

281 | Dezember 1971

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

O. Krappinger

Zur Frage der Bewertung der
Unterteilung von Schiffen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Zur Frage der Bewertung der Unterteilung von Schiffen

O. Krappinger, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1971

© Technische Universität Hamburg-Harburg

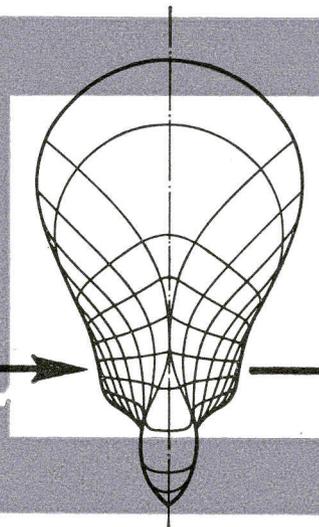
Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

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

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU
DER UNIVERSITÄT HAMBURG



Zur Frage der Bewertung der Unterteilung von
Schiffen

O. Krappinger

Dezember 1971

Bericht Nr. 281

O. Krappinger, Hamburg

Einführung

Obwohl die Frage der Bewertung der Unterteilung von Schiffen im Hinblick auf ihre Sicherheit im Leckfall mit den Arbeiten von Wendel /1,2/ sowie diese erweiternden Untersuchungen (z.B. /3,4/) über die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Leckfällen wenigstens dem Prinzip nach geklärt scheint, haben doch viele erfahrene Schiffbauer Bedenken, sich ganz auf das Wahrscheinlichkeitskonzept zu verlassen. Insbesondere stören sie sich daran, dass in vielen Fällen eine bestimmte Wahrscheinlichkeit für Nichtsinken im Leckfall ohne weiteres auch dann erreicht werden kann, wenn an einzelnen Stellen oder Bereichen eines Schiffes schon sehr kleine Lecks zum Untergang desselben führen und können sich mit solchen "Achillesfersen" nicht abfinden.

Wegen der dem Wahrscheinlichkeitskonzept zugrunde liegenden überzeugenden Logik liegt es nahe, solche Bedenken als traditionsbedingte Vorurteile abzutun und sich nicht näher damit zu beschäftigen. Im Laufe der Zeit und nicht zuletzt auch angeregt durch die Hartnäckigkeit, mit der im Rahmen der Ausarbeitung neuer Unterteilungsvorschriften durch die IMCO von J.B. Robertson jr. und F. Seefisch auf die Notwendigkeit, in Vorschriften ausser einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für Nichtsinken auch einen bestimmten Abteilungsstatus (und damit die Vermeidung von "Achillesfersen") zu fordern, hingewiesen worden ist, hat der Verfasser jedoch begonnen, sich etwas näher mit dieser Frage auseinanderzusetzen.

Bedeutung der Wahrscheinlichkeit für Nichtsinken

Die für ein Schiff bestimmte Wahrscheinlichkeit für Nichtsinken im Falle einer Beschädigung kann nicht einfach als relative Häufigkeit der Fälle, in denen ein Schiff nach einer Kollision nicht untergeht, gedeutet werden. Die Voraussetzung für eine solche Interpretation wäre, dass es für ein Schiff eine grosse Zahl von Kollisionen und dabei auch von Fällen, in denen es verlorenght bzw. schwimmen bleibt, gibt. Diese Zahl ist aber sehr begrenzt - verlorenggehen kann ein Schiff (wenn man von der Möglichkeit, ein gesunkenes Schiff zu bergen und wieder in Fahrt zu setzen, absieht) nur einmal. Dass die Wahrscheinlichkeit für Nichtsinken trotzdem sinnvoll ist, kann mit Hilfe eines Grenzwertsatzes der Wahrscheinlichkeitsrechnung, der eine spezielle Form des "starken Gesetzes der grossen Zahlen" ist, gezeigt werden: Auf unser Problem angewandt, kann dieser Satz wie folgt formuliert werden:

