

289 | Januar 1972

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

O. Krappinger

### Die Kollisionsrate als Element des Systemansatzes im Schiffbau

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## Die Kollisionsrate als Element des Systemansatzes im Schiffbau

O.Krappinger, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1972

© Technische Universität Hamburg-Harburg

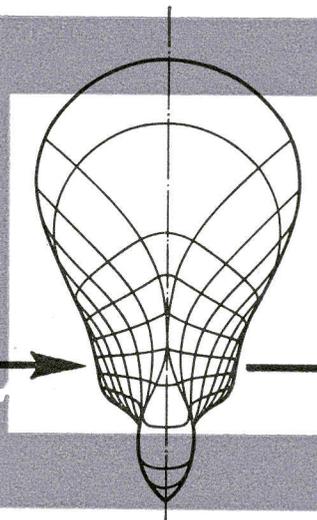
Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU  
DER UNIVERSITÄT HAMBURG



Die Kollisionsrate als Element  
des Systemansatzes im Schiffbau

O. Krappinger

Januar 1972

Bericht Nr. 289

Diese Arbeit ist im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 98  
"Schiffstechnik und Schiffbau" entstanden und wurde beim  
1. Kolloquium des SFB 98 am 31. Januar 1972 vorgetragen.

O. Krappinger, Hamburg

Ich will mit einem Satz beginnen, der kürzlich Empfehlungen zur Gestaltung des Chemiestudiums vorangestellt worden ist, der aber ebensogut für die wissenschaftliche Ausbildung von Schiffbauern gilt:

Sie soll dazu befähigen,

- a) die uns umgebende Welt analysierend zu erkennen
- b) sie synthetisierend zu verändern und
- c) die sich daraus ergebenden Folgen weitgehend vorauszudenken.

Wie weit sich eine solche Ausbildung realisieren lässt, hängt natürlich vom Stand unseres Wissens ab. Diese Frage umfassend zu untersuchen, würde hier zu weit führen und ist im Zusammenhang mit dem zu behandelnden Thema auch nicht unbedingt notwendig. Deshalb beschränke ich mich auf das Gebiet des Manövrierens von Schiffen.

Die Schiffstheorie hat sich bisher vornehmlich mit Aufgaben befasst, die in die oben unter a) genannte Kategorie einzuordnen sind. Beim Manövrieren handelt es sich um eines der schwierigsten Gebiete aus der Schiffshydrodynamik. Der wissenschaftliche Ehrgeiz von Forschern wurde deshalb befriedigt, auch wenn sie sich "nur" auf grundlegende Untersuchungen der Bewegungsgleichungen und der darin vorkommenden Koeffizienten beschränkten. Die unter b) genannte Kategorie - in unserem Zusammenhang also das Gestalten von Manöviereinrichtungen im weitesten Sinne - ist noch weitgehend eine Domäne der Praxis, die sich weniger auf wissenschaftliche Vorgehensweisen als auf Erfahrung und häufig auch auf empirische Regeln von manchmal etwas obskurem Ursprung stützt.

Fast völlig vernachlässigt worden sind bisher die unter die Kategorie c) fallenden Fragen. Man ist zwar zunächst versucht, die Bemühungen, Manövrierfähigkeit (handling qualities) zu definieren und dafür "ausreichende Werte" festzustellen, als einen in diese Richtung gehenden Ansatz aufzufassen. Anhand eines Beispiels will ich zu zeigen versuchen, dass dies auf einem Missverständnis beruht.

Um den Erfolg oder Misserfolg (d.h. die Folge) der konstruktiven Bemühungen um Manövrierfähigkeit zu bestimmen, werden Standard-Manövrierversuche (definitive manoeuvres) vorgeschlagen. Als eines der bekanntesten Beispiele dafür sei der von Kempf (1944) stammende Schlängelversuch genannt (Bild 1). Nach Kempf dient die - in geeigneter Weise dimensionslos gemachte - Fahrzeit für eine volle Kursschwingung als Mass für die Manöviereigenschaft. Ihre Bewertung beruht auf der Annahme, "dass der Mittelwert aus den Manöviereigenschaften vieler Schiffe offenbar das im Schiffsbetrieb geeignete hinreichende Mass für die Manövrierfähigkeit des Schiffes, also seine 'Manövriernorm' darstellt". (Bild 2)

Hier erhebt sich die Frage, ob es zulässig oder auch nur sinnvoll ist, einen Mittelwert als Norm zu nehmen. Bisher hat man sich mit dieser Frage kaum beschäftigt. So wird z.B. von Gertler und Gover (1957) der Kempfsche Vorschlag zwar dahingehend kritisiert, dass die Periode für eine Kursschwingung nicht das geeignetste Mass für die Manöviereigenschaften wäre und man daher besser andere aus dem Schlängelversuch ableitbare Daten, wie z.B. den Überschwenkwinkel oder Ausscherweg nehmen sollte. Aber auch von diesen Autoren werden die Mittelwerte als "standard", d.h. als Norm genommen - im Prinzip bleiben sie also beim Kempfschen Konzept.

Eine Norm für Manöviereigenschaften im obigen Sinne wäre gerechtfertigt, wenn wir es mit einer "stationären Welt" zu tun hätten, d.h. wenn sich die Technik ebenso wie die Verkehrsdichte mit der Zeit nicht ändern würden. Dann könnte man nämlich annehmen, dass durch einen langewährenden (wegen der Annahme einer stationären Welt gäbe es dabei keine zeitliche Beschränkung) trial and error-Prozess bestimmte Manöviereigenschaften als optimal festgestellt

und damit als "Manövriernorm" vorgegeben werden können. In der Vergangenheit mag die Annahme einer stationären Welt eine mehr oder weniger gute Näherung der Wirklichkeit gewesen sein. Ein Blick auf Bild 3 zeigt jedoch, dass dies heute keineswegs mehr der Fall ist: Als typische - wenn auch nicht erschöpfende - Beispiele für den Wandel der Technik zeigt das Bild die Entwicklung von Schiffsgrössen und Antriebsleistungen, als Beispiel für die Zunahme des Verkehrs die Entwicklung des Seegüterverkehrs über der Zeit.

