https://doi.org/10.20378/irbo-52855

# GLEICHGEWICHT VON RÜSTUNGSWETTLÄUFEN UND SEINE STABILITÄTSEIGENSCHAFTEN ALS ERKLÄRUNGSVARIABLEN FÜR DEN AUSGANG VON RÜSTUNGSWETTLÄUFEN: EINIGE VORGEORDNETE DEFINITIONSPROBLEME

*Von Hans Rattinger*

## 1. *Einführung*

Im Alltag wie in der Wissenschaft ist es üblich, Eigenschaften des Ablaufs eines Prozesses zur Erklärung seiner Resultate heranzuziehen. Die Literatur über diejenige Gruppe von Prozessen, die gemeinhin als »Rüstungswettläufe«[1] oder »Wettrüsten« bezeichnet werden, bildet da keine Ausnahme[2]. Das wichtigste Ergebnis eines Rüstungswettlaufs, das man auf diese Art zu erklären versucht, ist der Ausbruch von zwischenstaatlicher Gewaltanwendung; die am häufigsten zur Erklärung und Prognose herangezogene Eigenschaft des Ablaufs derartiger Prozesse ist die, ein Gleichgewicht zu haben bzw. im Gleichgewicht zu sein. Eine zusätzliche Spezifikation dieser Eigenschaften erfolgt über die Untersuchung der Stabilitätseigenschaft des jeweils vorliegenden Gleichgewichts: Handelt es sich dabei um ein stabiles, ein labiles oder um ein neutrales (indifferentes) Gleichgewicht.

Anliegen der vorliegenden Arbeit ist zunächst eine Antwort auf die Frage, ob die umlaufenden Definitionen des Gleichgewichts von Rüstungswettläufen und seiner Stabilitätseigenschaften derartige Erklärungen der Resultate von Rüstungswettläufen erlauben. Deshalb wird im zweiten Teil des Aufsatzes nach einer Eingrenzung der zu referierenden Literatur und einigen vorläufigen begrifflichen Klärungen die herrschende Praxis die Definition der Terme »Gleichgewicht« und »Stabilität« betreffend dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen dem Gebrauch der Terme im Sinn der Abschreckungstheorie und im Sinn der klassischen Mechanik. Das Fazit aus der Literaturübersicht heißt, daß die eingangs artikulierte Frage negativ beantwortet werden muß, daß also Erklärungen der gewünschten Form mit Hilfe der so definierten Terme nicht möglich sind.

Die Ursache dafür lautet bei den in Anlehnung an die Abschreckungstheorie vorgenommenen Definitionen, daß sie alles andere als operational sind, bei der anderen Gruppe von Definitionen, daß sich kein empirischer Rüstungswettlauf wird ausfindig machen lassen, der ihnen genügt. Ein noch schwerwiegenderer Einwand gegen die letzteren Definitionen läßt sich so formulieren: Wer mit einer von der statischen Gleichgewichtsdefinition der klassischen Mechanik abgeleiteten Definition des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs arbeitet, kann gleichzeitig keine akzeptable Definition von »Rüstungswettlauf« führen, wie ich sie z. B. in der ersten Anmerkung rekonstruiert habe, weil zwischen beiden ein logischer Widerspruch besteht.

In dieser Situation hat man zwei logisch völlig gleichwertige Wege zur Verfügung, auf denen man nach einer Erklärung des Ausgangs eines Rüstungswettlaufs durch Eigenschaften seines Ablaufs suchen kann. Im ersten Fall verbannt man die Terme »Gleichgewicht« und »Stabilität« aus dem thematischen Erklärungszusammenhang und sucht sich passende Terme für diejenigen Eigenschaften der Abläufe von Rüstungswettläufen, die man zur Erklärung für geeignet hält. Im zweiten Fall verbannt man die Designate der beiden Terme, wie sie im zweiten Teil des Aufsatzes dargestellt werden, behält jedoch die Terme selbst bei und sucht nach neuen Designaten, deren Erklärungskraft im fraglichen Zusammenhang untersucht werden soll.

Die Entscheidung zwischen diesen beiden Wegen ist natürlich willkürlich und kann nur durch commonsense Argumente plausibel gemacht werden. Ich entscheide mich für den zweiten, weil ich es für notwendig halte, so populäre Konzepte wie »Gleichgewicht« und »Stabilität« vor ihrer endgültigen Verabschiedung völlig auf ihre Erklärungsfähigkeit hin auszuloten. Überdies rankt sich um diese Terme eine blühende politikwissenschaftliche und journalistische Folklore, welche Annahmen und heuristische Spekulationen über den Einfluß ihrer Designate auf den Ausgang von Rüstungswettläufen als gesicherte Erkenntnisse ausgibt[3]. Akzeptierte man nun auf der Suche nach Erklärungen für das Ergebnis von Rüstungswettläufen den ersten Vorschlag, dann stünde zu befürchten, daß, trotz des eventuell bei diesem Bemühen zu verbuchenden Erfolges, die erwähnte Spekulation nicht abreißt. Auch die Entscheidung für den zweiten Weg garantiert natürlich nicht für das Gegenteil, aber angesichts empirisch gesicherter Erkenntnisse über den Zusammenhang des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs mit seinem Ausgang wird diese Spekulation sicher eher als solche erkannt, als wenn die gleiche Erkenntnis bei Ersetzung der Terme »Gleichgewicht« und »Stabilität« durch neu eingeführte Terme präsentiert wird.

Entscheidet man sich wie ich für den zweiten Weg, dann steht man vor einer zweiten Alternative. Entsprechend dem Befund des zweiten Teils der vorliegenden Arbeit muß entweder die Operationalisierung der in Anlehnung an die Abschreckungstheorie erfolgten Definitionen in Angriff genommen werden oder die an der klassischen Mechanik orientierten Definitionen müssen »liberalisiert« werden. Im dritten Teil werden diese beiden Alternativen im Detail vorgeführt, und es wird begründet, warum die erste von beiden nicht in Betracht kommt. Abgesehen von dem enormen zu leistenden Arbeitsaufwand muß nämlich konstatiert werden, daß die durch die Operationalisierung ermöglichten Erklärungen für die Abschreckungstheorie wesentlich relevanter sind als für die Untersuchung der Auswirkungen von Rüstungswettläufen.

Es liegt nun auf der Hand, was statt dessen zu tun ist: Die mechanische Definition statischen Gleichgewichts muß ausgeweitet werden. Das geschieht im vierten Teil der Arbeit durch den Übergang zu Definitionen dynamischen Gleichgewichts, die nicht mehr Stillstand der Rüstungen der am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten fordern, sondern nur noch eine beiderseits angebbaren Regelmäßigkeiten gehorchende Veränderung der Rüstungen in der Zeit. Aus der potentiell unendlichen Zahl derartiger Definitionen werden drei herausgegriffen, und die formalen Kriterien für ihr Vorliegen werden exemplarisch aus zweien der umlaufenden formalen Rüstungswettlaufmodelle hergeleitet. Für den Fall, daß kein formales Modell bekannt ist, das den je untersuchten Rüstungswettlauf beschreibt und erklärt, werden statistische Kriterien entwickelt, anhand derer über das Auftreten derartiger Gleichgewichte entschieden werden kann. Die theoretische und forschungspraktische Bedeutung beider Arten von Kriterien beleuchtet die Schlußbemerkung dieses Aufsatzes.

## 2. *Gleichgewicht von Rüstungswettläufen und seine Stabilitätseigenschaften in der Literatur*

### 2.1 *Einige Abgrenzungsprobleme und vorläufige Unterscheidungen*

#### 2.1.1 *Abgrenzung der Literatur*

Die Abgrenzungsprobleme, die in diesem Abschnitt behandelt werden, betreffen alle den Umfang der Literatur, die zu einem Überblick über den Gebrauch der Terme »Gleichgewicht« und »Stabilität« herangezogen werden muß. Vielleicht ist es auf den ersten Blick verwunderlich, auch die »balance of power«-Literatur einzubeziehen, aber eine kurze kritische Prüfung scheint mir vor dem endgültigen Ausschluß doch sinnvoll, vor allem wenn man bedenkt, daß »Macht« in dieser Literatur vorwiegend als absolute Einheitenvariable[4] verwandt wird und nicht als relationales Konzept. »Macht« bezeichnet dann eine Menge von Eigenschaften, welche einem Staat die Kontrolle des Verhaltens von anderen Staaten ermöglichen[5], und »Rüstung« ist eine dieser Eigenschaften, also eine echte Teilmenge der Macht eines Staates[6]. Aussagen über die Entwicklung der »Macht« eines Staates oder mehrerer Staaten lassen also auch immer gewisse Rückschlüsse auf die Entwicklung ihrer Rüstungen zu. Das heißt natürlich nicht, daß aus dem in der »balance of power«-Literatur konstatierten »Machtgleichgewicht« zwischen zwei Staaten oder Allianzen darauf geschlossen werden könnte, daß ein eventuell stattfindender Rüstungswettlauf zwischen diesen Staaten und Allianzen sich im Gleichgewicht befinde. Für eine Untersuchung von Rüstungswettläufen wäre es vielmehr wichtig zu erfahren, welche Kriterien in dieser Literatur darüber entscheiden, ob ein gegebener Zustand als »im Gleichgewicht befindlich« bezeichnet wird und unter welchen Bedingungen dieses Gleichgewicht der Macht »stabil« heißt.
Wenn man sich auf diese Frage aus der genannten Literatur eine halbwegs klare und eindeutige Antwort verspricht, dann erlebt man bald eine herbe Enttäuschung. Am deutlichsten ist das Bild noch bei der Behandlung des »Machtgleichgewichts« zwischen nur zwei Staaten; dann liegt nämlich nach einhelliger Meinung ein Gleichgewicht vor, wenn beide Staaten über die gleiche Macht verfügen[7]. Daß es nach diesem Kriterium, auf Rüstung und Rüstungswettläufe übertragen, keinen im Gleichgewicht befindlichen Rüstungswettlauf gibt, braucht nicht lange begründet zu werden; das gleiche gilt, wenn es statt um zwei Staaten um zwei Allianzen geht. Das Bild verfinstert sich, sobald mehr als zwei Staaten oder Allianzen zugelassen werden. Da die divergierenden Definitionen schon anderwärts präsentiert[8] und auf ihren kleinsten gemeinsamen Nenner untersucht worden sind[9], kann ich mich hier sehr kurz fassen. Als kleinsten gemeinsamen Nenner der verschiedensten Definitionen legt Dina Zinnes mit viel analytischem Scharfsinn als Kriterium für »balance of power« nahe, daß die Macht jeder Einheit (Staat oder Allianz) des Systems kleiner sein muß als die Summe der Macht aller übrigen Einheiten des Systems. Obwohl diese Version sehr viel verständlicher ist als die von Zinnes als Vorlage benutzten Formulierungen, kann die hier intendierte Klärung der Begriffe »Gleichgewicht« und »Stabilität« im Kontext von Rüstungswettläufen von ihr nicht profitieren, weil aus dieser Version für den Fall

eines Rüstungswettlaufs, also genau zweier Einheiten (Staaten oder Allianzen), wie schon oben als notwendige und hinreichende Bedingung für Gleichgewicht die Gleichheit der Rüstungen abgeleitet werden kann. Das gleiche gilt für den Versuch der Axiomatisierung der »balance of power«-Tradition von Chatterjee[10], dessen Axiom 3, das dominante Koalitionen verbietet, nichts anderes ist als eine Formalisierung der Zinnesschen Formulierung[11]. Trotz der anfänglichen Hoffnung ist es mithin nicht möglich, bei der Untersuchung des Gleichgewichts von Rüstungswettläufen und seiner Stabilitätseigenschaften von einschlägigen Arbeiten auf dem Gebiet der »balance of power« zu profitieren.

Einen gewissen Gewinn für eine weitere Abgrenzung der heranzuziehenden Literatur kann man jedoch noch aus einem Teil der »balance of power«-Literatur schöpfen. Chatterjee deutet ganz kurz eine gewisse Verschwommenheit im Gebrauch der Begriffe »balance«, »equilibrium« und »stability« in dieser Literatur an[12], und eine solche läßt sich auch in der Tat ausmachen. So wird z. B. – wohl wegen der durch die Abwesenheit formaler Modelle verursachten Unmöglichkeit von Stabilitätsuntersuchungen anhand des Verhaltens des betreffenden Systems nach kurzfristigen Auslenkungen aus seiner Ruhelage – »Stabilität« synonym mit der technischen Bedeutung von »balance« oder »equilibrium« gebraucht, um doch noch eine Verwendung für den zusammen mit »Gleichgewicht« übernommenen Term zu haben. »Balance« ist dann einfach eine jede Machtkonfiguration[13] und eine technisch als »im Gleichgewicht befindlich« bezeichnete Konfiguration heißt dann eben eine »stable balance of power«[14]. Da in dem vorliegenden Aufsatz versucht werden soll, Gleichgewicht von Rüstungswettläufen *und* seine Stabilitätseigenschaften in der Behandlung durch die vorliegende Literatur durchzusehen und zu neuen Formulierungen zu gelangen, werden neben der »balance of power«-Literatur auch solche Autoren unberücksichtigt bleiben, bei denen diese Sprachverwirrung auszumachen ist. Um den Einstieg in die anschließende Literaturübersicht zu erleichtern, werde ich jetzt noch kurz den Unterschied zwischen »Gleichgewicht« und »Stabilität« und die verschiedenen Stabilitätsfälle umreißen, die dann auf prädikatenlogischer Basis in 2.4 zusammenfassend formalisiert werden.

### 2.1.2 *Gleichgewicht und seine Stabilitätseigenschaften: Ein Überblick*

Zunächst sollte natürlich für die Untersuchung von Rüstungswettläufen die konventionelle Unterscheidung zwischen »Gleichgewicht« und »Stabilität« nicht ohne Not aufgegeben werden; auf sie komme ich gleich noch zu sprechen. Vorher möchte ich jedoch noch zwei Redeweisen über Gleichgewicht auseinanderhalten, die auch in der technischen Literatur oft nicht genügend differenziert werden. Nach der ersten *ist* ein System im statischen Gleichgewicht x genau dann, wenn die Transformation T, der das System unterliegt, den Zustand des Systems nicht verändert, wenn als $T(x) = x$[15], oder äquivalent, wenn die Werte aller Variablen $x_1, \ldots, x_n$, die den Zustand x beschreiben, sich von Zeitpunkt $t_i$ zu $t_{i+1}$ nicht ändern, wenn also $x_1(t_i) = x_1(t_{i+1}), \ldots, x_n(t_i) = x_n(t_{i+1})$[16]. Demgegenüber *hat* ein System ein Gleichgewicht (oder eine Gleichgewichtslage oder einen Gleichgewichtszustand), wenn es einen Zustand x gibt, in dem das System im Gleichgewicht ist; das System muß nicht im Gleichgewicht sein, um ein

Gleichgewicht zu haben. Der begrifflichen Klarheit wegen werde ich im folgenden davon sprechen, ein System *sei* im *Gleichgewicht* oder das System *habe* einen *Gleichgewichtszustand* oder eine *Gleichgewichtslage*[17].

Beispiele für Systeme, die eine oder mehrere Gleichgewichtslagen besitzen, ohne im Gleichgewicht zu sein, sind ein Pendel, das gerade aus seiner Ruhelage ausgelenkt worden ist, oder ein »Prisoner's Dilemma«-Spiel, in dem gerade ein Spieler die kooperative und der andere die unkooperative Alternative gewählt hat. Aussagen darüber, ob ein System eine Gleichgewichtslage hat, sind nur möglich, wenn zwischen den einzelnen Zuständen des Systems eine zumindest teilweise deterministische Beziehung besteht. Insbesondere muß das Verhalten des Systems dergestalt determiniert sein, daß es sich, einmal im Gleichgewicht, nicht mehr von selbst in einen anderen Zustand begibt; in allen anderen Zuständen kann die Beziehung auch stochastischer Natur sein. Aussagen darüber, daß ein bestimmtes System sich im Gleichgewicht befindet oder befand, setzten dagegen derartige Information über das gesamte Verhalten des Systems nicht voraus. Diese kurze Darstellung zeigt, daß es sich bei den beiden Eigenschaften eines Systems, im Gleichgewicht zu sein oder eine Gleichgewichtslage zu besitzen, um zwei logisch voneinander unabhängige mögliche Erklärungsvariablen für den Ausgang von Rüstungswettläufen handelt.

»Stabilität« ist nun, wie schon im Titel vorweggenommen, eine Eigenschaft des Gleichgewichts oder der Gleichgewichtslage und nicht des Systems selbst, wie man aus der Literatur zu Rüstungswettläufen manchmal den Eindruck gewinnen könnte. Ob ein Gleichgewicht als stabil, labil oder indifferent bezeichnet wird, hängt ab von dem Verhalten des Systems in der Umgebung des Gleichgewichtszustandes nach einer Auslenkung aus dieser Lage[18]. Man kann wieder danach differenzieren, ob das System im Gleichgewicht ist oder eine Gleichgewichtslage hat, aber nicht im Gleichgewicht ist. Wenn das System im Gleichgewicht ist, dann kann seine Stabilitätseigenschaft auf zweierlei Weise bestimmt werden. Man kann eine experimentelle Auslenkung aus dem Gleichgewicht vornehmen und das Verhalten des Systems beobachten: Kehrt es in das alte Gleichgewicht zurück, dann ist dieses Gleichgewicht stabil; entfernt sich das System noch weiter vom alten Gleichgewicht, dann ist dieses labil; bleibt es nach der Auslenkung bewegungslos, befindet sich also danach in einem neuen Gleichgewicht, dann ist das alte Gleichgewicht (und auch das neue) neutral. Da die hier thematischen Systeme, nämlich Rüstungswettläufe, wie die meisten Untersuchungsobjekte der Sozialwissenschaften, nicht so einfach experimentell zu manipulieren sind wie die Kugel in der Teigschüssel, muß man sich nach anderen Kriterien für die Stabilitätseigenschaften von Gleichgewichten umsehen. Ohne die Möglichkeit des Experiments kann man solche nur gewinnen, wenn man statt des Originals ein formales Modell manipuliert. Das heißt aber, daß im Gegensatz zu der Beantwortung der Frage, ob ein System eine Gleichgewichtslage hat, jetzt eine völlig deterministische formale Repräsentation des Verhaltens des Systems vorliegen muß, da ja das Verhalten des Systems in allen möglichen Umgebungen des Gleichgewichts untersucht werden soll[19]. Die formalen Kriterien für stabiles, labiles und neutrales (oder indifferentes) Gleichgewicht will ich hier nicht wiedergeben, weil ich später noch eine eigene Formulierung liefern werde; sie können der Literatur entnommen werden[20].

Wie bei den Stabilitätseigenschaften des Gleichgewichts, in dem sich ein System befindet – und aus den gleichen Gründen – benötigt man auch zu der Entscheidung, ob ein System eine stabile, labile oder neutrale Gleichgewichtslage hat, ein deterministisches formales Modell für das Verhalten des untersuchten Systems. Es ist also ohne ein solches Modell nur die Aussage zulässig, daß sich ein System im Gleichgewicht befindet oder während eines gewissen Zeitabschnitts befand. Aussagen über die Stabilitätseigenschaften von Gleichgewichten sind ebensowenig möglich wie die Entscheidung darüber, ob ein möglicherweise zur Erklärung des Verhaltens des empirischen Systems herangezogenes formales System eine Gleichgewichtslage hat. Aufgrund der getroffenen Unterscheidungen enthält ein Inventar von zur Charakterisierung von Systemen zulässigen Aussagen über ihr Gleichgewicht und dessen Stabilitätseigenschaften insgesamt acht Aussagen, die dann in der Anwendung auf Rüstungswettläufe darauf untersucht werden könnten, ob sie zur Erklärung des Ausgangs von Rüstungswettläufen taugen oder nicht. Diese Aussagen lauten:

1. Das System hat eine Gleichgewichtslage, eine 2. stabile, 3. labile, 4. neutrale Gleichgewichtslage.

5. Das System ist im Gleichgewicht, im 6. stabilen, 7. labilen, 8. neutralen Gleichgewicht.

Die folgenden beiden Abschnitte sollen untersuchen, ob sich die Literatur über Gleichgewicht von Rüstungswettläufen und dessen Stabilitätseigenschaften an die hier präsentierte technische Bedeutung der Terme hält, welche alternativen Gebräuche vorliegen und ob dabei die Voraussetzungen und Beschränkungen für den Gebrauch der Terme berücksichtigt werden.

## 2.2 *Der Gebrauch des Terms »Gleichgewicht« in der Literatur zu Rüstungswettläufen*

### 2.2.1 *Gebrauch des Terms entsprechend der technischen Bedeutung*

Die Verwendung des Terms »Gleichgewicht« in der Literatur zu Rüstungswettläufen in seiner technischen Bedeutung (also wie im letzten Abschnitt umrissen) geht zurück auf das Rüstungswettlaufmodell von Lewis Fry Richardson[21]. Richardson verwendet als Modell für Rüstungswettläufe ein System von linearen Differentialgleichungen erster Ordnung[22]:

$$dx/dt = ky - ax + g \qquad (1)$$

$$dy/dt = lx - by + h \qquad (2)$$

Aus der Überlegung heraus, daß ein Staat A seine Rüstung x im Rüstungswettlauf genau dann nicht verändert, wenn er mit der akkumulierten Rüstung angesichts der Rüstung y des Gegners B zufrieden ist, erhält er (wenn beide Staaten oder Allianzen zufrieden sind, gilt $dx/dt = dy/dt = 0$) aus den Gleichungen des Systems ((1), (2)) zwei partielle Gleichgewichtsgeraden:

$$ky - ax + g = 0 \qquad (3)$$

$$lx - by + h = 0 \qquad (4)$$

Gerade (3) gibt bei gegebenem y an, wieviel Rüstung (x) der Staat A selbst besitzen will, um nicht mehr weiter aufzurüsten; die entsprechende Aussage gilt für Gerade (4) und Staat B. Von einer Gleichgewichtslage kann nur die Rede sein, wenn *beide* Staaten sich im partiellen Gleichgewicht befinden; nur dann wird überhaupt nicht mehr aufgerüstet und der Rüstungswettlauf steht still. Das ist aber genau dann der Fall, wenn die beiden Geraden (3) und (4) mindestens einen Punkt gemeinsam haben. Das Kriterium dafür lautet, daß das Gleichungssystem

$$ky_1 - ax_1 + g = 0 \tag{5}$$

$$lx_1 - by_1 + h = 0 \tag{6}$$

eine reelle Lösung haben muß, was aber mit Ausnahme von $ab = kl$ stets der Fall ist. Die Lösung des Gleichungssystems ((5), (6))

$$x_1 = (kh + bg)/(ab - kl) \tag{7}$$

$$y_1 = (lg + ah)/(ab - kl) \tag{8}$$

bezeichnet die Gleichgewichtslage, die der Rüstungswettlauf besitzt; er ist im Gleichgewicht, wenn $x = x_1$ und $y = y_1$[23].
Diese Art der Herleitung des Kriteriums für das Vorhandensein einer Gleichgewichtslage in einem Rüstungswettlauf kann inzwischen schon klassisch genannt werden[24]. Eine ganze Reihe von Autoren hat von dieser Vorlage profitiert und die meisten von ihnen verzichten darauf, eine Weiterentwicklung des Kriteriums für Vorliegen einer Gleichgewichtslage über die Fassung von Richardson oder Boulding[25] hinaus in Angriff zu nehmen. Den einzigen echten Fortschritt gegenüber der hier präsentierten Version des Kriteriums, wenn auch nicht in der Logik des Verfahrens, sondern nur in seiner Verallgemeinerung, stellt die Einführung nichtlinearer partieller Gleichgewichtskurven dar, die oft Boulding oder Ash zugeschrieben wird, sich jedoch in Wirklichkeit schon bei Richardsons »submissiveness«-Modell findet[26]. Bei nichtlinearen partiellen Gleichgewichtskurven ist das Problem, eine Lösung des System ((5), (6)) entsprechenden Systems zu garantieren, nicht ganz so trivial wie im linearen Fall, wo nur parallellaufende partielle Gleichgewichtsgeraden ausgeschlossen werden müssen. Leider haben sich alle Autoren, welche Rüstungswettlaufmodelle mit nichtlinearen partiellen Gleichgewichtskurven auf das Vorhandensein von Gleichgewichtslagen untersuchen, an den graphischen Ansatz von Burns gehalten[27] und auf die Angabe eines formalen Modells entsprechend dem Richardsonschen System ((1), (2)) verzichtet[28]. Daß das in der Regel an ihrem von dem Richardsons verschiedenen, eher von der Entscheidungstheorie ausgehenden Ansatz liegt, der sie wegen der Schwierigkeiten, die sie mit dem Vergleich des Nutzens der Rüstung mit dem ziviler Produktion und zivilen Konsums haben, nicht zu der parametrischen Formulierung der partiellen Gleichgewichtskurve eines Staates vordringen läßt, ist hier Nebensache. Festzuhalten bleibt, daß die Notwendigkeit der Verallgemeinerung des Richardsonschen Kriteriums erkannt zu sein scheint, daß aber die Durchführung bislang bei der illustrativen Verwendung von Graphiken mit Schnittpunkten der partiellen Gleichgewichtskurven als Gleichgewichtslagen stehengeblieben ist[29].

