

295 | Oktober 1973

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

O. Krappinger

Ansätze zur Bestimmung der Kollisionsrate

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Ansätze zur Bestimmung der Kollisionsrate

O. Krappinger, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1973

© Technische Universität Hamburg-Harburg

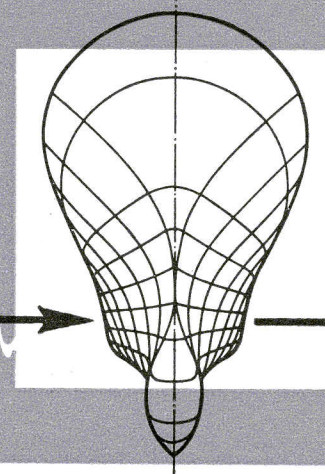
Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU
DER UNIVERSITÄT HAMBURG



Ansätze zur Bestimmung der Kollisionsrate

O. Krappinger

Oktober 1973

Bericht Nr. 295

Diese Arbeit ist im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 98 "Schiffstechnik und Schiffbau" entstanden und wurde unter Verwendung der ihm von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellten Mittel gedruckt.

Frühere Veröffentlichungen aus dem SFB 98 zum gleichen

Thema:

Krappinger, O.: Die Kollisionsrate als Element des Systemansatzes im Schiffbau (Vortrag beim 1. Kolloquium des SFB 98).
IfS Bericht No. 289

Kwik, K.-H.: Kinematik der Begegnung von Schiffen und Kollisionsverhütung.
IfS-Bericht No. 294

Ansätze zur Bestimmung der Kollisionsrate

von

O. Krappinger

I n h a l t

	Seite
1. Einführung	2
2. Bestimmung der Begegnungsrate	3
3. Bestimmung der durchschnittlichen Zahl der je Zeiteinheit erfolgenden Begegnungen mit einer bestimmten relativen Peilung zum begegnenden Schiff	7
4. Bestimmung der Kollisionsrate unter Voraussetzung einfacher Strategien für das Ausweichmanöver	10
5. Ausblick	16
6. Schrifttum	18

1. Einführung:

In /1/ ist die Bedeutung der Kollisionsrate im Rahmen der Bewertung der Manöviereigenschaften in einem grösseren Zusammenhang dargelegt worden. Am Rande wurde dabei auch ein Ansatz zur Bestimmung der Kollisionsrate gebracht, der von einem Schiffsverkehr in nur einer Dimension ausgeht. Daran anschliessende Überlegungen haben gezeigt, dass diese Art der Vereinfachung als Ausgangspunkt für weitergehende Überlegungen unzweckmässig ist.

Im folgenden wird deshalb ein Modell zur Bestimmung der Kollisionsrate behandelt, das zwar immer noch auf einer sehr weitgehenden Abstraktion der Wirklichkeit beruht, daneben aber doch Grundlagen zu einer besseren Erfassung der realen Zusammenhänge zu bieten scheint.

Die Anregung zu den folgenden Überlegungen gab eine inzwischen durchgeführte Untersuchung über die Kinematik von Schiffsbegegnungen /2/.

2. Bestimmung der Begegnungsrate

Zur Bestimmung der Begegnungsrate muss zunächst der Begriff "Begegnung" präzisiert werden. Folgende Definition scheint zweckmässig:

Für ein Schiff tritt dann eine Begegnung ein, wenn ein um den Schwerpunkt dieses Schiffes gedachter Kreis mit dem Radius a den Schwerpunkt eines anderen Schiffes trifft.

Diese Definition ist einerseits mathematisch genau, andererseits wegen der Möglichkeit, den Radius a geeignet wählen zu können, aber doch flexibel genug, um auch verschiedenen Gegebenheiten der Praxis angepasst werden zu können.

Es interessieren hier die Begegnungen eines ganz bestimmten Schiffes. Es wird als das "betrachtete Schiff" bezeichnet. Alle übrigen Schiffe im betrachteten Seegebiet werden als die "anderen Schiffe" bezeichnet. Symbole, die sich auf das betrachtete Schiff beziehen, erhalten den Index 0 ; solche, die sich auf andere Schiffe beziehen, werden durch den Index a gekennzeichnet. "Begegnende Schiffe" sind diejenigen anderen Schiffe, die an einer Begegnung mit dem betrachteten Schiff beteiligt sind.

Zunächst betrachten wir den Fall, dass das betrachtete Schiff mit konstanter Geschwindigkeit v_0 fährt und dabei auch seinen Kurs $\mathcal{J}_0$ nicht ändert, und die anderen Schiffe mit jeweils gleicher Geschwindigkeit v_a auf parallelen

Kursen $\mathcal{J}_a$ fahren, im übrigen aber zufällig¹⁾ über das betrachtete Seegebiet verteilt sind. Für diesen Fall ist die Bestimmung der Begegnungsrate in /3/ angegeben worden. Es wird dazu die mittlere Zahl von Schiffen je Flächeneinheit ϱ für das betrachtete Seegebiet benötigt. Sie wird auch als Schiffsdichte bezeichnet und kann aufgrund von Beobachtungen des Verkehrs abgeschätzt werden.²⁾

Aus den Vektoren der Geschwindigkeit v_o der betrachteten und v_a der anderen Schiffe kann die Relativgeschwindigkeit v bestimmt werden, mit der sich das betrachtete Schiff gegenüber den als feststehend angenommenen anderen Schiffen bewegt. Man kann sich nun leicht überlegen, dass die Begegnungsrate λ , die als durchschnittliche Zahl von Begegnungen je Zeiteinheit definiert ist /1/, gleich dem Produkt aus Schiffsdichte mal der Fläche ist, die bei Verschieben des um das betrachtete Schiff gelegten Kreises mit dem Radius a um den relativen Weg je Zeiteinheit (d.h. Relativgeschwindigkeit) überstrichen wird (vergl. Bild 1):

$$\lambda = 2 \cdot a \cdot v \cdot \varrho \quad (1)$$

-
- 1) "Zufällig" bedeutet hier, dass für jedes Flächenelement des Seegebietes die Wahrscheinlichkeit gleich gross ist, dass sich in dem Flächenelement zu einem beliebig vorgegebenen Zeitpunkt ein Schiff befindet.
 - 2) Der Kürze halber wird hier und im folgenden vorausgesetzt, dass ϱ zeitlich und räumlich stationär ist. Die Erweiterung auf den instationären Fall wäre ohne besondere Schwierigkeiten möglich.