Angesichts dieser Entwicklung scheint es wenig sinnvoll, aus einer Statistik der Manövriereigenschaften von Schiffen, die sich notwendigerweise auf die Vergangenheit bezieht, eine Norm ableiten zu wollen, an der die gegenwärtige und zukünftige Entwicklung auf dem Gebiet des Manövrierens gemessen wird. Die Folgen unserer Bemühungen um bessere Manövriereigenschaften können nur dann vorausgedacht werden, wenn wir grössere, heute und in der nächsten Zukunft relevante Zusammenhänge in Betracht ziehen. Ich will das kurz an zwei Beispielen erläutern:

Rein von der Funktionsfähigkeit her ist der Kernenergieantrieb durchaus anwendungsreif. Das Gleiche kann wohl auch bezüglich der endogenen Sicherheit gesagt werden. Wie sieht es aber mit der exogenen Sicherheit aus ? Sicher werden kernenergiegetriebene Schiffe meist sehr schnelle Schiffe sein, Muss man - wenn eine immer grössere Zahl schneller Schiffe in Betrieb genommen wird - mit einer Zunahme der Kollisionen rechnen, was kann man mit Verbesserungen auf dem Gebiet des Manövrierens erreichen, welcher Aufwand für solche Verbesserungen wäre bei Kernenergieschiffen mit den bei ihnen möglichen Unfallfolgen notwendig oder gerechtfertigt usw.

Die Ölverschmutzung der Meere und Küsten ist zu einem ernststen Problem geworden. Welchen Einfluss darauf hat die Schiffsgrösse ? Ist der Einsatz von sehr grossen Tankern oder von entsprechend mehr kleineren günstiger ? Wie hängt die Antwort auf diese Frage mit den Manövriereigenschaften der Tanker zusammen, was kann u.U. mit zusätzlichen oder unkonventionellen Manövrierhilfen erreicht werden, was bringt dieser zusätzliche Aufwand usw.

Ich hoffe, dass diese sicher nur sehr dürftigen Andeutungen ausreichen, um zu zeigen, dass sich eine sinnvolle Beschäftigung mit Manövrierfragen nicht nur auf hydrodynamische oder regelungstechnische u.dgl.m. Aspekte beschränken darf, sondern dass es dabei auch um die Rolle geht, die das Manövrieren in recht umfangreichen Systemen spielt. Deshalb will ich die Notwendigkeit des Systemansatzes (die übrigens sehr allgemein in einer Arbeit von Pestel (1970) begründet worden ist) als gegeben voraussetzen und mich der Frage seiner Anwendung mit Bezug auf Manövrierfragen zuwenden.

Im Hinblick auf das auf unserem Gebiet vorhandene personelle und materielle Potential scheint es nicht möglich, eine auch nur einigermaßen umfassende Systemstudie in Angriff zu nehmen, Wohl aber kann man die Forschung wenigstens zu einem Teil so planen, dass sie zu "systemgerechten" Teilergebnissen führt. Auf dem Gebiet des Manövrierens scheint mir die Kollisionsrate ein solches Teilergebnis zu sein. Um dies zu begründen, will ich versuchen zu zeigen, dass sich die Kollisionsrate einerseits als Ziel für die Forschung auf dem Gebiete des Manövrierens eignet, dass sie gleichzeitig aber auch eine der Ausgangsgrößen ist, die zur Untersuchung weitergehender Zusammenhänge gebraucht werden.

Die Kollisionsrate ist definiert als mittlere Zahl von Kollisionen je Schiff und Zeiteinheit. Am Rande sei angemerkt, dass sie formal mit der Ausfallrate in der Zuverlässigkeitstechnik; mit der Sterberate in Statistiken der Lebenserwartung oder -interpretationsfrei - mit der Intensitätsfunktion (ihr Kehrwert wird auch Mill's Ratio genannt) übereinstimmt. Man kann sich qualitativ überlegen, dass die Kollisionsrate von folgenden Einflüssen abhängen wird:

1. dem Ort des Schiffes. Auf See ist sie z.B. sicher kleiner als im Revier; implizit wird dadurch der Einfluss der unterschiedlichen Verkehrsdichte berücksichtigt. Bei bekanntem Einsatz eines Schiffes entspricht wegen der dann vorgegebenen Zeit-Weg-Beziehung der Ortsabhängigkeit auch eine bestimmte Zeitabhängigkeit.

2. der Manövrierfähigkeit des Schiffes
3. der nautischen Ausrüstung des Schiffes
4. der Qualität der Schiffsbesatzung

Wenn man die Kollisionsrate aus einer Schadensstatistik zu bestimmen versucht (was naheliegt, da viele in anderem Zusammenhang verwendete Intensitätsfunktionen durch entsprechende statistische Erhebungen ermittelt werden), stellt man schnell fest, dass man nicht alle diese Abhängigkeiten erfassen kann, weil das verfügbare Kollektiv zu klein ist. Was auf diese Weise bestenfalls erreicht werden kann, wird in einer Arbeit von Perras (1971) gezeigt: Aufgrund von Schadensgeschichten, die für etwa 60 % der Schiffe der deutschen Handelsflotte von 1960 bis 1969 ausgewertet worden sind, wurde von Perras eine statistische Abschätzung der Kollisionsrate vorgenommen, bei der die oben erwähnten Einflüsse 2. bis 4. recht pauschal dadurch erfasst werden, dass die Kollisionsrate getrennt nach drei Gruppen von Schiffen (Kümos, Stückgut-schiffe, Massengutschiffe und Tanker) ermittelt wird. Die so bestimmten Kollisionsraten gelten deshalb nicht für jeweils bestimmte Schiffe mit z.B. ganz bestimmten Manövrierfähigkeiten, sondern für "mittlere" Manövrierfähigkeiten, wie sie eben für die ganze Gruppe des jeweiligen Schiffstyps charakteristisch sind.

Weiter wurde die Kollisionsrate für jede der genannten Schiffgruppen getrennt nach vier Gebieten (Liegeplatz im Hafen, Fahrwasser im Hafen, Revier, hohe See) ermittelt. Damit wird die Ortsabhängigkeit der Kollisionsrate - natürlich auch nur sehr pauschal (d.h. z.B. nicht für bestimmte Revierfahrwasser, sondern nur für Verhältnisse, wie sie "im Mittel" auf solchen herrschen) - erfasst.