Insgesamt läßt sich mithin feststellen, daß in der Gruppe der hier besprochenen Arbeiten ein Rüstungswettlauf genau dann eine Gleichgewichtslage hat, wenn es einen Punkt gibt, *in dem die Rüstung beider am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten konstant* bleibt, und daß der Rüstungswettlauf im Gleichgewicht genau dann ist, wenn er sich *in einem derartigen Punkt* befindet[30]. Formale Kriterien für das Vorhandensein eines solchen Punktes liegen nur in einem Sonderfall vor, aber die Möglichkeit der Verallgemeinerung ist allgemein erkannt. Das Fehlen einer Durchführung hat seine Ursache in dem Mangel an komplexeren Modellen für Rüstungswettläufe, als es das Richardsonsche Modell ist, bzw. an der Unlust oder Unfähigkeit der erwähnten Autoren, von den wenigen umlaufenden Weiterentwicklungen dieses Modells Gebrauch zu machen.

### 2.2.2 *Gebrauch des Terms im Sinne der Abschreckungstheorie*

Im vorigen Abschnitt war von einem Gleichgewicht oder einer Gleichgewichtslage eines Rüstungswettlaufs bei solchen Punkten (charakterisiert durch eine Kombination von x- und y-Werten, den Werten der beiderseitigen Rüstung) *die Rede, in denen sich* die Rüstung beider Seiten nicht änderte; Gleichgewicht wurde also durch diejenigen *Variablen definiert, deren Veränderung den untersuchten Prozeß* darstellt. Ganz anders verhält es sich mit den hier zu behandelnden Definitionen, nach denen ein Rüstungswettlauf genau dann im Gleichgewicht ist, wenn die strategische Situation zwischen den beteiligten Staaten durch ein »Gleichgewicht des Schreckens« gekennzeichnet, ihre gegenseitige Abschreckung im Gleichgewicht ist. Letzteres ist aber genau dann der Fall, wenn kein Staat den anderen im ersten Schlag seiner nuklearen Streitmacht entwaffnen kann und damit unakzeptablen Schaden für sich selbst im Kriegsfall ausschließen kann[31]. Alternative Formulierungen des gleichen Sachverhalts sind, daß keine Seite die andere nuklear erpressen kann[32] oder daß beide Seiten über eine »second-strike-assured-destruction-capability« verfügen[33]. Hier ist überhaupt nicht mehr gefordert, daß die Rüstung beider Seiten stillstehen muß, damit der Rüstungswettlauf sich im Gleichgewicht befindet, sondern der Rüstungswettlauf kann *in prinzipiell* unendlich großen Teilflächen der Rüstungs-(x-, y-)Ebene ablaufen und dennoch nach dieser Definition *im Gleichgewicht sein.*
Anwendung findet diese Definition des Gleichgewichts bei Moberg und Hansen. Nach *Moberg*[34] *trennt für den Staat A eine bestimmte Kurve* in der Rüstungsebene diejenigen x-, y-Kombinationen, für die A die Möglichkeit eines entwaffnenden ersten Schlags hat, von denjenigen Punkten der Ebene, für die das nicht der Fall ist; eine entsprechende Kurve existiert für den Staat B[35]. Wenn sich die beiden Kurven gar nicht schneiden, dann hat der Rüstungswettlauf keine Gleichgewichtslage (formale Kriterien hierfür fehlen wieder); schneiden sie sich dergestalt, daß es ein Flächenstück gibt, bei dessen x-, y-Kombinationen keiner Seite ein entwaffnender erster Schlag möglich ist, dann ist ein Rüstungswettlauf zwischen den beiden Staaten genau dann im Gleichgewicht, wenn der ihn in der Rüstungsebene repräsentierende Punkt sich in dem betreffenden Flächenstück befindet.

Eine noch simplere Definition verwendet Hansen, bei dem Gleichgewicht in einem Rüstungswettlauf genau dann herrscht, wenn beide Seiten voneinander den gleichen Anteil (an Waffen, Industrie und Bevölkerung) zerstören können, ohne daß das auch noch in einem zweiten Schlag der Fall sein müßte[36] Nach dieser Definition existiert in der Rüstungsebene eine Kurve, die bei gegebenem y (x) angibt, wie groß x (y) sein muß, damit das Kriterium erfüllt ist. Jeder Rüstungswettlauf zwischen den beiden betreffenden Staaten befindet sich danach genau dann im Gleichgewicht, wenn der ihn repräsentierende Punkt auf dieser Kurve liegt.

Ohne daß ich der Diskussion in 2.5 vorgreifen möchte, fallen doch schon bei oberflächlicher Betrachtung eine Reihe von Problemen der besprochenen Definitionen ins Auge. Das erste will ich nur antippen, da es in den Kontext der Abschreckungstheorie gehört und dort ja auch behandelt wird. Es scheint mir nicht ganz selbstverständlich, die aufgrund des akkumulierten Rüstungsmaterials gesicherte Möglichkeit zum zweiten Schlag als Kriterium des Gleichgewichts der beiderseitigen Abschreckung zu verwenden, solange nicht beide Seiten von der Entschlossenheit des jeweiligen Gegners überzeugt sind[37]. Die Glaubwürdigkeit der beiderseitigen Abschreckungsdrohungen hängt aber nicht unmittelbar vom jeweiligen Vernichtungspotential ab.

Davon abgesehen, daß der Begriff der »Abschreckung« ohnehin nur auf eine ganz begrenzte Zahl von Rüstungswettläufen anwendbar ist, und unter Mißachtung der erwähnten Problematik der Glaubwürdigkeit und Entschlossenheit, ist die Frage danach, ob ein Staat einen zweiten abschrecken kann, nur eine Frage nach dem Ausgang eines möglichen Krieges zwischen den beiden Staaten bei der gegebenen Kombination der beiderseitigen Rüstungen. Gäbe es eine surjektive Abbildung der Menge aller möglichen x-, y-Kombinationen auf die Menge aller möglichen Kriegsresultate, dann wäre die Verwendung der hier vorgestellten Gleichgewichtsdefinitionen unproblematisch. Man könnte in der Rüstungsebene ohne weiteres diejenigen Punkte ausgrenzen, bei denen der Kriegsausgang unabhängig vom Angreifer beiderseits unakzeptabel ist, und das Kriterium der im Gleichgewicht befindlichen Abschreckung könnte in Ausdrücken der Rüstungsvariablen x und y umformuliert werden[38]. Da eine solche surjektive Abbildung zur Zeit nur unter unakzeptabel vereinfachenden Annahmen angegeben werden kann[39], die erwähnte Umformulierung also nicht möglich ist, entscheiden alle möglichen mehr oder weniger intuitiven Kriterien darüber, ob ein Rüstungswettlauf im Gleichgewicht ist, nur nicht die Werte der Variablen x und y, und zwar ohne daß ein formales Modell zur Beschreibung und Erklärung des Rüstungswettlaufs vonnöten wäre.

## 2.3 *Die Stabilitätseigenschaften von Gleichgewichten in der Literatur zu Rüstungswettläufen*

### 2.3.1 *Verwendung der Terme für die Stabilitätseigenschaften entsprechend dem technischen Gebrauch*

In Abschnitt 2.2.1 ist die notwendige und hinreichende Bedingung dafür vorgestellt worden, daß ein Rüstungswettlauf eine Gleichgewichtslage hat, und die Koordinaten des Gleichgewichtspunktes in der Rüstungsebene wurden angegeben. Zur Ermittlung

der Stabilitätseigenschaft des Gleichgewichts geht Richardson von der Überlegung aus, daß ein stabiles Gleichgewicht vorliegt, das System nach einer Auslenkung also wieder in dieselbe Gleichgewichtslage zurückkehrt, wenn es in der Umgebung rechts und oberhalb von dem Gleichgewicht Punkte mit $dx/dt < 0$ und $dy/dt < 0$ gibt. Umgekehrt ist das Gleichgewicht labil, wenn in der gleichen Umgebung Punkte in der Rüstungsebene existieren, für die $dx/dt > 0$ und $dy/dt > 0$ gilt. Da aber $dx/dt > 0$ oberhalb der Geraden (3) und $dy/dt > 0$ rechtsseitig der Geraden (4), muß Gerade (4) eine größere Steigung haben als Gerade (3), damit die Bedingung für labiles Gleichgewicht erfüllt ist, und die Steigung von (3) muß größer sein als die von (4), wenn stabiles Gleichgewicht vorliegen soll. Setzt man die Koeffizienten von (3) und (4) ein, dann erhält man als notwendige und hinreichende Bedingung für stabiles Gleichgewicht $a/k > l/b$ oder $ab > kl$ und für labiles Gleichgewicht $l/b > a/k$ oder $kl > ab$[40].
Diese Kriterien für labiles und stabiles Gleichgewicht haben zwei kleine Schönheitsfehler: Erstens fehlt der Fall des neutralen Gleichgewichts, und zweitens sind sie in zweierlei Hinsicht ein Spezialfall. Sie sind nur auf den ersten Quadranten eines mit dem Ursprung in den Gleichgewichtspunkt verschobenen Koordinatensystems anwendbar (was für Rüstungswettläufe natürlich ausreicht), und sie gelten nur bei linearen partiellen Gleichgewichtskurven. Diesen Mängeln will ich ganz kurz abhelfen.
Beim neutralen Gleichgewicht ist das besonders einfach[41]. Die Kriterien für stabiles und labiles Gleichgewicht lassen als Kriterium für neutrales Gleichgewicht nur noch $a/k = l/b$ übrig, was bedeutet, daß (3) und (4) identisch sein müssen, da die beiden Geraden ja nicht parallel laufen dürfen, sonst gäbe es gar keine Gleichgewichtslage. Dann gilt aber $a = l$, $k = b$, $g = h$, und der Rüstungswettlauf ist bei beliebigen Verschiebungen entlang der Geraden (3) stets im Gleichgewicht.
Die zweifache Verallgemeinerung zur Ausmerzung des zweiten Schönheitsfehlers erfolgt unter der Voraussetzung, daß $P_1(x_1, y_1)$ Gleichgewicht heißt, wenn dieser Punkt Schnittpunkt zweier partieller Gleichgewichtskurven beliebiger Form ist, wodurch auch mehrere Gleichgewichtslagen ein und desselben Rüstungswettlaufs zugelassen werden. $P_1$ ist genau dann ein stabiles Gleichgewicht, wenn es ein $\delta$ und ein $\varepsilon$ gibt ($\delta$ und $\varepsilon$ auch negativ zugelassen), so daß gilt: $(\delta/|\delta|)d(x_1 + \delta)/dt < 0$ und $(\varepsilon/|\varepsilon|)d(y_1 + \varepsilon)/dt < 0$. $P_1$ ist genau dann ein labiles Gleichgewicht, wenn es ein $\delta$ und ein $\varepsilon$ gibt, so daß gilt: $(\delta/|\delta|)d(x_1 + \delta)/dt > 0$ und $(\varepsilon/|\varepsilon|)d(y_1 + \varepsilon)/dt > 0$. Die Verallgemeinerung des Kriteriums für neutrales Gleichgewicht ist etwas komplizierter und erfolgt deshalb erst in 2.4.
Richardsons Diskussion der Stabilitätseigenschaften des Gleichgewichts mit Hilfe der Wurzeln der charakteristischen Gleichung eines aus System ((1), (2)) durch Verschiebung des Koordinatenursprungs in den Gleichgewichtspunkt erhaltenen Systems[42] bringt keine neuen Aufschlüsse über die Stabilitätsfälle, sondern dient in erster Linie der Untersuchung des Verhaltens des Rüstungswettlaufs in der Umgebung des Gleichgewichtspunktes. Leider beschränkt er sich dabei auf die Fälle reeller und verschiedener Wurzeln, weil das die wichtigsten Fälle bei Rüstungswettläufen seien[43]. Eine vollständige Aufstellung aller in Richardsons Rüstungswettlaufmodell möglichen Fälle von Wurzeln der charakteristischen Gleichung mit dem dabei auftretenden Verhalten des Systems hat erst Chase geliefert[44].

So wie bei Richardsons Bedingung für Gleichgewicht, gilt auch für seine Behandlung der Stabilitätseigenschaften der Gleichgewichte von Rüstungswettläufen, daß alternative formale Kriterien in der nachfolgenden Literatur nicht entwickelt werden, was für lineare partielle Gleichgewichtskurven ja auch gar nicht möglich ist; hier werden lediglich Richardsons Ungleichungen auf die Parameter der jeweiligen Gleichgewichtsgeraden angewandt[45]. Einer Ergänzung durch Kriterien für Rüstungswettläufe mit nichtlinearen partiellen Gleichgewichtskurven steht der schon in 2.2.1 konstatierte Umstand entgegen, daß alle Autoren, die als Rüstungswettlaufmodelle Systeme von Differentialgleichungen höherer Ordnung oder nichtlinearen Differentialgleichungen verwenden, sich um Gleichgewicht und Stabilität nicht kümmern[46] und daß die anderen sich wie bei der Bestimmung von Gleichgewichten an die graphische Untersuchung halten, ohne sich über die allgemeine parametrische Form ihrer partiellen Gleichgewichtskurven zu äußern. Formale Stabilitäts- bzw. Instabilitätskriterien für die Parameter dieser Kurven können also nicht gegeben werden, und man beschränkt sich auf die schon bei Richardson zur Illustration verwandte optische Inspektion der Gleichgewichtskurven[47], genauer, ihrer Steigungen im jeweiligen Gleichgewichtspunkt. Stabil heißt ein Gleichgewicht dabei, wenn im Gleichgewichtspunkt die Steigung der partiellen Gleichgewichtskurve $dx/dt = 0$ größer ist als die von $dy/dt = 0$; ist die Steigung von $dy/dt = 0$ im Gleichgewichtspunkt größer als die von $dx/dt = 0$, dann ist das Gleichgewicht instabil[48].

### 2.3.2 *Nichttechnische Definitionen der verschiedenen Stabilitätseigenschaften*

Bei der Literatur, die nicht in dem technischen Sinne des vorhergehenden Abschnitts von der Stabilität des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs spricht, lassen sich drei dominante Arten der Verwendung des Terms unterscheiden. Bei den ersten beiden ist »Stabilität« nicht mehr eine Eigenschaft des Gleichgewichts, sondern des Rüstungswettlaufs selbst und wird einmal gleichgesetzt mit dem Gleichgewicht der Abschreckung wie in 2.2.2 definiert und andererseits mit der Unempfindlichkeit der internationalen Situation, in welcher der Rüstungswettlauf abläuft, gegen Störungen aller Art. Zwischen diesen beiden Gruppen sind die Unterschiede etwas fließend – je nachdem, wieweit die Krisenanfälligkeit der internationalen Situation mit von einem Gleichgewicht der Abschreckung abhängig gemacht wird, ist die Zuordnung eines Autors zur zweiten Gruppe mehr oder weniger anfechtbar. Beide Sprachgebräuche können jedoch leicht von dem dritten abgesetzt werden, der Stabilität wieder als Eigenschaft von Gleichgewichten auffaßt.

In der ersten Variante des Gebrauchs von »Stabilität« in der nichttechnischen Literatur wird der Term so verwandt wie »Gleichgewicht« in 2.2.2, ein Rüstungswettlauf ist also stabil, wenn die Abschreckung stabil (oder im Gleichgewicht) ist, das heißt wieder, daß beide Seiten über die Fähigkeit zum zweiten Schlag verfügen müssen[49]. Stabilitätsfälle (labil, neutral) gibt es hier nicht, sondern »Stabilität« ist eine Mischung aus klassifikatorischem und komparativem Konzept[50]. Während Rüstungswettläufe ohne beiderseitige second-strike-assured-destruction-capability nicht stabil (»instabil«) heißen, kann ein Rüstungswettlauf mehr oder weniger stabil sein, je nachdem, in welchem

Ausmaß die gegenseitige Zerstörung im zweiten Schlag gesichert ist. Es ist geradezu das Hauptthema der hier unter diesem ersten Sprachgebrauch zusammengefaßten Literatur, alle möglichen Variablen, von der Tatsache der beiderseitigen Aufrüstung bis hin zu den im Rüstungswettlauf erreichten absoluten Rüstungsständen[51], darauf zu befragen, ob sie die gegenseitige Abschreckung »stabiler« machen oder nicht. Besonders beliebt sind dabei technologische Errungenschaften[52], wie die Verwundbarkeit von Abschreckungswaffen[53] und in letzter Zeit besonders die Installierung von ABM- und MIRV-Systemen[54], deren Auswirkung auf die Stabilität (im oben definierten Sinn) der Abschreckung (und damit des Rüstungswettlaufs) heftig umstritten ist.

In der zweiten Bedeutung wird ein Rüstungswettlauf als stabil bezeichnet, wenn er in einer internationalen Situation vor sich geht, die selbst als stabil bezeichnet wird. Dazu gehört, daß keine am Rüstungswettlauf beteiligte Seite einen Anreiz zur Aggression hat. Ein solcher Anreiz kann auch fehlen, wenn keine stabile beiderseitige Abschreckung existiert[55]. Die einschlägigen Auslassungen über derartige stabile Rüstungswettläufe zeichnen sich alle nicht durch übertriebene Präzision aus[56], aber soviel läßt sich sagen: die internationale Situation muß das sein, was man relativ »entspannt« zu nennen pflegt[57]. Am ehesten entspricht dieser Verwendung von »Stabilität« noch die Definition Pruitts, der »Stabilität« als die Unwahrscheinlichkeit von »sudden change« definiert, also in Anlehnung an Hermanns Krisendefinition als Unwahrscheinlichkeit von Krisen[58], womit hier natürlich in erster Linie gewaltsame Lösungen von Konflikten gemeint sind.

Die dritte nichttechnische Stabilitätsdefinition von Snyder bezieht sich auf Gleichgewichte der Abschreckung wie in 2.2.2 definiert. Wie bei den beiden vorhergehenden Definitionen gibt es keine Stabilitätsfälle, sondern Stabilität ist wieder ein komparatives oder gar metrisches Konzept. Bekanntlich war ein Rüstungswettlauf in 2.2.2 im Gleichgewicht genau dann, wenn der ihn in der Rüstungsebene repräsentierende Punkt sich innerhalb einer Fläche befand, für deren sämtliche geordneten Paare der Form (x, y) ein erster Schlag für keine am Rüstungswettlauf beteiligte Seite profitabel war. Snyder definiert nun, daß ein derartiges Gleichgewicht um so stabiler ist, je schwieriger es für beide Seiten ist, den Punkt, der den Rüstungswettlauf repräsentiert, aus dieser Gleichgewichtszone zu befördern, je schwieriger also der Erwerb der Fähigkeit ist, den Gegner im ersten Schlag zu entwaffnen[59]. Den historischen Punkt an den Rand der Gleichgewichtszone zu befördern, ist um so schwieriger, je weiter er von diesem entfernt ist, das heißt aber, je höher die Rüstungen beider Seiten sind[60] und je größer der Vorteil der Defensive (»attacker-to-target ratio«, von Snyder auch »strukturelle Stabilität« genannt) ist[61]. Maximale Stabilität des Gleichgewichts ist bei beiderseits völlig unverwundbaren Abschreckungswaffen hergestellt[62], da eine noch so große Steigerung der Zahl der Angriffswaffen einer Seite nichts an dem möglichen Gegenschlag der anderen Seite ändert.

Angesichts der Tatsache, daß die hier vorgestellten Definitionen der »Stabilität« eines Rüstungswettlaufs oder seines Gleichgewichts gar nichts damit zu tun haben, ob die Rüstungen beider Seiten stillstehen oder nicht, und umgekehrt die formalen Kriterien aus 2.3.1 keine Aussagen darüber zulassen, ob ein Rüstungswettlauf oder sein Gleichgewicht von den in diesem Abschnitt referierten Autoren als stabil bezeichnet würde, daß sich also die beiden Definitionstypen nicht decken und mithin Rüstungswettläufe möglich sind, die nach der einen Definition stabil sind, oder im stabilen Gleichgewicht sind, nach der anderen aber nur ein labiles Gleichgewicht haben, wäre es höchst verwunderlich, wäre diese sprachlich gleichartige Behandlung völlig unterschiedlicher Sachverhalte bislang unbemerkt geblieben. Als erster forderte McGuire eine entschiedene sprachliche Trennung der beiden Sachverhalte[63], ohne daß sich eine solche inzwischen durchgesetzt hätte. Die Ursache dafür ist wohl, daß die Rede von der »Stabilität« internationaler Situationen schon so sehr zum journalistischen und alltagssprachlichen Allgemeingut gehört, daß die Standardisierung eines Sprachgebrauchs, der den erwähnten Unterschied beibehält, ziemlich schwerfallen dürfte. Viel wäre schon gewonnen, wenn wenigstens im Zusammenhang von mehr oder weniger stabilen internationalen Situationen oder stabiler Abschreckung nicht mehr automatisch auch von einem »stabilen Rüstungswettlauf« die Rede wäre. Bisher lassen sich jedenfalls die ermutigenden Beispiele einer differenzierenden Redeweise an den Fingern abzählen[64].