Im Laufe eines längeren Zeitraumes sei eine grosse Zahl von Schiffen in n Kollisionen verwickelt. Die Wahrscheinlichkeit des an der i -ten Kollision beteiligten Schiffes, diese zu überstehen, sei P_i ($i=1,2,3,\dots,n$). Die Zahl der Schiffe, die bei den betrachteten n Kollisionen nicht sinken, sei r . Das Gesetz der grossen Zahlen besagt, dass die relative Zahl von Fällen des Überstehens der Kollision r/n in Wahrscheinlichkeit gegen das arithmetische Mittel der Wahrscheinlichkeiten

$$\bar{P} = (1/n) \sum_1^n P_i \text{ konvergiert:}$$

$$W \left\{ \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{r}{n} - \bar{P} \right) = 0 \right\} = 1$$

Betrachtet man die Kollisionen verschiedener Klassen von Schiffen, die sich jeweils durch ihre Wahrscheinlichkeiten P_i unterscheiden, so kann man aus vorstehendem Gesetz folgern, dass auf lange Sicht Schiffe mit hohen Wahrscheinlichkeiten P_i relativ häufiger überleben als solche mit niedrigeren P_i -Werten.

Die Wahrscheinlichkeit P ist daher ein durchaus geeignetes Kriterium, um auf lange Sicht für Schiffe mit bestimmten P -Werten über die relative Zahl von Fällen des Überstehens von Kollisionen Aussagen machen zu können. Wird P z.B. in Unterteilungsvorschriften festgelegt, so kann dadurch über einen längeren Zeitraum auch die relative Zahl von Schiffsverlusten nach Kollisionen beeinflusst werden.

Die Sicherheit des einzelnen Schiffes

Wenn im Falle einer Kollision ein Leck auftritt, das zum Verlust des Schiffes führt, ist es für die Betroffenen ziemlich uninteressant, dass statt dem nun einmal entstandenen Leck mehr oder weniger viele andere Lecks hätten auftreten können, die nicht zum Verlust des Schiffes geführt hätten. Insbesondere wenn das entstandene Leck sehr klein ist liegt es nahe zu fragen, ob es tatsächlich ein unangemessener Aufwand gewesen wäre, durch geeignete Massnahmen den Verlust des Schiffes (der u.U. mit dem Verlust einer mehr oder weniger grossen Zahl von Menschenleben verbunden sein kann) für diesen durchaus vorhersehbaren Fall zu verhindern. Das heisst, dass der P -Wert, der bei Betrachtung eines Kollektivs von vielen Schiffen über einen längeren Zeitraum als globales Sicherheitsmass geeignet ist, die im Einzelfall auftretenden Aspekte nicht berücksichtigt.

Dem könnte natürlich entgegengehalten werden, dass die Tatsache, dass die erwähnten Gesichtspunkte durch den P-Wert nicht erfasst werden eben beweist, dass es auf diese Gesichtspunkte nicht ankommt: Auf lange Sicht werden solche Verluste infolge kleiner Lecks dadurch kompensiert, dass in anderen Fällen auch grosse Lecks ertragen werden können. Der Trugschluss bei dieser Argumentation besteht darin, dass man aus der formalen Fassbarkeit eines Aspektes der Sicherheit folgert, dass es keine anderen Aspekte geben könne.

Wäre P die Wahrscheinlichkeit (oder relative Häufigkeit) für gute Stücke und $(1-P)$ die Ausschussquote eines in grossen Zahlen hergestellten Massenartikels, würde P vollauf als Mass für die Güte der Fertigung genügen. Da in einem solchen Falle eine Erhöhung von P im allgemeinen nur mit höheren Kosten erreicht werden kann, wäre es möglich, einen optimalen P-Wert (und damit auch einen optimalen Fertigungsstandard) so zu bestimmen, dass die Summe aus den Kosten für den Ausschuss und den für eine Verbesserung der Fertigung ein Minimum wird. Einzelnen Stücken kommt in diesem Zusammenhang keine besondere Bedeutung zu, massgebend sind allein die relativen Häufigkeiten, mit denen gute Stücke bzw. Ausschuss auftreten.