Wenn der zeitliche Ablauf der Reise eines Schiffes vorliegt, der ja den Schiffsort der Zeit zuordnet, kann mit den Perrasschen Angaben die Kollisionsrate als Funktion der Zeit ermittelt werden. Als Beispiel möchte ich die Kollisionsrate für einen Tanker auf der Route vom Persischen Golf nach Wilhelmshaven zeigen (Bild 4). Entsprechend den gemachten Annahmen ist die Kollisionsrate  $\bar{\lambda}_K(t)$  für die einzelnen Reiseabschnitte jeweils konstant. Im übrigen gelten dafür natürlich auch alle anderen Einschränkungen,

die ich oben genannt habe. Bevor ich auf Möglichkeiten eingehe, die Kollisionsrate genauer - insbesondere auch unter Berücksichtigung der Manöviereigenschaften eines bestimmten Schiffes - zu bestimmen, will ich ganz kurz ein Beispiel für ihre Anwendung vorstellen.

Ich bin nicht der noch weit verbreiteten Ansicht, dass man - weil schiffbauliche Sicherheitsmassnahmen in erster Linie dem Schutz von Menschenleben oder wie im Falle grosser Tanker auch dem der Umwelt dienen sollen - Sicherheitsfragen nicht vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit betrachten dürfe:

Weil in fast allen praktischen Fällen (dies gilt auch für viele Vorschriften) mehr Aufwand für die Sicherheit getrieben werden könnte, als man nicht zuletzt im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit für vertretbar hält, muss man sich um den Zusammenhang zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit kümmern. Es wäre dies sicher auch ein sehr wesentlicher Bestandteil einer umfassenderen Systemstudie.

Vor einiger Zeit habe ich gezeigt, wie man Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in einem mathematischen Modell in Zusammenhang bringen kann, Krappinger (1971). "Kollisionssicherheit" wird dabei durch die Kollisionsrate und die von Wendel (1960) eingeführte Wahrscheinlichkeit für das Überstehen von Verletzungen charakterisiert. Die "Wirtschaftlichkeit" kann z.B. durch die mathematische Erwartung des Kapitalwertes (er ist die auf die Gegenwart bezogene Summe aller Ausgaben und Einnahmen während der Lebensdauer eines Schiffes) erfasst werden. Auf dieser Arbeit aufbauend und sie noch erweiternd hat Perras (1971) eine Reihe praktischer Fälle gerechnet.

Ich will hier einige Ergebnisse für einen grossen Tanker, der Öl vom Persischen Golf nach Wilhelmshaven bringt, zeigen. Die für diesen Fall geltende Kollisionsrate  $\lambda_K(t)$  ist aus Bild 4 bereits bekannt. Bild 5 zeigt die Erwartung des Kapitalwertes, und zwar nicht nur für die Kollisionsraten aus Bild 4, sondern auch für veränderte Werte derselben. Man sieht, wie die Wirtschaftlichkeit (ausgedrückt durch die Erwartung des Kapitalwertes) ansteigt, wenn die Kollisionsrate abnimmt und umgekehrt.

Bei der Berechnung der Erwartung des Kapitalwertes wurden berücksichtigt: Die Investition; die laufenden Einnahmen und Ausgaben pro Jahr; die Wahrscheinlichkeit für das Überstehen von Kollisionen (getrennt nach Kollisionen im Hafen und auf See bzw. im Revier); die Möglichkeit, dass auf den verschiedenen Reiseabschnitten während der Lebensdauer eine, zwei usw. Kollisionen, die nicht zum Untergang des Schiffes führen, stattfinden; die Schadenverteilung, die aus den bereits erwähnten Schadensgeschichten ermittelt worden ist (für Schäden, die nicht zum Verlust des Schiffes führen, wurde dabei berücksichtigt, dass die Schadenverteilungen für die einzelnen Reiseabschnitte verschieden sind). Die Schadenssummen umfassen Reparaturkosten sowie auch den Verlust durch Nichtverfügbarkeit des Schiffes. Nicht berücksichtigt worden sind der Ladungsverlust sowie evtl. entstehende Kosten zur Beseitigung ausgeladener Ladung bzw. zum Ersatz von dadurch verursachten Schäden.

Noch ein Wort zur Interpretation von Bild 5: Es zeigt, wie sich die Wirtschaftlichkeit ändert für den Fall, dass sich die Kollisionsrate durch äussere Einflüsse ändert. Für den Fall, dass die Kollisionsrate durch Verändern der Manövriereigenschaften variiert wird, würde es nur dann gelten, wenn diese Änderung ohne Einfluss auf die Investition wäre. Praktisch wird aber eine Änderung der Manövriereigenschaften eines Schiffes meist mit Mehr- oder Minderkosten verbunden sein. In diesem Zusammenhang ist die Frage interessant, welche Verbesserung der Kollisionsrate mit einem bestimmten zusätzlichen Aufwand erzielt werden muss, damit sich dieser Aufwand überhaupt lohnt. Diese Frage kann man mit Hilfe von Bild 6 beantworten. Ausgangspunkt ist dabei das vorbesprochene Beispiel mit  $I = 40 \cdot 10^6$  DM und dem über die Zeit gebildeten Mittelwert der dort verwendeten Kollisionsrate von  $\lambda_K^* = 0.04$ . Damit sich eine Änderung des Aufwandes zur Verbesserung der Manövrierfähigkeit um  $\Delta I$  lohnt, muss die dadurch bewirkte Änderung der Kollisionsrate  $\Delta \lambda_K^*$  dem Betrag nach grösser sein als der durch die Grenzkurve in Bild 6 gegebene Wert. Wie das Bild zeigt, kann auch eine Verminderung des Aufwandes ökonomisch gerechtfertigt sein. Nicht berücksichtigt sind dabei allerdings andere als die Kollisionsrate betreffende Auswirkungen einer Änderung der Manövrierfähigkeit.

Diese Überlegungen führen uns nun unmittelbar auf die Frage, wie die Kollisionsrate von dem für die Manövrereinrichtungen (dazu wären auch Bremsklappen usw. zu zählen) getriebenen Aufwand abhängt. Wie schon weiter oben dargelegt worden ist, kann diese Frage nicht mit Hilfe einer Schadensstatistik beantwortet werden. Ich möchte deshalb einen Weg andeuten, der mir zu ihrer Beantwortung gangbar erscheint. Die Betonung liegt dabei auf "andeuten", denn um diesen Weg praktisch gangbar zu machen, werden noch erhebliche Anstrengungen notwendig sein.

