeiten bereitet.

Jedoch ist der Vorgang der Detaillierung nicht Gegenstand der Raumaufteilung. Das Raumaufteilungssystem liefert lediglich die Generalplan-Rohzeichnung, d.h. die Konturen der Decks, Schotte und anderer definierten raumteilenden Bauteile, die Schnitte, die Ansichten etc. Diese stehen für die weiterführende interaktive Ausarbeitung des Generalplans bereit.

Das dreidimensionale Modell im Abschnitt 3.3 auf Seite 20 enthält alle geometrisch-topologischen Daten für die eindeutige Beschreibung der Gestalt der Räume und der raumteilenden Elemente. Um aus dieser Darstellung die zugehörigen Ansichten oder Schnitte zu generieren und zeichnerisch darzustellen, bedarf es eines Zeichnungsmodelles. Dieses Zeichnungsmodell ist strukturiert und enthält Verweise auf das dreidimensionale Modell.

Durch Hinzufügen von zusätzlichen Informationen werden damit Zeichnungen entwickelt. Die abgeleiteten Bildinformationen können zwecks weiterer Bearbeitung in einer Bilddatei angelegt werden. Dafür ist ein Konzept zur Erstellung der in der Bilddatei enthaltenen geometrischen Informationen entwickelt worden.

### 7.2 Ein Zeichnungsmodell für die Generalplanzeichnung

Ist das 3D-Schiffsmodell ausgelegt, können einfache Algorithmen bei der Generalplanbestimmung helfen. Dafür stehen im jetzigen Entwicklungsstand folgende Bildelemente zur Gestaltung der Generalplan-Basiszeichnung zur Verfügung:

- *M.Plane*
- *M.Section*
- *Curve*
- *Frame Mark*

Zur Spezifikation und Beschreibung der Bildelemente wird wiederum die Darstellung in VDA-artiger Syntax [47] verwendet. Eine ausführliche Beschreibung der Parameter

der Bildelemente ist aus dem Anhang B zu entnehmen. Sie werden dann in Strukturen des Datenverwaltungssystems, wie in Abschnitt 3.4 auf Seite 29 dargelegt ist, modelliert.

Aus der Sicht des Benutzers werden derartige Bildelemente im folgenden als Bild-Einheiten bezeichnet.

### **7.3 Arbeitstechniken zur rechnergestützten Generalplanbestimmung**

Die Generalplan-Basiszeichnung besteht aus einzelnen Bildern: Seitenansicht, Querschnitte, Deckspläne, Decks-Horizontalschnitte, Bauspantkala. Jedes dieser Bilder kann vom Benutzer durch die Auswahl der passenden Bild-Einheiten erzeugt werden. Diese Bild-Einheiten können an beliebigen Stellen des Zeichenfeldes plaziert und kombiniert werden.

Die Generierung von Bild-Einheiten mit anschließender Speicherung führt dazu, daß eine Menge sinnvoller Konstruktionshilfen für den Anwender entstehen. Diese Konstruktionstechnik gestaltet die interaktive Erzeugung von beliebigen Darstellungsarten in erwünschtem Detaillierungsgrad. Diese Generierungsart mit Kontrolldarstellung auf dem Bildschirm läßt erheblich schnellere und zügigere Generierung der Generalplanrisse zu und soll als Anstoß für weitere Hilfestellungen dienen. Dazu sind umfangreiche und komfortable Software-Komponenten erforderlich.

#### **7.3.1 Steuerung von Bildern**

Zunächst müssen ein Maßstab und die Größe des Zeichenfeldes festgesetzt werden. Die Festlegung eines Maßstabs bewirkt eine Maßstabsänderung der ganzen Zeichnung. Der einmal gewählte Maßstab kann innerhalb der Zeichnungsumgebung immer noch geändert werden. Zusätzlich (s. unten) ist ein Skalieren der einzelnen Bilder möglich. Bilder werden innerhalb des Zeichenfeldes richtig angeordnet.

Die Anordnung der Bild-Einheiten setzt die Vereinbarung eines Koordinatensystems für das jeweilige Bild voraus. Ein Koordinatensystem besteht aus der Festlegung eines Bezugspunktes (in cm gemessen nach rechts bzw. nach oben von der linken unteren Ecke des Zeichenfeldes), an dem der Nullpunkt abzubilden ist, sowie der Vereinbarung der Richtung der drei Koordinatenachsen mit gleichzeitigen Skalierungen in den drei Achsrichtungen.

#### **7.3.2 Generierung von Bild-Einheiten**

Die eindeutige Identifizierung der Bild-Einheiten erfolgt über den Namen, dem die Bild-Einheit logisch zugeordnet ist. Weitere Attribute definieren z.B. den Strichtyp (die Strichstärke und die Strichart). Für Linien in einem Bild stehen zwei Strichstärken (dicke und dünne) und vier Stricharten (durchgezogen, gestrichelt, punktiert, strichpunktiert) zur Verfügung. Diese können beliebig miteinander kombiniert werden. Für Strichtyp

11	_____
12	=====
21	-----
22	-----
31	.....
32	.....
41	-.-.-.-.-
42	-.-.-.-.-
Erklärung:	1. Stelle = Strichart 1 - 4
	2. Stelle = Strichstärke 1 - 2

Tab. 7.1: Strichtypen

kann eines der Zahlenpaare gemäß Tabelle 7.1 gewählt werden. Standard sind dünne Striche.

### Die Bild-Einheiten *M.Plane* und *M.Section*

Aufbauend auf dem 3D-flächenorientierten Modell kann die Ermittlung der Geometrieminformation für eine Schnittdarstellung automatisch erfolgen. Voraussetzung dafür ist ein entsprechend definierter Schnittverlauf.

Zur Generierung von Schnittverläufen wurden z.Z. zwei Basiselemente: *M.Plane* und *M.Section* geschaffen, mit deren Hilfe beliebig umfangreiche Schnittzeichnungen entstehen können.

*M.Plane* dient zur Erzeugung willkürlicher Schnitte mit dem 3D-Modell von jeder gewünschten Blickposition und bezogen auf jede gewünschte Fläche. *M.Plane* ermöglicht auch die Erzeugung von Schnitten in mehreren Ebenen (mehrfach abgeknickter Schnitt) sowie bei getrennt liegenden Ebenen durch die einfache Angabe eines Satzes von Ebenen und die Nummer eines Moduls. Diese Schnitterzeugungstechnik nutzt die topologischen Beziehungen zwischen den zusammenhängenden Flächenelementen aus.

Z.B. zur Erzeugung eines Spantquerschnittes an einem Schott wird die Nummer der entsprechenden Schottebene mit einem Vorzeichen angegeben. Die Schnittgeraden der Schottebene mit anderen Bauteilflächen sind rechnerintern in dem Datenelement *Edge* abgespeichert und können umgehend dargestellt werden. Ob der Bereich vor oder hinter der Schottebene unsichtbar werden soll, hängt davon ab, auf welcher Seite zur Normalen dieser Schnittebene die zugehörigen Flächen liegen. Das Vorzeichen der Schnittebene gibt an, ob in Richtung (+) oder in Gegenrichtung (-) zur Normalen alle gezeichneten

Elemente unsichtbar und somit entsprechend des gewählten Strichtyps dargestellt werden sollen (Abb. 7.1).

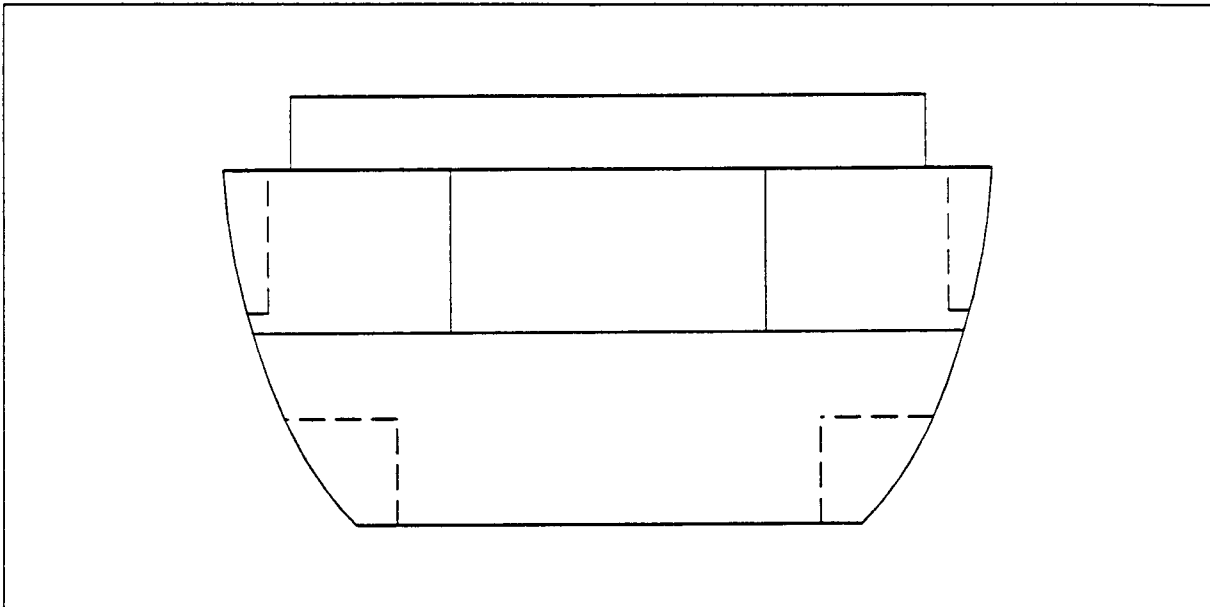


Abb. 7.1: Ein Spantquerschnitt an einem Schott

*M.Section* entsteht durch Berechnungen von beliebigen ebenen Schnitten durch die Unterteilungselemente eines Moduls (z.B. eines Schiffes). Vorzeichen der Schnittebene legt die Sichtrichtung fest. Bei der Schnittbildung durchtrennt der Schnittverlauf die gesamte zu schneidende Geometrie des Moduls. Durch die Definition von abgrenzenden Ebenen können zusätzlich die maximalen Erstreckungen der zu schneidenden Geometrie begrenzt werden. Abbildung 7.2 (oben) veranschaulicht einen Schnitt auf MS.