Der Fall, dass die anderen Schiffe mit verschiedenen Kursen und Geschwindigkeiten fahren, kann durch Angabe der zweidimensionalen Verteilung $f(v_a, \mathcal{I}_a)$ der Geschwindigkeiten v_a und Kurswinkel $\mathcal{I}_a$ der in dem betrachteten Gebiet befindlichen Schiffe sowie der Schiffsdichte ρ (die sich auf alle anderen Schiffe bezieht) statistisch beschrieben werden.³⁾ Die Verteilung kann ebenso wie die Schiffsdichte aufgrund von Verkehrsbeobachtungen geschätzt werden. Vom betrachteten Schiff wird auch hier vorausgesetzt, dass es weder Geschwindigkeit noch Kurs ändert.

Wir betrachten zunächst die Schiffe, die mit einer Geschwindigkeit zwischen v_a und $v_a + dv_a$ und einem Kurs zwischen $\mathcal{I}_a$ und $\mathcal{I}_a + d\mathcal{I}_a$ fahren. Ihr Anteil an der Gesamtheit aller Schiffe ist $f(v_a, \mathcal{I}_a) \cdot dv_a \cdot d\mathcal{I}_a$. Wenn die Schiffe auch hier zufällig über das betrachtete Gebiet verteilt angenommen werden, ist die Dichte dieser Schiffe $\rho \cdot f(v_a, \mathcal{I}_a) \cdot dv_a \cdot d\mathcal{I}_a$. Die Relativgeschwindigkeit des betrachteten Schiffes gegenüber den anderen Schiffen hängt von Geschwindigkeit und Kurs dieser Schiffe ab. Für sie wird deshalb $v(v_a, \mathcal{I}_a)$ geschrieben. Damit erhält man für die Begegnungsrate

$$\chi(v_a, \mathcal{I}_a) dv_a d\mathcal{I}_a = 2 \alpha \cdot v(v_a, \mathcal{I}_a) \cdot \rho \cdot f(v_a, \mathcal{I}_a) \cdot dv_a d\mathcal{I}_a \quad (2)$$

3) Fussnote 2) von S. 4 gilt hier entsprechend

Die für alle anderen Schiffe geltende Begegnungsrate kann man durch Integration der für bestimmte Geschwindigkeiten und Kurse der anderen Schiffe geltenden Begegnungsraten über alle Geschwindigkeiten und Kurse finden:

$$\lambda = \int_{\mathcal{I}_a=0}^{2\pi} \int_{v_a=0}^{\infty} \mathcal{K}(v_a, \mathcal{I}_a) dv_a d\mathcal{I}_a \quad (3)$$

wobei

$$\mathcal{K}(v_a, \mathcal{I}_a) = 2 \cdot a \cdot v(v_a, \mathcal{I}_a) \cdot \rho \cdot f(v_a, \mathcal{I}_a) \quad (3a)$$

Wenn sich Kurs und Geschwindigkeit des betrachteten Schiffes mit der Zeit ändern, wird die in Gleichung (2) eingehende Relativgeschwindigkeit auch eine Funktion der Zeit:

$$v(v_a, \mathcal{I}_a, t) = v(v_a, \mathcal{I}_a, v_o(t), \mathcal{I}_o(t)) \quad (4)$$

Mit $v_o(t)$ und $\mathcal{I}_o(t)$ werden dabei die als Funktion der Zeit gegebenen Geschwindigkeiten bzw. Kurse des betrachteten Schiffes bezeichnet. In diesem Fall wird auch die aus Gleichung (3) folgende Begegnungsrate eine Funktion der Zeit. Zu einem ähnlichen Ergebnis würde man übrigens auch kommen, wenn man die in den Fussnoten 2) und 3) gemachten Einschränkungen fallen lassen würde. Alle diese Fälle sollen hier aber ausser Betracht bleiben.

3. Bestimmung der durchschnittlichen Zahl der je Zeitein-
heit erfolgenden Begegnungen mit einer bestimmten relativen
Peilung zum begegnenden Schiff

Ob eine Begegnung (wie im vorhergehenden Abschnitt definiert) ein Ausweichmanöver notwendig macht, hängt u.a. von der relativen Peilung zum begegnenden Schiff ab.

Wie später noch gezeigt werden wird, ist die Begegnungsrate (das ist die durchschnittliche Zahl von Begegnungen je Zeiteinheit) für Begegnungen mit bestimmten relativen Peilungen α (siehe Bild 2, weitergehende Erläuterungen zu dieser Darstellung finden sich in /2/) von Interesse.

Wir gehen zunächst wieder von dem Fall aus, dass alle anderen Schiffe mit jeweils gleicher Geschwindigkeit auf parallelen Kursen fahren. Unter der gemachten Voraussetzung zufälliger Verteilung der anderen Schiffe (vergl. Fussnote 1) sind die Schnittpunkte der relativen Bahnen der begegnenden Schiffe gleich über den zur Relativgeschwindigkeit senkrechten Durchmesser des um das betrachtete Schiff gedachten Kreises mit dem Radius a verteilt. Die Verteilungsdichte des (zufälligen) Abstandes x der Bahnen vom Kreismittelpunkt ist

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{1}{2a} & \text{für} & \quad x \leq |a| & \quad |x| \leq a & \quad (5) \\ &= 0 & \text{für} & \quad x > |a| & \quad |x| > a \end{aligned}$$

Jeder Bahn im Abstand x entspricht ($x < |a|$ vorausgesetzt) eine Begegnung mit einer bestimmten Peilung α (vergl Bild 3). Es gilt

$$x = a \cdot \sin(\alpha - \beta) \quad (6)$$

Damit ergibt sich für die Peilungen α zu den begegnenden Schiffen die Verteilungsdichte (Bild 4):

$$f(\alpha) = f(x(\alpha)) \cdot \left| \frac{dx(\alpha)}{d\alpha} \right| = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) \quad (7)$$

für $-(\frac{\pi}{2} - \beta) < \alpha < (\frac{\pi}{2} + \beta)$

$f(\alpha) = 0$ für alle anderen Werte α

Mit der Begegnungsrate λ (d.i. die durchschnittliche Zahl von Begegnungen je Zeiteinheit für alle Schiffe - unabhängig von Ihrer Peilung) findet man für die Rate von Begegnungen mit einer Peilung zwischen α und $\alpha + d\alpha$

$$n(\alpha) d\alpha = \lambda \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha \quad (8)$$