Dem Prinzip nach können die erforderlichen Schritte zur Bestimmung der Kollisionsrate auch anhand eines eindimensionalen Modells aufgezeigt werden. Dies hat den Vorteil, den dazu notwendigen Formalismus einfach und übersichtlich halten zu können. Ein gewisser Nachteil besteht dabei allerdings darin, dass durch die Einführung einer "eindimensionalen Welt" die Anschaulichkeit leidet. Dieser Schwierigkeit will ich hier dadurch aus dem Wege gehen, dass die Fälle "Eintreten einer Kollision" oder "Vermeiden einer Kollision" einfach definiert werden. Bezüglich der "Vorstellung" einer eindimensionalen Welt beschränke ich mich mit dem Hinweis auf das Buch von Hinton 1907, in dem diesbezügliche Möglichkeiten in sehr anregender Weise aufgezeigt werden.

Für zwei sich auf einer Linie gegeneinander bewegende Schiffe sei "Eintreten einer Kollision" dadurch definiert, dass der Abstand der Schiffe gleich Null ist und die Geschwindigkeit von mindestens einem der Schiffe grösser als Null (vergl. Bild 7a) ist. "Vermeiden einer Kollision" sei definiert als der Fall, in dem die Geschwindigkeit beider Schiffe gleich Null ist bei einem Abstand gleich oder grösser Null (vergl. Bild 7b u. c). So abstrakt diese Definition auch sein mag, weist sie dennoch eine Parallele zur Wirklichkeit auf: Kollisionen können um so sicherer vermieden werden, je weiter man anderen Schiffen aus dem Weg geht. Dem entspricht hier der in Bild 7b gezeigte Fall. Freilich ist damit ein Zeitverlust verbunden, so dass ein Anreiz besteht, "dichter dran" zu gehen, in unserem Modell also möglichst den in Bild 7c gezeigten Fall anzustreben.

Die Bestimmung der Kollisionsrate kann wie folgt gegliedert werden:

1. Erfassung der Verkehrsdichte
2. Erfassung des Eintretens einer potentiellen Kollisionsgefahr
3. Erfassung des Ausweichmanövers unter Berücksichtigung des Verhaltens des potentiellen Kollisionsgegners
4. Aufstellen von Kriterien für die Fälle Eintreten bzw. Vermeiden einer Kollision und Bestimmung der Kollisionsrate.

1. Erfassung der Verkehrsdichte: Die Intensität des auf einer Linie herrschenden und dem betrachteten Schiff entgegenlaufenden Verkehrs kann durch die Verkehrsrate  $\lambda$ , die gleich der durchschnittlichen Zahl von Schiffen ist, die einen bestimmten Punkt je Zeiteinheit passieren, beschrieben werden. Die Verkehrsrate wäre praktisch durch eine einfache statistische Erhebung über den herrschenden Verkehr (bei der natürlich mehr als eine Dimension zu berücksichtigen wäre) zu bestimmen. Die auf das betrachtete Schiff, das dem bereits erwähnten Verkehr mit der Geschwindigkeit  $v_A$  entgegenfährt, bezogene Verkehrsintensität kann durch eine Begegnungsrate  $\lambda_B$ , die als durchschnittliche Zahl von Begegnungen je Zeiteinheit definiert ist, charakterisiert werden. Es gilt

$$\lambda_B = \lambda \cdot (1 + v_A / E[v]),$$

wobei  $E[v]$  die Erwartung der Geschwindigkeiten der dem betrachteten Schiff entgegenkommenden Schiffe ist.

2. Erfassung des Eintretens einer potentiellen Kollisionsgefahr: Der Abstand zwischen dem betrachteten und einem entgegenkommenden Schiff, bei dem eine potentielle Kollisionsgefahr angenommen und ein Ausweichmanöver (im hier betrachteten eindimensionalen Fall kann dies natürlich nur ein Stopmanöver sein) eingeleitet wird, ist eine zufällige Variable. Die Werte, die sie annimmt, hängen ab von der Einschätzung der Geschwindigkeit sowie des

Verhaltens des potentiellen Kollisionsgegners, der Einschätzung des Manövrierverhaltens des eigenen Schiffes und u.U. auch dem Zeitpunkt des Erfassens des gegnerischen Schiffes. Die relative Häufigkeit, mit der die hier betrachtete zufällige Variable bestimmte Werte  $x$  annimmt, wird durch die Verteilungsdichte  $f(x)$  beschrieben (vergl. Bild 8). Bei einem realistischeren Modell stände dafür eine mehrdimensionale Verteilung, die durch Auswertung von aufgetretenen Kollisions- oder Fast-Kollisionsfällen, evtl. auch durch Simulierung, abgeschätzt werden kann.

3. Erfassung des Ausweichmanövers unter Berücksichtigung des Verhaltens des potentiellen Kollisionsgegners: Das Manöver des betrachteten Schiffes kann in dem hier behandelten eindimensionalen Fall durch den Stoppweg  $s$  erfasst werden. Er ist eine durch die Manövriereigenschaften des Schiffes determinierte Grösse.

Der Weg, den das entgegenkommende Schiff benötigt, um zu stoppen, ist - vom Standpunkt des betrachteten Schiffes aus - eine zufällige Variable. Die Werte  $t$ , die sie annimmt, hängen ab vom Beginn des Manövers des gegnerischen Schiffes und seinen Manövriereigenschaften. In einem realistischeren Modell wäre die Verteilung der dann mehrdimensionalen zufälligen Variablen, die das Verhalten von potentiellen Kollisionspartnern nach Eintreten der potentiellen Kollisionsgefahr beschreibt, durch eine statistische Auswertung von Kollisionsfällen zu bestimmen. Hier sei das Verhalten von Kollisionsgegnern durch die Verteilungsdichte  $f(t)$  veranschaulicht (vergl. Bild 9).

4. Aufstellen von Kriterien für die Fälle Eintreten bzw.

Vermeiden einer Kollision: Nach den hier gemachten Voraussetzungen ist der Weg, den die Schiffe benötigen, um zu stoppen, gleich der Summe ihrer Stoppwege. Die Verteilung dieser Summe ( $s+t$ ) wird durch Bild 10 veranschaulicht.

