

AUTOMATISCHE ERSTELLUNG VON GEFAHRGUT-STAUPLÄNEN  
FÜR SEESCHIFFE

Verfasser: Wolf - Werner Scheuermann

Hamburg

Mai 1985

## ABSTRACT

Transport of dangerous goods implies so many risks that - when preparing a stowage plan for these goods - all restrictions and regulations on separation stated in the IMDG-Code and EmS are to be strictly adhered to.

Manual arrangement of stowage plans contains ample sources of error and only allows for few alternative solutions of the problem.

In this paper a method is developed and described for automatic arrangement of all possible and at the same time permissible dangerous goods stowage plans for one case of loading.

An exemplary program illustrates the function of the algorithm.

## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich Frau M. Eismann, sowie Herrn J. Froese und Herrn D. Nielsen für ihre Hilfe und Unterstützung danken.

# INHALT

*weitergeführt* *Tom*

Seite

1. Das Problem
2. Das Ziel
3. Die Lösung
- 3.1. Das Backtracking
4. Das Programm
- 4.1. Die Hardware
- 4.2. Die Software-Struktur
- 4.2.1. Programmteile
- 4.2.2. Struktogramm des Backtracking
- 4.3. Einschränkungen der Universalität
- 4.4. Notwendige und wünschenswerte Optionen
5. Automatisch erstellte Gefahrgut-Staupläne
- 5.1. Das Typschiff MS.TRAMPCO ("SCHIROKKO")
- 5.2. Die Liste der zu verladenden gefährlichen Güter
- 5.3. Auswahl automatisch erstellter Gefahrgut-Staupläne
- 5.4. Exemplarisch grafisch dargestellte Staupläne
6. Anmerkungen
- 6.1. Einfluß der Schärfe der ~~Trennvorschriften~~ *Staukriterien* auf die Anzahl der Stauplan-Alternativen
- 6.2. Zeitbedarf des Programms
7. Existierende Lösungen in der Literatur
8. Literatur
9. Anhang
- 9.1. Programmlisting
- 9.2. Lösungen des Acht-Damen-Problems

## 1. DAS PROBLEM

Befinden sich unter der Ladung eines Schiffes Güter, die gemäß IMDG-Code (IMDG78) als gefährliche Ladung klassifiziert sind, so müssen für das Verladen dieser Güter die Trennvorschriften des IMDG-Code und andere Restriktionen (z.B. Einschränkungen, die sich aus den Emergency Schedules (EMSD84) ergeben) beachtet werden.

Daher muß ein Stauplan der gefährlichen Ladung erarbeitet werden, aus dem die Verteilung des Gefahrgutes auf dem Schiff unter Beachtung aller Trennvorschriften hervorgeht.

Angesichts des Risikos, das mit dem Transport verschiedener, oft unverträglicher gefährlicher Güter auf einem Schiff verbunden ist, muß der Stauplan fehlerfrei sein.

Die manuelle Erstellung des Gefahrgut-Stauplans birgt verschiedene Fehlerquellen insbesondere dann, wenn sie, wie oft an Bord, unter Zeitdruck geschieht:

- Übertragungsfehler beim Anwenden des IMDG-Code.
- Vergessen bzw. Fehlinterpretation von Trennvorschriften.
- Übersehen von bereits geladenen Stoffen.
- Übersehen spezieller Restriktionen bei bestimmten Gütern (z.B. vorgeschriebene Stauung nur an Deck).

Es ist nicht möglich, von Hand sehr viele Alternativen durchzuspielen, so daß unter Umständen die optimale Lösung nicht gefunden wird.

## 2. DAS ZIEL

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Algorithmus, die Erstellung von Gefahrgut-Stauplänen zu automatisieren, d.h. von einem Computerprogramm ausführen zu lassen.

Folgende Spezifikationen sollen erfüllt werden:

- Das Programm soll auf kleinen Anlagen laufen.
- Das verwendete Verfahren soll effizient sein, d.h. innerhalb akzeptabler Zeitgrenzen zu akzeptablen Lösungen führen.
- Da das Problem der Gefahrgutverteilung auf ein Schiff im allgemeinen keine eindeutige Lösung hat, soll das Programm alle Alternativen aufzeigen können.

### 3. DIE LÖSUNG

*Beispiel*  
Das Problem der Verteilung unverträglicher, gefährlicher Ladung auf die Räume eines Schiffes ist ein Analogon zu dem klassischen Knobelproblem der "acht-Damen":

Acht Schachdamen sind auf einem Schachbrett dergestalt zu plazieren, daß sie sich gegenseitig nicht bedrohen.

*Substitution*  
Im Problem der Stauplanerstellung treten an die Stelle der Damen die gefährlichen Güter, die statt auf Schachbrettfeldern auf die Lade- bzw. Stauräume eines Schiffes zu verteilen sind. Die Rolle der Schlagregeln beim Schach übernehmen die Trennvorschriften, die beim Stauen als Kriterien dazu dienen zu entscheiden, ob der betreffende Stoff im gerade betrachteten Raum geladen werden kann.

Die Methode zur Lösung des Acht-Damen-Problems mit Hilfe des Computers läßt sich deshalb zur Erstellung von Gefahrgut-Stauplänen durch Computer verwenden.

### 3.1. DAS BACKTRACKING

Zur Lösung des Acht-Damen-Problems durch den Computer wird das Backtracking angewendet, die "Vorwärts-Rückwärts-Suche", eine systematische Methode der (depth-first-)Suche in Datenbäumen.

Menzel beschreibt das Verfahren zur Lösung des Acht-Damen-Problems folgendermaßen (MENZ82 S.136):

"Wir beginnen mit Dame 1 in Reihe 1, Spalte 1. Die Dame 2 wird in Reihe 2 von links nach rechts geschoben, bis keine Bedrohung mehr vorliegt. Es folgt Dame 3 usw. bis kein unbedrohtes Feld (in der Reihe) mehr vorliegt. Jetzt muß die vorhergehende Dame weiter vorrücken (falls noch möglich, sonst die vorvorherige usw.), bis erstmals acht Damen plaziert sind. Nach Ausgabe der Stellung wird die Dame 8 entfernt und Dame 7 rückt weiter vor (falls möglich, sonst Dame 6 usw.). Das 'Vorwärts-Rückwärts-Verfahren' ist beendet, wenn Dame 1 über Spalte 8 hinausgerückt werden müßte."

Diese Beschreibung der Methode läßt sich direkt programmieren.

Allgemein ist das Backtracking jedoch ein rekursives Verfahren, das vielfach in der "Künstlichen Intelligenz" verwendet wird (NILS82 S.55ff) als Suchverfahren.

Der Algorithmus zur Lösung des Acht-Damen-Problems kann ohne Änderungen auf das Stauplanproblem übertragen werden.





#### 4. DAS BEISPIELPROGRAMM

Die Funktionsfähigkeit des vorgeschlagenen Verfahrens wird mit einem Programm gezeigt, dessen vollständiges Listing im Anhang zu finden ist (siehe 9.1.).

#### 4.1. DIE HARDWARE

Das Programm läuft auf folgender Hardwareconfiguration:

Apple II europlus Mikrocomputer  
mit 64 K-Byte RAM, 2 Diskettenlaufwerke Apple

EPSON MX 82-F/T Matrixdrucker

(APPL79, EPSN81)

*Bild Konfiguration*

#### 4.2. DIE SOFTWARESTRUKTUR

Als Programmiersprache wurde Applesoft-BASIC verwendet, ein BASIC-Dialekt mit speziellen Grafik-Befehlen (APPL78, DEDR82). Das Programm enthält vorwiegend Sprachelemente, die in fast allen BASIC-Dialekten vorkommen.

Da BASIC primär eine Interpreter-Sprache ist, führt eine ausführliche Kommentierung (REM-Statements) zu merklichen Rechengeschwindigkeitseinbußen zur Laufzeit. Bei dem Beispielprogramm handelt es sich um ein Demonstrationsprogramm, das nicht für den professionellen Einsatz taugt, sondern das Prinzip des Algorithmus veranschaulichen soll.