### 2.4 *Zusammenfassende Formalisierung der Kriterien für Gleichgewicht von Rüstungswettläufen und seine Stabilitätseigenschaften*

Nach dieser kurzen Zusammenfassung der Literatur zu Gleichgewichten von Rüstungswettläufen und ihren Stabilitätseigenschaften könnte ich nun, wäre die Literaturübersicht der einzige Zweck dieses Aufsatzes, darangehen, die Eignung der verschiedenartig definierten Konzepte zur Erklärung des Ausgangs von Rüstungswettläufen zu erörtern; im folgenden Abschnitt 2.5 werde ich das auch tun und zu dem Ergebnis kommen, daß im gegenwärtigen Stadium sowohl die technischen wie auch die mehr vom sprachlichen Vorverständnis getragenen Definitionen für den genannten Zweck ungeeignet sind, und ich werde zeigen, woran das liegt. Im Teil 3 werde ich dann untersuchen, welche Schritte jeweils notwendig sind, um sowohl die Definitionen der einen wie auch die der anderen Gruppe zu Erklärungszwecken heranziehen zu können, und dort will ich auch begründen, warum ich im Teil 4 einer Weiterentwicklung der klassischen Definition des statischen Gleichgewichts aus der Mechanik den Vorzug gebe. All diesen Ergebnissen und Begründungen greife ich hier vor mit einer Formalisierung der acht Definitionen über das Gleichgewicht eines dynamischen Systems und dessen Stabilitätseigenschaft, die auf rein verbalem Niveau schon im Überblick in 2.1.2 vorgestellt wurden. Der Zweck dieser Formalisierung ist es, den Vergleich dieser Definitionen, von denen im folgenden Abschnitt gezeigt wird, daß die in ihnen definierten Eigenschaften selbst zur Erklärung des Ausgangs von Rüstungswettläufen noch nicht ausreichen, mit den Gleichgewichtsdefinitionen aus Teil 4 zu erleichtern.
Vor der Formalisierung noch eine methodische Vorbemerkung: Um gestufte Prädikate zu vermeiden, formalisiere ich nicht unmittelbar, daß im Gleichgewicht zu sein eine Eigenschaft des Systems (Rüstungswettlaufs) ist und stabil zu sein eine Eigenschaft des Gleichgewichts, sondern bilde jeweils die zusammengesetzten Eigenschaften, im stabilen Gleichgewicht zu sein, ein labiles Gleichgewicht zu haben etc.

Die verwandten Prädikatenkonstanten sind:

| | | |
|---|---|---|
| S | (einstellig): | ... ist ein System (Rüstungswettlauf) |
| P | (einstellig): | ... ist ein Zustand (Punkt) |
| G | (einstellig): | ... hat eine Gleichgewichtslage |
| Gl | (einstellig): | ... ist im Gleichgewicht |
| SG | (einstellig): | ... hat ein stabiles Gleichgewicht |
| LG | (einstellig): | ... hat ein labiles Gleichgewicht |
| NG | (einstellig): | ... hat ein neutrales Gleichgewicht |
| SGl | (einstellig): | ... ist im stabilen Gleichgewicht |
| LGl | (einstellig): | ... ist im labilen Gleichgewicht |
| NGl | (einstellig): | ... ist im neutralen Gleichgewicht |
| Z | (zweistellig): | System ... befindet sich im Zustand ... |

Als Subjektsvariablen werden verwandt: x, y. Zur Verkürzung der Definitionen sei, wenn Py, $y_i$ die i-te Komponente des n-Tupels y.

3. System x hat eine stabile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (SGx \leftrightarrow Gx \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(y_i + \delta)/dt < 0 \wedge \\ \wedge\ d(y_i - \delta)/dt > 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

4. System x hat eine labile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (LGx \leftrightarrow Gx \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(y_i + \delta)/dt > 0 \vee \\ \vee\ d(y_i - \delta)/dt > 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

5. System x hat eine neutrale Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (NGx \leftrightarrow Gx \wedge \bigvee i \bigwedge \delta(d(y_i + \delta)/dt = 0 \wedge \\ \wedge\ d(y_i - \delta)/dt = 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

6. System x ist im stabilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y(Sx \wedge Py \rightarrow (SGlx \leftrightarrow Glx \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(y_i + \delta)/dt < 0 \wedge \\ \wedge\ d(y_i - \delta)/dt > 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

7. System x ist im labilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y(Sx \wedge Py \rightarrow (LGlx \leftrightarrow Glx \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(y_i + \delta)/dt > 0 \vee \\ \vee\ d(y_i - \delta)/dt < 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

8. System x ist im neutralen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y(Sx \wedge Py \rightarrow (NGlx \leftrightarrow Glx \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(y_i + \delta)/dt = 0 \wedge \\ \wedge\ d(y_i - \delta)/dt = 0 \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

### 2.5 *Die gegenwärtigen Chancen der empirischen Überprüfung von Erklärungen*

Wie in der Einleitung kurz dargelegt, entspringt dieser Aufsatz dem Anliegen, das Resultat von Rüstungswettläufen, speziell zwischenstaatliche Gewaltanwendung, durch Eigenschaften des Ablaufs des Rüstungswettlaufs zu erklären zu versuchen. Eine solche Erklärung ist im Einzelfall geleistet, wenn aus bestimmten Annahmen ein allgemeiner

Satz abgeleitet worden ist, welcher den Zusammenhang zwischen einer bestimmten Eigenschaft des Rüstungswettlaufs und einem bestimmten Resultat festlegt und wenn singuläre Sätze für den Einzelfall das Vorliegen der bestimmten Eigenschaft des Rüstungswettlaufs und des bestimmten Resultats konstatieren[65]. Die logische Arbeit der Theoriebildung setze *ich* hier als vollzogen voraus. Ob sich aber die logisch korrekte Erklärung auch in Übereinstimmung mit der Realität befindet, kann nur danach beurteilt werden, ob der zur Erklärung herangezogene Allsatz, das »Naturgesetz«, durch eine Reihe fehlgeschlagener Falsifikationsversuche in gewissem Umfang konfirmiert worden ist. Bei den dazu notwendigen empirischen Überprüfungen des Allsatzes ist es erforderlich, daß mit Hilfe singulärer Sätze darüber entschieden werden kann, ob ein bestimmter Rüstungswettlauf die jeweils zur Erklärung herangezogene Eigenschaft aufweist und das zu erklärende Resultat nach sich zieht, und das setzt voraus, daß sowohl für die Eigenschaft des Rüstungswettlaufs als auch für das jeweilige Resultat Operationaldefinitionen gegeben sind. Hier interessiert mich nur die Eigenschaft des Rüstungswettlaufs, nämlich die, im Gleichgewicht zu sein oder eine Gleichgewichtslage zu haben und die jeweilige Stabilitätseigenschaft einer etwa vorhandenen Gleichgewichtslage.

Nun bin ich der Auffassung, daß Erklärungen der beschriebenen Art mit Hilfe der Definitionen von »Gleichgewicht« und »Stabilität« aus 2.2.2 und 2.3.2 präzise deshalb nicht möglich sind, weil es sich nicht um Operationaldefinitionen handelt. Sieht man einmal von Snyders Definition der »Stabilität« eines Gleichgewichts der Abschreckung und von dem komparativen Gebrauch von »Stabilität« ab, dann werden »stabiler Rüstungswettlauf« und »im Gleichgewicht befindlicher« Rüstungswettlauf synonym gebraucht, und das Kriterium dafür, daß ein Rüstungswettlauf »stabil« oder »im Gleichgewicht« ist, ist die beiderseitige Fähigkeit zum vernichtenden zweiten Schlag. Dieses Kriterium klingt präzise, ist es jedoch mitnichten. Zu seiner Anwendung muß zunächst die schon in 2.2.2 erwähnte surjektive Abbildung der Menge der Punkte der Rüstungsebene auf die Menge der möglichen Kriegsausgänge vorliegen; genaugenommen müssen es sogar zwei solche Abbildungen sein, eine für den Fall einer Aggression von A und eine für Bs ersten Schlag, wenn man unterschiedliche Wirkung von Offensive und Defensive voraussetzt, was wohl realistisch ist. Heißen diese beiden Funktionen $f_A(x, y)$ und $f_B(x, y)$, dann liegt ein Gleichgewicht des Rüstungswettlaufs für alle $(x, y)$ (Punkte der Rüstungsebene) genau dann vor, wenn $f_A(x, y)$ für A und $f_B(x, y)$ für B unakzeptabel ist.

Ich nehme an, die Schadensfunktionen $f_A(x, y)$ und $f_B(x, y)$ seien bekannt. Aber auch dann ist das Kriterium noch nicht operational; es steht und fällt damit, welche Werte der Schadensfunktionen im Einzelfall für A und B akzeptabel sind. Darüber aber gibt die Abschreckungstheorie keine Auskunft. Zwar gibt es eine ausgedehnte Spekulation darüber, welche Maßnahmen, vor allem technische Neuerungen, einen zweiten Schlag mehr oder weniger kräftig ausfallen lassen[66], aber wann genau er kräftig genug ist, um einen potentiellen Aggressor abzuschrecken, läßt sich offenbar nicht festlegen. Auch das Konzept der »assured destruction« hat da keine Besserung gebracht[67] und noch viel weniger die schwammige Nixonsche »strategic sufficiency«. Mit noch so viel Wortgeklingel läßt sich das Problem nicht aus der Welt schaffen, daß die Präferenzordnung der Entscheidungsträger auf beiden Seiten, was den höchsten Grad akzeptabler Zerstörung angeht, nicht bekannt ist, vielleicht nicht einmal ihnen selbst. Darüber hinaus ist sie nicht konstant, sondern hängt von der Spannung im internationalen System ab[68]; ein Zerstörungsgrad, der in »normalen« Zeiten als völlig unannehmbar gilt, kann von der gleichen Entscheidungseinheit in Krisensituationen, welche ihre zentralen Werte bedrohen, durchaus in Kauf genommen werden. Für den Analytiker besteht der einzige Ausweg darin, die Grenze des unabhängig von der internationalen Situation maximalen akzeptablen Werts der Schadensfunktion (Geisteskranke dabei nicht berücksichtigt) so hoch anzusetzen, daß er seine Akzeptierung durch eine Entscheidungseinheit mit Sicherheit ausschließen kann. Dabei entgehen ihm dann aber große Mengen von Rüstungswettläufen, die er aufgrund der beiderseits vorhandenen »assured-destruction-capability« nach der Intention des Kriteriums »stabil« oder »im Gleichgewicht befindlich« nennen müßte. Kenner der Abschreckungsliteratur werden hier auch noch die Berücksichtigung der Glaubwürdigkeit der Abschreckung vermissen: Es ist durchaus möglich, daß $f_A(x, y)$ für A völlig unakzeptabel ist und dieser sich trotzdem zum ersten Schlag entschließt, weil er nicht daran glaubt, daß B mit dem vollen Gegenschlag antworten wird. Trotz beiderseitig öffentlich deklarierter und konstant gehaltener Präferenzen die Schadensfunktion betreffend und beiderseitiger Fähigkeit, den unakzeptablen zweiten Schlag auszuteilen, muß die Abschreckung nicht »stabil« sein. Da schon längst gezeigt ist, daß die in Anlehnung an die Abschreckungstheorie gebildete Definition von »stabilen« oder »im Gleichgewicht befindlichen« Rüstungswettläufen selbst unter der Annahme gegebener Schadensfunktionen nicht operational sind, will ich mich über diesen Punkt nicht länger verbreiten, sondern auf die Literatur verweisen[69].

Doch selbst wenn feststeht, welche Werte von $f_A(x, y)$ für A unakzeptabel sind, ist noch nicht die Form der Schadensfunktionen bekannt, die angeben, welchen Schaden A und B bei einem ersten Schlag von A bzw. B an Menschen, den Mitteln ihrer Existenzsicherung und an ihrer militärischen Rüstung nehmen. Zwar existieren speziell für Kriege mit Atomwaffen Modelle von Kriegsabläufen, welche, unter Berücksichtigung der vorhandenen Information über die Wirkung von Kernwaffenexplosionen[70], bei gegebenen technischen Eigenschaften des beiderseitigen Materials diese Kriegsergebnisse in Abhängigkeit von den militärschen Anfangsstärken, der Abfolge der Schläge, der Zahl der Raketen in jeder Salve und den in jeder Salve unter Feuer genommenen Zielen (»counterforce« oder »countervalue«) angeben[71]. Ich will hier nicht länger auf diese Modelle für Kriegsabläufe eingehen, soviel aber sei gesagt: Die meisten von ihnen beschränken sich darauf, das Kriegsergebnis als die beiderseitigen Restbestände von Raketen zu definieren; diese entscheiden jedoch nicht darüber, ob der Schaden akzeptabel ist. Darüber hinaus machen diese Modelle so vereinfachende Annahmen sogar über Waffentechnik und Einsatz von Atomwaffen, daß sie globale Kriege auf das analytische Maß von Artillerieduellen herunterschrauben[72]. So nützlich diese Modelle an anderer Stelle sein mögen, so ungeeignet sind sie, bei gegebenem x und y den Wert der gesamten für die Entscheidungsträger bei der Entscheidung über die Annehmbarkeit des Schadens relevanten Schadensfunktionen auch bei nur atomarer Rüstung festzulegen. Bei einem Gemisch aus atomarer und konventioneller Rüstung ist das erst recht unmöglich, und damit ist das Kriterium für »stabile« oder »im Gleichgewicht befindliche« Rüstungswettläufe nicht einmal dann operational, wenn A und B offen deklarieren, welchen Schaden sie als »Strafe« für einen ersten Schlag für akzeptabel halten.

Nachdem nun feststeht, daß »Gleichgewicht« eines Rüstungswettlaufs und seine »Stabilität« in der an die Abschreckungstheorie angelehnten Definition zur Zeit nicht zu Erklärungen des Ausgangs des Rüstungswettlaufs in dem zu Beginn dieses Abschnitts erläuterten Sinn herangezogen werden können, muß untersucht werden, ob das bei den technischen Definitionen von Gleichgewicht und seinen Stabilitätseigenschaften anders ist. Bei den Eigenschaften, eine Gleichgewichtslage zu haben oder eine stabile (labile, neutrale) Gleichgewichtslage zu haben, ist das uneingeschränkt der Fall, sofern man ein formales Modell hat, ein System von Gleichungen, von dem feststeht, daß es den betreffenden Rüstungswettlauf beschreibt und erklärt. Das Problem der Korrespondenz mit der Empirie und der Operationaldefinitionen ist hier völlig in den Bereich des Modells verbannt, und es ist eine Routineoperation, anhand der Kriterien der Definitionen 1, 3, 4 und 5 aus 2.4 zu entscheiden, ob der Rüstungswettlauf eine Gleichgewichtslage oder eine solche mit besonderen Eigenschaften hat.

Anders verhält es sich mit der Definition 2 aus 2.4. Hier kann sowohl anhand der Koordinaten des historischen Punktes und des den Rüstungswettlauf erklärenden Modells darüber entschieden werden, ob der Rüstungswettlauf im Gleichgewicht ist, als auch, als nachträglicher Test der Erklärungskraft des Modells, aus den empirischen Daten. Diese müssen dann, soll der Rüstungswettlauf im Gleichgewicht sein, einen Stillstand des Rüstungswettlaufs, also der beiderseitigen Rüstungen anzeigen. Ein Operationalisierungsproblem stellt sich hier nicht, dafür treten zwei andere Schwierigkeiten auf. Die erste entsteht dadurch, daß empirisch wohl keine Situation auffindbar ist, in der die Rüstungen beider Seiten über längere Zeit hinweg konstant bleiben, und man bei geringfügigen Schwankungen nicht weiß, ob sie eine Oszillation um die Gleichgewichtslage darstellen (stabiler Fall), die Fluchtbewegung aus einem labilen Gleichgewicht oder die zufälligen Schwankungen eines Systems ohne Gleichgewichtslage. Die zweite Schwierigkeit, in der man sich mit den technischen Definitionen 2, 6, 7 und 8 befindet, ist ein Widerspruch zwischen der Gleichgewichtsdefinition 2 und der Definition eines Rüstungswettlaufs. Definition 2 fordert nämlich, daß alle aufeinanderfolgenden Werte von x und y identisch sein müssen, während die Definition des Rüstungswettlaufs, mit der ich den dominanten Sprachgebrauch rekonstruiert habe[73], fordert, daß jeder Wert von x (y) größer sein muß als alle vorangehenden Werte von x (y). Wenn nun bei einer oder beiden Seiten im Rüstungswettlauf die Rüstung nicht mehr steigt, dann ist der Rüstungswettlauf zu Ende; ein im Gleichgewicht nach Definition 2 befindliches System ist also kein Rüstungswettlauf mehr. Das Gleichgewicht in dieser Definition ist schon der Ausgang des Rüstungswettlaufs und nicht eine der Eigenschaften seines Ablaufs, mit denen der Ausgang erklärt werden sollte[74].

Zusammenfassen kann man das Ergebnis der Untersuchung der Chancen von Erklärungen der oben beschriebenen Art folgendermaßen: Die Verwendung der in 2.4 in den Definitionen 1, 3, 4, 5 definieren atomaren Aussagen zu Erklärungszwecken ist völlig problemlos, sofern man ein geeignetes Modell zur Beschreibung und Erklärung von Rüstungswettläufen an der Hand hat. Die einzige der dort definierten atomaren Aussagen, die auch ohne gegebenes Rüstungswettlaufmodell verwandt werden kann, damit wohl die wichtigste der acht Aussagen, nämlich die zweite, befindet sich im Widerspruch zu der Definition von »Rüstungswettlauf«; eine notwendige Bedingung dafür, daß ein System ein Rüstungswettlauf ist, lautet, daß es nicht im Gleichgewicht sein darf. Wenn man mit den Aussagen 1, 3, 4 und 5 in technischer Bedeutung zur Erklärung des Ausgangs von Rüstungswettläufen nicht zufrieden ist, dann muß man sich um andere Kriterien für Gleichgewicht von Rüstungswettläufen und seine Stabilitätseigenschaften bemühen, stammten sie nun wieder aus der Abschreckungstheorie oder entwickelten sie die Kriterien der technischen Definitionen weiter. Der folgende Teil 3 zeigt, auf welche verschiedenen Weisen das geschehen kann und begründet meine Entscheidung für eine von ihnen.

## 3. *Zwei Wege zur Ermöglichung empirischer Tests*

Was bei der Definition von »Gleichgewicht« eines Rüstungswettlaufs in Anlehnung an die Abschreckungstheorie nottut, um den Ausgang des Rüstungswettlaufs dadurch erklären zu können, daß er im Gleichgewicht ist oder nicht, liegt nach den Ausführungen des letzten Abschnitts auf der Hand. Es geht zunächst darum, den Sprachgebrauch so zu standardisieren, daß ein Rüstungswettlauf »im Gleichgewicht« ist, wenn beide Seiten einander im zweiten Schlag unakzeptablen Schaden zufügen können. Anschließend muß dieses Kriterium operationalisiert werden durch Angabe von Schadensfunktionen $f_A(x, y)$ und $f_B(x, y)$ und der Präferenzen von A und B bezüglich der Schadensfunktionen. Bei jedem gegebenen Punkt $(x, y)$ ist dann entscheidbar, ob der Rüstungswettlauf im Gleichgewicht ist oder nicht.
An dieses Unterfangen will ich mich nicht machen, weil es sich um ein Forschungsprogramm für ganze Generationen von Wissenschaftlern handelt. Aber nicht nur die praktischen Schwierigkeiten halten mich davon ab, sondern auch eine Reihe von Überlegungen über den theoretischen Ertrag dieser Prozedur und der damit verbundenen Erklärungsmöglichkeiten, die, im Vergleich zu der zu investierenden Arbeit, mir nicht sonderlich groß erscheinen. Der erste Grund dafür ist, daß der Abschreckungsbegriff und noch viel mehr das damit zusammenhängende Konzept der »assured-destruction-capability«, der Fähigkeit zum vernichtenden zweiten Schlag, ganz spezifisch auf die strategische Situation zwischen atomar gerüsteten Supermächten zugeschnitten ist. Damit ist das Kriterium für Gleichgewicht von Rüstungswettläufen aber praktisch nur noch auf einen einzigen Rüstungswettlauf anwendbar, nämlich auf den gegenwärtigen zwischen der USA und der UdSSR. Weder die Rüstungswettläufe der Vergangenheit noch zeitgenössische Rüstungswettläufe zwischen atomar nicht hochgerüsteten Staaten (wie z. B. Israel–arabische Staaten, Volksrepublik China–Indien) sind damit faßbar.
Neben der beschränkten Anwendbarkeit und der nahezu unmöglichen Operationalisierung des Kriteriums spricht noch gegen seine weitere Verwendung, daß es die Behandlung des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs von dessen Erklärung durch ein Rüstungswettlaufmodell ablöst. Die Feststellung, daß ein Rüstungswettlauf im

Gleichgewicht ist, ist nach dem Kriterium der beiderseitigen Fähigkeit zum zweiten Schlag auch möglich, ohne daß ein den Rüstungswettlauf erklärendes Modell bekannt ist. Im Interesse einer systematischen Untersuchung sowohl der Abläufe als auch der Resultate von Rüstungswettläufen halte ich es nicht für ratsam, ohne Not auf die Forderung nach einer Erklärung der Abläufe von Rüstungswettläufen zu verzichten, zumal man sich dadurch der Möglichkeit beraubt, zu Aussagen über Gleichgewichtslagen und Stabilitätseigenschaften von Gleichgewichten und Gleichgewichtslagen zu kommen.

Das vierte Argument gegen einen Versuch der Operationalisierung des der Abschreckungstheorie entlehnten Kriteriums für das Gleichgewicht eines Rüstungswettlaufs ist, daß es sich dabei nicht eigentlich um eine Eigenschaft des Ablaufs des Rüstungswettlaufs, sondern viel eher selbst schon um eines seiner Resultate handelt, noch dazu um ein Resultat, dessen Zusammenhang mit einem der eigentlich zu erklärenden Resultate, nämlich der zwischenstaatlichen Gewaltanwendung, intuitiv sehr plausibel ist. Damit meine ich nicht, daß den einschlägigen Sätzen der Abschreckungstheorie schon Gesetzescharakter zukommt, aber daß ein Krieg eher ausbricht, wenn er für eine Seite profitabel ist, als wenn er für beide Seiten in hohem Maße unprofitabel ist, kann man schon fast als die eine Hälfte einer jener Tautologien ansehen, zu deren Hervorbringung simplifizierte entscheidungstheoretische Formulierungen fähig sind. Wie dem auch sei, fest steht, daß die »Reichweite« der Erklärungen, welche die Operationalisierung des Kriteriums ermöglichen würde, sich neben dem zu leistenden Arbeitsaufwand recht bescheiden ausnimmt. Das liegt daran, daß das hier behandelte Kriterium nicht für die aufeinanderfolgenden Werte der Rüstungen x und y formuliert ist, sondern seine Logik im Bereich der Auswirkungen dieser Rüstungen liegt. Zwar ist es in ein Kriterium für die Werte von x und y rückübersetzbar[75], aber die Überprüfung des behaupteten Zusammenhangs zwischen »assured destruction« und Gewaltanwendung ist für die Abschreckungstheorie weit wichtiger als für die Theorie der Rüstungswettläufe.