Ob es - gemäss der oben genannten Definition - zu einer Kollision kommt oder nicht, hängt davon ab, ob der gesamte Stoppweg ( $s+t$ ) grösser oder ob er kleiner oder gleich dem Abstand  $x$  der Schiffe beim Einleiten des Stoppmanövers ist:

$s + t > x$	Eintreten einer Kollision (vergl. Bild 7a)
$s + t \leq x$	Vermeiden einer Kollision (vergl. Bild 7b u. c)

Diese Kriterien können auch wie folgt geschrieben werden

$$k = x - (s + t) < 0$$

$$k = x - (s + t) \geq 0$$

Die Verteilung der Variablen  $k$  kann durch Faltung der Verteilungen von  $x$  u. von  $(s+t)$  ermittelt werden (vergl. Bild 11). Daraus erhält man die Wahrscheinlichkeit  $W_K$ , dass es im Falle einer Begegnung zu einer Kollision kommt

$$W_K = \int_{-\infty}^0 f(k) dk$$

Mit dieser Wahrscheinlichkeit  $W_K$  und der Begegnungsrate  $\lambda_B$  ergibt sich für die Kollisionsrate  $\lambda_K$ :

$$\lambda_K = \lambda_B \cdot W_K$$

Schrifttum

- 1) Gertler, M. u. S.C. Gover: Handling Quality Criteria for Surface Ships. SNAME, Chesapeake Chapter, May 1957
- 2) Hinton, Ch. H. : "An Episode of Flatland". London 1907
- 3) Kempf, G. : Manövriernorm für Schiffe. Hansa 1944, S. 372/377
- 4) Krappinger, O. : Die quantitative Berücksichtigung der Sicherheit und Zuverlässigkeit bei der Konstruktion von Schiffen. Jahrb. STG 1967, S. 314-334.
- 5) Krappinger, O. : Zusammenhänge zwischen Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Schiffen. Schiffstechnik 1971, S. 21/32
- 6) Perras, P. : Technisch-ökonomische Probleme der Sicherheit von Schiffen. Diss. IfS-Bericht Nr. 263
- 7) Wendel, K. : Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen. Schiffstechnik 1960, S.47./61

Meßblatt  
Kurse und Zeiten bei der Ausweich-Schlängelfahrt.

mit 10° Ruderlegen bei 10° Kursabweichung.

L = 119,2 m; VV = 12,5 Kn, LV = 12,5 Kn  
Schiffslängenfahrtzeit  $t_s$ ; VV = 12,5 " , LV = 12,5 "