Damit kann z.B. die Rate der Begegnungen, die zu einer "gefährlichen Situation" führen würde, wenn die beteiligten Schiffe nicht manövrieren würden, bestimmt werden. Unter "gefährlicher Situation" wird dabei verstanden, dass der Passierabstand der Schiffe (vergl. /2/) kleiner als ein bestimmter Wert b ist. Alle Begegnungen, für die das der Fall ist, haben eine Peilung

$$\beta - \Delta\beta < \alpha < \beta + \Delta\beta \quad (9)$$

mit

$$\Delta\beta = \arcsin \frac{b}{a} \quad (9a)$$

Die Rate der Begegnungen, die ohne Gegenmassnahmen zu einer gefährlichen Situation führen würde, ist

$$\lambda_g = \int_{\beta - \Delta\beta}^{\beta + \Delta\beta} \mathcal{H}(\alpha) d\alpha \quad (10)$$

wobei

$$\mathcal{H}(\alpha) = \lambda \cdot f(\alpha) \quad (10a)$$

Die Erweiterung vorstehender Überlegungen für den Fall, dass die anderen Schiffe mit beliebigen Kursen und Geschwindigkeiten fahren, liegt auf der Hand.

4. Bestimmung der Kollisionsrate unter Voraussetzung einfacher Strategien für das Ausweichmanöver

Es wird angenommen, dass im Zeitpunkt einer Begegnung die Peilung α des anderen Schiffes sowie die Peilung β der Relativgeschwindigkeit festgestellt werden (siehe Bild 2; über die Bestimmung dieser Peilungen siehe /2/). Ferner wird angenommen, dass das betrachtete Schiff seinen Kurs beibehält, wenn α ausserhalb des durch die Bedingung (9) definierten gefährlichen Bereiches liegt. Wenn α jedoch in dem durch (9) gegebenen Bereich liegt, wird angenommen, dass das betrachtete Schiff seinen Kurs zur Zeit der Begegnung genau so weit ändert, dass die Peilung α nach der Kursänderung

$$\alpha = \beta \pm \Delta\psi \quad (11)$$

wird. Das Vorzeichen der Kursänderung (und damit auch das Vorzeichen von $\Delta\psi$ in Gleichung (11)) wird gegebenenfalls in Anlehnung an die Seestrassenordnung⁴⁾ bestimmt. Das betrachtete Schiff soll nur diese eine Kursänderung vornehmen. Vom anderen Schiff wird angenommen, dass es seinen Kurs beibehalten soll.

4) Eine uneingeschränkte Anwendung der Seestrassenordnung ist wegen der hier gemachten Annahmen nicht möglich.

Die vorstehenden Annahmen haben nur wenig mit der Realität gemein. Sie können nur damit begründet werden, dass es notwendig ist, so weitgehende Vereinfachungen zu machen, um überhaupt erst einmal an das Problem der Bestimmung der Kollisionsrate heranzukommen. In Zusammenhang damit sei erwähnt, dass auch auf anderen Gebieten zunächst stark vereinfachte (und damit unrealistische) Ansätze gemacht worden sind, die sich für die weitere Entwicklung als sehr nützlich erwiesen haben.

Als "Eintreten einer Kollision" wird definiert, dass kurz nach der Begegnung die Peilung α innerhalb des durch (9) vorgegebenen Bereiches liegt; d.h. dass der Passierabstand (von Schwerpunkt zu Schwerpunkt gemessen) kleiner als ein bestimmter vorgegebener Wert wird. Aufgrund der gemachten Annahmen, die vorsehen, dass - wenn α bei einer Begegnung in dem gefährlichen Bereich liegt - eine entsprechende Kursänderung vorgenommen wird, wäre keine Kollision möglich. Damit es zu einer solchen kommen kann, muss - durchaus in grundsätzlicher Übereinstimmung mit der Realität - angenommen werden, dass irgend ein Fehler (im weitesten Sinne, d.h. es kann ein Missverständnis, eine Fehlinformation u. dgl. m. sein) auftritt.

Hier wird angenommen, dass der bei einer Begegnung bestimmte Gefahrenwinkel $\mathcal{J}$ (vergl. Bild 2 und /2/) mit einem Fehler behaftet ist. Ein solcher Fehler kann durch Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Grössen, aus denen $\mathcal{J}$ berechnet wird, entstehen. Wegen der Zufälligkeit dieser Ungenauigkeiten ist deshalb der vom betrachteten Schiff aus festgestellte Wert $\mathcal{J}$ eine zufällige Variable, die grösser oder kleiner als der wirk-

liche Wert $\mathcal{J}$ (der sich ohne Beobachtungsfehler ergeben würde) sein kann.

Wir betrachten nun den Fall, dass ein anderes Schiff mit einer bestimmten Geschwindigkeit einen bestimmten Kurs fährt und mit einer Peilung α dem betrachteten Schiff begegnet. Dann ist auch β und $\mathcal{J} = \beta - \alpha$ gegeben. Ohne auf die damit zusammenhängenden Fragen näher einzugehen, sei hier vorausgesetzt, dass sich die Kurse der beiden Schiffe so kreuzen, dass das betrachtete Schiff seiner Ausweichpflicht gegebenenfalls durch eine Kursänderung nach Steuerbord nachkommen musste.

Aus Angaben über die Ungenauigkeiten der Beobachtung der für die Bestimmung von $\mathcal{J}$ relevanten Daten kann auch die Verteilung $f(\tilde{\mathcal{J}})$ von $\tilde{\mathcal{J}}$ ⁵⁾ abgeschätzt werden (Bild 5). Ferner kann auch der Winkelbereich $\beta \pm \Delta\mathcal{J}$ angegeben werden, innerhalb dem α liegen muss, damit es zu einer Kollision (im Sinne der gegebenen Definition) kommt. In dem in Bild 6 dargestellten Fall käme es - wenn die Schiffe ihren Kurs beibehielten - zu einer Kollision. Damit eine solche gerade eben vermieden wird, müsste das betrachtete Schiff seinen Kurs so ändern, dass sich $\mathcal{J}$ um den Winkel $(\Delta\mathcal{J} - \mathcal{J})$ vergrößert.