### Die Bild-Einheit *Curve*

Diese Bild-Einheit gestaltet die Erzeugung von beliebigen Konturen z.B. die Außenkontur eines Spantquerschnittes, eine Skeg-Kontur oder Bucht Konturen, die nicht an Bauteilflächen liegen. Verschiedene Konturen können gleichzeitig in einem Bild erzeugt werden. Zusätzlich können die Konturen durch Ebenen abgegrenzt werden. In Abbildung 7.2 (Mitte) wird der Schnitt auf MS zum vollständigen Längsschnitt durch eine Mittellängskontur sowie eine Heckkontur ergänzt.

### Die Bild-Einheit *Frame Mark*

Die einfachste Bild-Einheit ist eine Bauspantkala, die an beliebiger Stelle in der Zeichnung angeordnet werden kann. Eine *Frame Mark*-Beschreibung umfaßt die Identifikation der gewünschten Einheit (Spanttable) und die Angabe des Bereichs der Bauspantkala, d.h. die erste und letzte Markierung der Bauspantkalierung, die dargestellt werden soll. Der Bezugspunkt ist der Nullpunkt der Spanttable. In Abbildung 7.2 (unten) wurde eine Bauspantkala unterhalb des Längsschnittes gezeichnet.

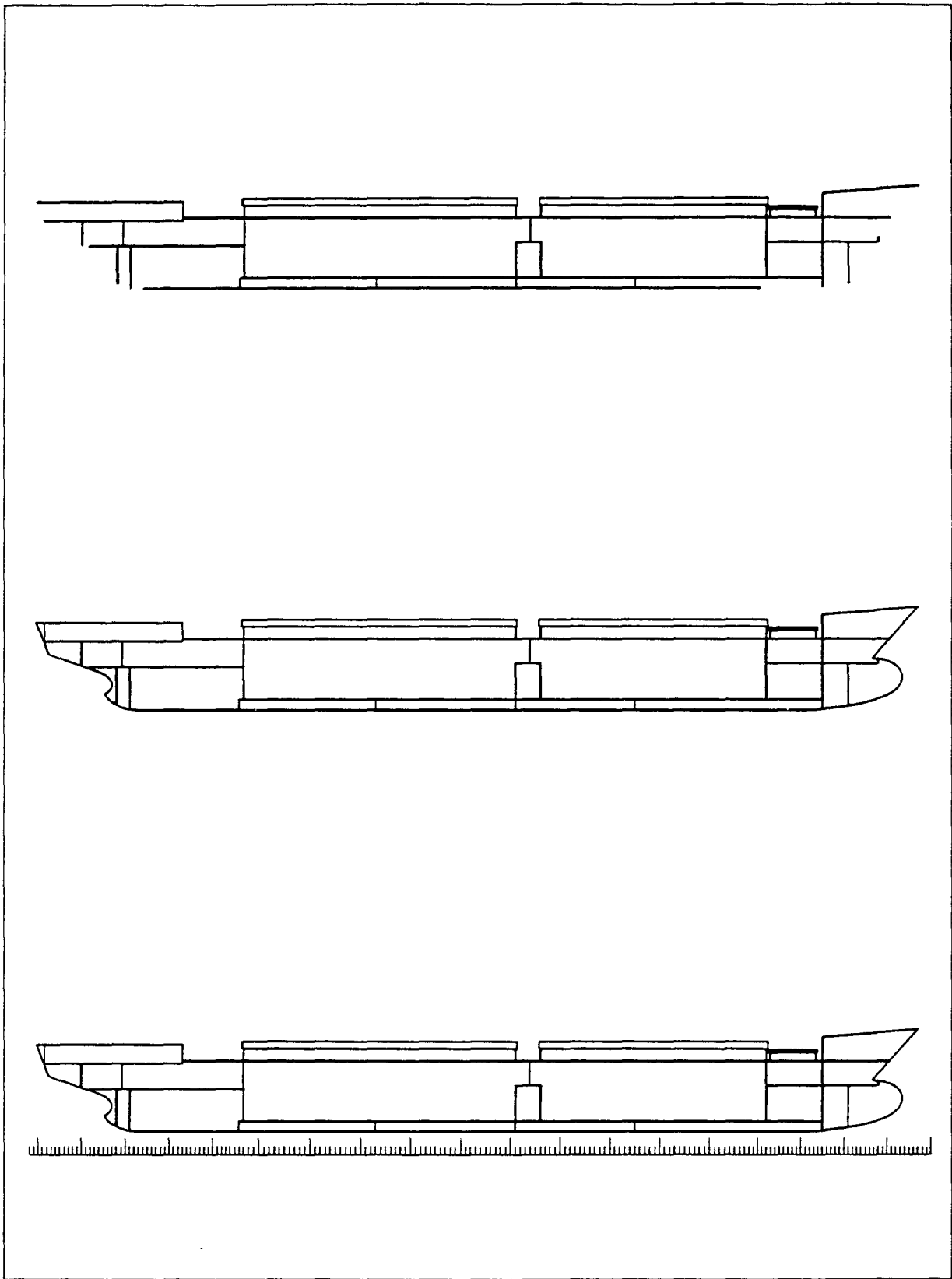


Abb. 7.2: Beispiel eines Längsschnittes

### 7.3.3 Manipulation von Bild-Einheiten

Eine sehr wichtige und vielseitige Manipulationsmöglichkeit besteht darin, Bilder, aus denen der Generalplan aufgebaut ist, zu verändern. Mit der Funktion **Modifizieren** lassen sich mehrere Eigenschaften (z.B. der Name, Strichtyp) von vorhandenen Bild-Einheiten sowie den Bild-Nullpunkten ändern. Andere besonders einfache Änderungen sind Maßstabsänderungen, Drehungen und Skalierungen von Bildern.

Unerwünschte Bilder können auch einzeln gelöscht werden.

Diese Funktionen zur Behandlung der Bild-Einheiten entsprechen dem funktionalen Charakter der Raumaufteilung.

### 7.3.4 Weitere Funktionen

Weitere Befehle steuern die Plottorganisation, das automatische Zwischenspeichern von Bildern, das Zwischenspeichern der Generierungsfolge zwecks erneuter Bildgenerierung bei Änderungen und die Umsetzung von Bildern in numerische Daten für die Bilddateien. Bilder der erzeugten Generalplanzeichnung können in jeder Zwischenphase auf dem Bildschirm ausgegeben und anschließend gelöscht bzw. erneut ausgeplottet werden.

Die Beschriftung und Bemaßung von Darstellungen können mit fertigverfügbaren CAD-Systemen behandelt werden. Dasselbe gilt für die Hilfslinien, die Schraffur, das Schriftfeld etc.

## 7.4 Ergebnisse

Mit Hilfe der beschriebenen knappen Bild-Einheiten lassen sich selbst umfangreiche Generalpläne unter Zuhilfenahme der Raumaufteilungsdaten mit kleinem Beschreibungsaufwand in einem kurzen Eingabeprotokoll erstellen.

Dieses Konzept der Nutzung der Raumeinteilungsdaten des 3D-Schiffsmodells erlaubt zudem die Vermeidung von Unverträglichkeit in allen Bildteilen, da jede räumliche Veränderung in allen relevanten Bildern erfaßt und nachvollzogen wird. Hierdurch werden Fehlerquellen und Konflikte ausgeschaltet, was dem Zeitvorteil zugute kommt.

Am Beispiel (Abb. 6.24) zur Raumaufteilung des Mehrzweckfrachters (jedoch mit Bucht) wurde das weitere Vorgehen für die Erstellung der entsprechenden Generalplan-Basiszeichnung durchgezogen. Das Ergebnis (Abb. 7.3) dieses Prozesses ist wesentlich ein Generalplan, jedoch ohne jedes Detail in Einrichtung und Ausrüstung.

Ausgehend von dem rechnerinternen 3D-Modell wurde die Generalplan-Basiszeichnung für das Containerschiff analog der obigen Logik erzeugt (Abb. 7.4).