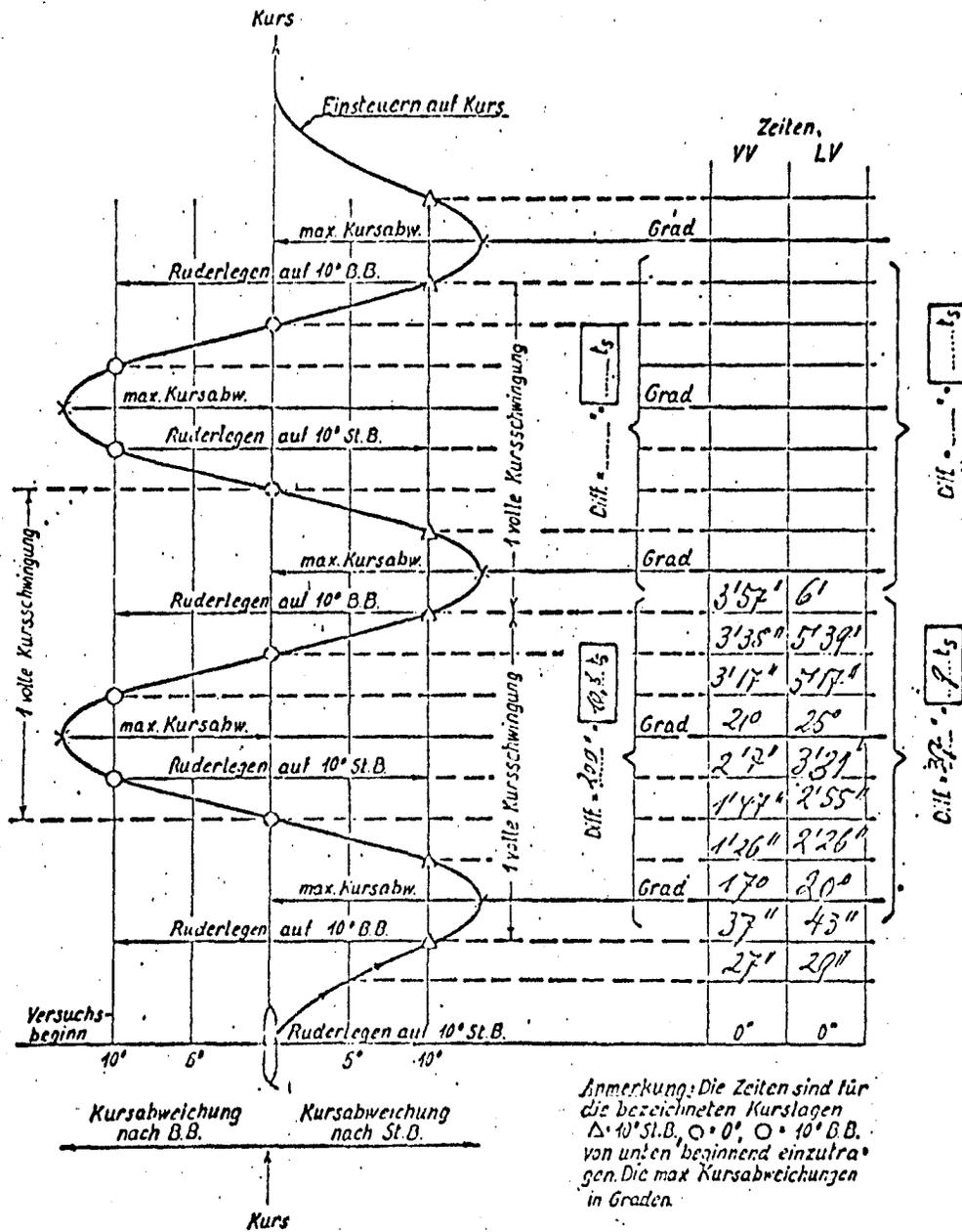


Bild 1

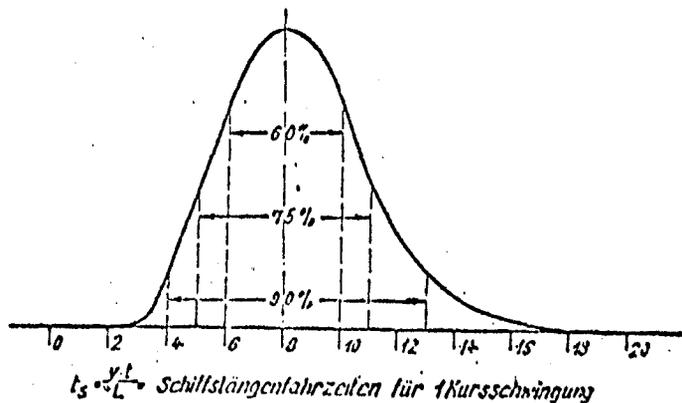
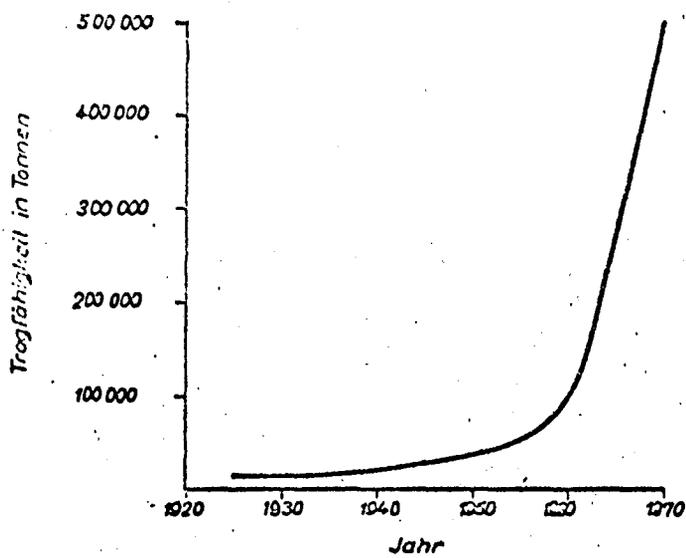
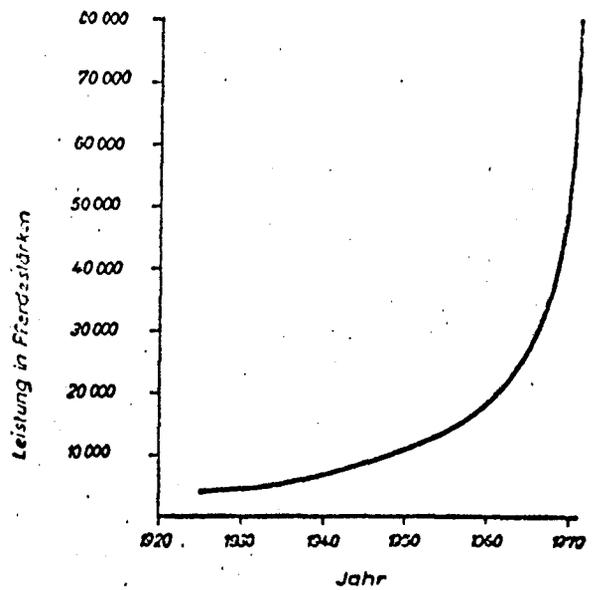