Nach dieser Verabschiedung der Definition des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs im Sinne der Abschreckungstheorie ist die Frage leicht beantwortet, in welcher Bedeutung dann das »Gleichgewicht« eines Rüstungswettlaufs und seine Stabilitätseigenschaften zur Erklärung der Resultate von Rüstungswettläufen herangezogen werden sollen: Es bleiben nur noch die technischen Definitionen des statischen Gleichgewichts und seiner Eigenschaften aus 2.4 übrig. Wie wir in 2.5 gesehen haben, sind jedoch beim gegenwärtigen Stand nur die Definitionen 1, 3, 4 und 5 brauchbar, die restlichen stehen im Widerspruch zu der Definition von »Rüstungswettlauf«. Dieser Widerspruch soll beseitigt werden durch den Versuch, Gleichgewicht von Rüstungswettläufen nicht im traditionellen Sinn als statisches Gleichgewicht, sondern als dynamisches Gleichgewicht zu definieren. Verschiedene derartige Definitionen werde ich im folgenden vierten Teil präsentieren.

Daß die Definitionen der Abschreckungstheorie zu Erklärungszwecken unbrauchbar sind, ist aber nicht der einzige Grund, daß ich mich zu einer Abwandlung der zum Teil unrealistischen, zum anderen Teil der Definition von »Rüstungswettlauf« widersprechenden Definitionen aus 2.4 entschlossen habe. Unabhängig von den übrigen Defekten des ersten Definitionstyps spricht auch ein Vergleich der anhand der beiden

Definitionen möglichen Erklärungen zugunsten des von mir gewählten Verfahrens. Während bei der ersten Definition von »Gleichgewicht« konstatiert wurde, daß nur Erklärungen von kurzer »Reichweite« mit hoher intuitiver Plausibilität möglich sind, gilt bei den Definitionen der zweiten Gruppe das Gegenteil. Da in diesen Definitionen sämtliche Eigenschaften des Ablaufs des Rüstungswettlaufs definiert werden, deren Vorliegen von den exakten Werten der beiderseitigen Rüstungen und ihrer zeitlichen Abfolge abhängt, sind hier Erklärungen für die Resultate von Rüstungswettläufen denkbar, die aus der bloßen Intuition schwerlich gewonnen werden könnten.

## 4. *Einige Definitionen dynamischen Gleichgewichts von Rüstungswettläufen und seiner Stabilitätseigenschaften*

### 4.1 *Vorbemerkung*

Bei den in 2.1.2 im Überblick und in 2.4 in einer Formalisierung präsentierten Definitionen der *Eigenschaften eines Rüstungswettlaufs, eine Gleichgewichtslage zu haben* oder im Gleichgewicht zu sein, so wie der Stabilitätseigenschaften dieser Gleichgewichte, handelte es sich um Definitionen, die der wohlbekannten Definition des statischen Gleichgewichts aus der klassischen Mechanik entsprachen. In einem solchen Gleichgewicht befindet sich ein System nur dann, wenn sich die Werte der Variablen, die seinen jeweiligen Zustand bestimmen, von selbst nicht mehr ändern, wenn also das System, räumlich gesprochen, sich in einer Ruhelage befindet. Diese Definitionen haben sich zur Untersuchung von Rüstungswettläufen in 2.5 als zu eng erwiesen; deshalb will ich jetzt einige Definitionen dynamischen Gleichgewichts für Rüstungswettläufe vorschlagen und ihre Kriterien im Rahmen einiger Rüstungswettlaufmodelle erarbeiten[76].
Im Gegensatz zu der Definition des statischen Gleichgewichts verlange ich dabei nicht, daß die Werte aller das untersuchte System beschreibenden Variablen sich nicht ändern dürfen, sondern stelle lediglich bestimmte Anforderungen an die Gleichförmigkeit ihrer Änderung in der Zeit. Hat man sich erst einmal zu diesem Schritt entschlossen, gibt es potentiell unendlich viele Definitionen dynamischen Gleichgewichts, da man ja jede noch so komplizierte Änderung der Werte der das System in seinem Zustand beschreibenden Variablen als ein solches Gleichgewicht dekretieren kann, sofern sie nur *einem angebbaren* Gesetz gehorcht. Aber zunächst empfiehlt es sich natürlich nicht, von dieser theoretischen Möglichkeit Gebrauch zu machen, sondern mit ganz einfachen Gesetzmäßigkeiten zu beginnen und vor einer weiteren Komplizierung zu überprüfen, ob solche Gleichgewichtsdefinitionen bereits ausreichen, um die Eigenschaft eines Rüstungswettlaufs, im Gleichgewicht zu sein oder eine Gleichgewichtslage zu haben, zur Erklärung seines Ausgangs verwendbar zu machen. Die Abschnitte 4.2 bis 4.4 präsentieren drei solcher einfacher Definitionen, nach denen dynamisches Gleichgewicht eines Rüstungswettlaufs genau dann vorliegt, wenn

1. die Zuwachsrate der Rüstung beiderseits konstant ist,
2. die Zuwachsraten der Rüstungen beider Seiten in einem konstanten Verhältnis stehen[77],

3. die Zuwachsrate der Rüstung beiderseits proportional der Zuwachsrate des jeweiligen Bruttosozialprodukts ist.

Bevor man sich nun an die Formalisierung dieser Definitionen dynamischer Gleichgewichte macht, muß daran erinnert werden, daß ohne Kenntnis formaler Modelle, die den jeweils untersuchten Rüstungswettlauf beschreiben und erklären, Aussagen darüber, ob der Rüstungswettlauf eine Gleichgewichtslage hat, ebensowenig möglich sind, wie über die Stabilitätseigenschaft eines Gleichgewichts; lediglich die Feststellung, daß sich der Rüstungswettlauf in einem Gleichgewicht befindet, ist ohne ein solches Modell erlaubt[78]. Damit steht die Fortführung dieser Arbeit vor einem gewissen Dilemma. Einerseits erscheint es unklug, den Vorteil, den der Übergang von Definitionen statischen Gleichgewichts zu solchen dynamischen Gleichgewichts bietet, durch einen Verzicht auf Kriterien für Gleichgewichtslagen und Stabilitätseigenschaften zu erkaufen. Andererseits setzt die Erarbeitung derartiger Kriterien ein formales Rüstungswettlaufmodell voraus, aber beim gegenwärtigen Stand der Forschung zu formalen Modellen zur Analyse von Rüstungswettläufen ist es nicht möglich, aus der Vielzahl der angebotenen Modelle eines als allgemeingültiges »Naturgesetz« hervorzuheben und die restlichen als widerlegt zurückzuweisen. Eine vollständige Auflösung dieses Dilemmas ist beim gegenwärtigen Erkenntnisstand nicht möglich; das äußerste, was man tun kann, ist die Herleitung der erwähnten Kriterien aus einem oder mehreren Rüstungswettlaufmodellen unter der Annahme, daß sie in der Lage sind, wenigstens einige Rüstungswettläufe zu beschreiben und zu erklären. Dabei muß man sich jedoch darüber im klaren bleiben, daß eine derartige Prozedur nur exemplarischen Charakter besitzt und nur dort unmittelbar forschungspraktische Relevanz hat, wo das jeweilige Modell nachgewiesenermaßen einen bestimmten Rüstungswettlauf beschreibt und erklärt.

Eingedenk dieser Beschränkung der praktischen Brauchbarkeit werde ich in den folgenden drei Abschnitten Kriterien für dynamisches Gleichgewicht nach den drei oben vorweggenommenen Definitionen und für seine Stabilitätseigenschaften aus dem »klassischen« Zwei-Nationen-Modell Richardsons und aus dem Rüstungswettlaufmodell Lagerstroms ableiten. Dieser Ableitung wird eine formalisierte Version der jeweiligen Definitionen vorausgehen. Für die beiden erwähnten Rüstungswettlaufmodelle habe ich mich aus den folgenden Gründen entschieden: Richardsons Modell[79] ist das wohl bekannteste Rüstungswettlaufmodell und ist von allen derartigen Modellen am vollständigsten auf die Kriterien für statische Gleichgewichte und ihre Stabilitätseigenschaften hin untersucht, so daß eine Vergleichsmöglichkeit für die Kriterien für dynamische Gleichgewichte gegeben ist. Lagerstroms Modell[80] andererseits ist im Vergleich zu dem Richardsons fast unbekannt, ich halte es jedoch für dasjenige deterministische Rüstungswettlaufmodell, das sich – ohne den Einbau exogener Variabler – bisher am weitesten von der literarischen Vorlage Richardsons entfernt hat.

Wie bereits erwähnt, kann darüber, ob ein bestimmter Rüstungswettlauf sich im Gleichgewicht befindet, nicht nur anhand der aus dem den Rüstungswettlauf beschreibenden Modell gewonnenen Kriterien und der momentanen Werte der seinen Zustand bestimmenden Variablen entschieden werden, sondern auch unmittelbar aus der zeitlichen Aufeinanderfolge dieser Werte. Diese Möglichkeit besteht auch bei den drei oben angedeuteten Definitionen dynamischen Gleichgewichts und hat auch hier zwei gewichtige Vorteile. *Der erste ist, daß man von »Gleichgewicht« auch sprechen kann,* ohne ein formales Modell für den betreffenden Rüstungswettlauf bei der Hand zu haben, auch wenn man mangels Gelegenheit zum Experiment nichts über Stabilitätseigenschaften sagen kann. Der zweite Vorteil besteht darin, daß auf diese Art eine Form von Test des jeweiligen Rüstungswettlaufmodells möglich ist, sofern man eines kennt, das den betreffenden Rüstungswettlauf beschreibt und erklärt. Man kann dann nämlich bei einem aus den empirischen Daten eines bestimmten Rüstungswettlaufs ermittelten Gleichgewicht überprüfen, ob an dieser Stelle das formale Modell eine Gleichgewichtslage vorhersagt und umgekehrt bei einer aus dem Modell abgeleiteten Gleichgewichtslage das Verhalten des empirischen Systems bei der Annäherung an jene darauf untersuchen, ob sich ein Gleichgewicht einstellt oder nicht.

Man darf dabei jedoch nicht erwarten, daß sich die empirisch erhaltenen Rüstungsdaten bis auf die letzte Stelle hinter dem Komma so verhalten, wie man das aufgrund der Definitionen erwarten müßte, daß also im Fall der ersten Definition eines dynamischen Gleichgewichts auf jeder Seite des Rüstungswettlaufs die Differenzen zweier aufeinanderfolgender Werte der Rüstung genau identisch sind. Deshalb wird in allen drei folgenden Abschnitten nach der Herleitung der Kriterien für das Vorhandensein von *Gleichgewichtslagen in beiden Modellen und für ihre Stabilitätseigenschaften nach* einem Kriterium für das Vorliegen eines Gleichgewichts gesucht, welches die zufälligen Schwankungen der beiderseitigen Rüstungen in Rechnung stellt. Eine solche unmittelbare Operationalisierung der Eigenschaften eines Rüstungswettlaufs, im Gleichgewicht zu sein, kann sich auf die einschlägigen statistischen Verfahren stützen, welche angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit unter der Annahme eines bestimmten Gleichgewichtstyps in einer bestimmten Lage ein gegebener Datensatz durch Zufallsabweichungen von der in der Annahme spezifizierten Lage produziert werden kann.

### 4.2 *Erste Definition dynamischen Gleichgewichts: Beiderseits konstante Zuwachsrate der Rüstungen*

#### 4.2.1 *Definitionen*

Nach der Definition in 2.4 waren die Gleichgewichtslagen von Rüstungswettläufen Punkte im Rüstungsraum; ein Rüstungswettlauf war im Gleichgewicht, wenn er sich in einem solchen Punkt (oder Zustand) befand, in dem alle Ableitungen aller Raumkoordinaten (der Rüstungen) nach der Zeit gleich Null sein mußten. Die Stabilitätseigenschaft *einer solchen Gleichgewichtslage wurde ermittelt, indem das Verhalten des* Systems in der Umgebung des betreffenden Punktes untersucht wurde. Die erste Definition dynamischen Gleichgewichts erweitert diese statische Definition dadurch, daß hier von Gleichgewicht die Rede ist, wenn die erste Ableitung nach der Zeit der Rüstungen aller am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten konstant bleibt, während alle höheren Ableitungen nach der Zeit gleich Null sind. Das bedeutet, daß auf allen Seiten die Differenzen je zweier aufeinanderfolgender Werte der Rüstung einen für jeden Staat charakteristischen konstanten Wert haben. In den Rüstungsraum übertragen, heißt das, daß sich der einen Rüstungswettlauf repräsentierende Punkt auf einer Geraden bewegt und in gleichen Zeitabschnitten gleiche Strecken entlang der Geraden zurücklegt. Eine derartige Gerade ist, sofern sie existiert, die Gleichgewichtslage des Rüstungswettlaufs, und er ist im Gleichgewicht, wenn er sich auf ihr befindet und ihr entlang bewegt.

Die Stabilitätseigenschaften einer derartigen Gleichgewichtslage werden wieder durch das Verhalten des Systems bei einer willkürlichen Auslenkung aus ihr untersucht: Kehrt das System nach der Auslenkung in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück, so ist diese stabil; entfernt es sich nach der Auslenkung noch weiter von der ursprünglichen Gleichgewichtslage, so ist sie labil. Befindet sich schließlich das System nach der Auslenkung in einer neuen, aber gleichartigen Gleichgewichtslage, bewegt sich also wieder mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Geraden im Rüstungsraum, dann hat das System eine neutrale Gleichgewichtslage. In den folgenden Formalisierungen sind die Kriterien für derartiges Verhalten des Systems analog zu denen in Abschnitt 2.4 durch die verschiedenen Ableitungen der das System beschreibenden Variablen nach der Zeit präsentiert. Zusätzlich zu den dort verwandten Prädikatskonstanten werden hier eingeführt:

L (einstellig): ... ist Gerade
I (zweistellig): ... inzidiert mit ...

z ist eine zusätzliche Subjektsvariable. Die einstelligen Prädikatskonstanten »... hat eine (stabile, labile, neutrale) Gleichgewichtslage« und »... ist im (stabilen, labilen, neutralen) Gleichgewicht« werden hier durch den Index d1 gekennzeichnet, um darauf hinzuweisen, daß es sich um die erste Definition dynamischen Gleichgewichts handelt.

1. System x hat eine Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (G_{d1}x \leftrightarrow \bigvee y(Ly \wedge \bigwedge z(Pz \rightarrow (zIz \rightarrow \bigwedge i \bigwedge l$$
$$(dz_i/dt = K_i = \text{const.} \wedge i \,\varepsilon\, N \wedge l \,\varepsilon\, N \wedge l > 1 \wedge d^l z_i/dt^l = 0))))))$$

2. System x ist im Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Ly \wedge Pz \rightarrow (Gl_{d1}x \leftrightarrow xZz \quad zIy \wedge (zIy \rightarrow$$
$$\rightarrow \bigwedge i \bigwedge l(dz_i/dt = K_i = \text{const.} \wedge i \,\varepsilon\, N \wedge l \,\varepsilon\, N \wedge l > 1 \wedge d^l z_i/dt^l = 0))))$$

3. System x hat eine stabile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (SG_{d}tx \leftrightarrow G_{d1}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt < K_i \wedge$$
$$\wedge\, d(z_i - \delta)/dt > K_i \wedge \delta \,\varepsilon\, R \wedge \delta > 0 \wedge i \,\varepsilon\, N)))$$

4. System x hat eine labile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (LG_{d1}x \leftrightarrow G_{d1}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt > K_i \vee$$
$$\vee\, d(z_i - \delta)/dt < K_i \wedge \delta \,\varepsilon\, R \wedge \delta > 0 \wedge i \,\varepsilon\, N)))$$

5. System x hat eine neutrale Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (NG_{d1}x \leftrightarrow G_{d1}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt = K_i \wedge$$
$$\wedge\, d(z_i - \delta)/dt = K_i \wedge \delta \,\varepsilon\, R \wedge \delta > 0 \wedge i \,\varepsilon\, N)))$$

6. System x ist im stabilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Ly \wedge Pz \rightarrow (SGl_{d1}x \leftrightarrow Gl_{d1}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta$$
$$(d(z_i + \delta)/dt < K_i \wedge d(z_i - \delta)/dt > K_i \wedge \delta \,\varepsilon\, R \wedge \delta > 0 \wedge i \,\varepsilon\, N)))$$

7. System x ist im labilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z (Sx \wedge Ly \wedge Pz \rightarrow LGl_{d1}x \longleftrightarrow Gl_{d1}x \bigwedge \bigvee i \bigvee \delta$$
$$(d(z_i + \delta)/dt > K_i \vee d(z_i - \delta)/dt < K_i \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

8. System x ist im neutralen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z (Sx \wedge Ly \wedge Pz \rightarrow (NGl_{d1}x \longleftrightarrow Gl_{d1}x \bigwedge \bigvee i \bigvee \delta$$
$$(d(z_i + \delta)/dt = K_i \wedge d(z_i - \delta)/dt = K_i \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

### 4.2.2 *Ableitung von Kriterien aus formalen Modellen*

#### 4.2.2.1 *Gleichgewichtskriterien*

##### 4.2.2.1.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Die Gleichungen von Richardsons System ((1), (2))[81] geben für den Fall zweier Staaten die ersten Ableitungen der beiden Rüstungen nach der Zeit für jeden Punkt der Rüstungsebene an. Nach der Definition 1 des letzten Abschnitts hat ein Rüstungswettlauf eine Gleichgewichtslage, wenn es im Rüstungsraum (hier der Rüstungsebene) eine Gerade[82] gibt, auf der überall gilt: $dx/dt = K_1$ und $dy/dt = K_2$. Alle Punkte, für welche die erste Bedingung erfüllt ist, liegen auf der Geraden

$$K_1 = ky - ax + g \tag{9}$$

und alle Punkte, für welche die zweite Bedingung erfüllt ist, liegen auf der Geraden

$$K_2 = lx - by + h \tag{10}$$

Damit der Rüstungswettlauf ein dynamisches Gleichgewicht nach der ersten Definition haben soll, müssen beide Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein, und das bedeutet, daß (9) und (10) die gleiche Gerade darstellen müssen. Das kann nur der Fall sein, wenn die Steigungen von (9) und (10) identisch sind, wenn also $ab = kl$. Damit müssen aber die beiden partiellen Gleichgewichtsgeraden (3) und (4) parallel laufen und gleichzeitig parallel zu der Gleichgewichtsgeraden (9) (bzw. (10)).
Für dynamisches Gleichgewicht nach der ersten Definition muß jedoch nicht nur gelten $dx/dt = K_1$ und $dy/dt = K_2$, sondern alle höheren Ableitungen nach der Zeit von x und y müssen gleich Null sein. Die zweiten Ableitungen von (1) und (2) sind:

$$d^2x/dt^2 = kdy/dt - adx/dt \tag{11}$$

$$d^2y/dt^2 = ldx/dt - bdy/dt \tag{12}$$

Die bereits aus (9) und (10) erhaltene Bedingung $ab = kl$ stellt sicher, daß $d^2x/dt^2 = 0 = d^2y/dt^2$ und daß ferner alle höheren Ableitungen von x und y gleich Null sind; damit bleibt $ab = kl$ die einzige Bedingung für das Vorliegen einer dynamischen Gleichgewichtslage nach der ersten Definition.
Über die Lage der Gleichgewichtsgeraden sind außer dem zu (3) und (4) parallelen Verlauf folgende Aussagen möglich: Die Gerade (9) (oder (10)) erhält man durch Verschiebung von (3) um $K_1/k$ nach oben bzw. durch Verschiebung von (4) um $K_2/b$ nach unten. Der senkrechte Abstand zwischen (3) und (9) beträgt $K_1/\sqrt{k^2 + a^2}$ und

der zwischen (4) und (9) $K_2/\sqrt{l^2+b^2}$. Für $K_1$ und $K_2$ ergibt sich aus Koeffizientenvergleich zwischen (9) und (10) und $y = (K_2/K_1)x + C$: $K_1 = (kbh + gb^2)/(kl + b^2)$ und $K_2 = (lag + ha^2)/(kl + a^2)$. Wie nicht anders zu erwarten, erhält man für den Fall, daß alle Abstände gleich Null sind, den in 2.2.1 bereits besprochenen trivialen Fall neutralen statischen Gleichgewichts mit $dx/dt = dy/dt = K_1 = K_2 = 0$, und die Geraden (3), (4), (9) und (10) sind alle identisch. Es sei noch darauf hingewiesen, daß bei $K_1 \neq 0$, $K_2 \neq 0$ und $ab = kl$ der Rüstungswettlauf eine nichttriviale dynamische Gleichgewichtslage hat, also genau in dem Fall, in dem er nach den Kriterien aus 2.2.1 keine statische Gleichgewichtslage besitzt.

#### 4.2.2.1.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

Das ursprüngliche System Lagerstroms lautet[83]:

$$d^2x/dt^2 = k((y + Tdy/dt) - R_1(x + Tdx/dt)) \tag{13}$$

$$d^2y/dt^2 = l((x + Tdx/dt) - R_2(y + Tdy/dt)) \tag{14}$$

Dabei sollen T, k, l, $R_1$ und $R_2$ positive Konstanten sein. Setzt man in (13) und (14) die Kriterien für eine dynamische Gleichgewichtslage der Definition 1 aus 4.2.1 ein, so erhält man zwei Gleichungen für eine Gerade, auf der diese erfüllt sind:

$$y = R_1x - T(K_2 - R_1K_1) \tag{15}$$

$$y = (1/R_2)x + (T/R_2)(K_1 - R_2K_2) \tag{16}$$

Eine Gleichgewichtslage hat ein Rüstungswettlauf in Lagerstroms Modell also genau dann, wenn $R_1R_2 = 1$. Die empirische Interpretation dieser Bedingung lautet, daß nur eine der am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten (A) eine positive Sicherheitsmarge in der eigenen Rüstung anstreben darf (d. h., daß A stets ein gewisses Vielfaches der Rüstung Bs, seines Gegners, beansprucht), während B ihm diese Sicherheitsmarge zugestehen muß.
Da die Gerade (15) (oder (16)) gleich der unmittelbar aus den Gleichgewichtsbedingungen $dx/dt = K_1$ und $dy/dt = K_2$ erhaltenen Gleichgewichtslage $y = (K_2/K_1)x + c$ ist, gilt überdies für das Verhältnis der Geschwindigkeiten der beiderseitigen Aufrüstung $(K_2/K_1) = R_1 = (1/R_2)$, und man sieht, daß derjenige Staat schneller rüstet, der einen Sicherheitsvorsprung anstrebt, für den also $R < 1$ gilt.