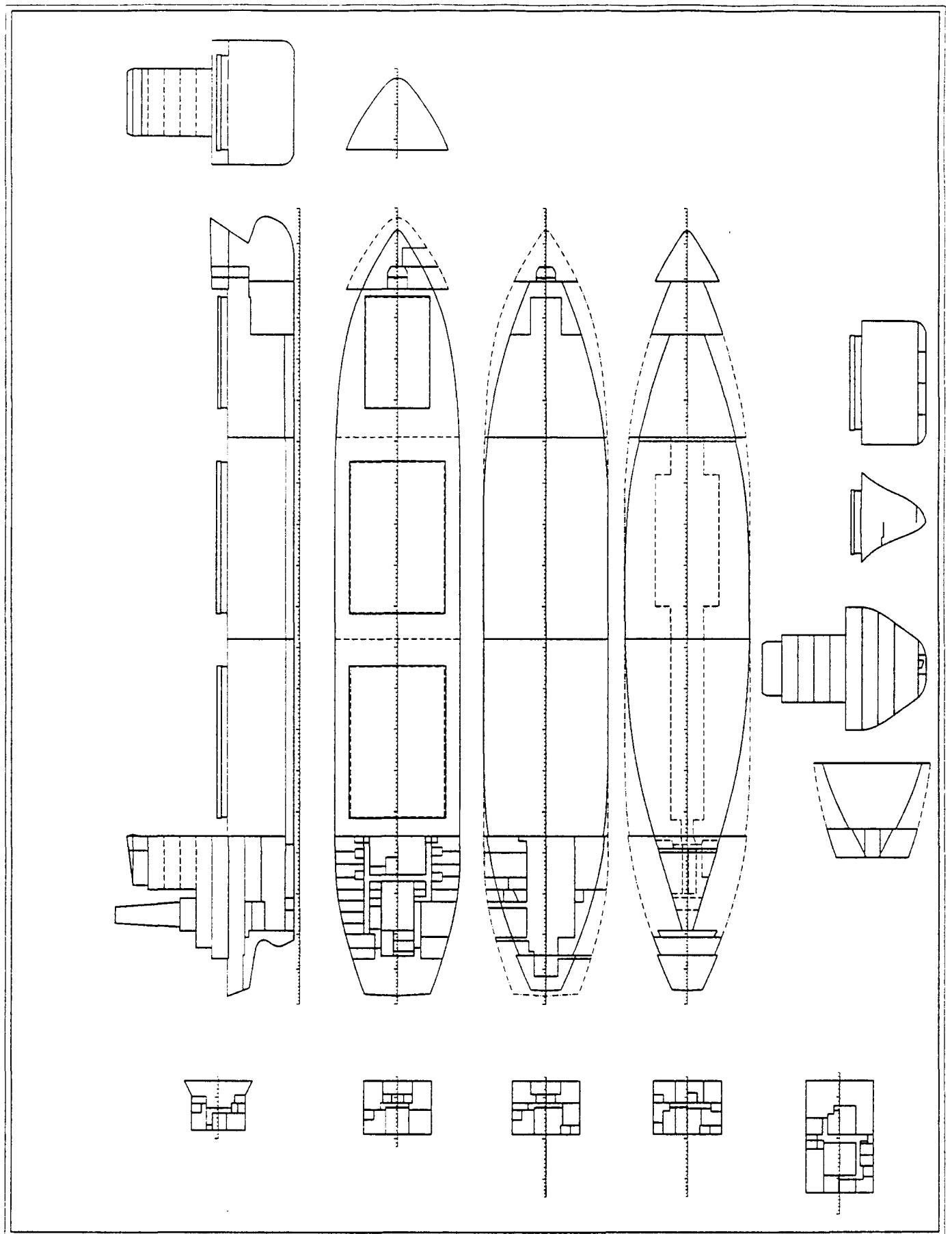


Abb. 7.3: Generalplan-Basiszeichnung eines Mehrzweckfrachters

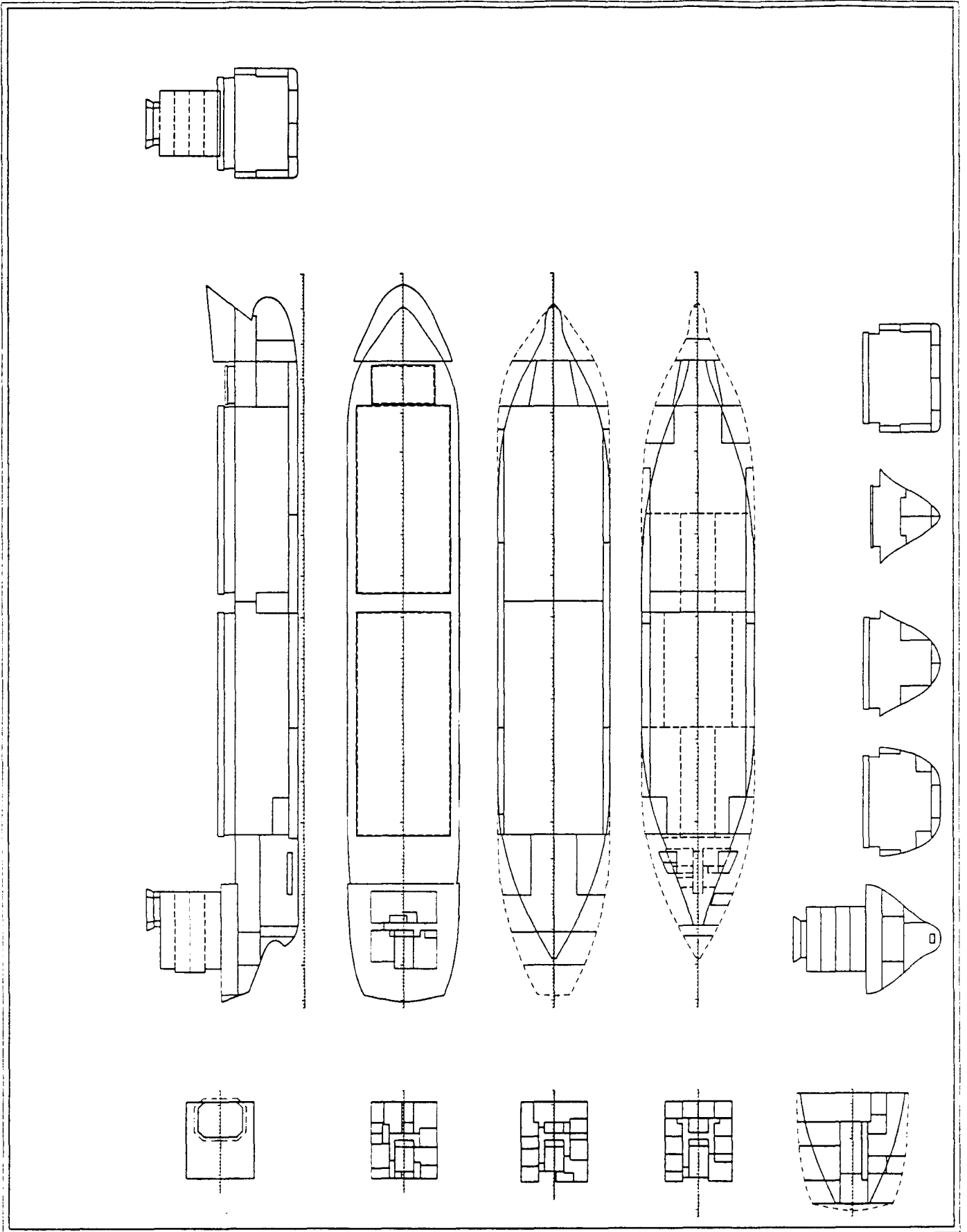


Abb. 7.4: Generalplan-Basiszeichnung eines Containerschiffes

# 8 Generalplanverarbeitung mit AutoCAD

## 8.1 Konzeption

Für die weitere umfangreiche und langwierige Ausarbeitung des Generalplans sind komfortable Grafiksoftware, Dateien für Standardbilder und ausreichend grafische Hardwarekonfiguration unerlässlich. Außerdem ist die Erstellung kompletter Zeichnungen stark betriebsabhängig und sollte als eigenständiger Komplex in einem integrierten System realisiert werden.

In diesem Abschnitt wird exemplarisch gezeigt, daß bedingt durch die Komplexität und Vielfältigkeit der Generalplanzeichnung ein zuverlässiges CAD-Werkzeug dringend erforderlich und nützlich ist. Der Einsatz des fertigen AutoCAD-Systems (ein Programm der Firma Autodesk AG) zur Bearbeitung der Problematik sowie zur schrittweisen Detaillierung des Generalplans mit der wichtigsten Ausrüstung und Einrichtung zu vollständigen Zeichnungen wird im folgenden dargestellt. Dieser Ansatz soll zudem einen Beitrag für eine Rationalisierung durch die bessere Ausnutzung von vorhandenen Informationen leisten.

Ausgangspunkt für die nachfolgende Generalplanbearbeitung ist das hier entwickelte Raumaufteilungssystem. Der Datentransfer der erforderlichen grafischen Informationen des Raumaufteilungssystems zum CAD-System AutoCAD geschieht über das DXF-Dateiaustauschformat von AutoCAD [58]. DXF-Dateien sind Standard ASCII-Textdateien und können deshalb leicht konstruiert werden. Diese sogenannte Bilddatei enthält sämtliche Informationen über die prinzipielle Generalplanzeichnung, die als Maske oder Schablone für das zeichnerische Arbeiten dienen soll.

Die Generalplanzeichnung besteht zum einen aus spezialisierten schiffbautechnischen Elementen, zum anderen können Standardnormteile zur Anwendung kommen. Diese dienen unter anderem der Vereinfachung der Darstellung. Zur Gestaltung von Zeichnungselementen des Generalplans bedient sich das Bibliothekskonzept:

- **Standard-Symbolbibliothek (Standard Component Library)**

Sie enthält alle Grundsymbole, genormte Sinnbilder (z.B. DIN 80 002/10.72 [59]) sowie alle bekannten Standardkomponenten und Normteile wie maschinenbauliche Einrichtungs- und Ausrüstungsgegenstände etc., zur bildlichen Darstellung von Einzelheiten in Generalplänen von Schiffen. Die grafischen Komponenten sind in den notwendigen Ansichten und Zeichnungseinheiten im Maßstab 1:1 als Makros im Computer abgelegt. Sie werden mit logischen Namen identifiziert und können für Pläne mit verschiedenen Maßstäben referenziert werden. Weiterhin kann jede der Komponenten mit Attributen wie Gewicht, Schwerpunkt, Referenzpunkt etc. versehen werden.