#### 4.2.1. PROGRAMMTEILE

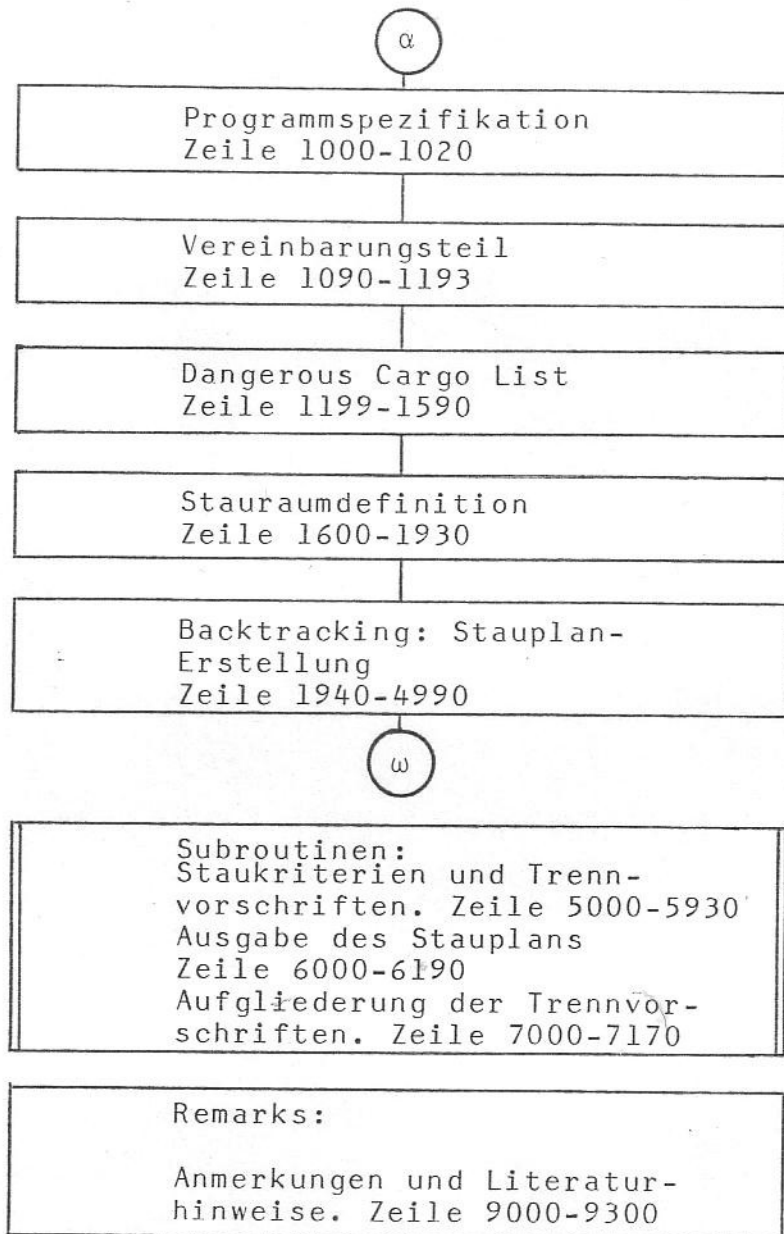


Abb. Blockstruktur des Programms

#### 4.2.2. STRUKTOGRAMM DES BACKTRACKING

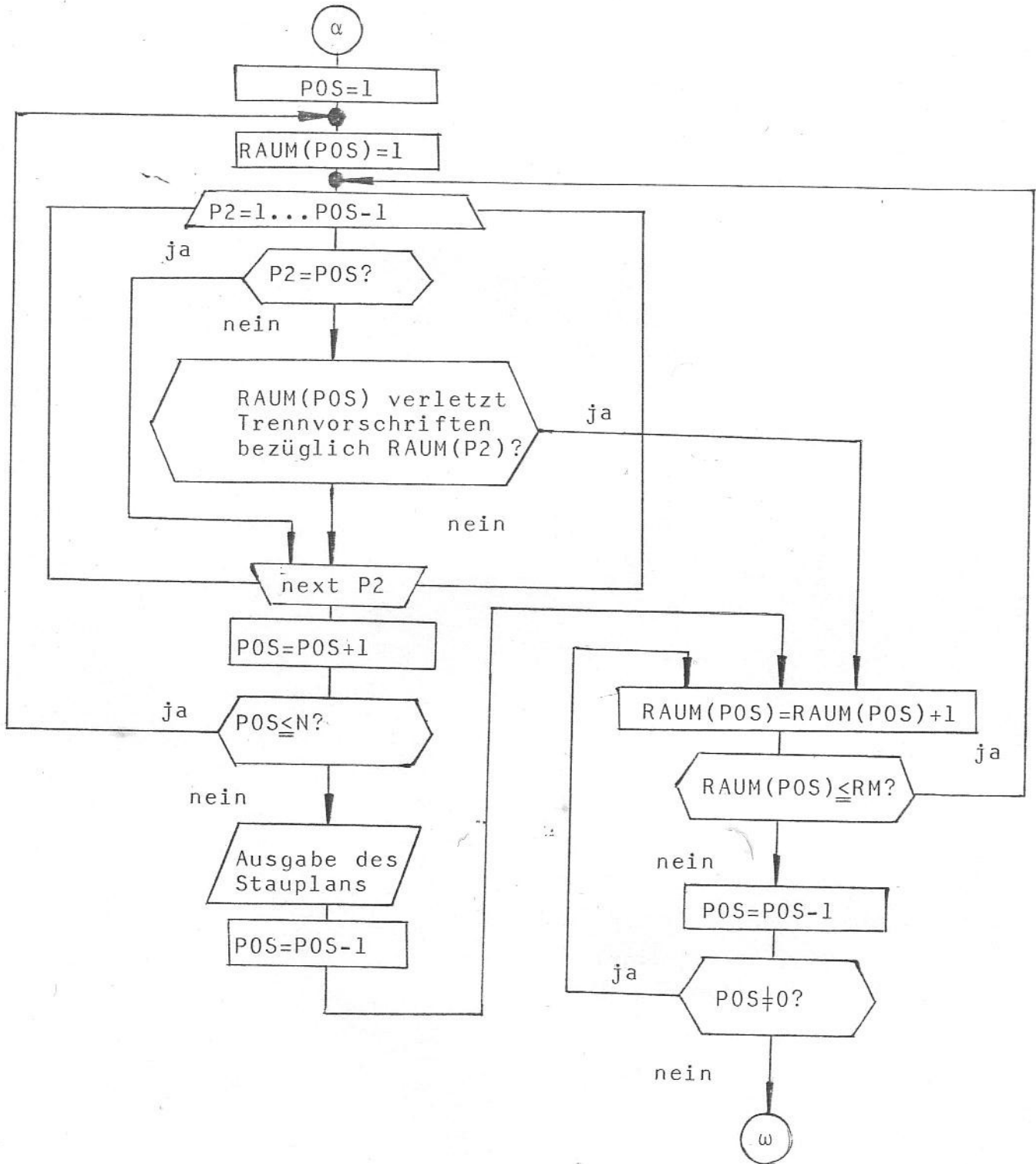


Abb. Struktogramm des Backtracking

### 4.3. EINSCHRÄNKUNGEN DER UNIVERSALITÄT

Das Programm ist für die Erstellung von Stauplänen für einen speziellen konventionellen Beladungsfall hergerichtet. Das bringt folgende Einschränkungen mit sich, welche die direkte Übertragung des vorliegenden Programms auf andere Beladungsbeispiele und/oder andere Schiffstypen verhindern:

Die Angaben der Datenblätter des IMDG-Code (IMDG78) und der EmS (EMSD84) zu den Stoffen der Dangerous Cargo List, sowie Optionen des Benutzers sind als DATA-Statements im Quelltext des Programms enthalten.

Eine andere Dangerous Cargo List, bzw. geänderte Anwenderwünsche erfordern Änderungen dieser DATA-Statements.