### 4.2.2.2 *Stabilitätskriterien*

#### 4.2.2.2.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Die Untersuchung der Gleichgewichtslage (9) auf ihre Stabilitätseigenschaft erfolgt über das Verhalten des Systems ((1), (2)) in der Umgebung dieser Gleichgewichtslage. Liegt der Punkt $(x_1/y_1)$ auf der Geraden (9) (bzw. (10)), dann gilt $dx_1/dt = K_1 = ky_1 - ax_1 + g$ und $dy_1/dt = K_2 = lx_1 - by_1 + h$. Addiert man zu $x_1$ den positiven Betrag $\delta$, dann ist $d(x_1 + \delta)/dt = ky_1 - ax_1 - a\delta + g = K_1 - a\delta$ und es gilt

$d(x_1 + \delta)/dt < dx_1/dt = K_1$. Subtrahiert man $\delta$ von $x_1$, dann ist $d(x_1 - \delta)/dt = ky_1 - ax_1 + a\delta + g = K_1 + a\delta$ und hier gilt $d(x_1 - \delta)/dt > dx_1/dt = K_1$. Addiert man anschließend $+\delta$ und $-\delta$ zu $y_1$ und hält dabei $x_1$ konstant, so erhält man entsprechend $d(y_1 + \delta)/dt < dy_1/dt = K_2$ und $d(y_1 - \delta)/dt > dy_1/dt = K_2$. Man sieht mithin, daß ohne zusätzliche Kriterien zu $ab = kl$ die Gleichgewichtslage (9) stets den Kriterien der Definition 3 aus 4.2.1 für eine stabile Gleichgewichtslage genügt, sofern, was in Richardsons Modell vorausgesetzt wird, a und b positive Konstanten sind.

#### 4.2.2.2.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

Die Stabilitätsuntersuchung der Gleichgewichtslage (15) (oder (16)) ist hier etwas schwieriger zu bewerkstelligen als die von (9) in Richardsons Rüstungswettlaufmodell, und zwar hauptsächlich deshalb, weil es keine Gleichungen gibt, welche $dx/dt$ und $dy/dt$ unmittelbar in Abhängigkeit von x und y angeben, und diesem Mangel ist auch nicht so einfach abzuhelfen. Man kann sich hier jedoch noch dadurch behelfen, daß man in (13) $d^2x/dt^2 = 0$ setzt (bzw. $d^2y/dt^2 = 0$ in (14)) und (13) durch k dividiert ((14) entsprechend durch l). Man erhält dann

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{R_1T}y - \frac{1}{T}x + \frac{1}{R_1}\frac{dy}{dt} \tag{17}$$

oder

$$\frac{dy}{dt} = \frac{R_1}{T}x - \frac{1}{T}y + R_1\frac{dx}{dt} \tag{18}$$

Betrachtet man einen Punkt $(x_1/y_1)$ auf der Geraden (15), dann gilt für diesen natürlich $K_1 = \frac{1}{R_1T}y_1 - \frac{1}{T}x_1 + \frac{K_2}{R_1} = \frac{dx_1}{dt}$. Addiert man nun zu $x_1$ wieder den positiven Betrag $\delta$, ohne $K_2$ und $y_1$ zu verändern, dann erhält man aus (17) $d(x_1 + \delta)/dt = \frac{1}{R_1T}y_1 - \frac{1}{T}x_1 - \frac{1}{T}\delta + \frac{K_2}{R_1} = K_1 - \frac{1}{T}\delta$. Da T ebenfalls positiv ist, gilt also $d(x_1 + \delta)/dt < dx_1/dt = K_1$. Subtrahiert man $\delta$ von $x_1$, so erhält man aus (17) auf gleiche Weise $d(x_1 - \delta)/dt > dx_1/dt = K_1$. Aus (18) erhält man entsprechend $d(y_1 + \delta)/dt < dy_1/dt = K_2$ und $d(y - \delta)/dt > dy_1/dt = K_2$ und (15) stellt somit eine unabhängig von den Parametern von (13) und (14) stabile dynamische Gleichgewichtslage dar.

Dieses Ergebnis hätte man auch auf andere Art erhalten können. Hält man $K_1$ und $K_2$ konstant, dann gilt für alle Punkte der Geraden (15) $d^2x/dt^2 = d^2y/dt^2 = 0$. Oberhalb von (15) gilt aber in der x-, y-Ebene $d^2y/dt^2 < 0$ und unterhalb $d^2y/dt^2 > 0$. Rechts von (15) gilt in der x-, y-Ebene $d^2x/dt^2 < 0$ und links von dieser Geraden gilt $d^2x/dt^2 > 0$. Gerät das System ((13), (14)) durch eine äußere Störung von der Gleichgewichtslage (15) auf einen Punkt rechts unterhalb von (15), dann nimmt $dx/dt$ ab und $dy/dt$ steigt, und das System kehrt in die Gleichgewichtslage zurück. Führt die Auslenkung zu einer Lage links und oberhalb von (15), dann wird $dx/dt > K_1$ und

$dy/dt < K_2$, und wieder kehrt das System in die dynamische Gleichgewichtslage (15) zurück.

### 4.2.3 *Statistische Kriterien für dynamisches Gleichgewicht nach der ersten Definition*

Da ich bereits in 4.1 auf die Bedeutung statistischer Kriterien für das Vorliegen von dynamischen Gleichgewichten in Rüstungswettläufen eingegangen bin und in der Schlußbemerkung noch kurz ihren Zusammenhang mit den aus formalen Rüstungswettlaufmodellen abgeleiteten Kriterien besprechen werde, möchte ich mich hier nicht mit Präliminarien aufhalten, sondern sofort die Kriterien nennen, die ich für die Entscheidung darüber für geeignet halte, ob ein dynamisches Gleichgewicht nach der ersten Definition vorliegt. Nach Definition 2 aus 4.2.1 gilt bei einem zweiseitigen Rüstungswettlauf bei einem solchen Gleichgewicht: $x = K_1t + C_1$, $y = K_2t + C_2$ und damit $y = (K_2/K_1)x + C_3$. Ob diese drei linearen Beziehungen in einem gegebenen Datensatz, den Rüstungen der am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten über den jeweils gleichen, beliebigen Zeitraum hinweg, bestehen, kann folgendermaßen ermittelt werden. Zunächst müssen die Korrelationen $r_1$ zwischen x und t, $r_2$ zwischen y und t und $r_3$ zwischen x und y bestimmt werden; anschließend werden mit Hilfe des F-Tests die drei Nullhypothesen getestet, daß in der Population, aus welcher die Zeitreihen stammen, alle diese Korrelationen gleich Null sind: $\varrho_1 = \varrho_2 = \varrho_3 = 0$[84]. Diese Nullhypothesen sollten nur dann verworfen werden, wenn sie auf einem hohen Signifikanzniveau, etwa $p = 0{,}01$, abgelehnt werden können, da man bei längeren Zeitreihen relativ häufig signifikante Korrelationen erhalten wird. Es genügt nicht, nur $r_3$ zu berechnen und auf Signifikanz der Abweichung von 0 zu untersuchen, weil simultane Schwankungen von dx/dt und dy/dt dabei nicht bemerkt werden, solange das Verhältnis $\frac{dy/dt}{dx/dt}$ in der Größenordnung von $K_2/K_1$ bleibt. Können alle drei Nullhypothesen verworfen werden, dann liegt ein dynamisches Gleichgewicht nach der ersten Definition vor.

Bevor man sich mit diesen Kriterien zufrieden gibt, sollte man jedoch bedenken, welche Annahmen man bei der Verwendung des F-Tests gemacht hat. Die geringste Realitätsnähe kommt wohl der Annahme zu, es handle sich bei den Daten der Zeitreihe um voneinander unabhängige Beobachtungen. Wenn man sich entsinnt, daß beim gegenwärtigen Erkenntnisstand die beste Vorhersage der Rüstung eines Staates im Jahre t + 1 aus seiner Rüstung im Jahr t möglich ist[85], dann wird deutlich, wie wenig berechtigt diese Annahme ist. Man kann diesen Einwand jedoch vernachlässigen, wenn gezeigt werden kann, daß die linearen Beziehungen, über deren Stärke $r_1$ bis $r_3$ Auskunft geben, nicht durch systematische Fehler, wie z. B. Reihenkorrelation, verzerrt werden. Um dies nachzuprüfen, bildet man aus den ursprünglichen Zeitreihen zwei neue Zeitreihen, $\Delta(x)$ und $\Delta(y)$, indem man die Differenzen je zweier aufeinanderfolgender Werte bestimmt ($\Delta_i(x) = x_{i+1} - x_i$, $\Delta_i(y) = y_{i+1} - y_i$). Systematische Fehler liegen nicht vor, wenn auf niedrigem Signifikanzniveau ($p = 0{,}05$ oder $p = 0{,}1$) die beiden Nullhypothesen nicht verworfen werden können, daß die Populationskoeffizienten, welche $r_4$ zwischen $\Delta(x)$ und t und $r_5$ zwischen $\Delta(y)$ und t entsprechen, gleich Null sind. Ist n groß genug, dann kann die Abwesenheit positiver oder negativer Reihenkorrelationen auch mit Hilfe des Durbin-Watson-Tests direkt an den Originaldaten überprüft werden[86], wobei auch hier die Nullhypothesen fehlender Reihenkorrelation nicht verworfen werden dürfen. Zusammen mit den drei ersten Kriterien stehen damit fünf Kriterien zur Verfügung, die alle erfüllt sein müssen, wenn von dynamischem Gleichgewicht der ersten Art bei einem beliebigen Datensatz die Rede sein soll.

### 4.3 *Zweite Definition dynamischen Gleichgewichts: Konstantes Verhältnis der Zuwachsraten der Rüstungen*

#### 4.3.1 *Definitionen*

Die zweite Definition dynamischen Gleichgewichts kann als Verallgemeinerung der ersten Definition aufgefaßt werden. Diese besagt, daß ein System dort eine Gleichgewichtslage hat, wo die ersten Ableitungen nach der Zeit der das System beschreibenden Variablen bestimmte konstante Werte annehmen. Nach der zweiten Definition hat ein System dort eine dynamische Gleichgewichtslage, wo die ersten Ableitungen nach der Zeit je zweier den Zustand des Systems beschreibender Variabler in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen. Auf Rüstungswettläufe angewandt heißt das, daß die Geschwindigkeit der Aufrüstung der einen Seite ein konstantes Vielfaches der Geschwindigkeit der gegnerischen Aufrüstung ist. Berücksichtigt man, daß Information über die Rüstung eines Staates nur in diskreten Abständen vorliegt, dann kann man sagen, daß die Differenz der Rüstungen von A zu zwei beliebigen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten t und $t+1$ ein konstantes Vielfaches der Differenz der Rüstungen von B in den gleichen Zeitpunkten sein muß. Zusätzlich zu dem Kriterium des konstanten Verhältnisses der Ableitungen muß in einer Gleichgewichtslage noch verlangt werden, daß sich dieses Verhältnis von selbst nicht verändern darf.
Anders als bei den ersten Definitionen dynamischer Gleichgewichtslagen sind hier auch nichtlineare Gleichgewichtslagen möglich. Stellen beispielsweise $dx/dt = C_1$ und $dy/dt = C_2$ zwei Kurvenscharen zweiter Ordnung in der x-, y-Ebene dar, dann sind die Ortslinien aller Punkte dieser Ebene mit $dy/dt = K\,dx/dt$ ebenfalls Kurven zweiter Ordnung. Aus diesem Grund muß zusätzlich zu den Prädikatskonstanten aus 2.4 und 4.2.1 bei der Formalisierung der Definition einer Gleichgewichtslage noch die einstellige Prädikatskonstante

F: ... ist Graph einer beliebigen Funktion

eingeführt werden. Zur Kennzeichnung der Prädikatskonstanten über Gleichgewicht und Gleichgewichtslage dient der Index d2.

1. System x hat eine Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (G_{d2}x \leftrightarrow \bigvee y(Fy \wedge \bigwedge z(Pz \rightarrow (zIy \rightarrow \bigwedge i \bigwedge j(dz_i/dt =$$

$$= K_{ij}dz_j/dt \wedge i \in N \wedge j \in N \wedge d\left(\frac{dz_i/dt}{dz_j/dt}\right)\Big/dt = 0))))))$$

2. System x ist im Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (Gl_{d2}x \leftrightarrow xZz \wedge zIy \wedge (zIy \rightarrow$$
$$\rightarrow \bigwedge i \bigwedge j(dz_i/dt = K_{ij}dz_j/dt \wedge i \in N \wedge j \in N \wedge d\left(\frac{dz_i/dt}{dz_j/dt}\right)\Big/dt = 0))))$$

3. System x hat eine stabile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (SG_{d2}x \leftrightarrow G_{d2}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt < dz_i/dt \wedge$$
$$\wedge\, d(z_i - \delta)/dt > dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 \wedge i \in N)))$$

4. System x hat eine labile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (LG_{d2}x \leftrightarrow G_{d2}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt > dz_i/dt \vee$$
$$\wedge\, d(z_i - \delta)/dt < dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 \wedge i \in N)))$$

5. System x hat eine neutrale Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (NG_{d2}x \leftrightarrow G_{d2}x \wedge \bigvee i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt = dz_i/dt \wedge$$
$$\wedge\, d(z_i - \delta)/dt = dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 \wedge i \in N)))$$

6. System x ist im stabilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (SGl_{d2}x \leftrightarrow Gl_{d2}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt <$$
$$< dz_i/dt \wedge d(z_i - \delta)/dt > dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 \wedge i \in N)))$$

7. System x ist im labilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (LGl_{d2}x \leftrightarrow Gl_{d2}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt >$$
$$> dz_i/dt \vee d(z_i - \delta)/dt < dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 \wedge i \in N)))$$

8. System x ist im neutralen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (NGl_{d2}x \leftrightarrow Gl_{d2}x \wedge \bigvee i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt =$$
$$= dz_i/dt \wedge d(z_i - \delta)/dt = dz_i/dt \wedge \delta \in R \wedge \delta > 0 > i \in N)))$$

### 4.3.2 *Ableitung von Kriterien aus formalen Modellen*

#### 4.2.3.1 *Gleichgewichtskriterien*

##### 4.3.2.1.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Bei einer dynamischen Gleichgewichtslage nach der zweiten Definition kann es sich in Richardsons Rüstungswettlaufmodell nur um eine Gerade handeln, da für $dx/dt = C_1$ und $dy/dt = C_2$ (1) und (2) zwei Geradenscharen darstellen. Das erste Kriterium für dynamisches Gleichgewicht in Definition 1 lautet in der Anwendung auf Richardsons Modell $dy/dt = K\,dx/dt$, und wir wissen, daß es nur auf einer Geraden $y = mx + n$ erfüllt sein kann. Setzt man diese Bedingungen in (1) und (2) ein, dann erhält man

$$x(l - bm) + h - bn = K(x(km - a) + g + kn)$$

und damit

$$m = (aK + l)/(kK + b) \text{ und } n = (h - gK)/(b + kK).$$

Für jeden Rüstungswettlauf, der durch Richardsons System ((1), (2)) dargestellt werden kann, gibt es mithin – unabhängig von den Parametern a, b, k, l, g und h – für jedes K eine Gerade der Form

$$y = x(aK + l)/(kK + b) + (h - gK)/(kK + b) \tag{19}$$

Wie man durch Einsetzen von (7) und (8) in (19) nachprüfen kann, geht jede derartige Gerade durch den Schnittpunkt von (3) und (4), den Schnittpunkt der partiellen Gleichgewichtsgeraden. Wäre dem nicht so, dann müßte (19) die Geraden (3) und (4) in zwei verschiedenen Punkten schneiden, was dem Kriterium $dy/dt = K\, dx/dt$ widerspräche, weil in diesem Fall für Punkte der Geraden (19) sowohl $dy/dt = 0$ und gleichzeitig $dx/dt \neq 0$ als auch $dx/dt = 0$ und gleichzeitig $dy/dt \neq 0$ auftreten würde.
Das zweite Kriterium für dynamisches Gleichgewicht lautet in der Anwendung auf Richardsons Modell $d\left(\dfrac{dy/dt}{dx/dt}\right)\Big/dt = 0$. Setzt man (1) und (2) ein und leitet nach der Zeit ab, so erhält man für die Geraden der Form (19), welche dynamische Gleichgewichtslagen sein können, die nicht unkomplizierte Bedingung:

$$\begin{aligned}&(abl - kl^2)x^2 + (k^2l - abk)y^2 + (a^2b - ab^2 - akl + bkl)xy +\\ &+ (abh - alg - blg - a^2h - 2hlk)x + (akh + bkh - abg + b^2g + 2gkl)y +\\ &+ lg^2 + agh - bgh - kh^2 = 0\end{aligned} \tag{20}$$

Sieht man von dem trivialen Fall $ab = kl$ und $g = h = 0$ ab, in dem es für jedes K eine Gerade der Form (19) gibt, alle diese Geraden jedoch parallel laufen, dann müssen noch zwei Fälle unterschieden werden. Ist im ersten Fall $ab = kl$ und $g \neq 0$ und $h \neq 0$, dann stellt (20) eine einzige Gerade dar, die mit (19) identisch sein muß; dies ist der Fall dynamischen Gleichgewichts nach der ersten Definition, und es gilt $K = K_2/K_1$[87]. Im zweiten Fall, wenn $ab \neq kl$, kann (20) höchstens zwei Geraden darstellen, welche die Gleichungen haben

$$y = -\frac{1}{\lambda_1 + a}x - \frac{gl + h(\lambda_1 + a)}{\lambda_1(\lambda_1 + a)} \tag{21}$$

$$y = -\frac{\lambda_2 + b}{k}x - \frac{kh + g(\lambda_2 + b)}{k\lambda_2} \tag{22}$$

wobei $\lambda_1$ und $\lambda_2$ die Lösungen der charakteristischen Gleichung des Systems ((1), (2)) sind: $\lambda_{1/2} = -\dfrac{a+b}{2} \pm \sqrt{\left(\dfrac{a-b}{2}\right)^2 + kl}$. Bei bestimmten Werten von a, b, k, l, g und h gibt es dann also nur zwei konstante Verhältnisse, $K_1$ und $K_2$, von $dy/dt$ und $dx/dt$, bei denen sich der Rüstungswettlauf im dynamischen Gleichgewicht nach der zweiten Definition befindet; diese Verhältnisse sind

$$K_1 = -\frac{l\lambda_1 + al + bl}{kl + a\lambda_1 + a^2} = -l\frac{a + \lambda_1 + b}{kl + a\lambda_1 + a^2} \tag{23}$$

$$K_2 = -\frac{kl + b\lambda_2 + b^2}{ak + k\lambda_2 + bk} = -\frac{kl + b\lambda_2 + b^2}{k(a + \lambda_2 + b)} \tag{24}$$

#### 4.3.2.1.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

Etwas komplizierter als bei Richardsons Modell ist die Untersuchung von Lagerstroms System ((13), (14)) auf dynamische Gleichgewichtslagen gemäß den Definitionen aus 4.3.1, weil hier Gleichungen für dx/dt und dy/dt fehlen, welche in die gleichen Bedingungen wie im vorigen Abschnitt unmittelbar eingesetzt werden könnten. Deshalb ist es unumgänglich, die Lösung des Systems ((13), (14)) zu bestimmen, aus der dann die ersten Ableitungen von x und y nach der Zeit ermittelt werden können.
Nach der zur Lösung von linearen Differentialgleichungssystemen üblichen Operatorenmethode[88] läßt sich das System ((13), (14)) in eine homogene, lineare Differentialgleichung vierter Ordnung überführen, die nur noch x (oder y) als abhängige und t als unabhängige Variable enthält und deren charakteristische Gleichung[89] lautet

$$\lambda^4 + A_1\lambda^3 + A_2\lambda^2 + A_3\lambda + A_4 = 0 \tag{25}$$

wobei

$$\begin{aligned} A_1 &= kR_1T + lR_2T \\ A_2 &= kR_1 + lR_2 + klR_1R_2T^2 - klT^2 \\ A_3 &= 2klR_1R_2T - 2klT \\ A_4 &= klR_1R_2 - kl \end{aligned}$$

Die Gleichung (25) hat nur positive Lösungen (und zwar genau eine), wenn $R_1R_2 \leq 1$[90]. Mit dieser Bedingung sind wir jedoch, ohne daß das intendiert gewesen wäre, auf eine ernsthafte Beschränkung der Anwendbarkeit von Lagerstroms System gestoßen. $R_1R_2 \leq 1$ bedeutet nämlich, daß das System eskalierende Rüstungswettläufe zwischen solchen Staaten nicht beschreiben und erklären kann, in denen beide Staaten dem jeweiligen Gegner eine gewisse Sicherheitsmarge, eine gewisse Überlegenheit seiner Rüstung, zugestehen wollen. Der Grenzfall, den das System gerade noch abdeckt, ist der zweier Staaten, von denen der eine, A, eine bestimmte Sicherheitsmarge wünscht und sein Gegner B ihm genau diese, aber keine größere, zugesteht ($R_1R_2 = 1$). Der wohl interessanteste dieser Grenzfälle ist der mit $R_1 = R_2 = R_1R_2 = 1$, in dem jeder Staat mit dem anderen gleichziehen möchte und nur dann die Geschwindigkeit seiner Aufrüstung unverändert läßt, wenn er dabei die Erreichung des Gleichstandes nach dem Zeitraum T antizipiert. Wegen der erwähnten Beschränkung des allgemeinen Systems möchte ich mir diesen Fall für $T = 1$ zur Untersuchung auf dynamische Gleichgewichtslagen nach der zweiten Definition vornehmen; der erfreuliche Nebeneffekt ist, daß die Lösungen der charakteristischen Gleichung erheblich einfacher werden als die von (25).

Für $R_1 = R_2 = 1$ und $T = 1$ wird aus (13) und (14):

$$d^2x/dt^2 = k(y + dy/dt - (x - dx/dt)) \tag{26}$$

$$d^2y/dt^2 = l(x + dx/dt - (y + dy/dt)) \tag{27}$$

Dieses System kann überführt werden in die lineare, homogene Differentialgleichung

$$d^4x/dt^4 + (k + l)d^3x/dt^3 + (k + l)d^2x/dt^2 = 0 \tag{28}$$

aus der man durch Substitution von $x = e^{\lambda t}$ die charakteristische Gleichung

$$\lambda^4 + (k + l)\lambda^3 + (k + l)\lambda^2 = 0 \tag{29}$$

erhält.

Ihre Lösungen sind $\lambda_{1/2} = -\frac{k+l}{2} \pm \sqrt{\frac{(k+l)^2}{4} - k - l}$ und $\lambda_{3/4} = 0$. Da $\lambda_1$ und $\lambda_2$ linear unabhängig sind, gilt $x = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 t + c_4$, und aus der Gleichung (28) entsprechenden Differentialgleichung aus den verschiedenen Ableitungen von *y* erhält man $y = d_1 e^{\lambda_1 t} + d_2 e^{\lambda_2 t} + d_3 t + d_4$.

Setzt man aus diesen beiden Gleichungen und ihren ersten und zweiten Ableitungen x, y, dx/dt, dy/dt, $d^2x/dt^2$ und $d^2y/dt^2$ in das ursprüngliche System ((26), (27)) ein, dann erhält man $d_1 = -\frac{l}{k} c_1$, $d_2 = -\frac{l}{k} c_2$, $d_3 = c_3$ und $d_4 = c_4$. Damit lautet die allgemeine Lösung des Systems ((26), (27)):

$$x = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 t + c_4 \tag{30}$$

$$y = -\frac{l}{k} c_1 e^{\lambda_1 t} - \frac{l}{k} c_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 t + c_4 \tag{31}$$

Die ersten Ableitungen von x und y nach der Zeit lauten:

$$dx/dt = c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 \tag{32}$$

$$dy/dt = -\frac{l}{k} c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} - \frac{l}{k} c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} + c_3 \tag{33}$$

Auf diese Gleichung kann nun das erste Kriterium für eine dynamische Gleichgewichtslage, $dy/dt = K dx/dt$, angewandt werden; daraus ergibt sich $Kc_1\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + Kc_2\lambda_2 e^{\lambda_2 t} + Kc_3 = -\frac{l}{k} c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} - \frac{l}{k} c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} + c_3$. *Diese Bedingung ist in zwei Fällen erfüllt:* erstens in dem einfachen Fall $k = -l$ mit $K = 1$ und $x = y = c_1 t^3 + c_2 t^2 + c_3 t + c_4$ und zweitens in dem interessanteren Fall mit den Anfangsbedingungen $dx(0)/dt = c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2$ und $dy(0)/dt = -\frac{l}{k} c_1 - \frac{l}{k} c_2$, in dem $c_3 = 0$ und $K = -\frac{l}{k}$.