- **Projektbezogene Symbolbibliothek (Projekt Component Library)**

Diese wird für einen bestimmten Entwurf eingerichtet und enthält je nach Einsatzfall verschiedene notwendige werft-, firmenspezifische und projektbezogene Komponenten, die für die Generalplanzeichnung geeignet sind.

## 8.2 Arbeitstechniken

Zur Darstellung der Generalpläne bietet das AutoCAD-System folgende Möglichkeiten:

- **Symboltechnik**

Mit dieser Technik können die häufig vorkommenden Symbole für Türen, Fenster, Möblierung und andere Einrichtungs- und Ausrüstungsteile als Makros (Blöcke genannt) erstellt, gespeichert und später in einer Zeichnung eingefügt werden. Blöcke sind zusammengefaßte Zeichnungselemente, die wie ein einziges Element behandelt werden können. Sie können auch für die Erstellung von Schriftfeldern etc. genutzt werden.

Abbildungen 8.1 – 8.4 zeigen die Zusammenstellung einiger mit dieser Technik erstellten schiffbaulichen Zeichnungselemente.

- **Ebenentechnik**

Die Ebenentechnik ermöglicht eine unterschiedliche Detaillierung des Bildinhaltes durch die logische Unterteilung der Bilder in mehreren Zeichnungsebenen (Folien), die übereinandergelegt die Gesamtinformation ergeben. Bei der Zeichnungserstellung wird diese Technik eingesetzt, um die Bildkomponenten nach inhaltlichen und/oder fachlichen Kriterien zu trennen, darzustellen und bearbeiten zu können.

- Ebene 1 Struktur, Stahlwände
- Ebene 10 Decksöffnungen
- Ebene 11 Einrichtung
- Ebene 14 Ausrüstung

Diese Ebenen können zu jeder Zeit aus- bzw. eingeblendet (sichtbarmachen) werden.

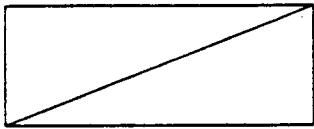
- **Fenstertechnik**

Diese Technik sorgt für die Darstellung eines begrenzten Bereichs einer inhaltsreichen Zeichnung. Diese gestattet einerseits eine Konstruktion auf dem Bildschirm näher heranzuholen oder Details zu inspizieren und andererseits in dem Fensterausschnitt augenfreundlich und paßgenau konstruieren zu können.

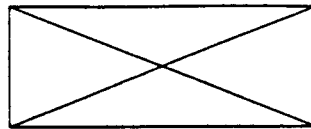
- **Menütechnik**

Zur Ablaufsteuerung trägt die Menütechnik (grafisch orientierte Abfrage- und Eingabefunktionen) bei. Die Funktionsfähigkeiten des Systems werden dem Anwender in Form von Befehlen angeboten. Diese Befehle können durch Anfahren mit dem Fadenkreuz über Bildschirmmenüs oder auf einem grafischen Tablett mit Menüfeldern aktiviert werden.

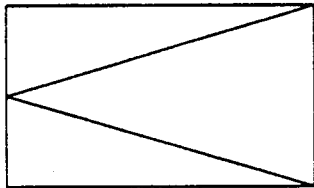
Eine weitere nützliche Funktion besteht in der Zeichnungsmanipulation. Komponenten können z.B. verschoben, gedreht, gestreckt, verlängert und gespiegelt werden.



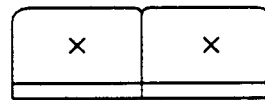
normales Bett



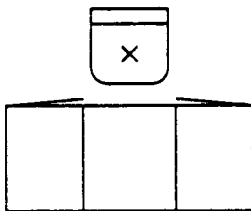
Doppelstockbett



Doppelbett franz.



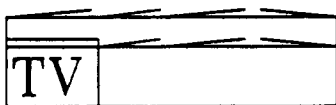
Sitzbank gepolstert



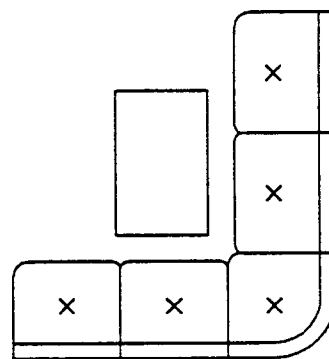
Schreibtisch mit  
gep. Sessel



gepolsterter Sessel



Schrankwand mit  
eingebautem TV



Sitzgruppe mit  
Couchtisch

Abb. 8.1: Einrichtungsgegenstände (Möblierungselemente)