Die speziellen Gegebenheiten des zu beladenden Schiffes gehen an zwei unterschiedlichen Stellen ins Programm ein:

1. Bei der Definition der "Stauräume" (die nicht identisch mit vorhandenen Laderäumen sind, vielmehr bezeichnet ein Stauraum eine Rastereinheit einer Staufläche, die gemäß IMDG-Code von benachbarten Stauräumen als "entfernt" anzusehen ist) spielt die Lukenaufteilung eine entscheidende Rolle.
2. In der Implementation der Trennvorschriften ist die Nachbarschaftsbeziehung der Stauräume des speziellen Schiffes von Wichtigkeit und läßt sich nicht auf andere Schiffe übertragen (z.B. welche Stauräume "innerhalb einer Luke" sich befinden oder "in vertikaler Projektion entfernt voneinander" sind).

Das vorliegende Programm enthält als Vereinfachung keine Unterscheidung der Trennkategorien

"getrennt von"

"getrennt durch eine vollständige Abteilung"

"getrennt durch eine vollständige Abteilung  
in Längsschiffsrichtung",

die unterschiedslos nach den Regeln für "getrennt von" behandelt werden.

Diese Vereinfachung ist im vorgeführten Beladungsbeispiel zulässig, da hier aufgrund der Stoffkombination lediglich die Trennkategorien "entfernt von" und "getrennt von" unterschieden werden müssen.

Für die universale Anwendung des Programms ist die Implementation aller Trennvorschriften unumgänglich.

Das Programm berücksichtigt nicht die Quantität der einzelnen Stoffe, wohl aber indirekt die Art ihrer Verpackung, was durch die Angaben der Stauung an Deck oder unter Deck berücksichtigt wird.

Die Hafensfolge wird nicht berücksichtigt, auch nicht die Art der Anschlußladungen.



#### 4.4. NOTWENDIGE UND WÜNSCHENSWERTE OPTIONEN

Für eine ernsthafte Anwendung des Programms ist es notwendig, daß alle Trennvorschriften implementiert werden.

Die Daten und Angaben des IMDG-Code, der EmS und MFAG etc. sind zweckmäßigerweise in einer Datenbank vorzuhalten, die einfaches Up-Dating erlaubt.

Die Eingabe der Benutzervorgaben und der Dangerous Cargo List vereinfacht sich dadurch wesentlich, da auf Angabe der UN-Nummer und/oder des Stoffnamens dem Programm automatisch die benötigte Information aus der Datenbank zur Verfügung gestellt werden kann.

Es sollte ein Anwenderorientierter Dialog geführt oder die Menü-Technik verwendet werden.

Um das Programm ohne Änderungen auch bei anderen Schiffen verwenden zu können, ist es nötig, eine allgemeine Definition der Stauräume und Gegebenheiten von Schiffen zu entwickeln, die durch Aufruf der Information aus Datenfiles die Anpassung des Programms an das jeweils gewünschte Schiff gestatten.

Die Hafenfolge, Rest- und Anschlußladung ist zu berücksichtigen. Eine Prüfung der Beanspruchung des Schiffskörpers und Kontrolle der Stabilität könnte sich in Form eines Festigkeits- und Stabilitätsprogramms anschließen.

Wünschenswert ist die Ausgabe des Stauplans nicht nur in Form einer Liste der Gefahrgüter und ihrer

Stauräume, sondern in grafische Form. Ein derartiger Plan sollte auch zusätzliche Informationen für die Besatzung über das Verhalten und Maßnahmen bei Unfällen gemäß EmS und MFAG enthalten.

Das Programm ist für die Gefahrgutbeladung konventioneller Stückgutschiffe ausgelegt. Ohne Änderung des prinzipiellen Verfahrens läßt sich auch die Gefahrgutbeladung von Vollcontainerschiffen durchführen. Dazu muß die Definition der Stauräume entsprechend den Containerstellplätzen geändert werden, sowie die Trennvorschriften für konventionelle Beladung durch die vereinfachten Trennvorschriften für Containerladung ersetzt werden. Eine Vereinfachung und damit Verarbeitungsgeschwindigkeitssteigerung ist zu erwarten.

## 5. AUTOMATISCH ERSTELLTE GEFÄHRGUT-STAUPLÄNE

Zur Demonstration der Programmfunktion diente die Dangerous Cargo List eines realen Beladungsfalles (NIEL85), mit der die Beladungsplanung des General Cargo Frachters MS. TRAMPCO durchgeführt wurde.

Die Informationen der Dangerous Cargo List und Informationen über die Gegebenheiten des Schiffes sind im Programm enthalten (siehe 9.1.).

## 5.1. DAS TYPSCHEFF MS. TRAMPCO ("SCHIROKKO")

Zur Durchführung der Beladung wurde exemplarisch der Stückgutfrachter MS. TRAMPCO gewählt (CEPK83).

Schiffsdaten (CEPK83 S.4):

Abmessungen:	Länge über alles	ca. 116.70m
	Länge zwischen den Loten	107.95m
	Breite auf Spanten	17.20m
	Seitenhöhe bis Hauptdeck	9.90m
	Seitenhöhe bis Zwischendeck	6.70m

Vermessung:	Volldecker	4796.18 BRT	3332.01 NRT
-------------	------------	-------------	-------------

Laderaum:	Korn	10663 m <sup>3</sup>
	Ballen	10018 m <sup>3</sup>

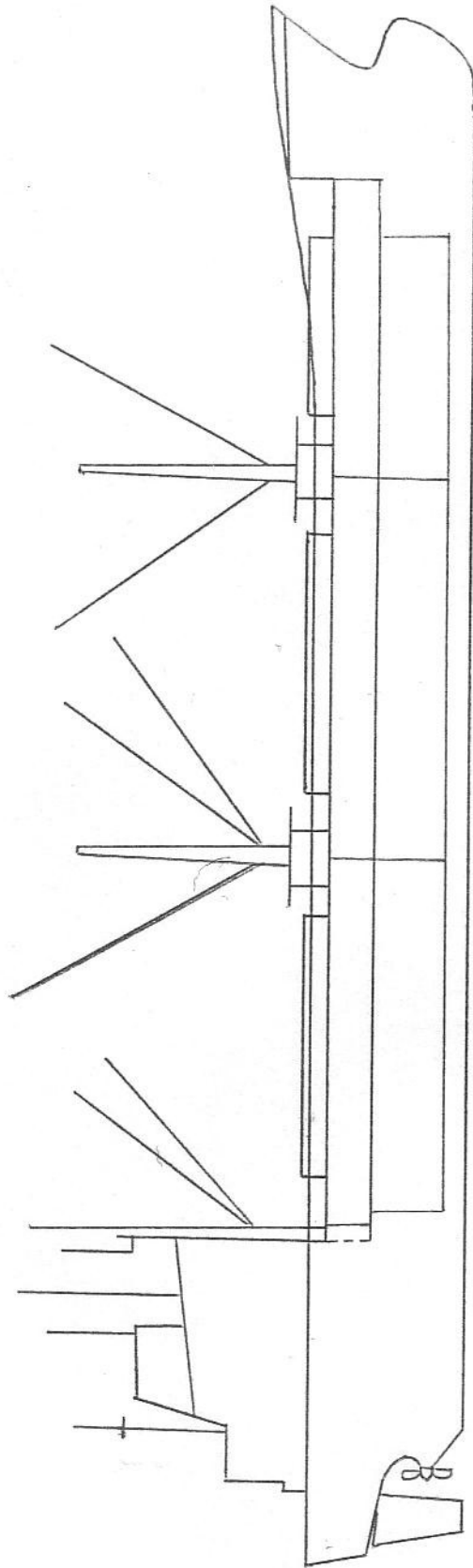
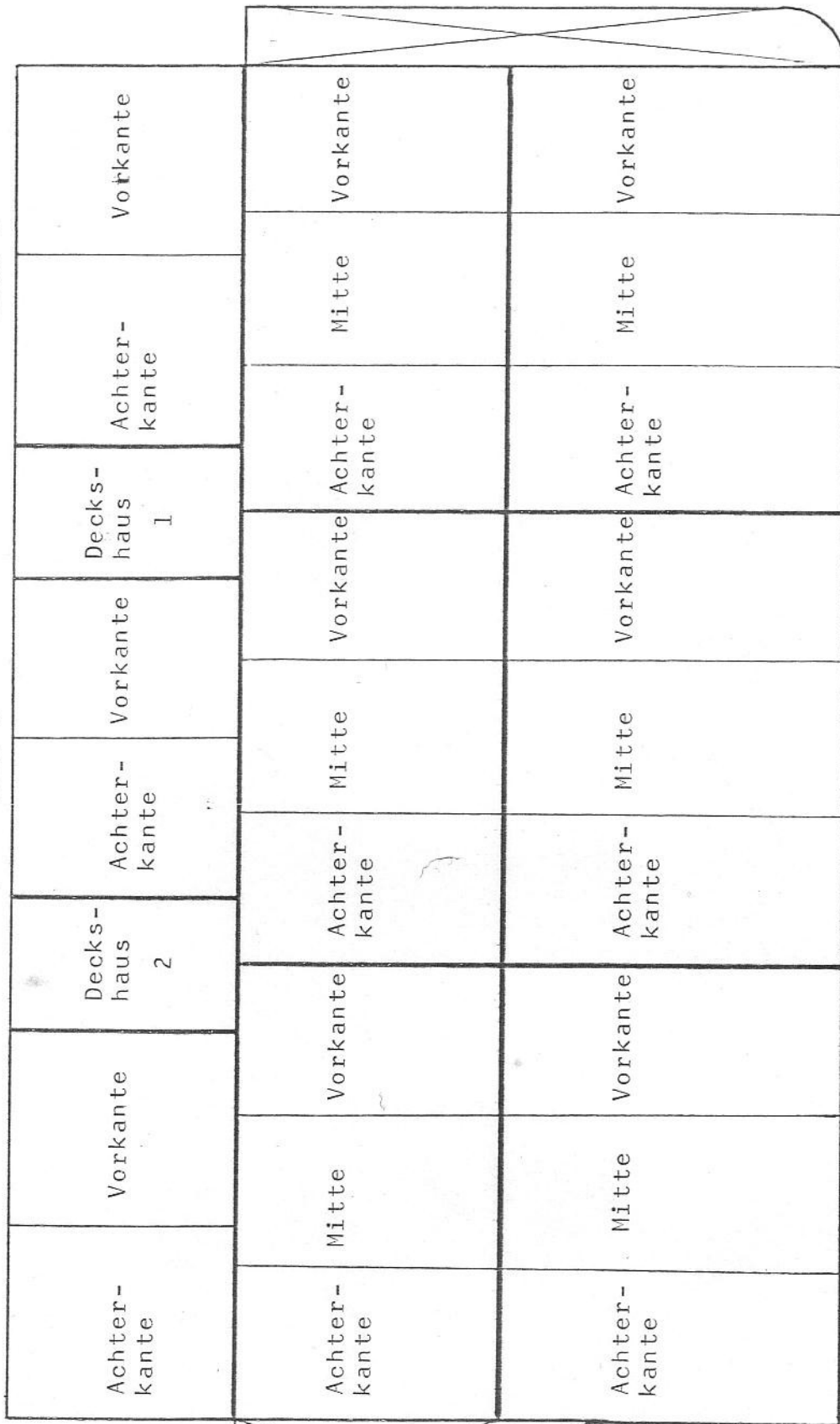