Nun Überlegen wir, dass vom betrachteten Schiff aus nicht $\mathcal{J}$ sondern $\tilde{\mathcal{J}}$ festgestellt wird. Wenn

$$\tilde{\mathcal{J}} < -\Delta\mathcal{J} \quad (12)$$

ist, scheint kein Manöver notwendig. Deshalb wird der Kurs beibehalten; dies führt zur Kollision.

5) Für die zufällige Variable sowie die Werte, die diese annehmen kann, wird hier das gleiche Symbol $\mathcal{J}$ verwendet.

Auch wenn

$$\tilde{J} > \Delta J \quad (13)$$

ist, scheint kein Manöver notwendig; als Folge dieser fehlerbedingten Feststellung kommt es ebenfalls zu einer Kollision.

Wenn

$$-\Delta J < \tilde{J} < J \quad (14)$$

ist, scheint ein Manöver notwendig, durch das $\tilde{J}$ um den Winkel $\Delta J - \tilde{J}$ vergrößert wird. Es wird voraussetzungsgemäss ausgeführt, wodurch eine Kollision vermieden wird.⁶⁾

Wenn

$$J < \tilde{J} < \Delta J \quad (15)$$

ist, scheint eine Kursänderung notwendig, durch die $\tilde{J}$ um den Winkel $\Delta J - \tilde{J}$ vergrößert wird. Eine solche Kursänderung reicht jedoch nicht aus, um eine Kollision zu vermeiden. Wenn J andere Werte als in dem in Bild 6 gezeigten Beispiel hat, wäre entsprechend vorzugehen. Zum Beispiel wäre für $J > \Delta J$ überhaupt keine Kollision möglich.

Die Bedeutung der Ungleichungen (12) bis (15) wird in Bild 7 veranschaulicht. Bild 8 zeigt zusammenfassend die Folgen der Beobachtung von J in diesen Bereichen. Man kann nun leicht die Wahrscheinlichkeit, dass keine Kollision stattfindet, feststellen:

6) Es ist sicher eine zulässige Vereinfachung anzunehmen, dass die zur Winkeländerung $\Delta J - \tilde{J}$ notwendige und aufgrund fehlerhafter Ausgangswerte bestimmte Kursänderung immer auch mindestens zu einer tatsächlichen Änderung von J um den zur Kollisionsvermeidung notwendigen Winkel $\Delta J - J$ führt.

$$W \{ \text{keine Kollision} \} = W \{ -\Delta \lambda < \tilde{\lambda} < \lambda \} =$$

$$= \int_{-\Delta \lambda}^{\lambda} f(\tilde{\lambda}) d\tilde{\lambda} \quad (16)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kollision stattfindet, ist dazu komplementär

$$W \{ \text{Kollision} \} = 1 - \int_{-\Delta \lambda}^{\lambda} f(\tilde{\lambda}) d\tilde{\lambda} \quad (17)$$

Diese Wahrscheinlichkeit gilt für eine bestimmte Peilung α sowie unter Voraussetzung einer bestimmten Geschwindigkeit v_a und eines bestimmten Kurses $\mathcal{J}_a$ der anderen Schiffe.

Die Rate von Begegnungen mit einer Peilung bei α ist oben als Gleichung (8) hergeleitet worden. Die Kollisionsrate für Schiffe, die bei der Begegnung eine Peilung bei α haben, ist daher

$$\mathcal{H}_k(\alpha) d\alpha = w(\alpha) \cdot \lambda \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha \quad (18)$$

wobei $w(\alpha)$ die durch Gleichung (17) bestimmte Wahrscheinlichkeit ist.⁷⁾

Die Kollisionsrate für alle begegnenden Schiffe (mit bestimmten v_a und $\mathcal{J}_a$) wird

$$\lambda_k(v_a, \mathcal{J}_a) = \int_{-\frac{\pi}{2} + \beta}^{\frac{\pi}{2} + \beta} \mathcal{H}_k(\alpha) d\alpha \quad (19)$$

7) $w(\alpha)$ hängt natürlich auch von v_a und $\mathcal{J}_a$ ab. Wenn es auf diese Abhängigkeit ankommt, wird dies durch die Schreibweise $w(\alpha, v_a, \mathcal{J}_a)$ zum Ausdruck gebracht werden.

Wenn wir nun davon ausgehen, dass die anderen Schiffe beliebige v_a und J_a haben, ist für λ in Gleichung (8) bzw. Gleichung (18) die mit Gleichung (2) gegebene Begegnungsrate einzusetzen. Mit Gleichung (2) und unter sinnvoller Anwendung der Gleichungen (3), (18), (19) erhält man für die Kollisionsrate

$$\lambda_k = \int_{J_a=0}^{2\pi} \int_{v_a=0}^{\infty} \int_{\alpha=-\frac{\pi}{2}+\beta}^{\frac{\pi}{2}+\beta} 2 \cdot a \cdot \rho \cdot w(\alpha, v_a, J_a) \cdot V(v_a, J_a) \cdot d\alpha \cdot dv_a \cdot dJ_a \quad (20)$$

$$\cdot f(\alpha) \cdot f(v_a, J_a) d\alpha \cdot dv_a \cdot dJ_a$$

5. Ausblick

Ziel dieser Arbeit ist es, Ansätze zur Bestimmung der Kollisionsrate aufzuzeigen. Es bleibt die Aufgabe, das in Abschnitt 4 eingeführte Konzept auszuarbeiten. Darüber hinaus kann dieses Konzept aber auch als Grundlage für eine verbesserte Erfassung der Strategien für das Ausweichmanöver verwendet werden. Ferner könnten auch mögliche - vom Standpunkt des betrachteten Schiffes aus zufällige - Manöver der anderen Schiffe in die Betrachtung einbezogen werden.