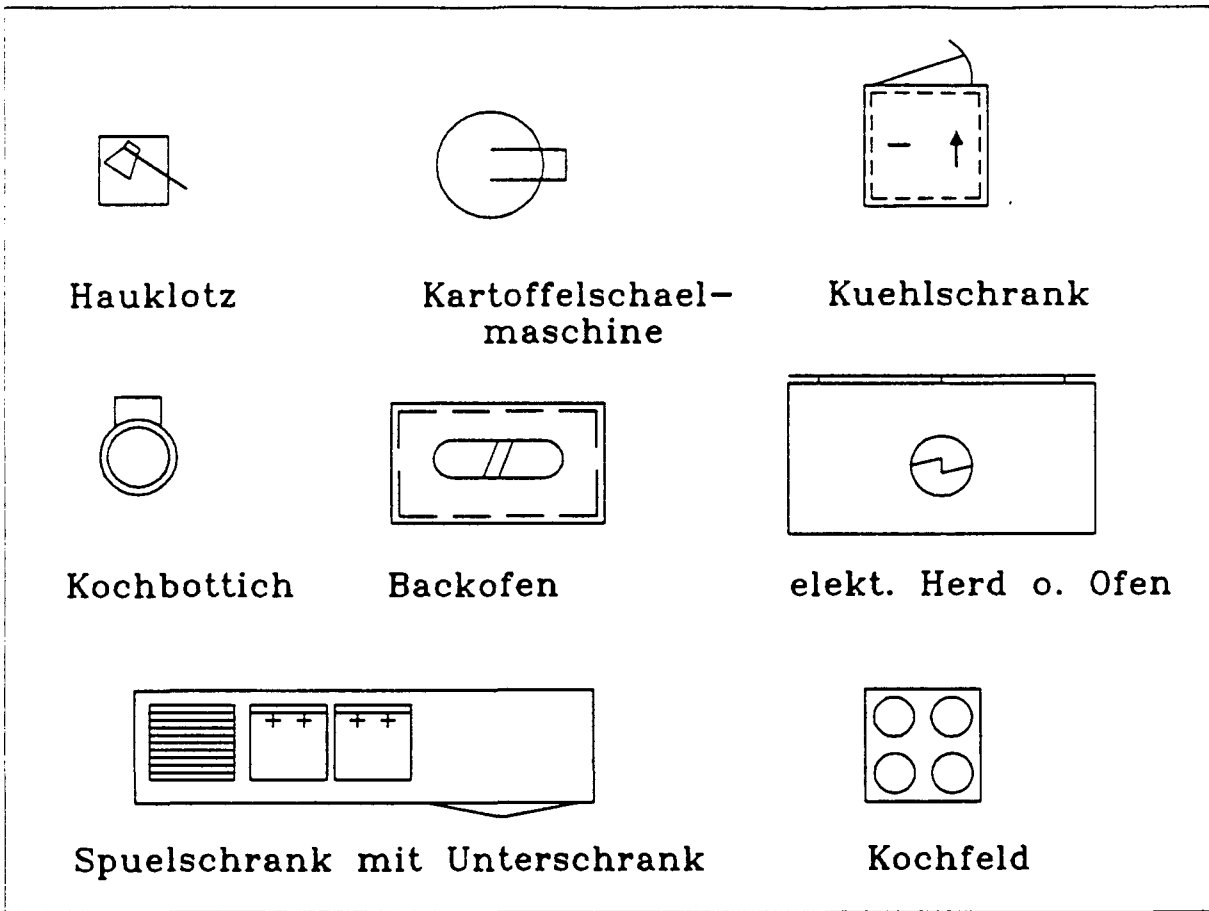


Abb. 8.2: Kücheneinrichtungen

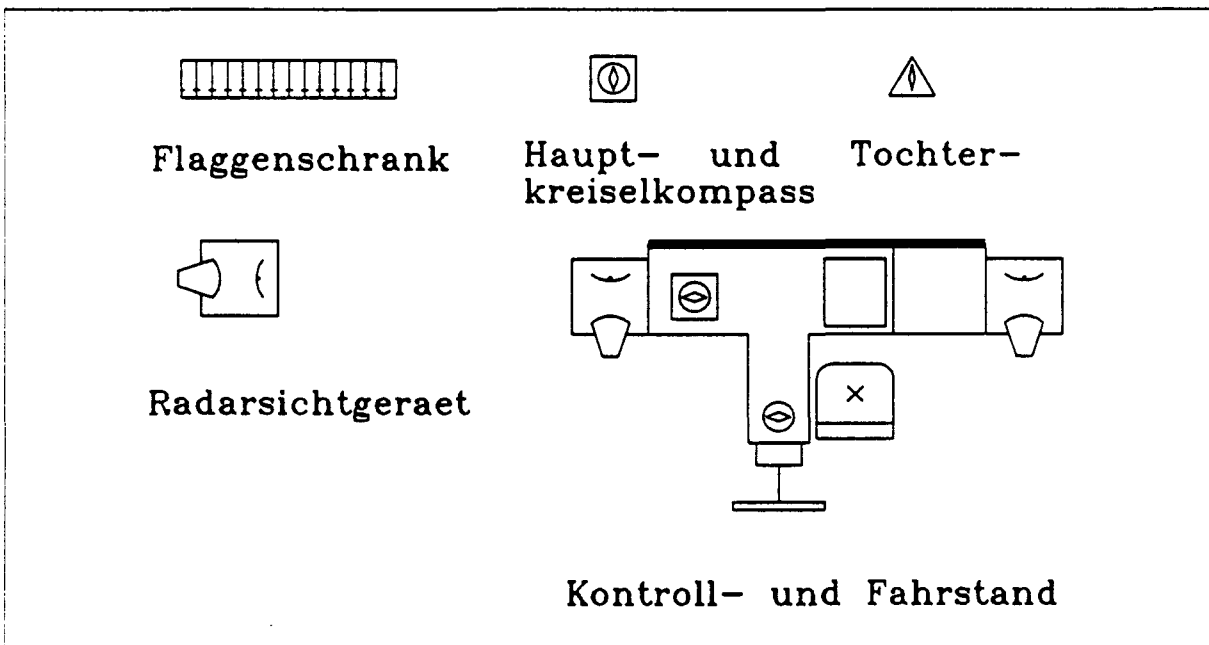


Abb. 8.3: Navigationsausrüstungen

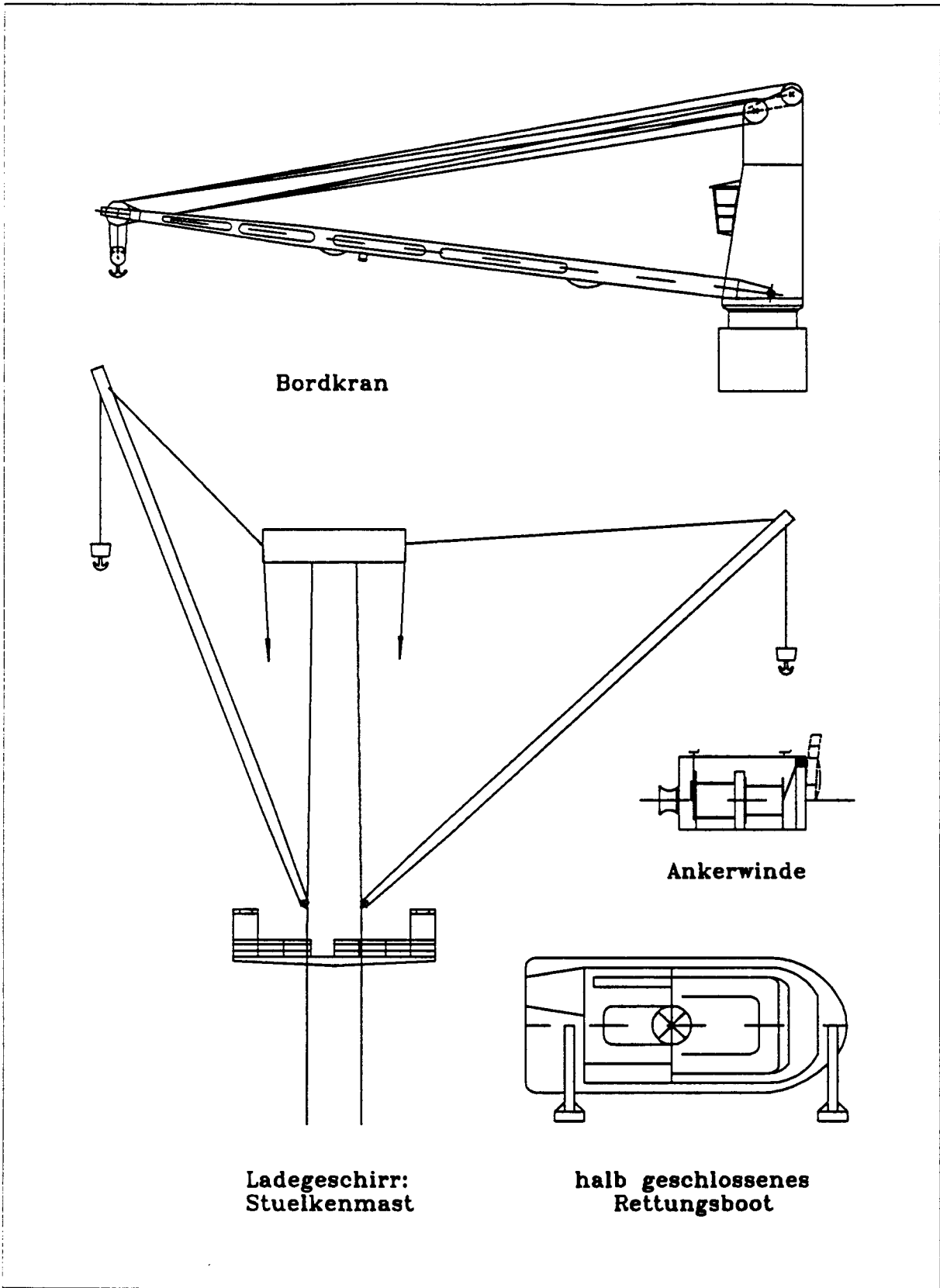


Abb. 8.4: Ausrüstungsgegenstände

Andere Möglichkeiten umfassen die Bemaßung, Beschriftung und Schraffierung. Damit lassen sich die geometrischen Zeichnungselemente zu einer kompletten Zeichnung vervollständigen.

### 8.3 Ergebnisse

Ohne im einzelnen auf die Erstellung einzugehen, zeigt Abbildung 8.5 ein Beispiel für die Anordnung der Einrichtung der Wohnräume, Vorratsräume etc. auf dem obersten durchlaufenden Deck des Mehrzweckfrachters im Maßstab 1:200. Abbildung 8.6 (in verkleinerter Form) zeigt den entsprechenden Generalplan.

Abbildung 8.7 (in verkleinerter Wiedergabe) zeigt die Generalplandarstellung am Beispiel des Containerschiffes gemäß der inneren Einteilung des Schiffes in Abbildung 6.10.