Abb. Generalplan MS. TRAMPCO ("SCHIROKKO"),  
nach (CEPK83 S.5)

Luke 1

Luke 2

Luke 3



An Deck

Zwischen-deck

Unterraum

Luke 1

Luke 2

Luke 3

Stauplan-Schema MS. TRAMPCO  
Anordnung der Stauräume

Abb.

## 5.2. DIE LISTE DER ZU VERLADENDEN GEFÄHRLICHEN GÜTER

Grundlage des Programmlaufs ist folgende Dangerous Cargo List:

### DANGEROUS CARGO LIST

m/v " " "  
in Hamburg 14.12.

	<u>IMDG</u>	<u>UN No.</u>
<u>Sto. Domingo:</u>		
571 bags Sodium Sulphur	8	1849
73 drums Sodium Sulphur	8	1849
10 drums Creolina	8	1903
300 drums Calciumcarbide	4.3	1402
1 drum Chloroform	6.1	1888
1 ctn. Mercurochrom	6.1	2024
1 drum Warfarin	6.1	2769
<u>Puerto Cabello:</u>		
80 drums Kaliumperchlorat	5.1	2769
<u>La Guaira:</u>		
200 bags Oxalacid	6.1	1489
<u>Valparaiso:</u>		
2 cases Solvents	3.3	1142
1 case Laquers	3.2	1263
100 bags Naphtalene	4.1	1334
120 drums Pentans	3.1	1265
200 ctns. Naphtalene	4.1	1334
34 cans Dibezoylperoxid	5.2	2087
6 bags Natriumnitrit	5.1	1500

Callao:

bags	Potassium Nitrate	5.1	1486
bags	Potassium Nitrate	5.1	1486
bags	Sodium Sulphide	8	1849
1 pal.	Flourhidrico Acid	8	1790
5 cans	Thioglycollic Acid	8	1940
1 drum	Bismuth Subnitrate	5.1	1477
400 drums	Natrium Cyamide	6.1	1680
200 ctns.	Naphtalene	4.1	1334
83 drums	Sodium Suphide	8	1849

nach (NIEL85).

Es sind nur die Daten ins Programm aufgenommen, die für die einwandfreie Programmfunktion notwendig sind. Da die Menge der zu stauenden Ladung nicht berücksichtigt wird (siehe 4.3.), fehlen z.B. die Angaben der Ladungsmengen.

Die Art der Verschlüsselung soll an einem Beispiel erläutert werden:

Zur Position 23 findet sich in dem Datenblatt des IMDG-Code folgende Information (IMDG78 page 6366):

Natrium Cyanid, UN-Nr. 1689, Klasse 6.1, ist ein weißer, kristalliner Stoff, der hygroskopisch ist und mit Wasser oder Säuren Blausäure entwickelt, ein äußerst giftiges Gas. Der Stoff soll entfernt von Säuren gelagert werden und kann an Deck oder unter Deck verschifft werden. Er muß entfernt von Stoffen der Klassen 5.1, 5.2 und getrennt von Stoffen der Klassen 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 gestaut werden.

Im Programm steht an Information zu dieser Position:

```
1550 DATA NATRIUM CYAMIDE,6.1,1,  
"5.1#5.2", "1.1#1.2#1.3#1.5#6  
.1",NIL,NIL,2: REM POS 23
```



Das DATA-Statement besteht aus dem Stoffnamen, gefolgt von der Stoffklasse. Es schließt sich eine Angabe über die Art der Feuerbekämpfungsmaßnahmen an. Dabei bedeutet

- 0 alle Feuerlöschmittel erlaubt
- 1 kein Wasser verwenden
- 2 kein CO<sub>2</sub> verwenden

Im Beispiel steht an dieser Stelle eine 1, der möglichen Blausäureentwicklung wegen.

In der Liste folgen die Angaben des Stoffblattes zu den vier Trennkategorien. Innerhalb der Strings sind die Klassennummern durch Nummernsymbole ("Lattenzaun") für die Stringverarbeitung getrennt. NIL ist gleichwertig mit keiner Angabe zu der betreffenden Trennkategorie.

Die letzte Zahl der Liste gibt Auskunft über die Art der Stauung:

- 0 keine Beschränkung
- 1 nur an Deck
- 2 nur unter Deck

Im Beispiel wird die Stauung unter Deck gefordert.

Das DATA-Statement schließt mit einem Remark, aus dem die laufende Nummer zu ersehen ist.

### 5.3. AUSWAHL AUTOMATISCH ERSTELLTER STAUPLÄNE

Aus der Vielzahl der alternativen Lösungen des Programmlaufs folgen hier einige ausgewählte Ausdrücke von Stauplänen.

Die Unterschiede der Staupläne sind gering, da trotz der absolut gesehen bereits beträchtlichen Zahl der Versionen erst ein Bruchteil aller zulässigen Varianten generiert wurde.