Setzt man jetzt (32) und (33) in das zweite Kriterium für dynamische Gleichgewichtslagen ein, das hier, wie auch im letzten Abschnitt, $d\left(\frac{dy/dt}{dx/dt}\right)\Big/dt = 0$ lautet, dann erhält man $c_1\lambda_1^2 e^{\lambda_1 t} = -c_2\lambda_2^2 e^{\lambda_2 t}$. Diese Gleichung ist erfüllt, wenn $c_2 = -c_1$ und $\lambda_1 = \lambda_2$; letztere Bedingung wiederum ist erfüllt, wenn entweder $k = -l$ mit $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ oder $k = 4 - l$ mit $\lambda_1 = \lambda_2 = -2$. Im zweiten Fall kann nach dem ersten Kriterium keine Gleichgewichtslage vorliegen, außerdem könnte ((26), (27)) dann keine eskalierenden Rüstungswettläufe beschreiben, da die einzigen von 0 verschiedenen Lösungen von (28) negativ wären. Der erste Fall dagegen ist auch nach dem ersten Kriterium für eine dynamische Gleichgewichtslage zugelassen, und wir erhalten als recht einfache Lösung des Systems ((26), (27)), falls alle Bedingungen für ein solches Gleichgewicht erfüllt sind:

$$x = c_3 t + c_4 \tag{34}$$

$$y = c_3 t + c_4 \tag{35}$$

Offensichtlich ist damit die Gerade $x = y$ die einzige dynamische Gleichgewichtslage nach der zweiten Definition, welche das vereinfachte Lagerstromsche System ((26), (27)) besitzt; ein durch dieses System erklärter Rüstungswettlauf ist im Gleichgewicht, wenn er sich dieser Geraden entlang bewegt.

### 4.3.2.2 *Stabilitätskriterien*

#### 4.3.2.2.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Die Kriterien für Stabilität der beiden in Richardsons Modell möglichen dynamischen Gleichgewichtslagen erhält man, indem man aus (21) und (22) abwechselnd x und y in (1) und (2) einsetzt und anschließend die Ungleichungen der Definitionen aus 4.3.1 anwendet. Auf diese Art kommt man – mit nicht unbeträchtlichem Rechenaufwand – zu Ungleichungen für $\lambda_1$ und $\lambda_2$, die darüber Aufschluß geben, ob die zu der jeweiligen Lösung gehörige Gleichgewichtslage stabil ist oder nicht. Die Gleichgewichtslage (21) ist danach stabil genau dann, wenn $\lambda_1 < 0$ und labil genau dann, wenn $\lambda_1 > 0$; entsprechend ist (22) genau dann labil, wenn $\lambda_2 > 0$ und stabil bei $\lambda_2 < 0$.
Neutrale Gleichgewichtslagen gibt es nicht, weil dann $\lambda_1$ oder $\lambda_2$ gleich Null sein müßte; dies tritt aber nur ein bei $ab = kl$, und in diesem Fall liegt eine Gleichgewichtslage nach der ersten Definition vor, wie bereits in 4.3.2.1.1 gesagt wurde. Bei reellen Werten von $\lambda$ sind alle Kombinationen möglich: Beide Lösungen negativ und damit (21) und (22) stabil, beide Gleichgewichtslagen labil, und schließlich kann auch der Fall auftreten, daß ein Rüstungswettlauf eine stabile und eine labile Gleichgewichtslage hat.

#### 4.3.2.2.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

Die Untersuchung des Systems ((26), (27)) auf die Stabilität seiner dynamischen Gleichgewichtslage $x = y$ ist einfach, sofern man bedenkt, daß in (30) und (31) die beiden jeweils ersten Summanden die parallel zu den beiden Achsen gemessenen Entfernungen eines Punktes mit den Koordinaten x und y von demjenigen Punkt auf der Gleichgewichtsgeraden $x = y$ angeben, den (34) und (35) bei gleichem t beschreiben. Stabil ist die Gleichgewichtslage genau dann, wenn das System nach jeder Auslenkung in einem beliebigen derartigen Punkt (x, y) wieder in die Gleichgewichtslage zurückkehrt, wenn also die beiden jeweils ersten Summanden in (30) und (31) für zunehmendes t immer kleiner werden. Offensichtlich ist dies in beiden Gleichungen nur der Fall, wenn $\lambda_1$ und $\lambda_2$ negativ sind. Labil ist die Gleichgewichtslage, wenn auch nur eine der beiden Lösungen der charakteristischen Gleichung, $\lambda_1$ und $\lambda_2$, größer als Null ist; eine neutrale Gleichgewichtslage kann in dem System ((26), (27)) nicht auftreten, weil bei $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ nach dem zweiten Kriterium für dynamische Gleichgewichte in der zweiten Definition auch $c_1 = - c_2$ gelten muß, wodurch außer $x = y$ keine derartige Gleichgewichtslage übrigbleibt.

#### 4.3.3 *Statistische Kriterien für dynamisches Gleichgewicht nach der zweiten Definition*

Im Gegensatz zu 4.2.3, wo fünf Kriterien gleichzeitig erfüllt sein mußten, damit ein dynamisches Gleichgewicht vorlag, brauchen in der Regel bei dynamischen Gleichgewichten nach der zweiten Definition nur zwei statistische Kriterien erfüllt zu sein, die beide unmittelbar aus den Definitionen in 4.3.1 hergeleitet werden können. Das erste lautet, daß die beiden Zeitreihen der gleichzeitigen Differenzen der jeweiligen Rüstungen zweier aufeinanderfolgender Jahre hochsignifikant miteinander korreliert sein müssen. Bei den beiden Zeitreihen handelt es sich um die schon in 4.2.3 verwandten Reihen $\Delta(x)$ mit $\Delta_i(x) = x_{i+1} - x_i$ und $\Delta(y)$ mit $\Delta_i(y) = y_{i+1} - y_i$. Wieder ist es sinnvoll, die Wahrscheinlichkeit möglichst gering zu halten, daß man die Nullhypothese, der $r_1$ zwischen $\Delta(x)$ und $\Delta(y)$ entsprechende Populationskoeffizient sei gleich Null, zu Unrecht verwirft. Damit verkleinert man das Risiko, aufgrund der schieren Länge zweier Zeitreihen einen (nach dem F-Test) signifikanten Korrelationskoeffizienten zu erhalten. Ausschalten läßt sich dieses Risiko dadurch jedoch auch nicht, und es empfiehlt sich stets, darauf zu achten, ob man bei einer Menge von aufeinanderfolgenden Zeitpunkten eine signifikante Korrelation erhält, während gleichzeitig die entsprechenden Koeffizienten für darin enthaltene Zeiträume nicht signifikant sind.
Leicht schützen kann man sich indes gegen systematische Fehler in beiden Zeitreihen, die dazu führen, daß eine Gerade nicht die beste Näherung ist, wenn man $\Delta(y)$ und $\Delta(x)$ in ein rechtwinkliges Koordinatensystem zeichnet. Besteht nämlich die vorhergesagte lineare Beziehung zwischen $\Delta(y)$ und $\Delta(x)$, dann muß $\dfrac{\Delta(y)}{\Delta(x)}$ konstant sein und darf sich in der Zeit nicht systematisch ändern, sondern nur ein zufälliges Fehlerglied enthalten. Mithin darf sich der Korrelationskoeffizient $r_2$ zwischen $\dfrac{\Delta(y)}{\Delta(x)}$ und t nicht signifikant von Null unterscheiden, wobei es sich hier wieder empfiehlt, das Signifikanzniveau relativ niedrig zu halten. Nur wenn beide Kriterien erfüllt sind, sollte von einem dynamischen Gleichgewicht des zweiten Typs gesprochen werden.
Zusätzliche Kriterien für diesen Gleichgewichtstyp können entwickelt werden, sofern weitere Information über das Verhalten des je untersuchten Systems vorliegt. Steht beispielsweise fest, daß eines der in 4.3.2 auf Gleichgewichtslagen und deren Stabilitätseigenschaften untersuchten Rüstungswettlaufmodelle einen gegebenen Rüstungswettlauf beschreiben und erklären kann, dann kommen nur Geraden in der x-, y-Ebene als Gleichgewichtslagen in Frage, und man kann als zusätzliches Kriterium zu den im Regelfall, ohne Kenntnis der Anwendbarkeit irgendwelcher formaler Modelle, verwandten Kriterien einführen, daß x und y hochsignifikant korreliert sein müssen.

### 4.4 *Dritte Definition dynamischen Gleichgewichts: Zuwachsrate der Rüstung beiderseits proportional der des jeweiligen Bruttosozialprodukts*

#### 4.4.1 *Definitionen*

Die ersten beiden Definitionen dynamischer Gleichgewichte enthielten Kriterien, die ausschließlich in Eigenschaften der zeitlichen Abfolge der Werte der das betreffende

System beschreibenden Variablen formuliert waren. Sie zogen keine Eigenschaften der ökonomischen oder politischen Landschaft heran, in der ein Rüstungswettlauf abläuft, um über das Vorliegen von Gleichgewicht zu entscheiden. Die Definitionen dieses Abschnitts gehen von diesem Prinzip ab und nennen solche Rüstungswettläufe im Gleichgewicht befindlich, in denen der Zuwachs der Rüstung auf beiden Seiten in einem regelmäßigen Verhältnis zum wirtschaftlichen Wachstum des jeweiligen Staates erfolgt. Der hier durchgeführte Spezialfall lautet, daß der jährliche Zuwachs der Rüstung jedes Staates in einer konstanten Proportion stehen muß zu dem Zuwachs des Bruttosozialprodukts des gleichen Staates im selben Jahr. Selbstredend muß, wie bereits bei den Definitionen in 4.2 und 4.3, ein derartiges Gleichgewicht mindestens zwei zeitlich aufeinanderfolgende geordnete Paare aus Rüstungsständen der beiden Seiten umfassen, da sonst ja von einer konstanten Proportion nicht die Rede sein kann.
Neben der hier detailliert behandelten Definition sind eine ganze Reihe ähnlicher Definitionen denkbar, deren gemeinsamer Nenner die Annahme ist, es gäbe für jeden Staat so etwas wie eine »normale« Rüstung und einen »normalen« Zuwachs dieser Rüstung. Mit einer normativen Billigung der vorhandenen »normalen« Rüstungsstände hat das gar nichts zu tun; es soll lediglich konstatiert werden, daß aufgrund des vergangenen Verhaltens der meisten Staaten auch für in der Zukunft liegende Zeitpunkte eine gewisse Rüstung zu erwarten ist und daß der Umfang der zu erwartenden Rüstung, sieht man von der internationalen Situation ab, von den Ressourcen abhängt, welche die Volkswirtschaft in toto zur Verfügung stellt[71]. So könnte man zum Beispiel argumentieren, die Rüstung eines Staates nehme genau dann am gesamten Wirtschaftswachstum auf »normale« Weise teil, wenn die ihr zufließenden Ressourcen stets den gleichen Anteil an den insgesamt zur Verteilung stehenden Ressourcen ausmachen, ihr Zuwachs in der Zeit also nicht anteilsmäßig auf Kosten zivilen Konsums und ziviler Produktion geht. Die in diesem Abschnitt zur genauen Untersuchung ausersehene Definition verlangt kein konstantes Verhältnis zwischen Bruttosozialprodukt und Rüstung, sondern zwischen dem Zuwachs der Rüstung und dem des Bruttosozialprodukts; ein »normaler« Zuwachs der Rüstung liegt vor, wenn bei einer Zunahme des Bruttosozialprodukts um eine Einheit die Rüstung um K Einheiten (in der Regel $0 < K < 1$) zunimmt. Ist dies auf beiden Seiten eines Rüstungswettlaufs über eine gewisse Zeit hinweg der Fall, dann sind offensichtlich, trotz des als feindselig perzipierten Gegners, die eigenen ökonomischen Möglichkeiten ein entscheidender Faktor bei der Festlegung der Rüstung, und ein solcher Rüstungswettlauf wird deshalb hier als im Gleichgewicht befindlich bezeichnet. Es liegt auf der Hand, daß man sich mit derartigen Definitionen des Gleichgewichts eines Rüstungswettlaufs wieder ein Stück in der Richtung der in 2.2.2 und 2.3.2 kritisierten Definitionen bewegt, welche die gesamte internationale Situation bei der Vergabe dieses Prädikats berücksichtigen, ohne jedoch die jenen fehlende präzise Operationalisierung selbst versäumen zu müssen.
Dem Leser mag aufgefallen sein, daß in diesem Abschnitt bislang nur von Gleichgewichten und nicht von Gleichgewichtslagen die Rede war. Seine Ursache hat das darin, daß über letztere nur im Rahmen von formalen Modellen zur Analyse von Rüstungswettläufen gesprochen werden kann, wie schon in 2.1.2 ausgeführt wurde.

Die beiden formalen Modelle, welche in dieser Arbeit bisher auf Gleichgewichtslagen etc. untersucht worden sind, enthalten als Variablen nur die Rüstungen der am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten und die Zeit, nicht dagegen die Bruttosozialprodukte dieser Staaten, können also nicht auf solche Gleichgewichtslagen befragt werden, wie sie hier definiert werden sollen. Die einzige mögliche Abhilfe besteht in der Elimination der Bruttosozialprodukte als unabhängige Variablen. Diese kann man dadurch erreichen, daß man die Bruttosozialprodukte der am Rüstungswettlauf teilnehmenden Staaten durch Funktionen der Zeit ersetzt. Zu diesem Zweck bieten sich einfache Exponentialfunktionen der Zeit an[92], durch die fast jedes halbwegs regelmäßige Wachstum angenähert werden kann. Mit Hilfe einer derartigen Substitution können dann auch Rüstungswettläufe, die durch eines der Modelle von Richardson oder von Lagerstrom beschrieben und erklärt werden, darauf untersucht werden, ob sie solche dynamischen Gleichgewichtslagen haben, wie sie im folgenden definiert werden. Ähnlich wie in 4.3 muß in formalen Modellen zusätzlich zu dem Kriterium, daß bei allen Rüstungswettlaufteilnehmern in einer Gleichgewichtslage die erste Ableitung der Rüstung nach der Zeit ein konstantes Vielfaches von der des Bruttosozialprodukts sein muß, noch verlangt werden, daß sich dieses konstante Verhältnis der beiden Ableitungen von selbst nicht verändern darf.

Nach dieser ausführlichen Vorrede ist es nun möglich, zum vierten- und letztenmal acht formale Definitionen für Gleichgewicht von Rüstungswettläufen und seine Stabilitätseigenschaften zu präsentieren. Zusätzliche Prädikatskonstanten oder Subjektsvariablen sind dabei nicht erforderlich; das zu jedem Zustand z des Systems x gehörige n-Tupel aus Bruttosozialprodukten soll durch Sz bezeichnet werden. Die einzelnen Definitionen, in denen die Prädikatskonstanten über Gleichgewichtslagen und Gleichgewichte mit d3 gekennzeichnet werden, lauten:

1. System x hat eine Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (G_{d3}x \leftrightarrow \bigvee y(Fy \wedge \bigwedge z(Pz \rightarrow (zIy \rightarrow \bigwedge i(dz_i/dt = \\ = K_i dSz_i/dt \wedge i \varepsilon N \wedge d\left(\frac{dz_i/dt}{dSz_i/dt}\right)\Big/ dt = 0))))))$$

2. System x ist im Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (Gl_{d3}x \leftrightarrow xZz \wedge zIy \wedge (zIy \rightarrow \\ \rightarrow \bigwedge i(dz_i/dt = K_i dSz_i/dt \wedge i \varepsilon N \wedge d\left(\frac{dz_i/dt}{dSz_i/dt}\right)\Big/ dt = 0))))$$

3. System x hat eine stabile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (SG_{d3}x \leftrightarrow G_{d3}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt < K_i dSz_i/dt \wedge \\ \wedge d(z_i - \delta)/dt > K_i dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

4. System x hat eine labile Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (LG_{d3}x \leftrightarrow G_{d3}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt > K_i dSz_i/dt \vee \\ \wedge d(z_i - \delta)/dt < K_i dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

5. System x hat eine neutrale Gleichgewichtslage:

$$\bigwedge x(Sx \rightarrow (NG_{dg}x \leftrightarrow G_{dg}x \wedge \bigvee i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt = K_i dSz_i/dt \wedge \wedge d(z_i - \delta)/dt = K_i dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

6. System x ist im stabilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (SGl_{dg}x \leftrightarrow Gl_{dg}x \wedge \bigwedge i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt < < dSz_i/dt \wedge d(z_i - \delta)/dt > dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

7. System x ist im labilen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (LGl_{dg}x \leftrightarrow Gl_{dg}x \wedge \bigvee i \bigvee \delta(d(z_i + \delta)/dt > > K_i dSz_i/dt \vee d(z_i - \delta)/dt < K_i dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

8. System x ist im neutralen Gleichgewicht:

$$\bigwedge x \bigwedge y \bigwedge z(Sx \wedge Fy \wedge Pz \rightarrow (NGl_{dg}x \leftrightarrow Gl_{dg}x \wedge \bigvee i \bigwedge \delta(d(z_i + \delta)/dt = = K_i dSz_i/dt \wedge d(z_i - \delta)/dt = K_i dSz_i/dt \wedge \delta \varepsilon R \wedge \delta > 0 \wedge i \varepsilon N)))$$

### 4.4.2 *Ableitung von Kriterien aus formalen Modellen*

#### 4.4.2.1 *Gleichgewichtskriterien*

##### 4.4.2.1.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Um in formalen Rüstungswettlaufmodellen Bedingungen für eine dynamische Gleichgewichtslage nach der Definition 1 aus 4.4.1 ableiten zu können, muß man voraussetzen, daß sich die Bruttosozialprodukte der beiden am Rüstungswettlauf beteiligten Seiten, $BSP_1$ und $BSP_2$, durch Funktionen der Zeit darstellen lassen. Voraussetzung für die folgende Ableitung ist also, daß gilt:

$$BSP_1 = A_1 e^{B_1 t} \tag{36}$$

$$BSP_2 = A_2 e^{B_2 t} \tag{37}$$

Das erste Kriterium für das Vorliegen einer dynamischen Gleichgewichtslage nach der dritten Definition lautet in der Anwendung auf Richardsons Rüstungswettlaufmodell:

$$dx/dt = K_1 dBSP_1/dt = K_1 A_1 B_1 e^{B_1 t} \tag{38}$$

und

$$dy/dt = K_2 dBSP_2/dt = K_2 A_2 B_2 e^{B_2 t} \tag{39}$$

Aus (38) und (39) folgt für x und y:

$$x = K_1 A_1 e^{B_1 t} + C_1 = K_1 BSP_1 + C_1 \tag{40}$$

$$y = K_2 A_2 e^{B_2 t} + C_2 = K_2 BSP_2 + C_2 \tag{41}$$

Die allgemeine Lösung des Systems ((1), (2)) lautet:

$$x = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} \tag{42}$$

$$y = d_1 e^{\lambda_1 t} + d_2 e^{\lambda_2 t} \tag{43}$$

Vergleicht man (40) mit (42) und (41) mit (43), so sieht man, daß entweder $\lambda_1$ oder $\lambda_2$ gleich Null sein muß. Die bereits in 4.3.2.1.1 benötigten Lösungen der charakteristi-

schen Gleichung des Systems ((1), (2)) sind $\lambda_{1/2} = -\frac{a+b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + kl}$.
Damit eine der beiden Lösungen gleich Null sein soll, muß $kl = ab$ gelten. Dabei müssen zwei Fälle unterschieden werden: ist $a + b > 0$, dann ist $\lambda_1 = 0$ und $\lambda_2 < 0$; ist $a + b < 0$, dann ist $\lambda_1 = -(a + b) > 0$ und $\lambda_2 = 0$. Da die Exponenten von e in (40) und (42), (41) und (43) identisch sein müssen, $B_1$ und $B_2$ aber positiv sind, kann eine dynamische Gleichgewichtslage nur in dem zweiten Fall $kl = ab$ und $a + b < 0$ vorliegen. $\lambda_2$ ist dann gleich Null, und es gilt $c_2 = C_1$ und $d_2 = C_2$. Außerdem müssen $B_1$ und $B_2$ identisch und gleich $\lambda_1$ sein; ein Rüstungswettlauf kann also in Richardsons Modell auch nur dann eine dynamische Gleichgewichtslage der dritten Art haben, wenn die Exponenten der das Wachstum der Bruttosozialprodukte beider Seiten beschreibenden Exponentialfunktionen der Zeit identisch sind. Damit das System eine Gleichgewichtslage der durch (40) und (41) beschriebenen Form hat, muß zusätzlich gelten: $c_1 = K_1A_1$ und $d_1 = K_2A_2$.
Sind alle diese Bedingungen erfüllt, dann ist die Gleichgewichtslage eine Gerade in der x-, y-Ebene mit den Gleichungen

$$
\begin{aligned}
& y = \frac{K_2A_2}{K_1A_1}x - C_1\frac{K_2A_2}{K_1A_1} + C_2 \\
\text{oder} \quad & y = \frac{a+\lambda_1}{k}x - \frac{g+\lambda_1C_1}{k} \qquad (44) \\
\text{oder} \quad & y = \frac{l}{\lambda_1+b}x - \frac{h+\lambda_1C_2}{a}
\end{aligned}
$$

Das zweite Kriterium für dynamische Gleichgewichtslagen in Definition 1 aus 4.4.1 lautet in Anwendung auf Richardsons Modell $d\left(\frac{dy/dt}{dBSP_1/dt}\right)\Big/dt = 0$ bzw. $d\left(\frac{dy/dt}{dBSP_2/dt}\right)\Big/dt = 0$. Setzt man (1) und (2) und die ersten Ableitungen von (36) und (37) nach der Zeit ein, so erhält man $d\left(\frac{ky-ax+g}{A_1B_1e^{B_1t}}\right)\Big/dt = d\left(\frac{lx-by+h}{A_2B_2e^{B_2t}}\right)\Big/dt =$ $= 0$. Daraus ergeben sich als Bedingungen für dynamische Gleichgewichtslagen jedoch nur die bereits bekannten Kriterien $ab = kl$ und $B_1 = B_2 = \lambda_1 = -(a+b)$, so daß mit Erfüllung des ersten das zweite Kriterium automatisch erfüllt ist.