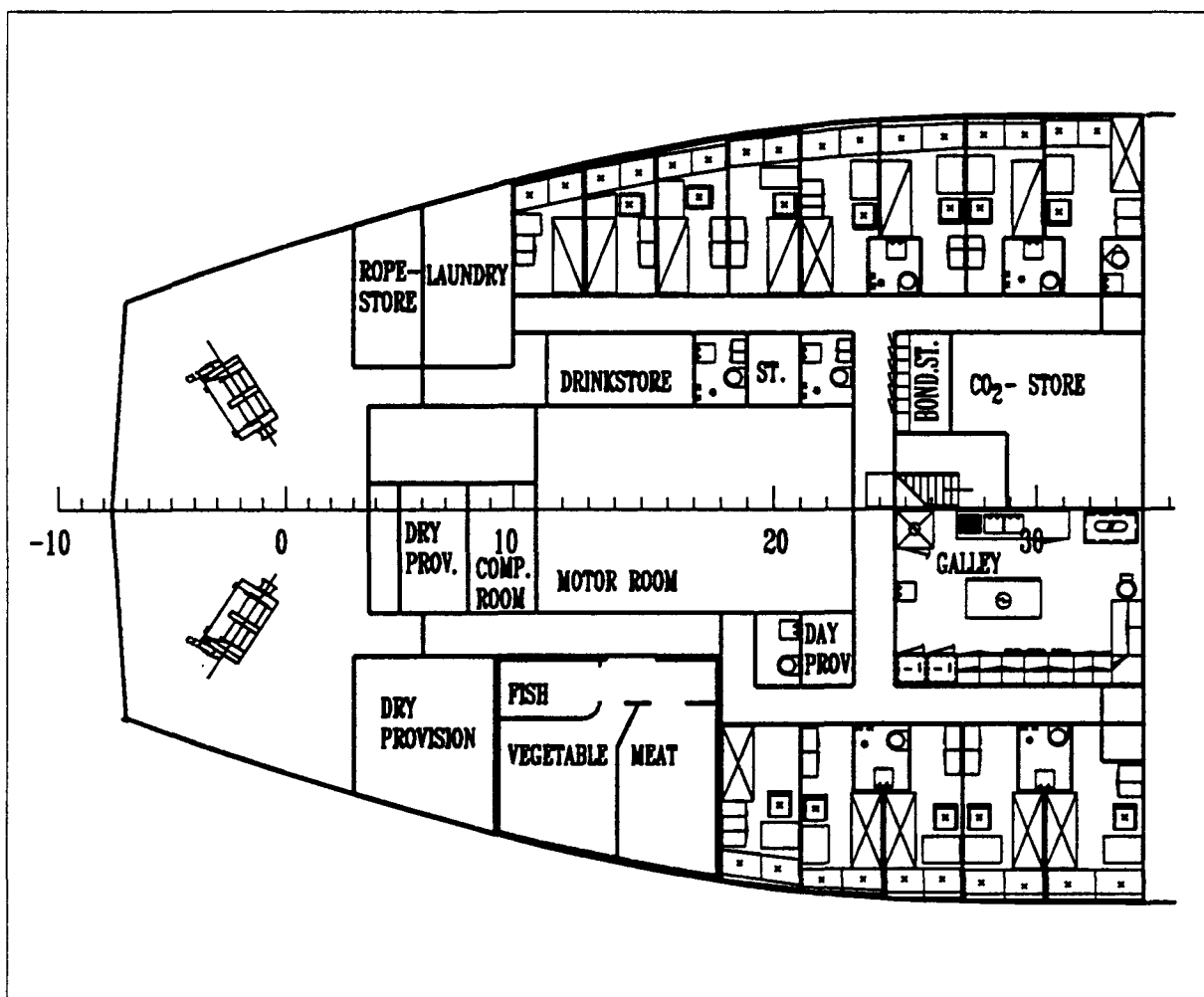


Abb. 8.5: Anordnung der Einrichtung der Räume

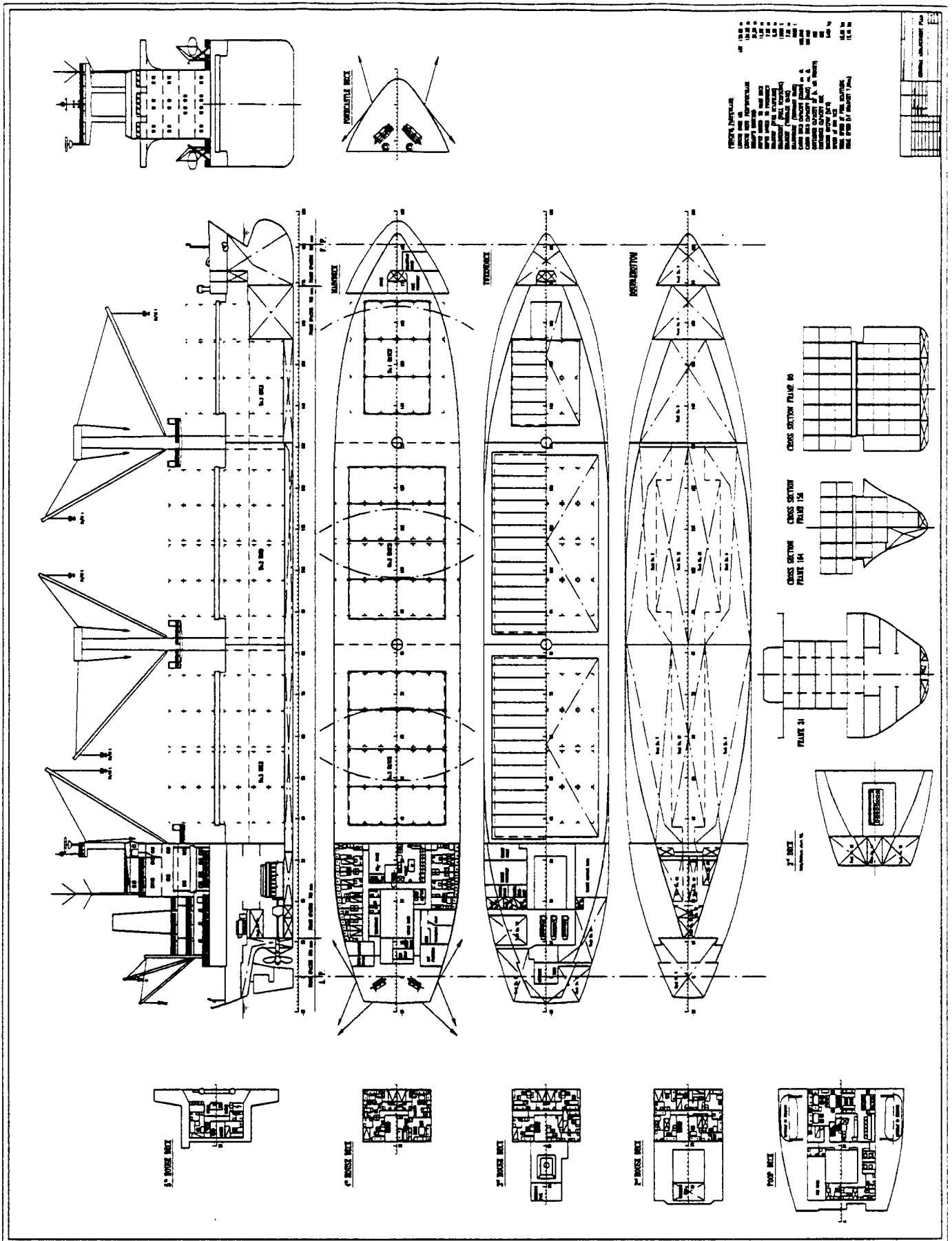


Abb. 8.6: Generalplan eines Mehrzweckfrachters



## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte rechnergestützte Verfahren zur Ausarbeitung der inneren Einteilungen von Schiffen durch die *analysing* und *merging* Methode kann als ein Beitrag zu einer effizienteren Arbeitsweise beim Generalplanentwurf von Schiffen mit Hilfe des Rechners verstanden werden. Das Softwarewerkzeug ermöglicht einem Entwurfsingenieur durch das flexible 3D-Raumgenerierungskonzept, bestehend aus dem Abschneiden und der Verknüpfung von Räumen, sowohl arithmetische Berechnungen als auch geometrische und grafische Untersuchungen der Eigenschaften der Schiffsraumaufteilung, deren Zulässigkeit und Plausibilität er zu beurteilen hat, und zum anderen eine schnellere Ermittlung günstiger Kombinationen von Alternativen für die Raumaufteilung und Raumnutzung von Schiffen.

Das entwickelte Programmsystem hat folgende vorteilhafte Eigenschaften:

- Die Nutzung derselben Raumaufteilungsdaten für die volumetrischen Berechnungen und zur Zeichnungserstellung bietet eine schnellere und zuverlässigere Prüfung der Eignung einer vorgesehenen Raumaufteilung als vorhandene Methoden des Generalplanentwurfes.
- Durch die generierte rechnerinterne Darstellung ist es möglich, frühzeitig Informationen sowohl über die räumliche Gestaltung als auch über die raumteilenden Elemente (z.B. eine genauere Massenermittlung durch Massenbelegung der Flächen) des Schiffes zu erhalten.
- Während der Entwurfssitzung kann man sich jeder Zeit anhand der räumlichen Darstellung ein anschauliches Bild des Schiffes schaffen, das wirkungsvolle visuelle Kontrollmöglichkeiten bietet.
- Die Raumaufteilung des Schiffskörpers kann als Ausgangspunkt der rechnerinternen Schiffsstrukturdarstellung dienen.
- Die angewandten Algorithmen sind schiffstypunabhängig.
- Auf Grund der hohen Portabilität und des modularen Aufbaus ist die Integration dieses Verfahrens in eine Methodenbank leicht realisierbar. Außerdem ist die Einbindung anderer Software-Module in das System ohne weiteres möglich.

Erweiterungen auf andere Raumgenerierungsverfahren und geometrische Primitiva sind möglich und in der Konzeption des Systems bereits enthalten. Insbesondere muß die geometrische Schnittbestimmung der Schiffsoberfläche mit zylindrischen Körpern entwickelt werden.

Das 3D-Modell in Verbindung mit der aufbauenden 2D-Weiterbearbeitung bietet Hinweise zur Weiterentwicklung zum systematischen schiffbaulichen Entwurf. Die 2D-Bearbeitung soll dem Entwurfsingenieur ein Werkzeug in die Hand geben, mit dessen Hilfe er, ausgehend von den vorhandenen Raumbeschreibungsdaten, bereits im frühen Entwurfsstadium eine verhältnismäßig detaillierte Generalplanbestimmung formulieren

und entwickeln kann. Obwohl z.Z. noch nicht alle Hilfestellungen zur Erstellung von Generalplan-Basiszeichnungen ausgeschöpft sind, ist die Logik des Verzichts auf den wiederholten Gestaltbeschreibungsaufwand angemessen für ein effektives und zeitsparendes zeichnerisches Arbeiten.

Das AutoCAD-System wurde eingesetzt mit der Zielvorstellung, die bereits erstellte Generalplan-Basiszeichnung schrittweise zu detaillieren und damit kontinuierlich zur vollständigen Generalplanzeichnung aufzubauen.

Erfahrungen beim Arbeiten mit derartigen durchgängigen rechnergestützten Verfahren zeigen, daß sich damit ein zeitmindernder, effizienzsteigernder und qualitätsverbessernder Generalplanentwurf von Schiffen mit besonderen Anforderungen an die Funktionalität der Raumanordnungen hervorragend erzielen läßt.