Dieses Beispiel lässt sich aber aus verschiedenen Gründen nicht auf die Frage nach der Sicherheit von Schiffen im Leckfall übertragen: Erstens ist es unmöglich, die Wahrscheinlichkeit für das Überstehen von Leckfällen optimal (etwa so, dass die Gesamtmortalität ein Minimum wird) zu bestimmen. Wenn man P-Werte in Anlehnung an den bestehenden Standard mehr oder weniger willkürlich vorschreibt, handelt es sich dabei nicht um rational begründete Zielwerte, die möglichst genau eingehalten werden sollten. Man legt damit vielmehr eine untere Grenze fest. Das Bestreben, im Einzelfall das Auftreten von trotz Einhalten dieser Grenze möglichen "Achillesfersen" zu verhindern verstösst deshalb

nicht gegen die Logik, das Gegenteil ist der Fall.

Aber auch wenn es gelänge, die P-Werte optimal festzulegen, bliebe die Frage offen, ob es realistisch wäre, sich im Einzelfall danach zu richten. Praktisch zeigt es sich nur zu oft, dass das Streben nach einem Idealzustand auf lange Sicht ohne Rücksicht auf dazu notwendige unmittelbare Opfer nicht zum gewünschten Erfolg führt.

Die Bewertung von Leckfällen, Einführung einer "Bedauernsfunktion"

Die Wahrscheinlichkeit P ist das Verhältnis der Menge der Leckfälle, die nicht zum Verlust eines Schiffes führen, zur Menge aller denkbaren Leckfälle. Entsprechendes gilt für $(1-P)$, wenn man von der Menge derjenigen Leckfälle ausgeht, die zum Verlust eines Schiffes führen. Dabei wird zwar die Häufigkeit, mit der verschieden grosse Lecks vorkommen, berücksichtigt; es wird aber kein Unterschied zwischen Verlusten infolge eines sehr kleinen oder sehr grossen Lecks gemacht.

In konkreten Fällen werden aber sehr wohl Unterschiede in der Beurteilung von Schiffsverlusten gemacht: Werden sie durch sehr grosse Lecks verursacht, ist man geneigt, sie als unabänderlich (zumindest, soweit die Sinksicherheit davon betroffen ist) hinzunehmen. Sind sie aber die Folge sehr kleiner Lecks, dann herrscht die Meinung vor, dass man hätte vorsorglicher sein sollen.

Dieses Verhalten kann durch eine Bewertung des "Bedauerns" näher beschrieben werden. Selbstverständlich handelt es sich dabei um eine subjektive Bewertung. Die Verwendung solcher subjektiver Bewertungsfunktionen ist nicht neu: Es sei nur an den Bernoulli-Nutzen (eine Erweiterung des von Daniel Bernoulli /5/ eingeführten Begriffs der "moralischen Erwartung") erinnert, der sich in der auf von v. Neumann und Morgenstern /6/ zurückgehenden Form auf vielen Gebieten als

äusserst nützlich erwiesen hat. Zur Lösung praktischer Aufgaben weniger verbreitet ist der von Savage /7/ eingeführte Begriff des "regret", einer Art negativen Nutzens. Dieser Begriff wird hier erwähnt, weil es sich dabei ebenfalls um eine Bewertung des "Bedauerns" handelt; es sei aber schon jetzt angemerkt, dass das "Bedauern" im hier vorliegenden Zusammenhang anders definiert wird als "regret" bei Savage.

Im folgenden wird angenommen, dass das "Bedauern" kardinal gemessen (bewertet) werden kann. Das heisst die Zuordnung von Zahlenwerten zu bestimmten Graden des Bedauerns ist bestimmt bis auf eine lineare Transformation. Auf die Frage, wie das "Bedauern" zu messen ist, braucht hier nicht näher eingegangen zu werden, weil sich einige interessante Schlussfolgerungen schon aufgrund recht einfacher Annahmen über den Zusammenhang zwischen Bedauern und bestimmten Leckfällen ergeben.