STAUPLAN VERSION 1

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE

STAUPLAN VERSION 2

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE

STAUPLAN VERSION 3

---

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE

STAUPLAN VERSION 4

---

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 UNTERRAUM ACHTERKANTE

STAUPLAN VERSION 5

---

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE

STAUPLAN VERSION 6

---

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 2 ZWISCHENDECK MITTE

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 2 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE

POS.1:	SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2:	SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3:	CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4:	CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5:	CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6:	MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7:	WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8:	KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9:	OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10:	SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11:	LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12:	NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13:	PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14:	NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15:	DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16:	NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17:	POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18:	POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19:	SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20:	FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21:	THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22:	BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.23:	NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 UNTERRAUM ACHTERKANTE
POS.24:	NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 3 UNTERRAUM ACHTERKANTE
POS.25:	SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE

-----

POS.1: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.2: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.3: CREOLINA	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.4: CALCIUMCARBIDE	<4.3>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.5: CHLOROFORM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.6: MERCUROCHROM	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.7: WARFARIN	<6.1>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.8: KALIUMPERCHLORAT	<5.1>	AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
POS.9: OXALACID	<6.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.10: SOLVENTS	<3.3>	LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.11: LAQUERS	<3.2>	IN DECKSHAUS 1
POS.12: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.13: PENTANS	<3.1>	IN DECKSHAUS 1
POS.14: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
POS.15: DIBENZOYLPEROXID	<5.2>	AN DECK VORKANTE LUKE 2
POS.16: NATRIUMNITRIT	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.17: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.18: POTASSIUM NITRATE	<5.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.19: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
POS.20: FLOURHIDRICO ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.21: THIOGLYCOLLIC ACID	<8>	AN DECK VORKANTE LUKE 1
POS.22: BISMUTH SUBNITRATE	<5.1>	IN DECKSHAUS 2
POS.23: NATRIUM CYAMIDE	<6.1>	LUKE 2 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE
POS.24: NAPHTALENE	<4.1>	LUKE 3 ZWISCHENDECK MITTE
POS.25: SODIUM SULPHIDE	<9>	LUKE 2 UNTERRAUM MITTE



#### 5.4. EXEMPLARISCH GRAFISCH DARGESTELLTE STAUPLÄNE

Für den Bordgebrauch sind Grafiken übersichtlicher und besser handhabbar als Listen. Eine Erweiterung des Programms könnte die Staupläne in etwa der folgenden Form grafisch ausgeben (vgl. 4.4.).









## 6. ANMERKUNGEN

Der Programmlauf läßt einige Aussagen über die Effizienz des Programms zu.

Bei einer Anzahl von  $RM$  Stauräumen, die  $N$  Partien gefährlicher Ladung zugeordnet werden können, gibt es  $RM^N$  Möglichkeiten der Anordnung (mit Wiederholung, d.h. zwei Partien können denselben Stauraum zugewiesen bekommen) (MATHE78 S.463).

Im Beispiel gibt es bei 26 Stauräumen und 25 Partien also  $26^{25} \approx 2,4 \cdot 10^{35}$  Möglichkeiten. Selbstverständlich sind nicht alle gleichermaßen zulässig (sonst erübrigte sich die Stauplanung). Aufgabe des Programms ist es, die zulässigen Alternativen zu finden.

Eine Abschätzung oder theoretische Berechnung der Anzahl der zulässigen Stauplan-Alternativen dürfte angesichts der Komplexität des Problems undurchführbar sein.

## 6.1. EINFLUß DER SCHÄRFE DER STAUKRITERIEN AUF DIE ANZAHL DER STAUPLAN-VARIANTEN

Der Programmlauf zeigt, daß es keine eindeutige Lösung der gestellten Aufgabe der Verteilung vorgegebener gefährlicher Ladung auf ein Schiff gibt, sondern vielmehr die Menge der gleichwertigen Alternativen unpraktikabel groß ist.

Die bisher implementierten Staukriterien ermöglichen noch keine wirksame Selektion äquivalenter optimaler Lösungen. Zur Verbesserung der Effizienz des Programms ist eine Verschärfung der Staukriterien notwendig.

Mit der Berücksichtigung weiterer Restriktionen in den Staukriterien, wie etwa Hafenfolge und Ladungsmenge läßt sich die Anzahl der Alternativen beschränken. Wünschenswert ist die Einbeziehung aller relevanten Kriterien, um mit der ersten Stauplanversion bereits eine akzeptable Form des Gefahrgutstauplans zu erhalten.

Da zur Verbesserung der Effizienz des Programms keine prinzipiellen Änderungen des Algorithmus notwendig sind, läßt sich behaupten, daß die hier vorgestellte Methode zur Erstellung von Gefahrgutstauplänen effizient ist.

## 6.2. ZEITBEDARF DES PROGRAMMS

In der vorliegenden Fassung benötigt das Programm vom Abschluß der Eingaben bis zur Ausgabe der ersten Version des Stauplans ca. 12 Minuten.

Für die ersten 2584 Versionen benötigt das Programm 13 Stunden 51 Minuten, also ca. 20 Sekunden pro Version im Durchschnitt.

Wird die Arbeitsgeschwindigkeit der verwendeten Hardware berücksichtigt (Interpreter-Sprache, kommentierter, nicht rechenzeitoptimierter Quelltext, 8-Bit-Mikrocomputer), so läßt sich behaupten, daß das Programm hinsichtlich seines Zeitbedarfs effizient ist.



7. EXISTIERENDE LÖSUNGEN IN DER LITERATUR

Wird nachgeleitet!

Erwartungssystem Pg

Diplomarbeit 75 Zusammenfassung

8. LITERATUR

- (APPL78) Apple Computer Inc., Applesoft II. BASIC programming reference Manual, Cupertino 1978, A2L0006
- (APPL79) Apple Computer Inc., Apple II Reference Manual, Cupertino 1979, A2L0001A
- (IMDG78) Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 39 vom 19. Juli 1978, Anlagen zur Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (GefahrgutVSee) vom 5. Juli 1978
- (CEPK83) H. Cepok, Ausgewählte Werftunterlagen für das Typschiff "TRAMPCO" (M/S "SCHIROKKO")  
Bremerhaven: Hochschule Bremerhaven  
- Fachbereich Nautik 1983, 5. unv. Aufl.
- (DEDR82) Wolfgang Dederichs, APPLESOFT-BASIC, Mannheim; Wien; Zürich: Bibliographisches Institut 1982
- (EMSD84) EmS Richtlinie über Unfallmaßnahmen für Schiffe, die gefährliche Güter befördern, Gruppenunfallmerkblätter (EmS). Maßnahmen, die bei Unfällen mit gefährlichen Gütern zu befolgen sind.-RM 002-  
Hamburg: Storck 1984
- (EPSN81) EPSON Shinshu Seiki Co., Ltd., MX series. User manual Apple II interface kit type 2, Nagano 1981

- (MATHE78) Fritz Reinhardt; Heinrich Soeder, dtv-Atlas zur Mathematik, Band 2: Analysis und angewandte Mathematik, München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1978, 2. Aufl.
- (MENZ82) Klaus Menzel, BASIC in 100 Beispielen, Stuttgart: Teubner 1982, 2. Aufl.
- (MFAG84) Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Richtlinien über Erste-Hilfe-Maßnahmen, -RM 003-  
Leitfaden für medizinische Maßnahmen bei Unfällen mit gefährlichen Gütern (MFAG)  
Anhang über Chemikalien zum International Medical Guide for Ships (IMGS), Hamburg: Storck 1984
- (NIEL85) Detlef Nielsen, Arbeitsunterlage zum Fach "Ladungen", Fachhochschule Hamburg - Fachbereich Seefahrt 1985
- (NILS82) Nils J. Nilsson, Principles of Artificial Intelligence, Berlin; Heidelberg; New York: Springer 1982
- (STOW83) Stowage & Segregation Guide to IMDG-Code and Table of U.N.-Nos. and IMDG-Code Page Nos., EmS Nos., MFAG Table Nos.  
Including Amdt. 20-1982,  
Hamburg: Storck 1983
- (UNFL76) Unfallmerkblätter für den Seetransport gemäß §4 Abs. 5 Satz 2 der Verordnung über gefährliche Seefrachtgüter (SFO), Bekanntmachungen im Verkehrsblatt 1976, Hamburg: Storck o.J.