Schließlich eignet sich das 3D-Raumaufteilungssystem insbesondere zum Erzeugen von Zeichnungen mit Ausblendung verdeckter Kanten sowie von Schnittdarstellungen.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] Nowacki, H.: Geometrisches Modellieren – eine Kurzübersicht. in: VDI-Berichte Nr. 492 (1983), S. 321-328.
- [2] Nowacki, H.; Gnatz, R., Hrsgb.: Geometrisches Modellieren. Informatik-Fachberichte 65. Springer-Verlag 1983.
- [3] Baer, A.; Eastman, C.; Henrion, M.: Geometric Modelling: A Survey. Computer-Aided Design, Vol. 11, No. 5 (Sept. 1979), p. 253-272.
- [4] Requicha, A.A.G : Representations of Rigid Solid Objects. in: Computer Aided Design – Modelling, Systems Engineering, CAD-Systems. Ed.: J. Encarnacao. Lecture Notes in Computer Science 89. Springer-Verlag 1980.
- [5] Requicha, A.A.G: Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems. ACM Computing Surveys, Vol. 12, No. 4 (Dec. 1980), p. 437-464.
- [6] Braid, I. C.: The synthesis of solids bounded by many faces. Communications of the ACM, Vol. 18, No. 4 (Apr. 1975), p. 209-216.
- [7] Braid, I. C.: Designing with volumes. Computer Laboratory, University of Cambridge. Cantab Press 1974.
- [8] Nehrling, B.C.: Methods for Interactive Ship Compartmentation based on Pattern Concatenation. Ph.D Thesis, University of Michigan, Ann Labor, 1974.
- [9] Nehrling, B.C.: Recognizing and Using Patterns in Preliminary Ship Compartmentation. in: Proc. ICCAS Gothenberg 1976, p. 127-136. North-Holland Publ. Co., 1976.
- [10] Nehrling, B.C.: An Associative Ring Structure for Alleviating Spatial Interferences. in Proc. ICCAS Glasgow 1979, p. 245-249. North-Holland Publ. Co., 1979.
- [11] Nehrling, B.C.: Fuzzy Set Theory and General Arrangement Design. in: Proc. ICCAS Trieste 1985, p. 319-327. North-Holland Publ. Co., 1985.
- [12] Pattison, D.R.; Spencer, R.E.; van Griethuysen, W.J.: The computer aided ship design System GODDESS and its application to the structural design of Royal Navy Warships. in: Proc. ICCAS Annapolis 1982. North-Holland Publ. Co., 1982.
- [13] Yuille, I.M.: A System for On-line Computer aided Design of Ships – Prototype System and Future possibilities. Trans. RINA, Vol. 112 (1970).
- [14] Yuille, I.M.: The Forward Design System for computer aided design of ships using a mini-computer. The Naval Architect, (Nov. 1978), p. 323-341.
- [15] Holmes, S.J.: The application and development of computer systems for warship design. The Naval Architect, (July 1981), p. 323-351.

- [16] Duncan, J.M., Yuille, I.M.: Representation of compartmented spaces for computer-aided ship design. *Computer-Aided Design*, Vol. 16, No. 1 (Jan. 1984), p. 33-44.
- [17] Poddar, P.: Rechnergestützter Generalplanentwurf von Frachtschiffen. IfS Bericht 468, Juli 1986.
- [18] Schumann-Hindenberg, U.: Geometrisch-Topologische Modellierung schiffsinnerer Raumaufteilungen. *VDI Fortschrittberichte Reihe 10*, No. 50, 1986.
- [19] Chen, P.P.S.: The Entity-Relationship Model – Towards a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 1, No. 1 (1976), p. 9-36.
- [20] Hills, W.; Welsh M.: An Efficient Compartmentation Method for Use in Preliminary Ship Design. in: *Proc. ICCAS Shanghai 1988*, p. A15-1 - A15-13. North-Holland Publ. Co., 1988.
- [21] Stahlschmidt E.: Ein CAD-System für den Entwurf von Marineschiffen – Konzept und Anwendung auf den Generalplan. in: *Jahrbuch der STG 81. Band - 1987*, S. 25-31.
- [22] Söding, H.; Poulsen I.: Methoden der Programmierung von Aufgaben des Schiffsentwurfes. in: *Jahrbuch der STG 68. Band - 1974*, S. 309-324.
- [23] Gudenschwager, H.: Optimierungscompiler und Formberechnungsverfahren: Entwicklung und Anwendung im Vorentwurf von RoRo-Schiffen. IfS Bericht 482, Juli 1988.
- [24] Lorentz, J.D.; Kavlie, D.: A design procedure for practical subdivision of Tankers satisfying IMCO regulations. in: *Proc. ICCAS Göteborg 1976*, p. 101-110. North-Holland Publ. Co., 1976.
- [25] Dulčić, K.; Senjanović, M.: Method for Optimization Engine Room Machinery Layout Arrangement. in: *Proc. ICCAS Trieste 1985*, p. 329-342. North-Holland Publ. Co., 1985
- [26] Eastman C.M.: Heuristic Algorithms for Automated Space Planning. in: *2nd International Joint Conference on Artificial Intelligence – London 1971*, p. 27-39.
- [27] Eastman C.M.: Preliminary Report on a System for General Space Planning. *Comm. ACM*, Vol. 15, No. 2 (Feb. 1972), p. 76-87.
- [28] Eastman C.M.: Automated Space Planning *Artificial Intelligence* 4(1973), p. 41-64.
- [29] Pfefferkorn C.E.: A Heuristic Problem Solving Design System for Equipment or Furniture Layouts. *Comm. ACM*, Vol. 18, No. 5 (May 1975), p. 286-297.
- [30] Eastman C.M.: General purpose building description systems. *Computer-Aided Design*, Vol. 8, No. 1 (Jan. 1976), p. 17-26.

- [31] Hoskins E.M.: Design development and description using 3D box geometries. Computer-Aided Design, Vol. 11, No. 6 (Nov. 1979), p. 329-336.
- [32] Liggett S.; Mitchell W.J.: Optimal space planning in practice. Computer-Aided Design, Vol. 13, No. 5 (Sept. 1981), p. 277-288.
- [33] Liggett S.; Mitchell W.J.: Interactive graphic floor plan layout method. Computer-Aided Design, Vol. 13, No. 5 (Sept. 1981), p. 289-298.
- [34] Haas W.R.: CAD in der Bautechnik – eine Übersicht. in: VDI-Berichte Nr. 492 (1983), S. 179-195.
- [35] Gronarz, A.: Entwicklung eines interaktiven EDV-Programmes zum rechnergestützten Entwerfen von Containerschiffen. FDS Bericht Nr. 149, 1984.
- [36] Rupp, K.-H.: Ein Beitrag zum rechnergestützten Entwerfen von Containerschiffen. IfS Bericht 448, 1984.
- [37] Oomen, A.C.W.J.; Oossanen, P. van: Development of a New Computer-Aided System for the Conceptual Design. Proc. 6th WEMT Symposium 1987, Travemünde, West Germany.
- [38] Oian, J.; et al.: Interactive AUTOKON: Focusing on the Information System. in Proc. ICCAS Glasgow 1979, p. 377-385. North-Holland Publ. Co., 1979.
- [39] Verhasselt R.: The Use of the Schiffko-CAD System at Boelwerf. in: Proc. ICCAS Trieste 1985, p. 247-256. North-Holland Publ. Co., 1985
- [40] García, L.; Alonso, F.: Toward Integrated Computing in Shipyards. in: Proc. ICCAS Trieste 1985, p. 87-96. North-Holland Publ. Co., 1985.
- [41] Holmgren, K.: News from STEERBEAR Development. in: Hansa, S. 1483-1487, 1987.
- [42] CAD/CAM in der Schiffstechnik. in: Jahrbuch der STG 81. Band - 1987, S. 1-40.
- [43] Eigner, M.; Maier, H.: Einführung und Anwendung von CAD-Systemen. Carl Hanser Verlag München, Wien 1982.
- [44] Eigner, M.; Maier, H.: Einstieg in CAD - Lehrbuch für CAD-Anwender. Carl Hanser Verlag München, Wien 1985.
- [45] Spur, G.; Krause, F.-L.: CAD-Technik. Carl Hanser Verlag, 1984.
- [46] Riepl Ch.: Eine Methode zur dreidimensionalen geometrischen Modellierung von Gebäuden. in: Geometrisches Modellieren. Hrsgb.: Nowacki, H.; Gnatz, R. Informatik-Fachberichte 65. Springer-Verlag 1983, p. 145-166.
- [47] Verband der Deutschen Automobilindustrie: VDA-Flächenschnittstelle, Version 2.0. VDA-Arbeitskreis CAD/CAM, Arbeitsgruppe 'Geometrische Schnittstelle', Frankfurt: VDA, Januar 1987.

- [48] Kripac, J.: Algorithm for splitting planar faces. *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 6 (Jul./Aug. 1987), p. 293-298.
- [49] Sutherland, I.E.; Sproull, R.F. and Schmacker, R.A.: Characterisation of ten hidden surface algorithms. *Computing Survey*, Vol. 6, No. 1 (March 1974), p. 1-55.
- [50] Griffiths, J.G.: Bibliography of hidden-line and hidden-surface algorithms. *Computer-Aided Design*, Vol. 10, No. 3 (May 1979), p. 203-206.
- [51] Griffiths, J.G.: Tape-oriented hidden-line algorithm. *Computer-Aided Design*, Vol. 13, No. 1 (May 1981), p. 19-26.
- [52] Kripac, J.: Classification of edges and its application in determining visibility. *Computer-Aided Design*, Vol. 17, No. 1 (Jan./Feb. 1985), p. 30-36.
- [53] Verroust, A.: Visualization algorithm for CSG polyhedral solids. *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 10 (Dec. 1987), p. 527-533.
- [54] Angell I.: *Graphische Datenverarbeitung*. Carl Hanser Verlag, München (1983).
- [55] Söding, H.; Tonguc, E: *Archimedes II – A Program for Evaluating Hydrostatics and Space Utilization in Ships and Offshore Structures*. *Schiffstechnik* Bd. 36 - 1989. S. 97-104.
- [56] Söding, H.; Gerlach, E: *Benutzerhandbuch für das Programm EUMEDES*. Institut für Schiffbau der Universität Hamburg. Schrift Nr. 2362, April 1987.
- [57] Koh, H.S.: *A Polygon Processing Software Package*. Institut für Schiffbau der Universität Hamburg. Schrift Nr. 2387, März 1991.
- [58] *AUTOCAD 10.0 Reference Manual*
- [59] *DIN 80 002, Ausgabe Oktober 1972: Generalpläne für Schiffe, Sinnbilder*.
- [60] *International Standard ISO 7942: Information Processing Systems – Computer Graphics, Graphical Kernel System (GKS) Functional Description, 1985*.
- [61] *International Standard ISO/DIS 8651/1: Information Processing Systems – Computer Graphics, Graphical Kernel System (GKS) Language Bindings Part I: FORTRAN, 1985*.