Entsprechend dem oben Gesagten entspricht einem Schiffsverlust infolge eines sehr grossen Lecks im allgemeinen ein kleiner Wert des Bedauerns und umgekehrt. Als grobe Schätzung für den Wert des Bedauerns als Funktion der Lecklänge werden deshalb folgende alternativen Ansätze gemacht:

$$B_1(y) = \frac{\alpha}{y} \quad (1)$$

$$B_2(y) = \frac{\beta}{\sqrt{y}} \quad (2)$$

α und β sind willkürliche Konstante, y ist die Länge eines Lecks, dass zum Verlust des Schiffes führt. $B(y)$ wird als "Bedauernsfunktion" bezeichnet.

Bewertung des Abteilungsstatus mit Hilfe der Bedauernsfunktion

Es liegt nahe, die Bedauernsfunktion für eine Bewertung von Unterteilungen zu verwenden. Da solche Funktionen aber nicht genügend genau bekannt sind, wird auf eine Bewertung der ge-

samten Unterteilung verzichtet und die Betrachtung nur auf einen kleinen Bereich der Schiffslänge beschränkt.

Der Menge der Lecklängen y , die zum Verlust eines Schiffes führen, entspricht eine Menge von Werten für die Bedauernsfunktion. Charakteristisch für ein Schiff ist der Mittelwert (oder Erwartungswert) der Bedauernsfunktion. Für ihn kann man schreiben:^{x)}

$$E [B] = \iint_U B(y) f(x,y) dx dy$$

mit

$f(x,y)$ Verteilungsdichte der Treffstellen x und der Lecklängen y (vergl. z.B. /8/)

U Gebiet über alle diejenigen durch x und y gekennzeichneten Lecks, die zum Verlust des Schiffes führen.

Wir betrachten nun Bereiche der Schiffslänge mit der Länge $2a$. Sie sollen sich durch den an dieser Stelle herrschenden Abteilungsstatus unterscheiden (siehe Bild 1)

- A) Nullabteilungsstatus (d.h. jedes, auch das kleinste Leck im Bereich $2a$ führt zum Verlust des Schiffes)
- B) Einabteilungsstatus (d.h. nur Lecks, die das in der Mitte des Bereichs $2a$ stehende Schott treffen, führen zum Verlust des Schiffes)
- C) Zweiabteilungsstatus (d.h. nur Lecks, die beide Schotte an den Enden des Bereichs $2a$ treffen, führen zum Verlust des Schiffes).

x) Es wird vereinfachend angenommen, dass die Frage Sinken oder Nichtsinken nur von Treffstelle und Lecklänge, nicht aber vom Tiefgang, Flutbarkeit, Wetter usw. abhängt.

Durch Verändern der Schottstellung (gekennzeichnet durch Δx vergl. Bild 1) kann die Unterteilung im Bereich 2a stufenlos zwischen diesen drei Fällen variiert werden.

Für die Beiträge der Bereiche 2a zum Erwartungswert der Bedauernsfunktion $\Delta E[B]$ erhält man mit der vereinfachenden Annahme, dass $f(x,y)$ von x unabhängig ist:

Für $0 \leq \Delta x \leq a$:

$$\Delta E[B] = 2 \int_0^{\Delta x} \int_0^{y_{\max}} B(y) f(x,y) dx dy + 2 \int_0^{a-\Delta x} \int_{2x}^{y_{\max}} B(y) f(x,y) dx dy$$

Für $-a \leq \Delta x \leq 0$

$$E[B] = 2 \int_0^a \int_{|2\Delta x|/2}^{y_{\max}} B(y) f(x,y) dx dy \quad (3)$$

y_{\max} ist dabei die maximal mögliche Lecklänge.

Mit der Annahme $f(x,y) = 32/7L^2 x$, $y_{\max} = L/4$, $a = L/16$ erhält man mit dem Ansatz (1) für $B = B_1(y) = \alpha / y$ für

$$E[B_1] = \frac{2\alpha}{7L} \left[1 - (1 + 16\alpha x/L) \ln(1/2 + 16\alpha x/L) + 16\alpha x/L \cdot \ln(16\alpha x/L) \right] \quad (4)$$

Für $-a \leq \Delta x \leq 0$ geht $E[B_1]$ gegen unendlich.

x) Für den hier verfolgten Zweck reicht diese einfache Annahme durchaus.