## 9. ANHANG

## 9.1. PROGRAMMLISTING

Im folgenden ein vollständiger Ausdruck des Beispielprogramms.

```

1000 REM -----
1001 REM -----GEFAHRGUT-STAUPLAN-----
1002 REM -----AUTOR: W.-W.SCHEUERMANN-----
1003 REM -----DATUM: 29.4.-4.5.1985-----
1004 REM -----PROGRAMMNAME: GEFAHRGUT.9-----
1005 REM -----SPRACHE: APPLESOFT-BASIC-----
1006 REM -----
1010 REM BACKTRACKING-VERFAHREN FUER MS.TRAMPCO
1011 REM (FUER ANDERE SCHIFFE MUSS DER RAUMCODE ENTSPRECHEND GEAENDERT WERDEN)
1012 REM DIE HAFENFOLGE WIRD NICHT BERUECKSICHTIGT. ES WERDEN ALLE ZULAESSIGEN
1013 REM STAUPLAENE AUSGEBEBEN. ANSCHLIESSEND KANN DERJENIGE STAUPLAN, DER
1014 REM FUER DIE HAFENFOLGE AM BESTEN GEEIGNET IST, HERAUSGESUCHT WERDEN.
1015 REM (EVENTUELL EBENFALLS ALGORITHMISCH)
1020 REM -----
1090 REM -----VEREINBARUNGSTEIL-----
1095 HOME
1096 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
1097 PRINT "GEFAHRGUT-STAUPLAN MS.TRAMPCO"
1098 PRINT "-----": PRINT
1100 DIM STOFF$(30)
1110 REM DIM UN(30)
1120 REM DIM VERPCK(30)
1130 REM DIM ANZAHL(30)
1140 DIM KLASSE(30)
1150 DIM FEUER(30)
1155 DIM RAUM$(30)
1157 DIM RAUM(30)
1160 DIM T1TRENN$(30)
1170 DIM T2TRENN$(30)
1180 DIM T3TRENN$(30)
1190 DIM T4TRENN$(30)
1192 DIM TR(30)
1193 DIM STAUUNG(30)
1199 REM -----GEFAHRGUT-LISTE-----
1200 N = 25: REM ANZAHL DER GEFAHRGUETER
1205 FOR POS = 1 TO N: REM ALLE GEFAHRGUETER
1210 READ STOFF$(POS): REM STOFFNAME
1220 REM READUN(POS):REM UN-#
1230 REM READVERPCK(POS):REM VERPACKUNG
1240 REM READANZAHL(POS):REMANZAHL
1250 READ KLASSE(POS): REM GEFAHRGUTKLASSE
1260 READ FEUER(POS): REM NICHT ERLAUBTE FEUERLOESCHMITTEL
1265 REM 1=KEIN WASSER,2=KEIN CO2,0=KEINE BESCHRAENKUNG
1270 READ T1TRENN$(POS): REM ENTFERNT VON
1280 READ T2TRENN$(POS): REM GETRENNT VON
1290 READ T3TRENN$(POS): REM GETRENNT DURCH ABTEILUNG
1300 READ T4TRENN$(POS): REM GETRENNT DURCH ABTEILUNG LAENGSSCHIFFS
1305 READ STAUUNG(POS): REM STAUVORSCHRIFTEN
1306 REM 1=NUR AN DECK,2=NUR UNTER DECK,0=EGAL
1310 NEXT POS
1320 REM -----DATENLISTE NACH IMDG-CODE-----
1330 REM DATA STOFF KLASSE FEUER T1 T2 T3 T4 STAUORT
1340 DATA SODIUM SULPHIDE,9,0,NIL,NIL,NIL,NIL,2: REM POS 1
1350 DATA SODIUM SULPHIDE,9,0,NIL,NIL,NIL,NIL,2: REM POS 2
1360 DATA CREOLINA,8,0,"2.1#3.1#3.2#3.3#4.1#4.2#4.3#2.0","1.0#1.3#1.4#5.1#5.2#7.0",NIL,
"1.0#1.1#1.2#1.5",1: REM POS 3
1370 DATA CALCIUMCARBIDE,4,3,1,"2.0#4.1#4.2#8.0","1.0#1.4#3.1#3.2#3.3#5.1#5.2#7.0",NIL,
"1.1#1.2#1.3#1.5",2: REM POS 4
1380 DATA CHLOROFORM,6,1,0,"5.1#5.2","1.1#1.2#1.3#1.5",NIL,NIL,0: REM POS 5
1390 DATA MERCUROCHROM,6,1,0,"5.1#5.2","1.1#1.2#1.3#1.5",NIL,NIL,0: REM POS 6
1400 DATA WARFARIN,6,1,0,"5.1#5.2","1.1#1.2#1.3#1.5",NIL,NIL,0: REM POS 7
1410 DATA KALIUMPERCHLORAT,5,1,0,"4.1#6.1#7.0","1.4#1.5#2.0#3.1#3.2#3.3#4.2#4.3#5.2#8.0

```

```

",NIL,"1.0#1.1#1.3",0: REM POS 8
1420 DATA OXALACID,6.1,0,"5.1#5.2","1.1#1.2#1.3#1.5",NIL,NIL,2: REM POS 9
1430 DATA SOLVENTS,3.3,0,"4.1#8.0","1.4#1.5#2.0#4.2#4.3#5.1#7.0","5.2","1.1#1.2#1.3",2:
REM POS 10
1440 DATA LAQUERS,3.2,0,"4.1#8.0","1.4#1.5#2.0#4.2#4.3#5.1#7.0","5.2","1.1#1.2#1.3",0: REM
POS 11
1450 DATA NAPHTALENE,4.1,0,"2.0#2.1#3.3#4.2#4.3#5.1#8.0","1.0#1.4#3.1#3.2#5.2#7.0","1.0
#1.3","1.1#1.2#1.5",2: REM POS 12
1460 DATA PENTANS,3.1,0,"4.1#8.0","1.4#1.5#2.0#4.2#4.3#5.1#7.0","5.2","1.1#1.2#1.3",0: REM
POS 13
1470 DATA NAPHTALENE,4.1,0,"2.0#2.1#3.3#4.2#4.3#5.1#8.0","1.0#1.4#3.1#3.2#5.2#7.0","1.0
#1.3","1.1#1.2#1.5",2: REM POS 14
1480 DATA DIBENZOYLPEROXID,5.2,0,"6.1#4.1#7.0","1.0#1.4#2.0#3.2#4.1#4.2#4.3#5.1#7.0#8.0
#1.5#3.1#3.2#3.3#5.2","3.0#3.1#3.2#3.3","2.0#2.1#1.0#1.1#1.2#1.3#1.4",1: REM POS 15

1490 DATA NATRIUMNITRIT,5.1,0,"4.1#6.1#7.0","1.4#1.5#2.0#3.1#3.2#3.3#4.2#4.3#5.2#8.0",N
IL,"1.0#1.1#1.3",2: REM POS 16
1500 DATA POTASSIUM NITRATE,5.1,0,"4.1#6.1#7.0","1.4#1.5#2.0#3.1#3.2#3.3#4.2#4.3#5.2#8.
0",NIL,"1.0#1.1#1.3",2: REM POS 17
1505 DATA POTASSIUM NITRATE,5.1,0,"4.1#6.1#7.0","1.4#1.5#2.0#3.1#3.2#3.3#4.2#4.3#5.2#8.
0",NIL,"1.0#1.1#1.3",2: REM POS 18
1510 DATA SODIUM SULPHIDE,9,0,NIL,NIL,NIL,NIL,2: REM POS 19
1520 DATA FLOURHIDRICO ACID,8,0,"2.1#3.1#3.2#3.3#4.1#4.2#4.3#2.0","1.0#1.3#1.4#5.1#5.2#
7.0",NIL,"1.0#1.1#1.2#1.5",1: REM POS 20
1530 DATA THIOGLYCOLLIC ACID,8,0,"2.1#3.1#3.2#3.3#4.1#4.2#4.3#2.0","1.0#1.3#1.4#5.1#5.2
#7.0",NIL,"1.0#1.1#1.2#1.5",0: REM POS 21
1540 DATA BISMUTH SUBNITRATE,5.1,0,"4.1#6.1#7.0","1.4#1.5#2.0#3.1#3.2#3.3#4.2#4.3#5.2#8
.0",NIL,"1.0#1.1#1.3",0: REM POS 22
1550 DATA NATRIUM CYAMIDE,6.1,1,"5.1#5.2","1.1#1.2#1.3#1.5#6.1",NIL,NIL,2: REM POS 23

1560 DATA NAPHTALENE,4.1,0,"2.0#2.1#3.3#4.2#4.3#5.1#8.0","1.0#1.4#3.1#3.2#5.2#7.0","1.0
#1.3","1.1#1.2#1.5",2: REM POS 24
1570 DATA SODIUM SULPHIDE,9,0,NIL,NIL,NIL,NIL,2: REM POS 25
1590 REM -----
1600 REM -----STAURAUW-AUFTEILUNG AUF MS.TRAMPCO-----
1610 REM MS.TRAMPCO HAT 26 STAUAEUME FUER GEFABRGUETER, DIE IN BEZIEHUNGEN
1611 REM ENTFERNT UND GETRENNT ZUEINANDER STEHEN
1620 RM = 26: REM ANZAHL DER RAEUME
1630 FOR I = 1 TO RM: REM ALLE RAEUME
1640 READ RAUM$(I)
1650 NEXT I
1655 RAUM$(0) = "NICHT AN BORD"
1660 REM -----
1670 DATA AN DECK VORKANTE LUKE 1
1680 DATA AN DECK ACHTERKANTE LUKE 1
1690 DATA IN DECKSHAUS 1
1700 DATA AN DECK VORKANTE LUKE 2
1710 DATA AN DECK ACHTERKANTE LUKE 2
1720 DATA IN DECKSHAUS 2
1730 DATA AN DECK VORKANTE LUKE 3
1740 DATA AN DECK ACHTERKANTE LUKE 3
1750 DATA LUKE 1 ZWISCHENDECK VORKANTE
1760 DATA LUKE 1 ZWISCHENDECK MITTE
1770 DATA LUKE 1 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE
1780 DATA LUKE 1 UNTERRAUM VORKANTE
1790 DATA LUKE 1 UNTERRAUM MITTE
1800 DATA LUKE 1 UNTERRAUM ACHTERKANTE
1810 DATA LUKE 2 ZWISCHENDECK VORKANTE
1820 DATA LUKE 2 ZWISCHENDECK MITTE
1830 DATA LUKE 2 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE
1840 DATA LUKE 2 UNTERRAUM VORKANTE
1850 DATA LUKE 2 UNTERRAUM MITTE