Eine andere naheliegende Erweiterung wäre ein "zweistufiges" Kollisionsmodell". Bei geeigneter Wahl von b bzw. ΔJ (vergl. Gleichung (9a)) kann die nach Gleichung (20) berechnete Grösse als Rate für das Auftreten gefährlicher Situationen interpretiert werden. Es kann dann angenommen werden, dass bei Eintreten einer solchen Situation ein weiteres Manöver erfolgt, das je nach den Manövriereigenschaften des Schiffes, der jeweiligen Ausgangslage usw. mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zur Vermeidung einer Kollision führt.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass auch schon mit Hilfe des Ansatzes (10) (der sich wie bereits erwähnt sehr einfach auf den Fall beliebiger Geschwindigkeit und Kurse der anderen Schiffe erweitern lässt) einige interessante Zusammenhänge erfasst werden könnten: Offensichtlich besteht in der Praxis eine gewisse Korrelation zwischen der Manövrierfähigkeit des

betrachteten Schiffes und der Wahl der Grössen a und b.
Wenn es gelingt, einen statistischen Zusammenhang zwischen der durch geeignete Kennwerte definierten Manövrierfähigkeit und diesen Grössen herzustellen, wird auch die aus Gleichung (10) folgende Grösse λ_g eine Funktion der Manövrierfähigkeit. Sie wäre dann als Rate der bei einem bestimmten Verkehr notwendigen Ausweichmanöver zu interpretieren.

6. Schrifttum

- /1/ Krappinger, O.: Die Kollisionsrate als Element des Systemansatzes im Schiffbau (Vortrag beim 1. Kolloquium des SFB 98). IfS Bericht Nr. 289, Hamburg 1972
- /2/ Kwik, K.-H.: Kinematik der Begegnung von Schiffen und Kollisionsverhütung. IfS Bericht 294
- /3/ Fujii, Y.: Über die Wahrscheinlichkeit des Ausweichens und Zusammenstossens von Schiffen. Diese Arbeit ist in japanischer Sprache im Journal of the Nautical Society of Japan Vol. 40, 1968, erschienen.