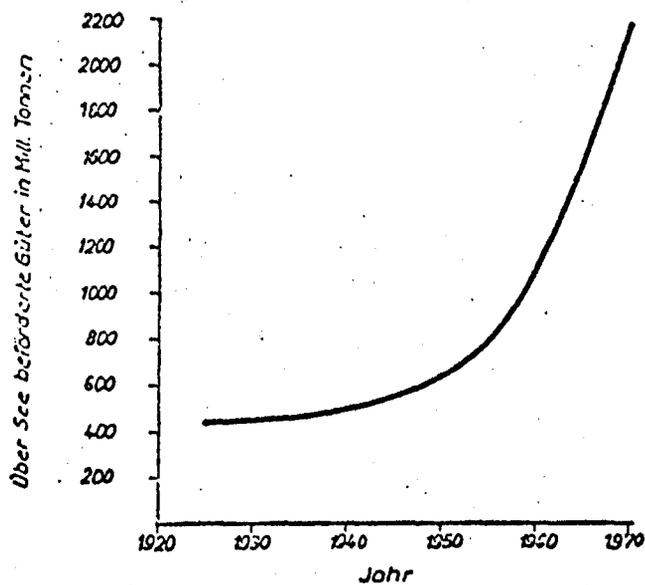
Bild 2



Entwicklung der Größe von Tankschiffen

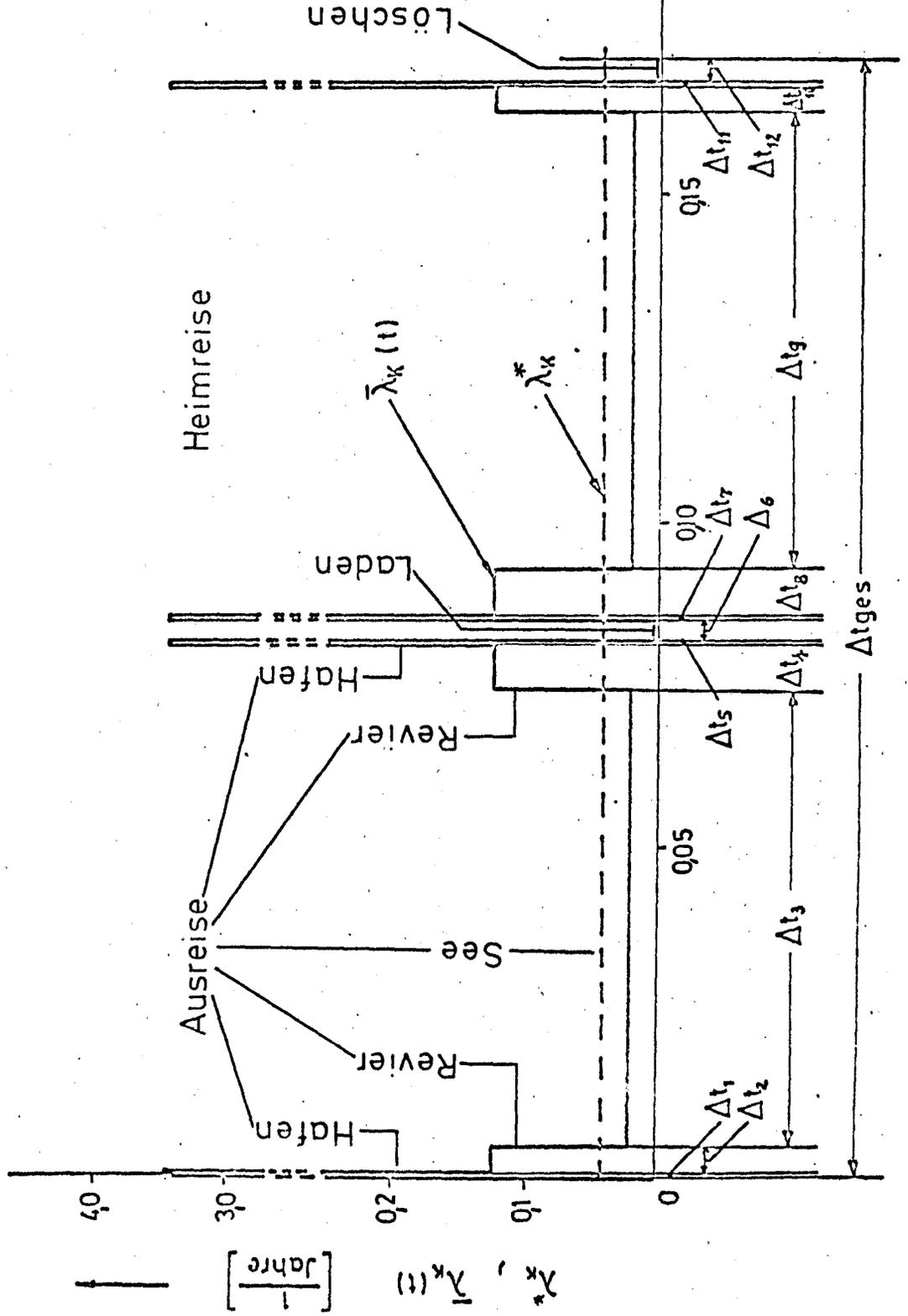


Entwicklung der Antriebsleistung von Frachtschiffen

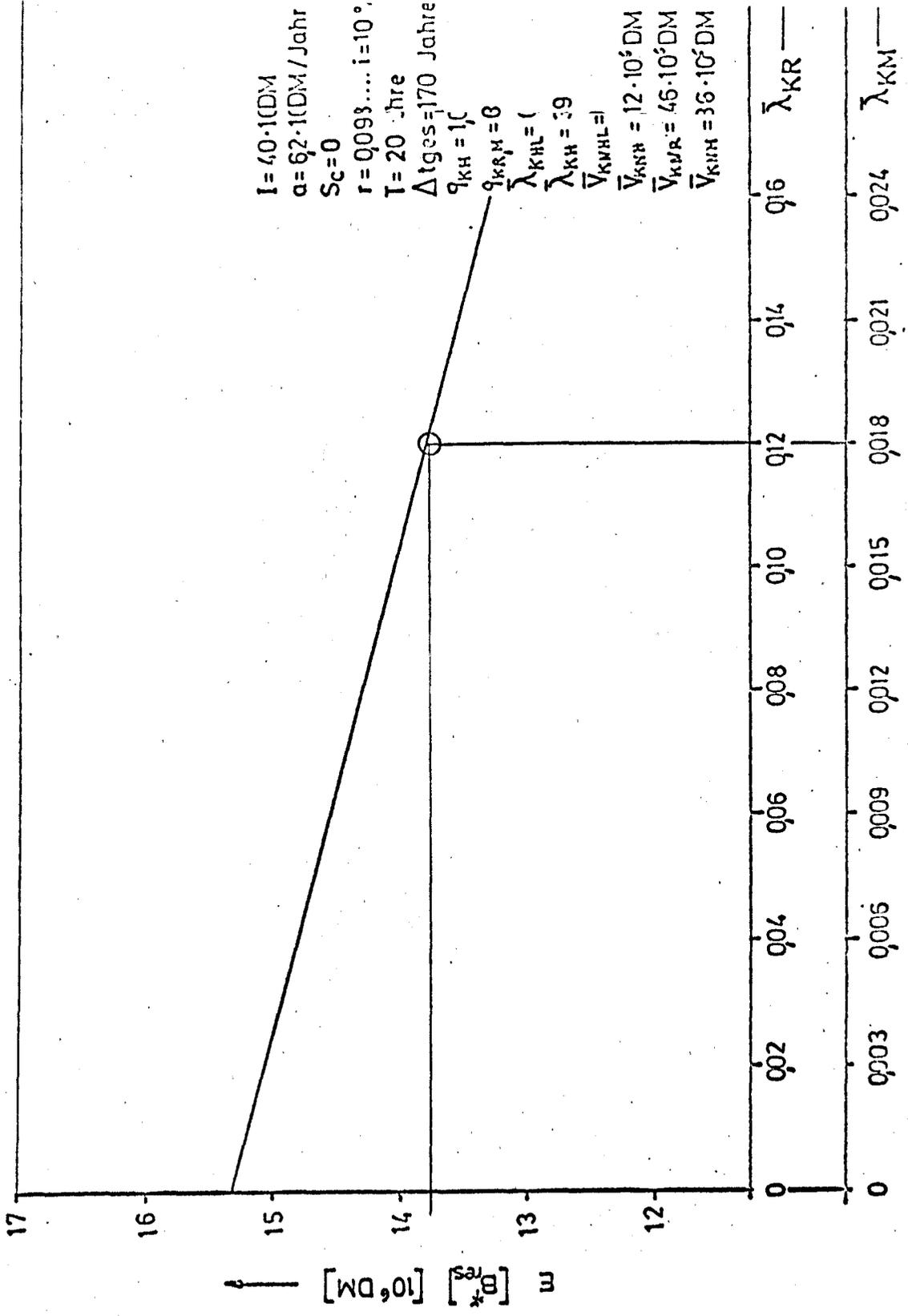


Entwicklung des Welt-See-güterverkehrs

Rundreise: Wilhelmshaven - Persischer Golf - Wilhelmshaven



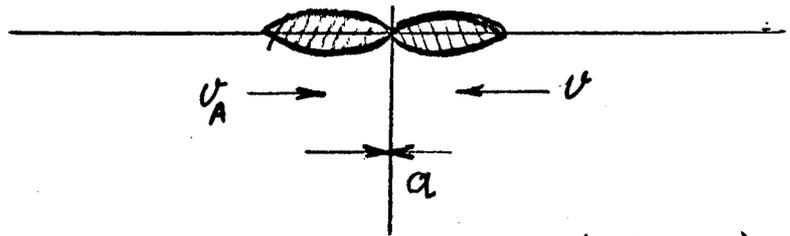
$\Delta t_i$	Stunden	Jahre
$\Delta t_1$	10	0,00011
$\Delta t_2$	41,9	0,00478
$\Delta t_3$	608,8	0,06945
$\Delta t_4$	60,6	0,00720
$\Delta t_5$	10	0,00011
$\Delta t_6$	300	0,00342
$\Delta t_7$	10	0,00011
$\Delta t_8$	606	0,00720
$\Delta t_9$	608,8	0,06945
$\Delta t_{10}$	41,9	0,00478
$\Delta t_{11}$	10	0,00011
$\Delta t_{12}$	300	0,00342
$\Delta t_{ges}$	1486,6	0,17014