```

```

1860 DATA LUKE 2 UNTERRAUM ACHTERKANTE
1870 DATA LUKE 3 ZWISCHENDECK VORKANTE
1880 DATA LUKE 3 ZWISCHENDECK MITTE
1890 DATA LUKE 3 ZWISCHENDECK ACHTERKANTE
1900 DATA LUKE 3 UNTERRAUM VORKANTE
1910 DATA LUKE 3 UNTERRAUM MITTE
1920 DATA LUKE 3 UNTERRAUM ACHTERKANTE
1930 REM -----
1940 REM -----STAUPLAN-ERSTELLUNG: BACKTRACKING-----
1950 REM -----
2000 POS = 1: REM ERSTE PARTIE. (POSITION 1)
2010 RAUM(POS) = 1: REM STAURAUUM DER PARTIE POS
2020 FOR P2 = 1 TO POS - 1: REM SCHLEIFE UEBER DIE BEREITS GESTAUTEN PARTIEN
2030 REM IFP2 = POS GOTO 2060: REM DIE PRUEFUNG DER TRENNVORSCHRIFTEN UEBERSPRINGEN,
2035 REM WENN DIE PARTIE POS ERREICHT IST
2040 GOSUB 5100: REM TEST, OB ALLE TRENNVORSCHRIFTEN ERFUELLT SIND
2050 IF FLAG = 1 GOTO 2120: REM WENN FLAG=1, TRENNVORSCHRIFTEN NICHT ERFUELLT, SONST:
2060 NEXT P2: REM NAECHSTE DER BEREITS GESTAUTEN PARTIEN ZUM TEST HERANZIEHEN
2070 POS = POS + 1: REM NAECHSTE PARTIE, DIE NOCH NICHT GESTAUT IST, ANFASSEN
2080 IF POS < = N GOTO 2010: REM WENN NOCH NICHT ALLE PARTIEN GESTAUT SIND,
2085 REM WEITERSTAUEN, SONST:
2090 GOSUB 6100: REM AUSGABE DES STAUPLAN
2110 POS = POS - 1: REM SUCHE FUER DEN NAECHSTEN STAUPLAN WIEDER AUFNEHMEN
2111 :
2112 :
2120 RAUM(POS) = RAUM(POS) + 1: REM LETZTE PARTIE EINEN STAURAUUM WEITER LADEN
2130 IF RAUM(POS) < = RM GOTO 2020
2140 POS = POS - 1: REM VORHERGEHENDE PARTIE ANFASSEN
2150 IF POS < > 0 GOTO 2120: REM SOLANGE NICHT DIE ERSTE PARTIE DURCH ALLE STAURAEUME
2155 REM GESCHOBEN WORDEN IST, WEITERSTAUEN, SONST:
4980 END : REM ENDE DES PROGRAMMS
4990 REM -----
4998 :
4999 :
5000 REM -----SUBROUTINE: TEST AUF ERFUELLUNG DER TRENNVORSCHRIFTEN-----
5001 REM DER STOFF MUSS HIER EINE REIHE VON 'FILTERN' PASSIEREN. NUR WENN ER
5002 REM ALLE PRUEFUNGEN UEBERSTEHT, OHNE DASS DAS FLAG=1 GESETZT WORDEN IST,
5003 REM IST DER STAURAUUM OK.
5004 REM DIE ART DER BEDINGUNGEN HAENGT SEHR STARK VON DER STAURAUUMVERTEILUNG
5005 REM UND DER ART DER ABGRENZUNG DER EINZELNEN RAEUME GEGENEINANDER AUF
5006 REM MS. TRAMPCO AB. BEI JEDEM SCHIFF SIND DIE BEDINGUNGEN VERSCHIEDEN.
5010 REM -----
5100 FLAG = 0: REM NEHMEN WIR ERST MAL AN, DASS DER STAURAUUM OK IST
5110 IF (STAUUNG(POS) = 1 AND RAUM(POS) > 8) OR (STAUUNG(POS) = 2 AND RAUM(POS) < 9) THEN
    FLAG = 1: RETURN : REM STOFF BEFINDET SICH AUF DER FALSCHEN SEITE DES WETTERDECKS
5135 IF RAUM(P2) = RAUM(POS) AND FEUER(P2) < > FEUER(POS) AND FEUER(POS) * FEUER(P2) >
    0 THEN FLAG = 1: RETURN : REM DIE STOFFE VERTRAGEN NICHT DIESELBE FEUERBEKAEMPfung
5140 L1 = RAUM(POS) > 8 AND RAUM(POS) < 15: REM PARTIE POS IN LUKE 1
5150 L2 = RAUM(POS) > 14 AND RAUM(POS) < 21: REM PARTIE POS IN LUKE 2
5160 L3 = RAUM(POS) > 20: REM PARTIE POS IN LUKE 3
5170 S1 = RAUM(P2) > 8 AND RAUM(P2) < 15: REM PARTIE P2 IN LUKE 1
5180 S2 = RAUM(P2) > 14 AND RAUM(P2) < 21: REM PARTIE P2 IN LUKE 2
5190 S3 = RAUM(P2) > 20: REM PARTIE P2 IN LUKE 3
5200 IF (L1 AND S1 OR L2 AND S2 OR L3 AND S3) AND FEUER(P2) < > FEUER(POS) AND FEUER(P
    OS) * FEUER(P2) > 0 THEN FLAG = 1: RETURN : REM BEZUEGLICH DER FEUERBEKAEMPfungSMASS
    NAHMEN BEFINDEN SICH INKOMPATIBLE STOFFE IN DERSELBEN LUKE
5210 T# = T2TRENN$(POS) + "#" + T3TRENN$(POS) + "#" + T4TRENN$(POS)
5215 REM EINGANGSPARAMETER FUER SUBROUTINE AUFGLIEDERUNG
5220 GOSUB 7100: REM SUBROUTINE AUFGLIEDERUNG DER UNVERTRAEGLICHEN STOFFE
5230 FOR J7 = 1 TO JJJ: REM SCHLEIFE UEBER UNVERTRAEGLICHE KLASSEN
5233 IF RAUM(P2) = RAUM(POS) AND KLASSE(P2) = TR(J7) THEN FLAG = 1: RETURN : REM STOFFE