## A Datenelemente für die schiffsinnere Raumaufteilung

name = FACE / plano,nopt,faoflg,nopt\*[px,py,pz]

Parameter:

plano Plane number  
nopt Number of points  
faoflg Face orientation flag (+ indicates boundary,  
- indicates hole)  
px,py,pz x-, y-, z-coordinates in GCS (global coordinatesystem)

name = CONTOUR / curno,nopt,nopt\*[px,py,pz]

Parameter:

curno Curve number  
nopt Number of points  
px,py,pz x-, y-, z-coordinates in GCS

name = SECTION / nopt,xloc,nopt\*[px,py,pz]

Parameter:

nopt Number of points  
xloc x-distance of section location in LCS  
px,py,pz x-, y-, z-coordinates in LCS (local coordinatesystem)

name = MATRIX / s11,s12,s13,tx,s21,s22,s23,ty,s31,s32,s33,tz,  
drx,dry,drz

Parameter:

s11,s12,s13,tx, 12 elements of the transformation matrix  
s21,s22,s23,ty,  
s31,s32,s33,tz  
drx,dry,drz rotation angles LCS - GCS

name = PLANE / namptr,platyp,nx,ny,nz,3\*[sx,sy,sz], matptr,frmptr

Parameter:

namptr Plane name pointer  
platyp Plane type

	1	YZ-Plane (eg. transverse bulkhead)
	2	XY-Plane (eg. horizontal deck)
	3	XZ-Plane (eg. longitudinal bulkhead)
	4	XZ-Symmetrie Plane
	5	Plane defined by 3 points
	6	XY-Perpendicular Plane
	7	XZ-Perpendicular Plane
	8	YZ-Perpendicular Plane
	11	YZ-Plane (x-coordinate is given in frame number)
nx,ny,nz		x, y, z-components of plane normal vector in LCS
sx,sy,sz		x-, y-, z-coordinates in LCS of a defining point on the plane if platyp = 1, 2, 3, 4, 5; or x-, y-, z-coordinates in LCS of 3 defining point on the plane if platyp > 5
matptr		Pointer to MATRIX
frmptr		Pointer to FRAME
name = ROOM /		namptr,romfac,romgrp,romatt, matptr, facptr, conptr, secptr
Parameter:		
namptr		Room name pointer (in the array TEXT, the element succeeding the room name contains the hull form data name or room type)
romfac		Displacement/room factor
romgrp		Room group (or characteristics)
romatt		Room attributes depending on room type: data file name: shell thickness, mirror image factor, accuracy of polygon approximation, local x of first section, section distance in x direction, x of last section, etc. '0': Room Number of room (type '0' or '2') to be chopped, number of chopping planes '1': Number of room, Room Number of room to be merged '2': length, width, height of 3D box, number of chopping planes, local x of first section, section distance in x direction, x of last section, etc. '3': Room Number of room (type '1' or '3') to be chopped, number of chopping planes, chopping Plane Number
matptr		Pointer to MATRIX
facptr		Pointer to FACE

conptr                   Pointer to CONTOUR  
 secptr                   Pointer to SECTION  
  
 name = CURVE /        namptr, sthk, mifac, accpol, nocpl, defpln, cpln,  
                           matptr, conptr

Parameter:

namptr                   Curve name pointer (in the array TEXT, the element  
   succeeding the curve name contains  
   the hull form or curve data name)  
  
 sthk                     Shell thickness  
 mifac                    Mirror image factor  
 accpol                   Accuracy of polygon approximation  
 nocpl                    Number of chopping plane (0 if curve data name)  
 defpln                   Defining plane Number (if nocpl > 0)  
 cpln                     Chopping plane Number  
  
 matptr                   Pointer to MATRIX  
 conptr                   Pointer to CONTOUR

name = FRAME /        namptr, sfrno, spac, efrno, nofra

Parameter:

namptr                   Frame name pointer  
 sfrno                    Start frame number  
 spac                     Equidistant frame spacing of i-te segment, i=1,2,3...  
 efrno                    End frame number of i-te segment  
 nofra                    Number of equidistant frame spacing of i-te segment

name = MODULE /       namptr, romptr

Parameter:

namptr                   Module name pointer  
  
 romptr                   Pointer to ROOM

name = DOMAIN /       namptr, modptr

Parameter:

namptr                   Domain pointer  
  
 modptr                   Pointer to MODULE

name = COMBINED / plano,nopt,faoflg,nopt\*[px,py,pz]  
FACE

Parameter:

plano Plane number  
nopt Number of points  
faoflg C.Face orientation flag (+ indicates boundary,  
- indicates hole)  
px,py,pz x-, y-, z-coordinates in GCS

name = COMBINED / curno,nopt,nopt\*[px,py,pz]  
CONTOUR

Parameter:

curno Curve number  
nopt Number of points  
px,py,pz x-, y-, z-coordinates in GCS

name = EDGE / edgetyp,falflg,fponb,sponb,fpona,spona, faaptr,fabptr

Parameter:

edgetyp EDGE intersection type:  
1 C.Face (= Combined Face) B penetrates and  
lies entirely in C.Face A  
2 C.Face A bounds C.Face B  
3 C.Face A meets C.Face B  
4 C.Face B penetrates C.Face A and  
lies partially in C.Face A  
falflg C.Face location flag  
0 for edgetyp = 1, 3 or 4  
1 if C.Face B lies on side same as normal of  
C.Face A  
-1 if C.Face B lies on side opposite to normal of  
C.Face A  
fponb First point number on C.Face B  
(or First point number on C.Face A if edgetyp = 4)  
sponb Second point number on C.Face B  
fpona First point number on C.Face A if edgetyp = 3  
spona Second point number on C.Face A if edgetyp = 3  
faaptr Pointer to C.FACE A  
fabptr Pointer to C.FACE B

## B Datenelemente für die Generalplan-Basiszeichnung

name = M.PLANE / namptr,hdis,vdis,hplx,vplx,hply,vply,hplz,vplz,  
modno,nocpla,nocpla\*[cplno,ltpa],ltsl,nodpla,  
nodpla\*[dplno], cfptr,slptr

### Parameter:

namptr	M.Plane name pointer
hdis	Horizontal distance of zero from LEFT paper margin
vdis	Vertical distance of zero from LOWER paper margin
hplx,vplx	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in x-direction
hply,vply	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in y-direction
hplz,vplz	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in z-direction
modno	Module number
nocpla	Number of plane
cplno	Plane Number
ltpa	Line type of planes
ltsl	Line type of sectional lines
nodpla	Number of delimiting plane
dplno	Delimiting plane Number
cfptr	Pointer to Combined Face
slptr	Pointer to sectional line

name = M.SECTION / namptr,hdis,vdis,hplx,vplx,hply,vply,hplz,vplz,  
modno,splno,ltsl,nodpla,nodpla\*[dplno], cfptr,slptr

### Parameter:

namptr	M.Section name pointer
hdis	Horizontal distance of zero from LEFT paper margin
vdis	Vertical distance of zero from LOWER paper margin
hplx,vplx	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in x-direction
hply,vply	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in y-direction
hplz,vplz	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in z-direction
modno	Module number
splno	Sectional plane Number

ltsl	Line type of sectional lines
nodpla	Number of delimiting plane
dplno	Delimiting plane Number
cfptr	Pointer to Combined Face
slptr	Pointer to sectional line
name = CURVE /	namptr,hdis,vdis,hplx,vplx,hply,vply,hplz,vplz, nocur,nocur*[curno],ltcur,nodpl,nodpl*[dplno], ccptr

Parameter:

namptr	Curve name pointer
hdis	Horizontal distance of zero from LEFT paper margin
vdis	Vertical distance of zero from LOWER paper margin
hplx,vplx	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in x-direction
hply,vply	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in y-direction
hplz,vplz	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in z-direction
nocur	Number of curve
curno	Curve Number
ltcur	Line type of curves
nodpla	Number of delimiting plane
dplno	Delimiting plane Number
ccptr	Pointer to Combined Contour

name = FRAME / MARK	namptr,hdis,vdis,hplx,vplx,hply,vply,hplz,vplz, frano,ffrmar,lfrmar, slptr
------------------------	---

Parameter:

namptr	Frame Mark name pointer
hdis	Horizontal distance of zero from LEFT paper margin
vdis	Vertical distance of zero from LOWER paper margin
hplx,vplx	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in x-direction
hply,vply	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in y-direction
hplz,vplz	Horizontal and vertical plot length of 1 full-scale in z-direction
frano	Frame Number
ffrmar	First frame marking

lfrmar                    Last frame marking

slptr                    Pointer to sectional line

name = SECTION /    namptr,nosl,nosl\*2\*[px,py,pz]  
                  LINE

Parameter:

namptr                    Section Line name pointer

nosl                     Number of sectional lines

px,py,pz                 x-, y-, z-coordinates in GCS