↑ [10<sup>6</sup> DM] [10<sup>9</sup> DM]  
 [10<sup>9</sup> DM] [10<sup>9</sup> DM]  
 m

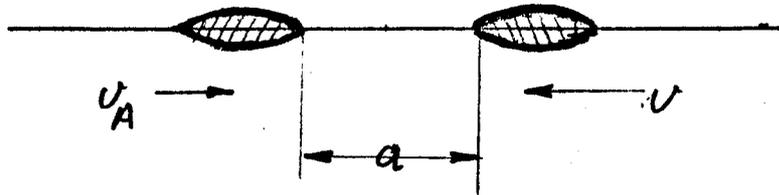
$\bar{\lambda}_{KR}$   
 $\bar{\lambda}_{KM}$

a)



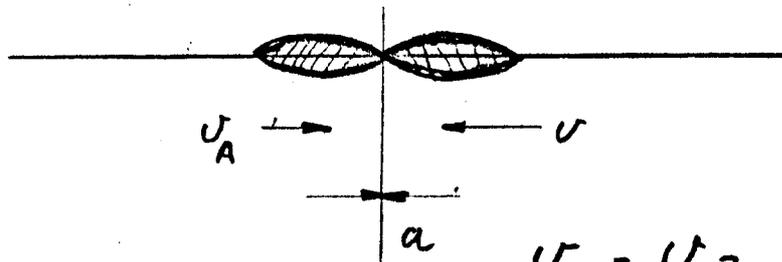
$$(v_A \text{ und/oder } v) > 0$$
$$a = 0$$

b)



$$v_A = v = 0$$
$$a > 0$$

c)



$$v_A = v = 0$$
$$a = 0$$

Bild 7

Bild 8

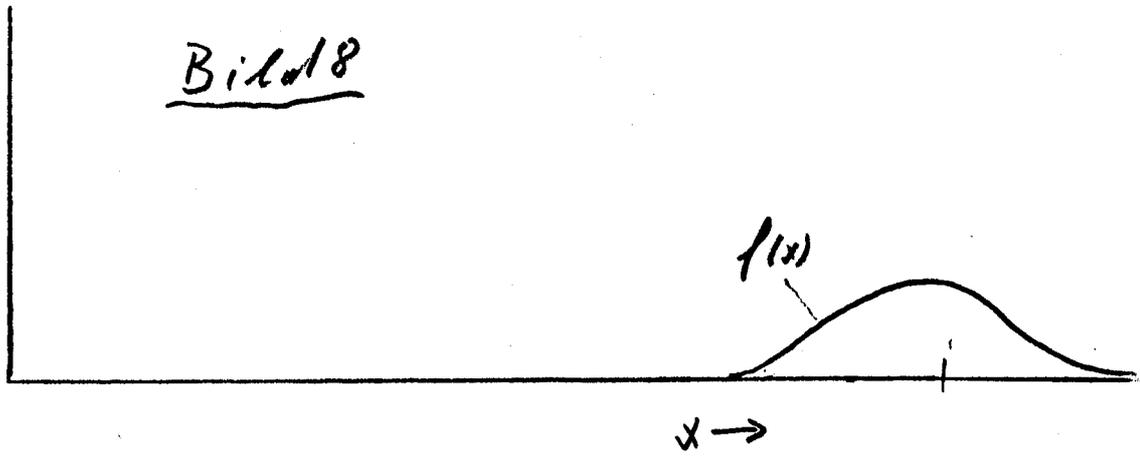


Bild 9

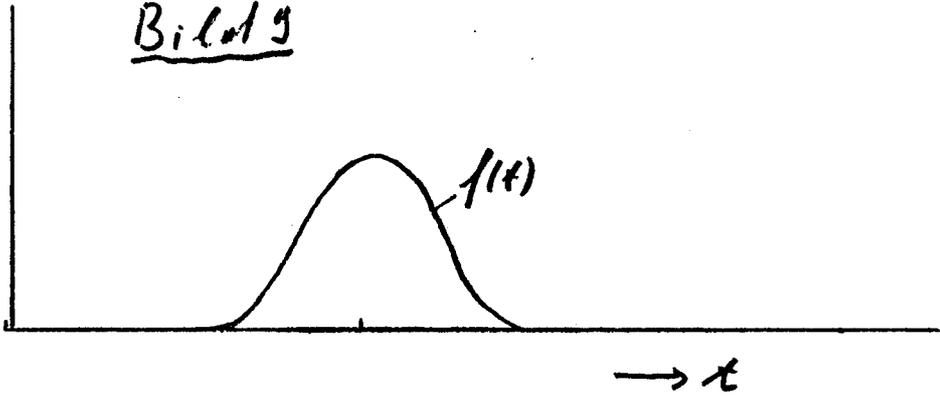


Bild 10

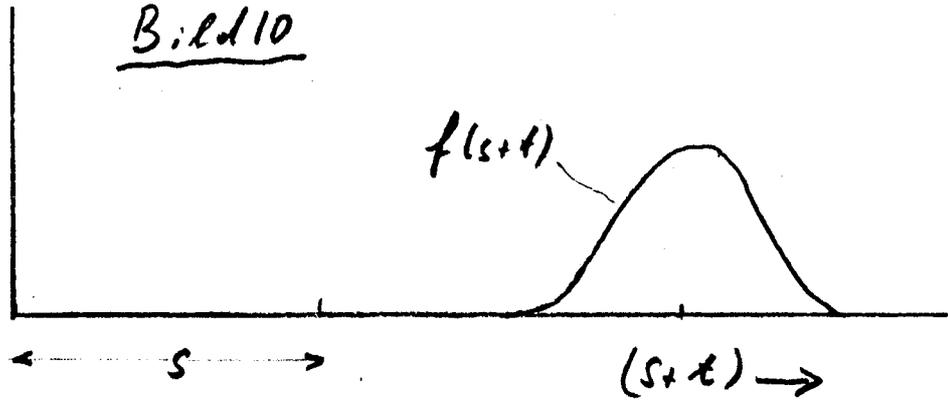


Bild 11