Bild 2 zeigt den Verlauf $\Delta E [B_1]$ über Δx . Er kann wie folgt interpretiert werden: Für den Fall einer Abteilung mit Zwei-Abteilungsstatus ($\Delta x = -a$) ist der Erwartungswert der Bedauernsfunktion $\Delta E [B_1]$ für den betrachteten Bereich 2a niedrig. Je kürzer die Abteilung wird, desto steiler steigt $\Delta E [B_1]$ an. Für $\Delta x \rightarrow 0$ ergibt sich

$$\Delta E [B_1] = \frac{2^\alpha}{7L} [1 - \ln(1/2)]$$

oder

$$E [B_1] = \infty, \quad (5)$$

je nachdem, ob man Δx von links oder rechts nach Null gehen lässt. Dies ist der Fall des Einabteilungsstatus. Im Hinblick auf den Erwartungswert des Bedauerns ist er in der Tat als Grenzfall anzusehen: Nullabteilungsstatus über einen auch noch so kleinen Bereich führt auf alle Fälle zu einem unendlich grossen Erwartungswert des Bedauerns. Erst wenn mindestens Einabteilungsstatus über die ganze Schiffslänge vorgesehen ist, wird der Erwartungswert des Bedauerns endlich. Damit ist die grosse Bedeutung, die manche Leute (nämlich solche, deren subjektive Bedauernsfunktion umgekehrt proportional der Lecklänge ist) dem Einabteilungsstatus über die ganze Schiffslänge zu messen, erklärt. Der Einwand, dass der Erwartungswert des Bedauerns subjektiv wäre und ihm deshalb keine Bedeutung zukäme, lässt sich nicht begründen: Das Sicherheitsbedürfnis eines Menschen ist seiner Natur nach etwas Subjektives. Wenn man davon ausgeht, dass die Technik für den Menschen da ist und nicht umgekehrt (eine Prämisse, der heute wohl kaum jemand widersprechen wird), kann man auch nicht ablehnen, sie subjektiv zu bewerten.

Selbstverständlich sind auch andere Bedauernsfunktionen möglich. So kommt man mit dem Ansatz (2) $B = B_2(y) = \beta / \sqrt{y}$ auch für den Fall des Nullabteilungsstatus zu endlichen Werten für den Erwartungswert der Bedauernsfunktion. Die für den Bereich 2a berechneten Erwartungswerte $\Delta E [B_2]$ sind ebenfalls in Bild 2 eingetragen.

Der ebenfalls denkbare Ansatz

$$B_3(y) = \frac{y^k}{y-c}$$

führt dazu, dass nur eine solche Unterteilung als akzeptabel angesehen wird, bei der an jeder Stelle der Schiffslänge Lecks mit einer Länge von mindestens c auftreten dürfen, ohne dass sie zum Verlust des Schiffes führen.

Es scheint realistisch, davon auszugehen, dass die Bedauernsfunktion zwar nicht genau, aber doch ihrer Tendenz nach abschätzbar ist und dass insbesondere ihr Verhalten für $y \rightarrow 0$ bzw. $y \rightarrow c$ (wobei c nicht genau feststellbar zu sein braucht, sondern irgendein "angemessener Wert" ist) feststellbar ist. Unter der Voraussetzung, dass $B(y)$ für $y \rightarrow 0$ bzw. $y \rightarrow c$ wie $1/y$ bzw. $1/(y-c)$ gegen unendlich geht, kann man Sicherheitsforderungen wie folgt formulieren: Eine (subjektiv) notwendige Bedingung für Sicherheit ist mindestens Einabteilungsstatus bzw. die Ertragbarkeit einer Lecklänge c an jeder Stelle der Schiffslänge. Die Sicherheit ist auch hinreichend, wenn auf lange Sicht die Verlustquote für eine bestimmte Schiffsklasse nicht grösser als $(1-P)$ wird, wobei P die Wahrscheinlichkeit für das Überstehen von Kollisionen ist. Die Grösse von P wäre dabei der Stand der Technik entsprechend (d.h. so dass der P -Wert von der Mehrzahl der bestehenden Schiffe mit bestimmter Länge, Fahrgastzahl und evtl. auch bestimmten Typs erreicht wird) festzulegen. Auch kann man nur so dem Anspruch, die Schiffe "so sicher wie möglich" zu machen, einigermaßen gerecht werden. Wenn man nur einen bestimmten P -Wert fordern würde, liefe dies auf die Festsetzung einer Mindestsicherheit hinaus, wobei bewusst darauf verzichtet wird, alles nur Mögliche für die Sicherheit zu tun; denn es kann wohl kein Zweifel darüber bestehen, dass es immer möglich und zumutbar ist, Massnahmen gegen sehr kleine Lecks vorzusehen.