```



```

SIND NICHT GETRENNT
5240 IF (L1 AND S1 OR L2 AND S2 OR L3 AND S3) AND TR(J7) = KLASSE(P2) THEN FLAG = 1: RETURN
: REM BEREITS GESTAUTER STOFF IST UNVERTRAEGLICH
5247 REM STOFFE STEHEN NICHT GETRENNT VONEINANDER
5250 NEXT J7
5260 T# = T1TRENN#(POS): REM WIE OBEN
5270 GOSUB 7100: REM "
5280 FOR J7 = 1 TO JJJ: REM "
5290 IF RAUM(P2) = RAUM(POS) AND KLASSE(P2) = TR(J7) THEN FLAG = 1: RETURN
5295 REM STOFFE STEHEN NICHT ENTFERNT VONEINANDER
5300 IF (L1 AND S1 OR L2 AND S2 OR L3 AND S3) AND (RAUM(P2) = RAUM(POS) + 3 OR RAUM(P2)
= RAUM(POS) - 3) THEN FLAG = 1: RETURN : REM STOFFE STEHEN NICHT VERTIKAL ENTFERNT
5310 NEXT J7
5980 RETURN : REM ENDE SUBROUTINE
5990 REM -----
5998 :
5999 :
6000 REM -----SUBROUTINE: AUSGABE DES STAUPANS-----
6100 REM
6120 ZAEHLER = ZAEHLER + 1: REM VERSIONSZAehler INKREMENTIEREN
6130 PRINT "STAUPAN VERSION "ZAEHLER
6135 PRINT "-----"
6140 PRINT
6150 FOR P6 = 1 TO N: REM ALLE PARTIEN
6160 PRINT "POS."P6": "STOFF#(P6);
6165 HTAB (31): PRINT "<"KLASSE(P6)">";
6167 HTAB (40): PRINT RAUM#(RAUM(P6))
6170 NEXT P6
6171 IF ZAEHLER > 1 THEN PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
6172 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
6177 REM PRINT CHR# (7): GET QUIT#: REM GLOCKE,QUITTIERUNG DES BENUTZERS ABWARTEN
6180 RETURN : REM ENDE SUBROUTINE
6190 REM -----
6998 :
6999 :
7000 REM -----SUBROUTINE: AUFGLIEDERUNG DER TRENNVORSCHRIFTEN-----
7010 REM EIN WENIG STRINGVERARBEITUNG
7090 REM -----
7100 IF LEN (T#) = 3 THEN JJJ = 1:TR(JJJ) = VAL (T#): RETURN : REM NUR EINE ANGABE
7110 T# = T# + "#": REM STRING AUF MASS BRINGEN
7120 FOR JJJ = 1 TO LEN (T#) STEP 4
7130 TR((JJJ + 3) / 4) = VAL ( MID# (T#,JJJ,4)): REM WERT AUSLESEN
7140 NEXT JJJ
7150 JJJ = JJJ / 4
7160 RETURN : REM ENDE SUBROUTINE
7170 REM -----
8998 :
8999 :
9000 REM -----ANMERKUNGEN-----
9010 REM DAS HIER ANGEWANDTE VERFAHREN DES BACKTRACKING, DER 'VORWAERTS-
9020 REM RUECKWAERTS-SUCHE', EINER SYSTEMATISCHEN METHODE DER (DEPTH-FIRST-)SUCHE
9030 REM IN ZUGBAEUMEN, WIRD KLASSISCHERWEISE ZUR LOESUNG DES ACHT-DAMEN-PROBLEMS
9040 REM VERWENDET.ES GEHT DABEI DARUM, ACHT SCHACH-DAMEN AUF EINEM SCHACHBRETT
9050 REM DERGESTALT ZU PLAZIEREN, DASS KEINE DIE ANDERE BEDROHT.
9060 REM DIE UEBERTRAGUNG DIESER METHODE AUF DIE STAUPLANERSTELLUNG FUER
9070 REM GEFAEHRliche GUETER ERFOLGTE PER ANALOGIESCHLUSS (ZUMAL DER UMGANG MIT
9080 REM DAMEN AUCH NICHT IMMER UNGEFAEHRlich IST): DIE GEFAHRGUETER TRETEN AN
9090 REM DIE STELLE DER DAMEN, DIE GEGENSEITIGE BEDROHUNG WIRD DURCH DIE TRENN-
9100 REM VORSCHRIFTEN GEBEN UND DIE STAURAEUME STELLEN SCHLIESSLICH DIE FELDER
9110 REM DES SCHACHBRETtes DAR.
9120 REM MENZEL (1982) BESCHREIBT DAS BACKTRACKING FOLGENDERMASSEN:

```

9130 REM "WIR BEGINNEN MIT DAME 1 IN REIHE 1, SPALTE 1. DIE DAME 2 WIRD IN  
9140 REM REIHE 2 VON LINKS NACH RECHTS GESCHOBEN, BIS KEINE BEDROHUNG MEHR  
9150 REM VORLIEGT. ES FOLGT DAME 3 USW. BIS KEIN UNBEDROHTES FELD (IN DER  
9160 REM REIHE) MEHR VORLIEGT. JETZT MUSS DIE VORHERGEHENDE DAME WEITER VORRUECKEN  
9170 REM (FALLS NOCH MOEGLICH, SONST SIE VORVORHERIGE USW.), BIS ERSTMALS ALLE  
9180 REM ACHT DAMEN PLAZIERT SIND."  
9190 REM DAS BACKTRACKING WIRD ALS REKURSIVER ALGORITHMUS IN DER 'KUENSTLICHEN  
9200 REM INTELLIGENZ' VERWENDET (VIELLEICHT, WEIL ES SO SCHOEN STUR IST),  
9210 REM HIER IST ES ALLERDINGS WEDER REKURSIV, NOCH ITERATIV, SONDERN ZIEMLICH  
9220 REM DIREKT PROGRAMMIERT (ZU DEUTSCH: SPRUNGSALAT).  
9230 REM -----  
9240 REM LITERATUR:  
9250 REM -----  
9260 REM -KLAUS MENZEL, BASIC IN 100 BEISPIELEN, STUTTGART 1982  
9270 REM -NILS J. NILSSON, PRINCIPLES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BERLIN,  
9280 REM HEIDELBERG, NEW YORK 1982  
9290 REM -----  
9300 REM -----

## 9.2. LÖSUNGEN DES ACHT-DAMEN-PROBLEMS

"Es gibt 92 Lösungen, die bereits 1850 von Nauck angegeben wurden, während Gauß nur 72 Lösungen fand. Es gibt aber nur 12 verschiedene Lösungen, die nicht durch Drehung oder Spiegelung des Brettes in sich übergehen." (MENZ82 S.136)

Es sind die ersten sechs Lösungen des acht-Damen-Problems gezeigt.

8-DAMEN-PROBLEM  
1. LOESUNG

```
D * * * * *
* * * * D * *
* * * * * D
* * * * * D *
* * D * * * *
* * * * * D *
* D * * * *
* * * D * * *
```

2. LOESUNG

```
D * * * * *
* * * * D * *
* * * * * D
* * D * * * *
* * * * * D *
* * * D * * *
* D * * * *
* * * * D * *
```

3. LOESUNG

```
D * * * * *
* * * * * D
* * * D * * *
* * * * * D *
* * * * * D
* D * * * *
* * * * D *
* * D * * *
```

4. LOESUNG

```
D * * * * *
* * * * * D
* * * * D * *
* * * * * D
* D * * * *
* * * D * * *
* * * * * D
* * D * * *
```

5. LOESUNG

```
* D * * * *
* * * D * *
* * * * D *
* * * * * D
* * D * * *
D * * * *
* * * * D *
* * * * D * *
```

6. LOESUNG

```
* D * * * *
* * * * D *
* * * * * D
D * * * *
* * D * * *
* * * * * D
* * * * D *
* * * * D * *
```