#### 4.4.2.1.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

In Anwendung auf das Rüstungswettlaufmodell von Lagerstrom unterscheidet sich das erste Kriterium für dynamische Gleichgewichtslagen nicht von der auf Richardsons Modell in (38) und (39). Aus dem Vergleich dieser beiden Gleichungen mit (32) und (33) ergibt sich, daß wieder entweder $\lambda_1$ oder $\lambda_2$ gleich Null sein muß, wobei $\lambda_1$ und $\lambda_2$ wie in 4.3.2.1.2 die Lösungen von (29) sind: $\lambda_{1/2} = -\frac{k+l}{2} \pm \sqrt{\frac{(k+l)^2}{4} - k - l}$.

Die Bedingung dafür, daß $\lambda_1$ oder $\lambda_2$ gleich Null ist, heißt $k = -1$; ist sie erfüllt, sind jedoch beide Lösungen gleich Null.
Es könnte jedoch auch $\lambda_1 = \lambda_2$ gelten, wenn in (32) und (33) dx/dt und dy/dt einfache Exponentialfunktionen der Zeit sein sollen. Das ist außer für $k = -1$ mit $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ nur für $k = 4 - 1$ mit $\lambda_1 = \lambda_2 = -2$ der Fall. Da wieder $B_1 = B_2 = \lambda_1 = \lambda_2$ gelten müßte, wären mithin die Exponenten von e in (36) und (37) ebenfalls negativ. Lagerstroms Modell läßt also theoretisch dynamische Gleichgewichte der dritten Art – zumindest nach dem ersten Kriterium – durchaus zu, jedoch nur bei einer bestimmten, gleichartigen und rapiden Abnahme der Bruttosozialprodukte der beiden am Rüstungswettlauf beteiligten Staaten in der Zeit. Dieser Fall ist so unrealistisch, daß er nicht weiter verfolgt wird.

#### 4.4.2.2 *Stabilitätskriterien*

##### 4.4.2.2.1 *In Richardsons Rüstungswettlaufmodell*

Die Anwendung der Stabilitätskriterien aus 4.4.1 auf dynamische Gleichgewichte nach der dritten Definition ist bei Richardsons Modell relativ einfach. Hat ein Rüstungswettlauf eine derartige Gleichgewichtslage, dann gilt nach (40) und (42) bzw. (41) und (43)

$$x = K_1A_1e^{\lambda_1 t} + C_1 = c_1e^{\lambda_1 t} + C_1 = K_1BSP_1 + C_1 \tag{45}$$

$$y = K_2A_2e^{\lambda_1 t} + C_2 = d_1e^{\lambda_1 t} + C_2 = K_2BSP_2 + C_2 \tag{46}$$

Für einen Punkt abseits der Gleichgewichtslage (44) gilt dann $x + \delta = K_1BSP_1 + C_1 + \delta = K_1BSP_1 + C_1'$ und damit $d(x + \delta)/dt = K_1dBSP_1/dt = dx/dt$. Entsprechend läßt sich zeigen, daß $d(x - \delta)/dt = dx/dt$ und $d(y + \delta)/dt = d(y - \delta/dt = dy/dt$, und bei der Gleichgewichtslage (44) handelt es sich also um eine neutrale Gleichgewichtslage. Eine beliebige Auslenkung aus dieser Gleichgewichtslage beantwortet das System, indem es sich in der x-, y-Ebene parallel zu (44) mit unveränderter Geschwindigkeit bewegt. Die nach der Auslenkung seine Bewegung beschreibende Gleichung erhält man durch Substitution von $C_1'$ und $C_2'$ in (44).

##### 4.4.2.2.2 *In Lagerstroms Rüstungswettlaufmodell*

Nach dem Verzicht auf die weitere Behandlung der extrem unrealistischen Bedingungen für dynamische Gleichgewichtslagen nach der dritten Definition in Lagerstroms Modell erübrigt sich auch die hier fällige Stabilitätsuntersuchung.

### 4.4.3 *Statistische Kriterien für dynamisches Gleichgewicht nach der dritten Definition*

Die statistischen Kriterien für dynamisches Gleichgewicht nach der dritten Definition sind nicht unähnlich den in 4.3.3 entwickelten Kriterien. Während dort $\Delta(x)$ hochsignifikant mit $\Delta(y)$ korreliert sein mußte, wird hier aufgrund von (38) und (39) verlangt, daß sowohl $r_1$ zwischen $\Delta(x)$ und $\Delta(BSP_1)$ (mit $\Delta_i(BSP_1) = BSP_{1,i+1} - BSP_{1,i}$)

als auch $r_2$ zwischen $\Delta(y)$ und $\Delta(BSP_2)$ (mit $\Delta_i(BSP_2) = BSP_{2,i+1} - BSP_{2,i}$) so groß sind, daß beide Nullhypothesen auf hohem Signifikanzniveau (etwa $p = 0{,}01$) verworfen werden können, daß die $r_1$ und $r_2$ entsprechenden *Populationskoeffizienten* $\varrho_1$ und $\varrho_2$ gleich Null seien.
Aus (40) und (41) läßt sich zusätzlich ableiten, daß eine dynamische Gleichgewichtslage nur dann vorliegen kann, wenn auch eine lineare Beziehung zwischen x und $BSP_1$, bzw. zwischen y und $BSP_2$, besteht. Damit hat man zwei weitere Kriterien dergestalt, daß auch diese beiden Korrelationskoeffizienten, $r_3$ und $r_4$, mit Hilfe des F-Tests als signifikant erwiesen werden sollen.
Gegen systematische Fehler, welche man bei der Berechnung und beim Test auf Signifikanz von $r_1$ bis $r_4$ nicht entdeckt, kann man sich durch die Berechnung zweier weiterer Korrelationen vorsehen. Zunächst werden die beiden Zeitreihen $\frac{\Delta(x)}{\Delta(BSP_1)}$ und $\frac{\Delta(y)}{\Delta(BSP_2)}$ gebildet, und anschließend werden sie mit der Zeit korreliert. Die beiden Koeffizienten $r_5$ und $r_6$ dürfen sich auf niedrigem Signifikanzniveau nicht signifikant von Null unterscheiden.
Findet die Analyse eines bestimmten Rüstungswettlaufs mit Hilfe von Richardsons System ((1), (2)) statt, dann weiß man aus 4.4.2.1.1 zusätzlich, daß eine Gleichgewichtslage nur eine Gerade in der x-, y-Ebene sein kann, und entsprechend muß der Korrelationskoeffizient $r_7$ zwischen x und y hochsignifikant sein. In diesem Sonderfall stehen mithin sieben, im Regelfall, in dem ein den Rüstungswettlauf beschreibendes Modell nicht bekannt ist, sechs Kriterien zur Verfügung, deren gleichzeitige Erfüllung durch einen gegebenen Datensatz für den Fall eines dynamischen Gleichgewichts verlangt wird.

## 5. *Schlußbemerkung*

Angesichts der Fülle und der Verschiedenartigkeit des bearbeiteten Materials ist eine Zusammenfassung der Einzelergebnisse dieses Aufsatzes, besonders des vierten Teils, nicht angebracht. Statt dessen gehe ich noch einmal kurz auf die Ausführungen zu Aspekten der Theoriebildung in 1., 2.5 und 3. ein und versuche darzulegen, welche der dort erhobenen Ansprüche eingelöst worden sind. Zweitens soll noch berücksichtigt werden das Verhältnis zwischen den *formalen* und den *statistischen Kriterien* für dynamische Gleichgewichte und der forschungspraktische Nutzen, den beide Arten von im vierten Teil entwickelten Kriterien haben können.
Wenn es mir tatsächlich gelungen sein sollte, im zweiten Teil dieser Arbeit die Unbrauchbarkeit der umlaufenden Definitionen des Gleichgewichts von Rüstungswettläufen und seiner Stabilitätseigenschaften zu zeigen, seien sie in Anlehnung an die Abschreckungstheorie oder an die Mechanik formuliert, dann muß man sich nach anderen Definitionen dieser Terme umsehen, sofern man sie überhaupt im Zusammenhang von Erklärungen der Resultate von Rüstungswettläufen durch Eigenschaften ihres Ablaufs beibehalten will. In Anbetracht der Spekulation um die Auswirkungen

des Gleichgewichts von Rüstungswettläufen halte ich es für richtig, die Terme »Stabilität« und »Gleichgewicht« beizubehalten und neue Designate für sie zu suchen, mit denen die Terme wieder in dem erwähnten Erklärungszusammenhang verwandt werden können. Das Ergebnis ist die etwas ungewöhnliche Prozedur, daß für vorhandene Terme nach Designaten gesucht wird, während normalerweise das gegenläufige Verfahren üblich ist. Dennoch lasse ich den Vorwurf der Reifikation nicht gelten; er trifft diejenigen, welche die beiden Terme verwenden, ohne genau zu wissen, was sie eigentlich meinen, also offensichtlich glauben, das Etikett allein erkläre das Verhaltensresultat. Diese Suche nach neuen Designaten habe ich exemplarisch durchgeführt; ich bin nicht der Auffassung, mit den drei vorgeschlagenen Definitionen dynamischen Gleichgewichts den Stein der Weisen bereits gefunden zu haben, also solche Designate zu den Termen »Stabilität« und »Gleichgewicht«, welche die Möglichkeiten der Erklärung der Resultate von Rüstungswettläufen erheblich verbessern. Mir kam es in erster Linie auf die Richtung an, in der die Suche am ehesten erfolgreich sein könnte, und ich glaube, sie mit solchen Definitionen gefunden zu haben, die sowohl eine irgendwie regelmäßige Veränderung der Rüstungen in der Zeit zulassen, als auch möglichst wenig Variablen aus der »Umgebung« des untersuchten Systems, des Rüstungswettlaufs, heranziehen.

Im vierten Teil dieses Aufsatzes habe ich unterschieden zwischen statistischen Kriterien für die verschiedenen Definitionen dynamischer Gleichgewichte und formalen Kriterien, die im Rahmen von formalen Rüstungswettlaufmodellen abgeleitet werden können. Bevor ich auf den praktischen Nutzen beider Arten von Kriterien zu sprechen komme, seien noch einige Bemerkungen zu den durch beide ausgegrenzten Fallmengen erlaubt. Die statistischen Kriterien sind anwendbar, ohne daß man weiß, daß ein bestimmtes formales Modell den je untersuchten Rüstungswettlauf erklärt. Hat man jedoch letztere Information, dann sind beide Kriterien für einen bestimmten Gleichgewichtstyp anwendbar, und in diesen Fällen stellt sich das Problem der unterschiedlichen Fallmengen. Offensichtlich ist es nämlich möglich, daß ein Rüstungswettlauf über eine gewisse Zeit hinweg sich so ähnlich verhält, als hätte er nach dem ihn beschreibenden Modell eine Gleichgewichtslage in der Umgebung seines gegenwärtigen Zustands, ohne daß das der Fall zu sein braucht. Anhand der statistischen Kriterien würde ein solcher Rüstungswettlauf jedoch eindeutig als »im Gleichgewicht« befindlich ermittelt. Auch bei denjenigen Rüstungswettläufen, die durch formale Modelle darstellbar sind, ist also die Menge aller von dem System tatsächlich erreichten Gleichgewichtslagen nur eine echte Teilmenge aller nach den statistischen Kriterien bei diesen Rüstungswettläufen ermittelten Gleichgewichte.

Mit dem anderen möglichen Fall, daß nämlich ein durch ein formales Modell erklärter Rüstungswettlauf, der eine bestimmte Gleichgewichtslage hat, sich bei Erreichung dieser Lage nach den statistischen Kriterien so verhält, als hätte er hier gar keine Gleichgewichtslage, sind wir bereits bei dem forschungspraktischen Nutzen der statistischen Kriterien. Bei einem derartigen Verhalten ist es nämlich möglich, die Hypothese zurückzuweisen, daß der vorliegende Rüstungswettlauf durch das betreffende Modell erklärt wird, auch wenn das bei bisher erfolgten Überprüfungen nicht möglich gewesen sein mag.

Diese Anwendungsmöglichkeit wird jedoch eher diejenigen interessieren, die sich mit formalen Rüstungswettlaufmodellen abgeben, ohne viel Bedeutung für solche Wissenschaftler zu haben, welche der Modellkonstruktion die Datenanalyse vorziehen. Ich glaube aber, daß auch für die letzteren die statistischen Kriterien für das Vorliegen von dynamischen Gleichgewichten nicht uninteressant sein können. Mit ihrer Hilfe ist es beispielsweise möglich, ohne sich den Kopf über formale Probleme zu zerbrechen, beliebige Rüstungswettläufe zu befragen, ob und wann sie in einem oder mehreren der dynamischen Gleichgewichte waren, wann diese begannen und endeten und welche Ereignisse in der Umgebung des Rüstungswettlaufs den Beginn und das Ende dieser Gleichgewichte begleiteten, ihnen vorausgingen oder folgten.
Geteilter Meinung über den Nutzen für die Forschungspraxis könnte man am ehesten bei der Ableitung der formalen Kriterien aus Richardsons und Lagerstroms Rüstungswettlaufmodellen sein; einen solchen habe ich diesem *Teil* der Arbeit *indes* auch *nicht* zugedacht. Auch ich bin mir darüber im klaren, daß keines der beiden Modelle in der vorliegenden Form Chancen hat, in den Bestand an sozialwissenschaftlichen »Naturgesetzen« einzugehen, so daß die von mir abgeleiteten Kriterien nicht in den Genuß *irgendeines Anspruchs* auf *Allgemeingültigkeit* kommen werden. Der Sinn dieser Übungen liegt viel eher in ihrem exemplarischen Charakter. Dieser besteht zunächst darin zu zeigen, daß in den umlaufenden Modellen auch andere Gleichgewichtslagen möglich sind als die bislang verwandten, der Definition eines Rüstungswettlaufs widersprechenden, und daß Kriterien für ihr Vorliegen ableitbar sind. Mir erscheint das als wichtiges Argument für die Beschäftigung mit formalen Modellen zur Analyse von Rüstungswettläufen, für den Versuch der Entwicklung neuer Modelle und den Test dieser und der bereits vorhandenen Modelle. Exemplarisch sind die einschlägigen Ausführungen ferner in dem Sinn, daß damit gezeigt werden soll, auf welche Weise ein Inventar von Definitionen dynamischen Gleichgewichts von Rüstungswettläufen und seinen Stabilitätseigenschaften zustande kommen kann, die entweder einzeln oder in Kombinationen auf ihren Beitrag zur Erklärung der Resultate von Rüstungswettläufen abgefragt werden können.
*Dieser* eher *skeptischen Beurteilung der praktischen Relevanz der Ableitungen aus* Teil 4. dieses Aufsatzes könnte man indes den folgenden Fall entgegenhalten: Gegeben sei ein realweltlicher Rüstungswettlauf, der – nach den statistischen Kriterien aus 4. – während eines bestimmten Zeitabschnitts in einem dynamischen Gleichgewicht bekannten *Typs* war. *Es sei noch* kein formales Modell bekannt, das den betreffenden Rüstungswettlauf erklärt. Kennt man nun bei einer Reihe von Rüstungswettlaufmodellen die Kriterien für dynamische Gleichgewichte des betreffenden Typs, so kann man leicht diejenigen Modelle aussondern, die den gegebenen Rüstungswettlauf unter keinen Umständen erklären können, indem man überprüft, ob die jeweiligen Kriterien bei diesem Rüstungswettlauf erfüllt sind. Sind sie erfüllt, dann heißt das noch nicht, daß man ein den Rüstungswettlauf erklärendes Modell gefunden hat, hier sind dann strengere Tests anzusetzen. Sind sie aber nicht erfüllt, dann erklärt das jeweilige Modell den Rüstungswettlauf auf keinen Fall, und man kann sich arbeitsintensivere Tests sparen. Ob dieser Vorteil die Ableitung der Kriterien für verschiedene Typen dynamischer Gleichgewichte aus den vorliegenden Rüstungswettlaufmodellen lohnt, hängt

von der Häufigkeit dynamischer Gleichgewichte bei realweltlichen Rüstungswettläufen ab. Zur Beurteilung der forschungspraktischen Relevanz des vierten Teils dieser Arbeit ist man also – wie stets in der empirischen Wissenschaft – auf empirische Arbeit angewiesen, vor der allerdings die hier behandelten terminologischen Probleme geklärt sein müssen [33].

*Anmerkungen:*

1 Eine formale Definition des Terms »Rüstungswettlauf« zu geben, wäre für die Zwecke dieses Aufsatzes nicht unbedingt erforderlich, da ohne jeden Versuch einer Definition über Rüstungswettläufe zu sprechen schließlich auch gute Tradition in der gesamten einschlägigen Literatur ist; nicht einmal die grundlegende Arbeit von *L. F. Richardson* (1960) enthält eine Definition des Terms. Um diese Tradition nicht fortzusetzen, will ich eine Definition versuchen, die jedoch noch nicht Operationalität beansprucht, sondern lediglich eine klarere Vorstellung von der intendierten Fallmenge vermitteln soll. Danach verstehe ich unter einem Rüstungswettlauf ein Paar von n-Tupeln aus Verhaltensakten mit den folgenden Eigenschaften:
Alle Verhaltensakte eines n-Tupels gehen von der gleichen nationalstaatlichen Entscheidungseinheit aus oder von den Entscheidungseinheiten eines bestimmten Militärbündnisses.
Die Verhaltensakte jedes n-Tupels sind in chronologischer Reihenfolge angeordnet.
Jeder Verhaltensakt jedes der beiden n-Tupel dient der Steigerung der Rüstung (»Rüstung« bleibt hier undefiniert) der Entscheidungseinheit, von der er ausgeht. Damit gilt für jedes n-Tupel, daß die als Ergebnis jedes Verhaltensaktes resultierende Rüstung der jeweiligen Entscheidungseinheit oder der jeweiligen Allianz größer ist als die als Resultat aller vorangegangenen Verhaltensakte des gleichen n-Tupels erhaltene Rüstung.
Jeder Verhaltensakt (mit Ausnahme des ersten) in jedem n-Tupel wird von der jeweiligen Entscheidungseinheit als Reaktion auf mindestens einen zeitlich zuvor erfolgten Verhaltensakt des jeweils anderen n-Tupels interpretiert.

2 Cf. beispielsweise das bei *J. D. Singer* (1970), p. 143, vorgeschlagene Forschungsprogramm der Suche nach Regelmäßigkeiten im Zusammenhang von beliebigen Eigenschaften von Rüstungswettläufen und ihren Resultaten, cf. auch *R. H. Cady* (1966), p. 16.

3 Ihre Wurzel hat diese Folklore wohl in der Annahme von *L. F. Richardson* (1960), pp. 17, 23, daß ein Rüstungswettlauf ohne stabiles Gleichgewicht zum Krieg führen müsse, wenn die Rüstungen der beiden am Rüstungswettlauf beteiligten Staaten erst einmal zu steigen begännen, daß also »unendlich« hohe Rüstung und Krieg identisch seien. Obwohl sowohl im Vorwort von *L. F. Richardson* (1960), pp. vif., als auch bei *J. C. Harsanyi* (1962), pp. 694 f., *T. L. Saaty* (1968), p. 49, *M. D. Intriligator* (1968b), Anm. 3, p. 13, auf den Annahmecharakter dieser Aussage hingewiesen wird, ist er bislang kaum beachtet worden. Ein völlig irrelevanter Versuch des Tests dieser Annahme Richardsons findet sich bei *B. O'Neill* (1970), der allerdings auch nicht von einer Annahme, sondern von einer »Theorie« *Richardsons* spricht.

4 Cf. *K. Faupel* (1971), pp. 60 f.

5 In diesem Sinne wird »Macht« definiert z. B. bei *D. G. Pruitt* (1964), pp. 166 f., *K. J. Holsti* (1964), p. 180, *R. C. Miller* (1964), pp. 196 f., 198, *M. Brecher* (1969), pp. 83 f., *J. D. Singer* (1971), pp. 10–12, *D. A. Baldwin* (1971), p. 473, *G. H. Snyder* (1971), pp. 467 f., *F. C. German* (1960), pp. 138–141. *K. Knorr* (1970), pp. 2 f., spricht hier von »putativer Macht«.

6 *Knorr* unterscheidet bei »putativer Macht« (im Gegensatz zu »aktualisierter Macht«, der Verwendung der »putativen Macht« in einem Akt der Verhaltenskontrolle, cf. *K. Knorr* (1970), pp. 2 f.) zwischen »mobilisiertem Potential« (später: »militärischer Macht«) und »war potential« (später: »military potential«); ersteres ist mit »Rüstung« identisch. Das

frühere Begriffspaar findet sich bei *K. Knorr* (1956a), z. B. pp. 19 f., auch *K. Knorr* (1957), passim, und (1956b), pp. 138 f., das spätere Begriffspaar verwendet *K. Knorr* (1970), pp. 4 f., und in einer weiteren Variante (»military power« und »military power potential«) *K. Knorr* (1968), passim. Eine ähnliche Unterscheidung findet sich auch schon bei *M. A. Ash* (1951), pp. 227–231.

7 *D. A. Zinnes* (1967), p. 272.

8 *E. B. Haas* (1971), passim, *D. A. Zinnes* (1967), pp. 271 f.

9 *D. A. Zinnes* (1967), pp. 273–276.

10 *P. Chatterjee* (1972), pp. 53–56.

11 Ibid., p. 54.

12 Ibid., p. 51.

13 Cf. z. B. den verräterischen Titel von Institute for Strategic Studies, *The Military Balance*. Diese Publikation berichtet bisweilen über alle andere als »Gleichgewicht«.

14 Ein Beispiel dafür liefert *M. A. Kaplan* (1960), pp. 245 f. Beispiele für den synonymen Gebrauch von »balance« oder »equilibrium« und »stability« finden sich bei *C. B. Joynt* (1964), p. 27, *S. S. Nilson* (1959), p. 384, *Q. Wright* (1965), pp. 1389 f., *M. W. Hoag* (1961), pp. 510 f.

15 *G. Klaus* (1960), p. 236, *W. R. Ashby* (1964), pp. 73 f.

16 *S. Goldberg* (1968), pp. 239 f., die entsprechende Bedingung für Systeme, deren Verhalten durch Differentialgleichungen beschrieben wird, findet sich bei *S. Makridakis* (1971), p. 43.

17 Dieser Unterschied findet sich nur bei *W. R. Ashby* (1964), pp. 74 f., ein expliziter Hinweis darauf fehlt auch dort.

18 *W. R. Ashby* (1964), p. 77, *G. Klaus* (1969), p. 336, *J. H. Milsum* (1968), pp. 46 f., *T. L. Saaty* (1968), pp. 19–21.

19 *K. E. Boulding* (1963b), p. 20.

20 *W. R. Ashby* (1964), pp. 77 f., *J. H. Milsum* (1968), pp. 55–57, *S. Makridakis* (1971), p. 43.

21 *L. F. Richardson* (1939), in erweiterter und überarbeiteter Fassung wieder veröffentlicht als *L. F. Richardson* (1960).

22 *L. F. Richardson* (1960), p. 16.

23 *L. F. Richardson* (1960), pp. 23 f.

24 Große Publizität hat ihr die Adaptation von *K. E. Boulding* (1963b), Kapitel 2, hier besonders pp. 35 f., verschafft, die z. B. unverändert bei *K. J. Gantzel* (1969), pp. 121–123, übernommen wird.

25 Cf. *K. E. Boulding* (1963b), pp. 35 f., (1968), pp. 113 f.

26 *L. F. Richardson* (1960), pp. 56 f.

27 *A. L. Burns* (1959), besonders pp. 341 f.