S c h r i f t t u m

- /1/ Wendel, K.: Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen. Schiffstechnik 1960, S. 47/60
- /2/ Wendel, K.: Die Bewertung von Unterteilungen. Jahrb.d.STG 1961, S. 190/208
- /3/ Krappinger, O.: Einfluss von Tiefgang, Flutbarkeit, Stabilität und Seegang auf die Beurteilung von Unterteilungen. Jahrb.d.STG 1961, S. 209/226
- /4/ Robertson jr.J.B.:
An estimate of the relationship between damaged condition freeboard, metacentric height and the probability of survival. IMCO 1963
- /5/ Bernoulli, D.: Specimentheoriae noval de mensura sortis. Commentarii academiae scientiarum imperialis Petropolitanae 1738
- /6/ v. Neumann, J.
u.O.Morgenstern: Theory of games and economic behavior, Princeton 1947. (Deutsche Übersetzung d. 3. Auflage: Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten, Würzburg 1961)
- /7/ Savage, L.J.: The theory of statistical decision. J.Am.statist.Ass. 1951
- /8/ Krappinger, O.: Die Unterteilung von Schiffen, Handbuch der Werften, Band VIII, 1965, S. 17/32

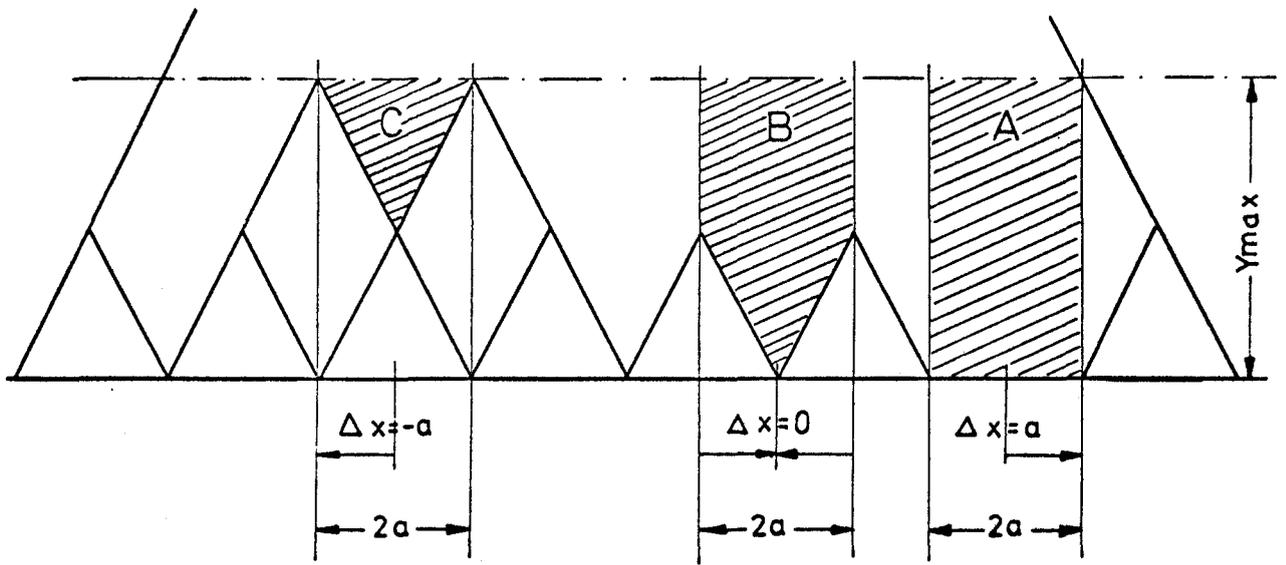


Bild 1

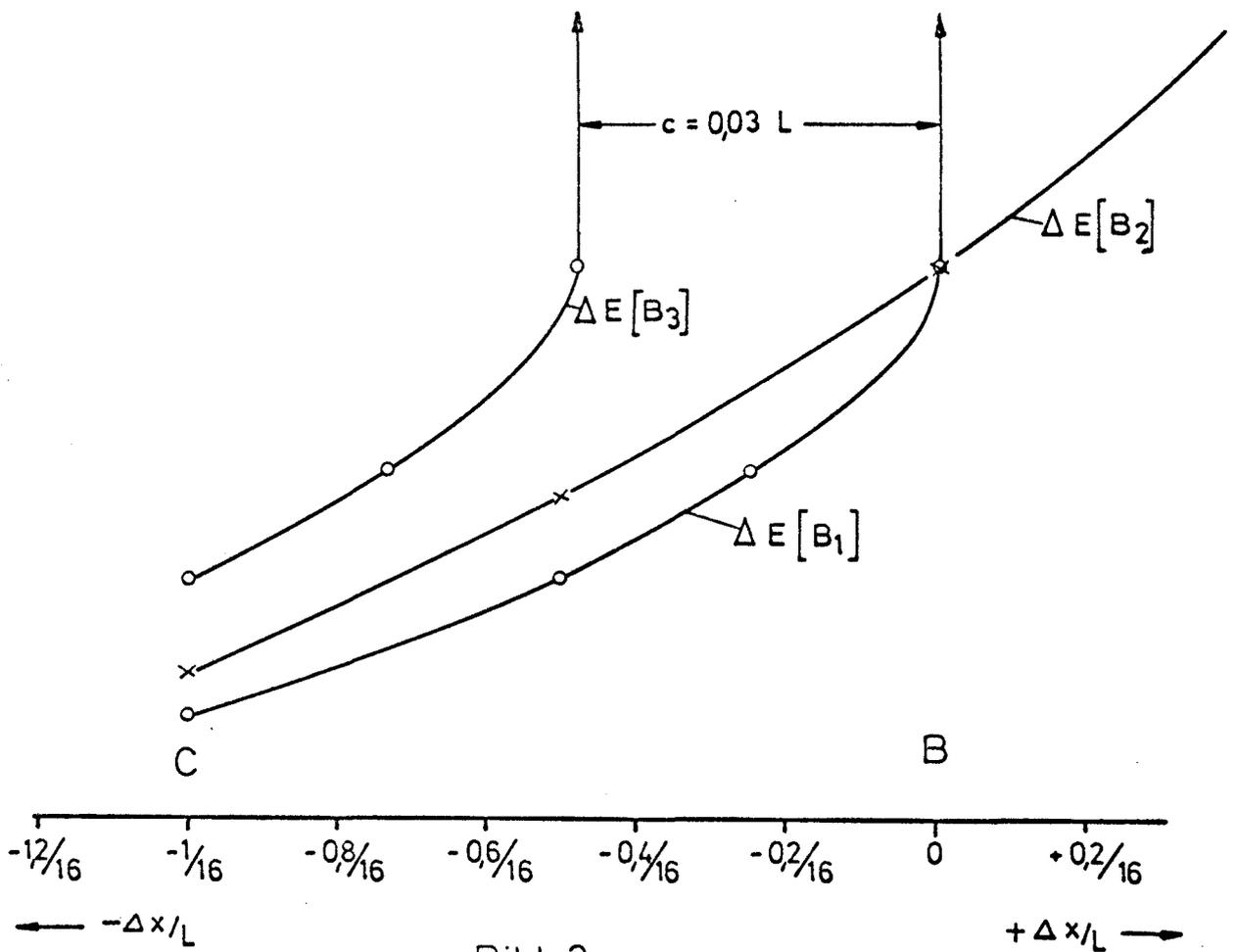


Bild 2