Bild 3

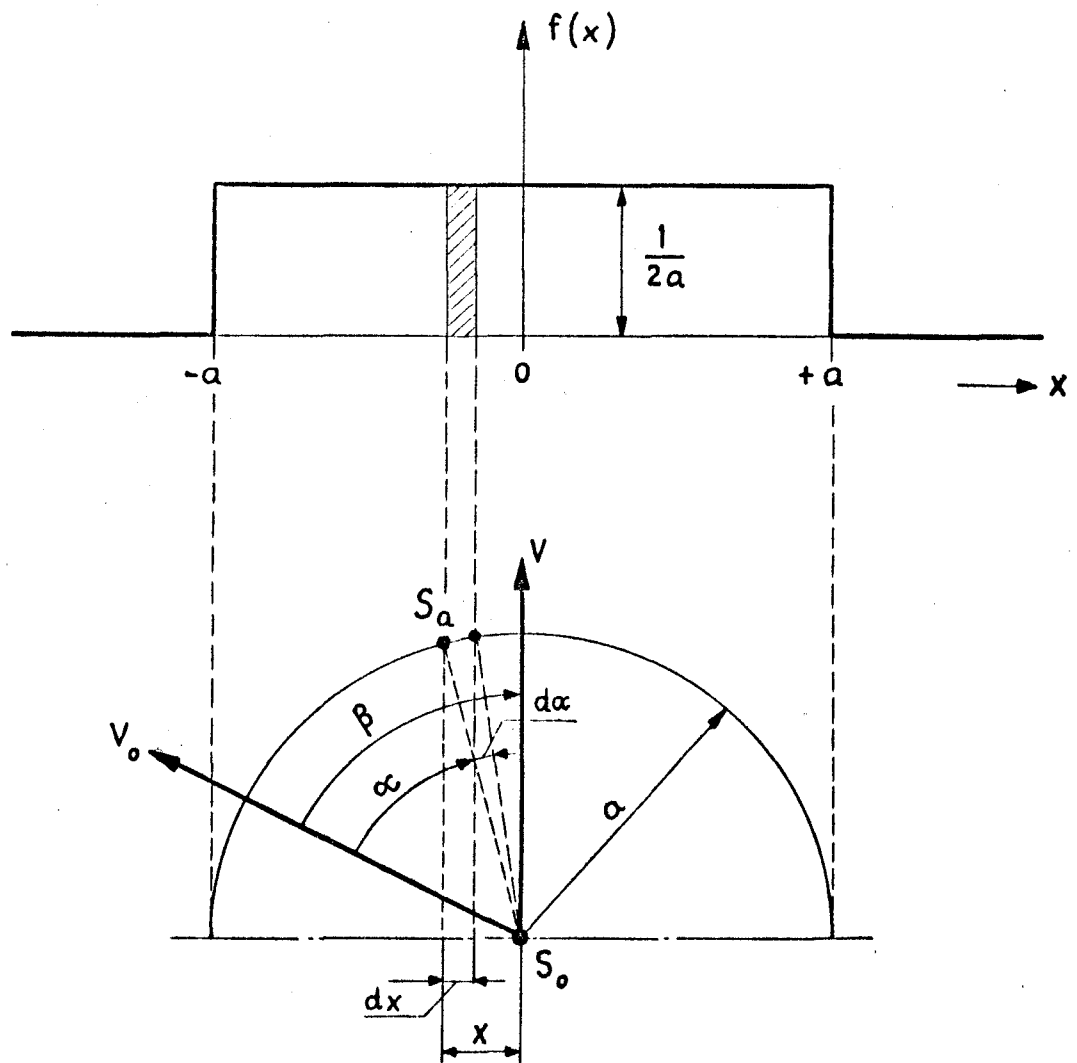


Bild 4

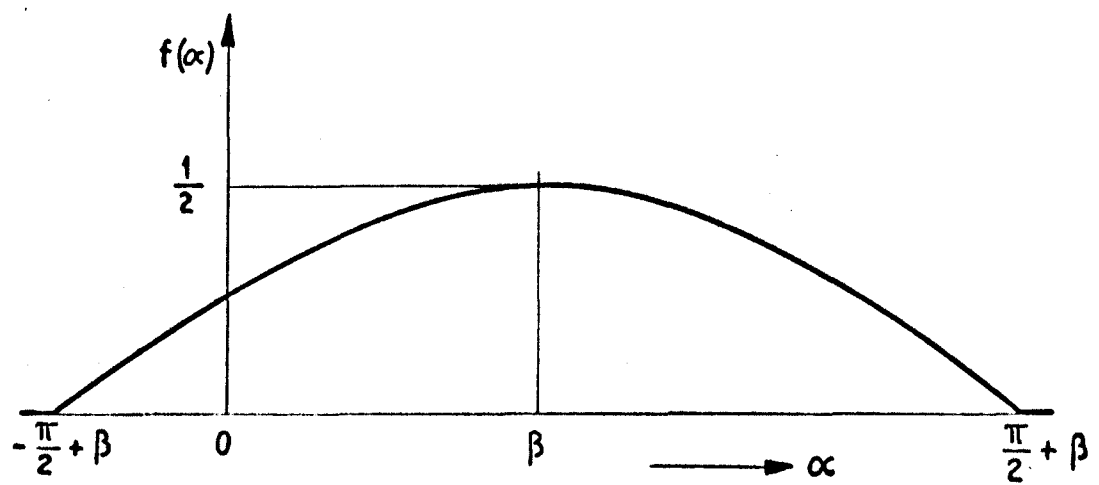


Bild 5

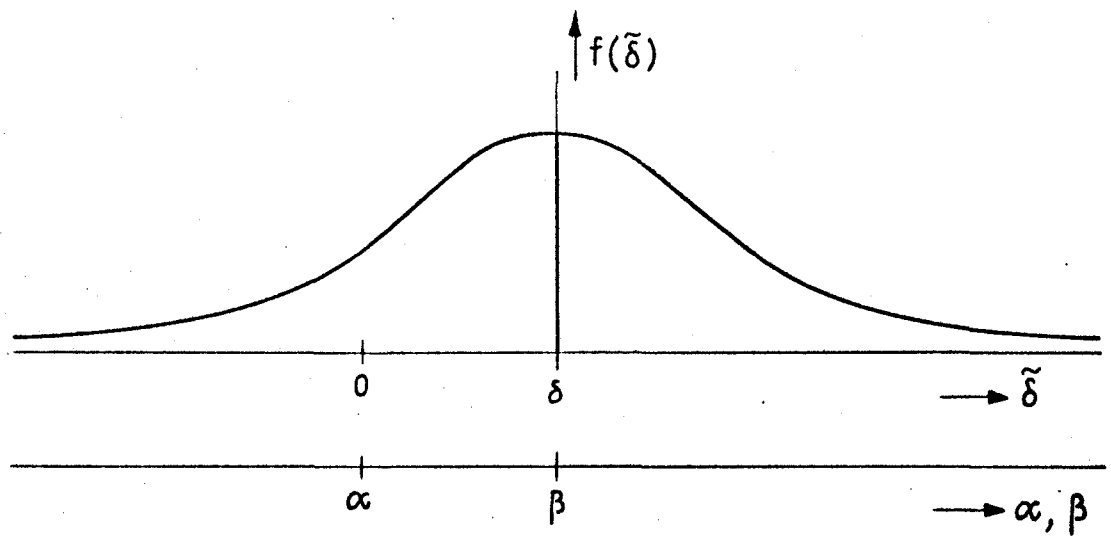


Bild 6

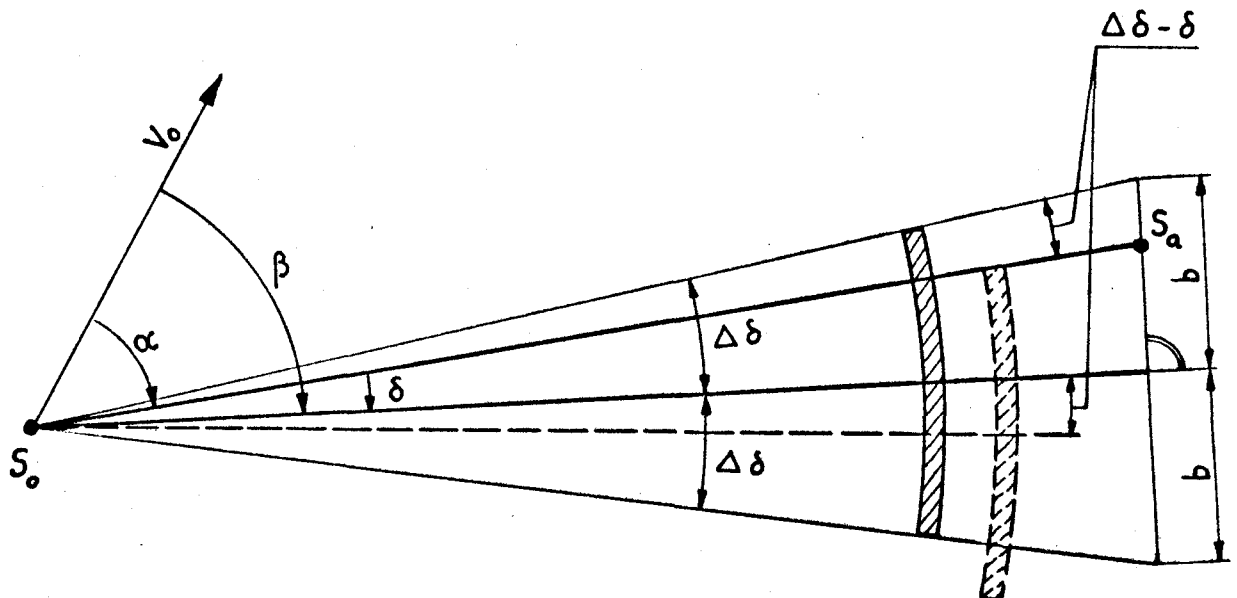
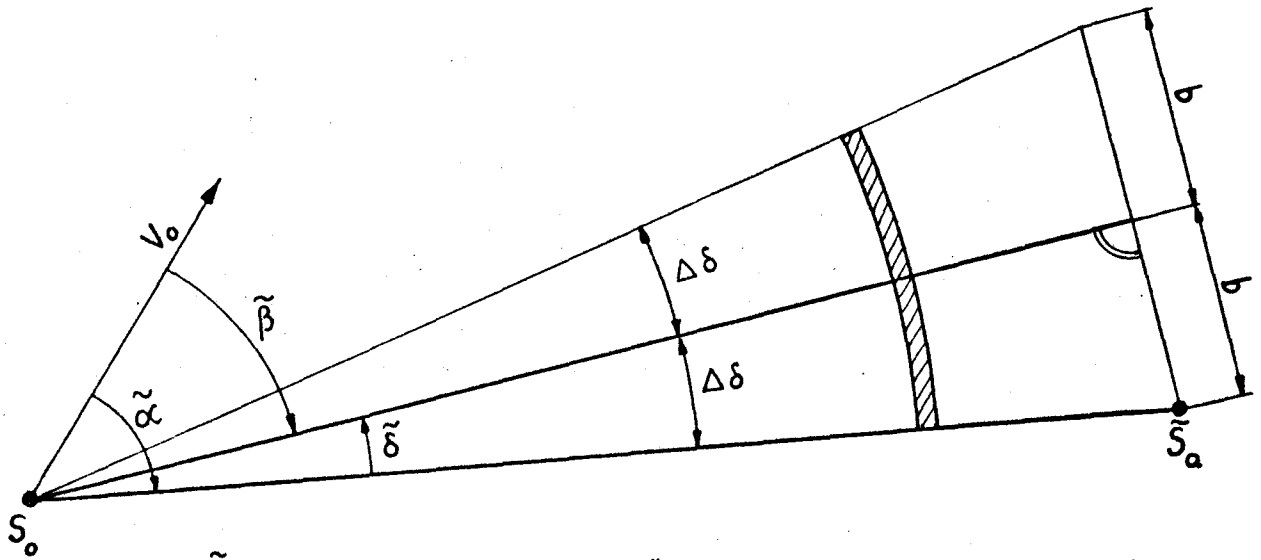


Bild 7

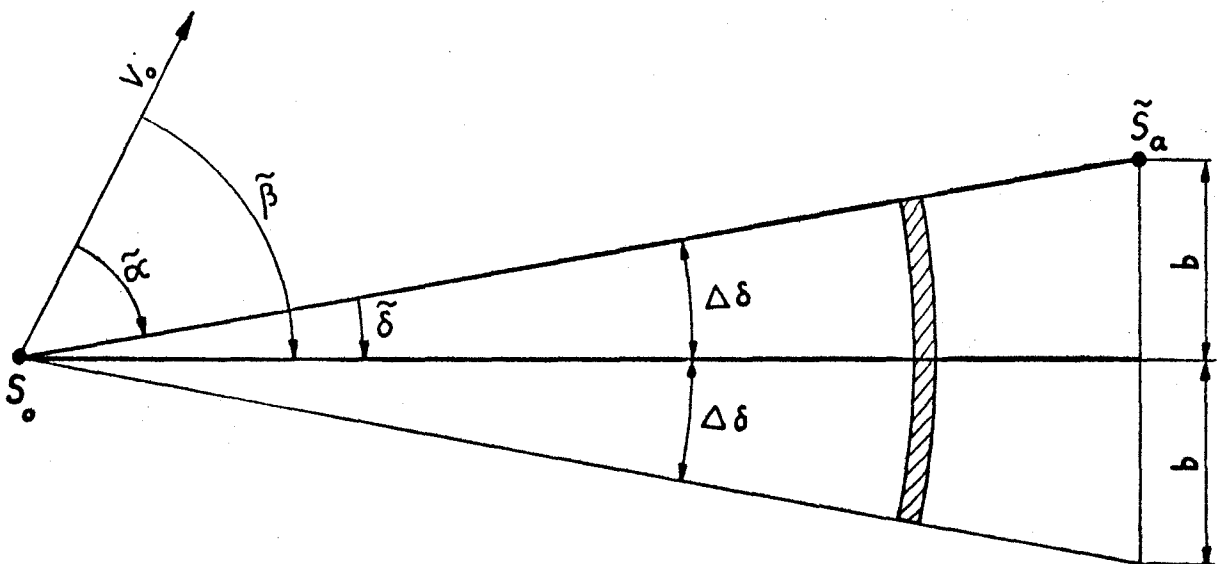
$\tilde{\alpha}$, $\tilde{\beta}$, $\tilde{\delta}$, sowie Position von $\tilde{S}_a$ durch Beobachtung festgestellt und deshalb fehlerbehaftet.

a)



Für $\tilde{\delta} < -\Delta\delta$ scheint kein Manöver notwendig. Vergl. (12) im Text.

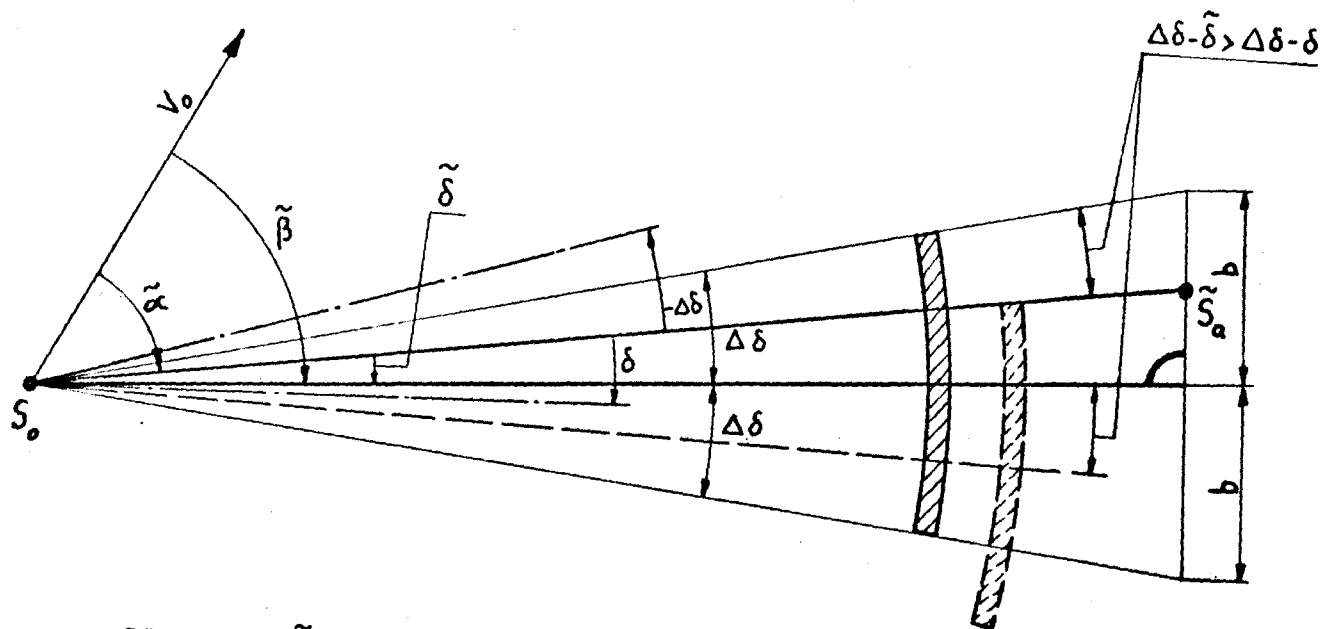
b)



Für $\tilde{\delta} > +\Delta\delta$ scheint kein Manöver notwendig. Vergl. (13) im Text.

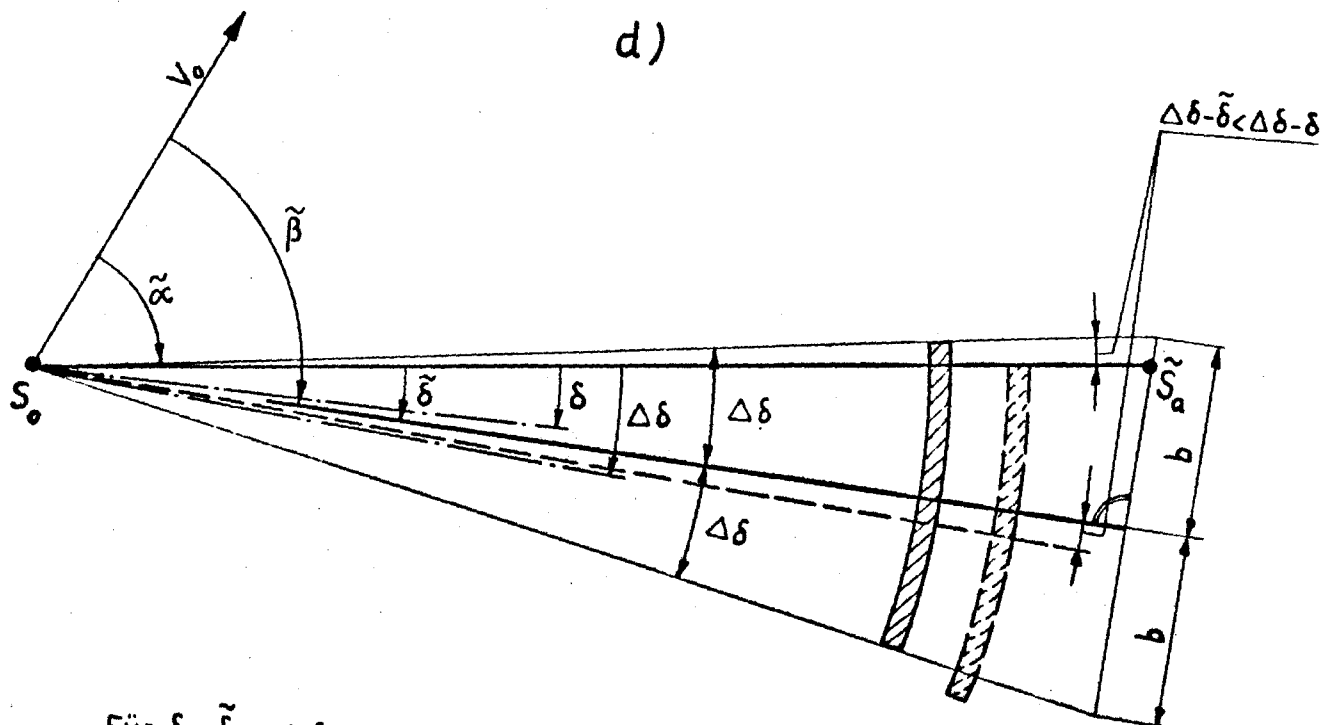
Bild 7

c)



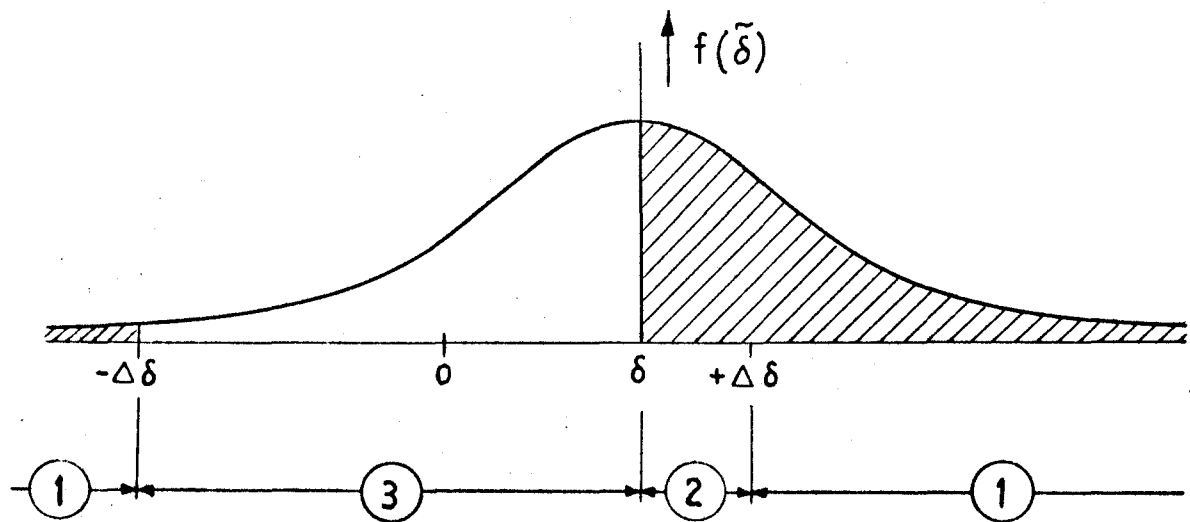
Für $-\Delta\delta < \tilde{\delta} < \delta$ scheint Manöver notwendig. Vergl. (14) im Text.

d)



Für $\delta < \tilde{\delta} < \Delta\delta$ scheint Manöver notwendig. Vergl. (15) im Text.

Bild 8



Bereich	Manöver erscheint notwendig	Kollision
①	nein	ja
②	ja	ja
③	ja	nein