28 Das einzige Rüstungswettlaufmodell, das aus Differentialgleichungen höherer Ordnung besteht, hat meines Wissens *R. P. Lagerstrom* (1968), p. 6, vorgeschlagen, der aber sein System nicht auf Gleichgewichtslagen untersucht. Systeme von nichtlinearen Differentialgleichungen werden außer in Richardsons »submissiveness«-Modell auch von *W. R. Caspary* (1967), pp. 76 f., und *J. C. Lambelet* (1971), p. 149, verwandt, aber auch diese Autoren nehmen keine Gleichgewichts- und Stabilitätsuntersuchungen an ihren Modellen vor. Solche Untersuchungen unternimmt nur *Wolfson*, dessen Modell aber als eine besondere Version des *Richardsonschen* aufgefaßt werden kann, cf. *M. Wolfson* (1972), passim.

29 Eine Reihe von Beispielen bieten: *D. G. Pruitt* (1969), pp. 398–400, *M. D. Intriligator* (1964), pp. 144–146, (1968b), pp. 7–11, 32–39, *K. E. Boulding* (1963b), pp. 30–33, *K. Midgaard* (1970), pp. 29–33, *P. Chatterjee* (1972), pp. 18–20, *W. R. Caspary* (1967), pp. 81 f., *M. C. McGuire* (1965), pp. 144–148.

30 Man könnte auch *M. W. Hoag* (1961), pp. 507 f., mit seinen Ausführungen über die Annäherung des Rüstungswettlaufs an einen Punkt, in dem der Zuwachs der beiderseitigen Rüstungen gleich Null ist, in diesem Sinne auffassen, aber da er sich auf ganz merkwürdige Weise um den Gebrauch des Terms »Gleichgewicht« herumdrückt, habe ich auf die Darstellung seines Beitrags an dieser Stelle verzichtet.

31 *G. H. Snyder* (1961), p. 97, (1971), pp. 462 f., 466.

32 *G. H. Snyder* (1969), pp. 115 f.
33 Ibid., p. 115.
34 In *Mobergs* Version ist ein Rüstungswettlauf zwischen zwei Staaten oder Allianzen im Gleichgewicht »... when it is not profitable for either of them to attack the other.« *E. Moberg* (1966), p. 82.
35 *E. Moberg* (1966), p. 82.
36 *E. B. Hansen* (1964), pp. 139 f.
37 Die Rolle von Glaubwürdigkeit und Perzeption für die Definition des Gleichgewichts der Abschreckung diskutiert u. a. *G. H. Snyder* (1961), pp. 99–103, (1969), pp. 116–118.
38 Etwas schlichter ausgedrückt lautet dieses Problem also: Wie kommt man zu den Kurven (bei *Moberg*) bzw. der Kurve (bei *Hansen*), welche die Lage aller möglichen Gleichgewichte in einem realweltlichen Rüstungswettlauf eingrenzen.
39 Cf. 2.5.
40 *L. F. Richardson* (1960), pp. 24–27.
41 Diesen Fall trägt *Richardson* bei seiner zweiten Diskussion der Stabilitätseigenschaften dann noch nach, cf. *L. F. Richardson* (1960), pp. 40 f.
42 Dieses ist das Standardverfahren zur Ermittlung der Stabilitätseigenschaften der Gleichgewichte von dynamischen Systemen aus Differential- oder Differenzengleichungen; zu ersteren cf. *R. Bellman* (1953), *T. L. Saaty* (1968), pp. 52–54, *J. H. Milsum* (1968), pp. 53–57, zu letzteren cf. *P. D. Lax* (1956), pp. 278–284, *S. Goldberg* (1968), pp. 239–248, *R. S. Eckaus* (1957). Ein Vergleich der zitierten Literatur zeigt auch die große Ähnlichkeit der Kriterien für die verschiedenen Stabilitätseigenschaften bei Differenzen- und Differentialgleichungen.
43 *L. F. Richardson* (1960), pp. 39–41.
44 *P. E. Chase* (1969), Table 1, p. 142.
45 Cf. z. B. *P. E. Chase* (1968), pp. 48 f., (1971), pp. 469 f., *M. D. Intriligator* (1968b), pp. 33–36, 38 f.
46 Cf. Anm. 28.
47 *L. F. Richardson* (1960), Figures 4, 5, pp. 25 f.
48 Zur graphischen Anwendung cf. beispielsweise *A. L. Burns* (1959), pp. 331–334, *M. D. Intriligator* (1964), pp. 144–146, *P. Chatterjee* (1971), pp. 18–20, *M. C. McGuire* (1965), pp. 144–148, *M. Nicholson* (1970), pp. 124–132.
49 Cf. z. B. *G. W. Rathjens* (1969a), pp. 8, 28 f., *H. Kahn* (1966), p. 48, *J. I. Coffey* (1967), p. 41.
50 Zu einem – zumindest der Intention nach – metrischen Konzept wird »Stabilität« der Abschreckung bei *G. R. Pitman* (1966), pp. 351 f., der den Term folgendermaßen expliziert: »... the stability of the strategic environment can be evaluated in terms of the propensity of nations to engage in war. ... this propensity can be measured in terms of the population fatalities which would be avoided through pre-emption« (p. 351). Zu *Pitmans* einzelnen Stabilitätsindizes cf. pp. 352 f.
51 Zu ersterer cf. *T. C. Schelling* (1963), pp. 235–237, zu letzteren *T. C. Schelling* (1961a), pp. 56–58.
52 Cf. allgemein zu ihrem Einfluß auf die Stabilität der Abschreckung *T. C. Schelling* (1963), p. 251, *J. D. Singer* (1962b), pp. 460 f.
53 Cf. beispielsweise *M. W. Hoag* (1961, pp. 513 f., zur Härtung von Interkontinentalraketen.
54 Zu dieser Diskussion cf. beispielsweise *M. Kalkstein* (1970), p. 155, *J. J. Stone* (1968), pp. 6–9, *G. W. Rathjens* (1969a), pp. 19 f., (1969b), pp. 20–22, *H. F. York* (1970), pp. 258–260, *L. W. Martin* (1970), pp. 116 f., 118 f., *B. Scowcroft* (1969), pp. 448 f., *B. S. Lambeth* (1972), p. 234.
55 *T. C. Schelling* (1962), pp. 5–7.
56 *Schelling* charakterisiert diesen Gebrauch des Terms »Stabilität« indem er sagt, es handle sich wohl um ein Synonym für all das, was man an der internationalen Lage für wichtig und wünschenswert hält; cf. *T. C. Schelling* (1961a), p. 51.

57 Cf. beispielsweise *J. I. Coffey* (1967), p. 47, *J. D. Singer* (1961), passim, *T. C. Schelling* (1961a), p. 50.

58 »Instability is defined as the *likelihood* of *sudden (basic) change* and stability is defined as the opposite of instability« (Hervorhebung im Original). *D. G. Pruitt* (1969), p. 293. Zur Krisendefinition cf. *C. F. Hermann* (1969), pp. 411–413.

59 *G. H. Snyder* (1961), pp. 97 f., (1971), p. 466; man beachte auch die Ähnlichkeit meiner räumlichen Interpretation von *Snyders* Stabilitätsdefinition zu der Definition von *D. G. Pruitt* (1969), pp. 400 f.

60 *G. H. Snyder* (1961), p. 101.

61 *G. H. Snyder* (1961), pp. 98, 103, (1971), pp. 466 f.

62 *G. H. Snyder* (1971), p. 467.

63 *M. C. McGuire* (1965), p. 28.

64 Auf die Notwendigkeit einer Unterscheidung weisen außer *McGuire* meines Wissens nur hin *W. R. Kintner* (1970), pp. 367–370, *C. S. Gray* (1971), pp. 57–59, *G. W. Rathjens* (1971), pp. 3 f., *R. Jervis* (1972), pp. 71–75. Besonders erfreulich ist *Rathjens'* Differenzierung von »arms race stability« und »crisis stability«, da *Rathjens* es früher damit nicht so genau genommen hat; cf. *G. W. Rathjens* (1969a), pp. 19 f., (1969b), pp. 20–22.

65 Cf. *K. R. Popper* (1959), pp. 59 f.

66 Ein Auszug aus der langen Liste der Beiträge, die sich alle mehr oder weniger um das Thema der Unverletzlichkeit der Abschreckungswaffen ranken und um die dadurch erzielte Möglichkeit, einen Gegenschlag bis zum passendsten Moment oder als Erpressungsmittel (»capacity to delay response«) zurückzuhalten, enthält folgende Titel: *A. Wohlstetter* (1959), pp. 213–217, *P. H. Backus* (1959), pp. 26 f., *T. W. Milburn* (1961), pp. 7 f., *T. C. Schelling* (1963), pp. 231 f., (1966), pp. 192–204, *B. Brodie* (1959), pp. 180 f., (1966), Kapitel 4, *J. J. Stone* (1966), pp. 23 f., *S. F. Griffin* (1962), passim, *J. D. Singer* (1962a), pp. 74–77, (1961), pp. 428 f., *J. I. Coffey* (1970), p. 994, *A. M. Kuzmack* (1965), p. 310, *W. K. H. Panofsky* (1971), pp. 18 f., *J. Lederberg* (1971), p. 5, *I. Smart* (1971), pp. 344–346.

67 Am weitesten geht wohl die Präzisierung von *McNamara*, der von der »Zerstörung als lebensfähige Industrienation« spricht und als Kriterien die Vernichtung von drei Vierteln der Produktionsanlagen und Verkehrswege und eines Viertels der Bevölkerung nennt; cf. auch Members of Congress for Peace Through Law (1971), p. 41, R. S. *McNamara* (1968), pp. 52 f., *J. T. McNaughton* (1963), pp. 232 f., *J. I. Coffey* (1971), pp. 8 f., *J. D. Singer* (1962a), pp. 31 f., *M. Deutsch* (1961), pp. 59–64, *B. Scowcroft* (1969), pp. 440 f., *C. F. Doran* (1973), p. 249. Besonders die beiden letzteren kritisieren die Vagheit des Konzepts der »assured destruction«.

68 Und nicht nur davon, sondern die Bewertung – zumindest die deklarierte – möglichen Schadens hängt auch ab von der eigenen Rüstung auf bestimmten waffentechnischen Sektoren, wobei in der Regel abgewertet wird, was man nicht selbst besitzt. Sowohl die UdSSR als auch die Volksrepublik China betonten z. B. zu Beginn ihrer atomaren Aufrüstung die Nutzlosigkeit solcher Waffen und ihre Fähigkeit, auch nach atomaren Schlägen jeder Größenordnung den »Papiertigern« die Zähne zu ziehen; cf. *G. H. Quester* (1966), pp. 175 f., *A. L. Monks* (1972), pp. 525–531.

69 Cf. dazu die grundlegenden Arbeiten von *W. W. Kaufmann* (1956), *T. W. Milburn* (1959), (1961), *B. M. Russett* (1963), *C. F. Fink* (1965), ferner *T. C. Schelling* (1963), pp. 36–38, 128–131, (1966), pp. 37–43, (1964), pp. 214 f., *J. R. Raser* (1966), pp. 309–311, *K. E. Boulding* (1964), pp. 81 f., (1963a), pp. 426, 428, *K. W. Deutsch* (1963), p. 223, *R. C. Snyder* (1961), p. 35.

70 Z. B. *R. D. Bowers* (1958), United States Atomic Energy Commission (1957), *G. A. Kent* (1963), *M. C. McGuire* (1965), pp. 86–93, *H. Everett* (1959), *I. Smart* (1969), pp. 16 f., *L. E. Davis* (1973).

71 Beispielsweise *M. D. Intriligator* (1967), passim, (1968a), passim, besonders pp. 1153–1159, (1968b), pp. 17–26, *M. C. McGuire* (1965), pp. 50–82, *T. L. Saaty* (1968), pp. 54–57, *H. J. Piccariello* (1962), *F. A. Miercort* (1971), *A. Nagabhushanam* (1972), *H. Afheldt* (1973).

72 Das sehen ihre Autoren zum Teil auch selbst, so schreibt *McGuire* z. B. »... evaluating war outcomes under any but the simplest assumptions at present is futile« *M. C. McGuire* (1967), p. 134; cf. auch *R. H. Cady* (1966), p. 16.

73 Cf. Anm. 1.

74 Dieser Punkt ist stets übersehen worden. So behauptet beispielsweise *M. Nicholson* (1970), p. 127, das genaue Gegenteil, womit er aber seiner eigenen Definition von »Rüstungswettlauf« (p. 121) widerspricht.

75 Und das auch nur in der Form von Ungleichungen für x und y, für welche die exakten numerischen Werte von x und y irrelevant sind.

76 Die Untersuchung dynamischer Gleichgewichte im Kontext von Rüstungswettlaufmodellen stellt – nach meiner Kenntnis der Literatur – eine Innovation dar. In der neueren wirtschaftswissenschaftlichen Wachstumsforschung dagegen kennt man die Frage nach dem »Gleichgewichtswachstum« eines Systems schon länger; cf. *G. Bombach* (1968), pp. 376–378, *R. M. Solow* (1968), pp. 82 f., *R. F. Harrod* (1968), pp. 41–43, *W. J. Baumol* (1970), pp. 388–393. Für den Hinweis auf diese Literatur danke ich Herrn Privatdozent Dr. Hans Kammler von der Universität Köln.

77 Diese Definition entspricht noch am ehesten der völlig auf verbalem Niveau erfolgenden Behandlung von »dynamischem Gleichgewicht« von Rüstungswettläufen bei *S. P. Huntington* (1958), p. 63.

78 Cf. 2.1.2.

79 Cf. 2.2.1.

80 *R. P. Lagerstrom* (1968), p. 6.

81 Cf. 2.2.1.

82 Daß es sich um eine Gerade handeln muß, sieht man daran, daß aus der Gleichgewichtsbedingung aus Definition 1. unmittelbar folgt: $z_i = K_i t + C_i$. Die Projektion dieser einzelnen Geraden in den Rüstungsraum mit den $z_i$ als Dimensionen ergibt wiederum eine Gerade.

83 *R. P. Lagerstrom* (1968), p. 6; gegenüber der Vorlage habe ich als einzige Veränderung vorgenommen, daß die Zeit T, über die hinweg beide Seiten die eigene und die gegnerische Rüstung antizipieren, in beiden Gleichungen gleichgesetzt worden ist.

84 Zu dieser Standardprozedur cf. *H. M. Blalock* (1960), pp. 502–505.

85 Cf. O. *A. Davis* (1966).

86 Cf. dazu *T. Yamane* (1967), pp. 809–813.

87 $K_1$ und $K_2$ werden hier in der gleichen Bedeutung verwandt wie in 4.2. und dürfen nicht mit $K_1$ und $K_2$ in (23) und (24) verwechselt werden.

88 *S. L. Ross* (1966), pp. 236–243.

89 Ibid., pp. 97 f.

90 Daß *R. P. Lagerstrom* (1968), p. 6, als Kriterium für positive Lösungen $R_1 R_2 \geq 1$ angibt, liegt an der Umformung, der ich das ursprüngliche System unterzogen habe, um es leichter mit dem System *Richardsons* vergleichbar zu machen. Die empirische Interpretation beider Kriterien ist die gleiche.

91 Die gleiche Erwartung liegt auch der Entwicklung von *Newcombes* Spannungsskala zugrunde; cf. *A. G. Newcombe* (1970).

92 Angewandt ist dieses Verfahren im Rahmen von Rüstungswettlaufmodellen z. B. bei *M. Chatterji* (1969), p. 92. Ob die Substitution im Einzelfall gerechtfertigt ist, läßt sich durch optische Inspektion anhand der Zeichnung des Bruttosozialprodukts gegen die Zeit auf halblogarithmischem Papier, statistisch durch die Korrelation zwischen dem Logarithmus des Bruttosozialprodukts und der Zeit überprüfen.

93 Für kritische Durchsicht dieses Beitrags und darauf gestützte wertvolle Hinweise zu seiner Verbesserung möchte ich herzlich danken den Herren Dr. Hans Kammler, Köln, und Dr. Reinhard Zintl, Regensburg.
Manuskript abgeschlossen: November 1972.
Überarbeitung: September 1973.

*Afheldt, H. H.*, et. al.: »Stability and Deterrence through Strategic Nuclear Arms«, in: J. of Peace Research 10 (1973) 3, 245–250.

*Ash, M. A.*: »An Analysis of Power with Special Reference to International Politics«, in: World Politics 3 (1951) 2, 218–237.

*Ashby, W. R.*: An Introduction to Cybernetics, London, 1964.

*Backus, P. H.*: »Finite Deterrence, Controlled Retaliation«, in: U. S. Naval Institute Proceedings 85 (1959) 3, 23–29.

*Baldwin, D. A.*: »Inter-Nation Influence Revisited«, in: J. of Conflict Resolution 15 (1971) 4, 471–486.

*Baumol, W. J.*: Economic Dynamics: An Introduction, New York, ³1970.

*Bellman, R.*: Stability Theory of Differential Equations, New York, 1953.

*Blalock, H. M.*: Social Statistics, New York, 1960.

*Bombach, G.*, et al.: »Optimales Wachstum und Gleichgewichtswachstum«, in: *H. König*, ed., Wachstum und Entwicklung der Wirtschaft, Köln, 1968, 376–400.

*Boulding, K. E.*: »Towards a Pure Theory of Threat Systems«, in: American Economic Review 53 (1963a), 424–434.

*Boulding, K. E.*: Conflict and Defense: A General Theory, New York, 1963b.

*Boulding, K. E.*: »Toward a Theory of Peace«, in: *R. Fisher*, ed., International Conflict and Behavioral Science: The Craigville Papers, New York, 1964, 70–87.

*Boulding, K. E.*: »Business and Economic Systems«, in: *J. H. Milsum*, ed., Positive Feedback, Oxford, 1968, 101–117.

*Bowers, R. D.*: »Fundamental Equations of Force Survival«, in: Air University Quarterly Review 10 (1958), 82–92.

*Brecher, M., et al.*: »A Framework for Research on Foreign Policy Behavior«, in: J. of Conflict Resolution 13 (1969) 1, 75–101.

*Brito, D. L.*: »A Dynamic Model of an Armaments Race«, in: International Economic Review 13 (1972) 2, 359–375.

*Brodie, B.*: »The Anatomy of Deterrence«, in: World Politics 11 (1959) 2, 173–191.

*Brodie, B.*: Escalation and the Nuclear Option, Princeton, N. J., 1966.

*Brubaker, E. R.*: »Economic Models of Arms Races: Some Reformulations and Extensions«, in: J. of Conflict Resolution 17 (1973) 2, 187–205.

*Burns, A. L.*: »A Graphical Approach to Some Problems of the Arms Race«, in: J. of Conflict Resolution 3 (1959) 4, 326–342.

*Cady, R. H.*: Some Notes on the Theory of Arms Races (Office of National Security Studies, Bendix Aerospace Systems Division, Bendix Corporation, Working Paper No. 66, BSR 2063), Ann Arbor, 1966.

*Caspary, W. R.*: »Richardson's Model of Arms Races: Description, Critique, and an Alternative Model«, in: International Studies Quarterly 11 (1967) 1, 63–88.

*Chase, P. E.*: »Control Theory and the Nuclear Arms Race«, in: Bendix Technical J. (1968), 43–54.

*Chase, P. E.*: »Feedback Control Theory and Arms Races«, in: General Systems 14 (1969), 137–149.

*Chase, P. E.*: »On Arms Races and Arms Control«, in: *M. D. Rubin*, ed., Man in Systems, New York, 1971, 457–478.

*Chatterjee, P.:* A Model of the Arms Race (Paper, Department of Political Science, University of Rochester), Rochester, 1971.

*Chatterjee, P.:* »The Classical Balance of Power Theory«, in: J. of Peace Research 9 (1972) 1, 51–61.

*Chatterji, M.:* »A Model of Resolution of Conflict between India and Pakistan«, in: Papers, Peace Research Society 12 (1969), 87–102.

*Coffey, J. I.:* »Stability and the Strategic Balance« in: U. S. Naval Institute Proceedings 93 (1967) 6, 40–47.

*Coffey, J. I.:* »Strategic Superiority, Deterrence and Arms Control«, in: Orbis 13 (1970) 4, 991–1007.

*Coffey, J. I.:* Deterrence in the 1970s (The Social Science Foundation and Graduate School of International Studies, Monograph Series in World Affairs, Monograph No. 3 – 1970–71), Denver, Col., 1971.

*Davis, L. E., et al.:* »A Theory of the Budgetary Process«, in: APSR 60 (1966) 3, 529–547.
but Were Not Cleared to Ask«, in: J. of Conflict Resolution 17 (1973) 2, 207–242.

*Davis, O. A., et al.:* »A Theory of the Budgetary Process«, in: APSR 60 (1966) 3, 529–547.

*Deutsch, K. W.:* »Zur Theorie der Abschreckung«, in: PVS 4 (1963), 222–232.

*Deutsch, M.:* »Some Considerations Relevant to National Policy«, in: J. of Social Issues 17 (1961) 3, 57–68.

*Doran, C. F.:* »A Theory of Bounded Deterrence«, in: J. of Conflict Resolution 17 (1973) 2, 243–269.

*Eckaus, R. S.:* »The Stability of Dynamic Models«, in: Review of Economics and Statistics 39 (1957), 172–182.

*Everett, H., et al.:* »The Distribution and Effects of Fallout in Large Nuclear-Weapon Campaigns«, in: Operations Research 7 (1959), 226–248.

Faupel, K.: Zur wissenschaftstheoretischen Grundlegung struktureller Aggregatanalysen in der quantitativen Forschung zu Internationalen Systemen (Habilitationsschrift, Universität Freiburg), Freiburg, 1971.

*Fink, C. F.:* »More Calculations about Deterrence«, in: J. of Conflict Resolution 9 (1965) 1, 54–65.

*Gantzel, K. J.:* »Rüstungswettläufe und politische Entscheidungsbedingungen: Ein Forschungsansatz und einige Hypothesen«, in: *E.-O. Czempiel*, ed., Die anachronistische Souveränität, Köln, Opladen, 1969 (PVS 10 (1969) Sonderheft 1), 110–137.

*German, F. C.:* »A Tentative Evaluation of World Power«, in: J. of Conflict Resolution 4 (1960) 1, 138–144.

*Giffin, S. F.:* »Tomorrow's Military Matrix«, in: World Politics 14 (1962) 3, 433–438.

*Goldberg, S.:* Differenzengleichungen und ihre Anwendung in Wirtschaftswissenschaft, Psychologie und Soziologie, München, 1968.

*Gray, C. S.:* »The Arms Race Phenomenon«, in: World Politics 24 (1971) 1, 39–79.

*Haas, E. B.:* »The Balance of Power: Prescription, Concept, or Propaganda?«, in: *G. H. Quester*, ed., Power, Action, and Interaction: Readings on International Politics, Boston, 1971, 250–283.

*Hansen, E. B., et al.:* »Some Problems of Nuclear Power Dynamics«, in: J. of Peace Research 1 (1964), 137–149.

*Harrod, R. F.:* »Ein Essay zur dynamischen Theorie«, in: *H. König*, ed., Wachstum und Entwicklung der Wirtschaft, Köln, 1968, 35–54.

*Harsanyi, J. C.:* »Mathematical Models for the Genesis of War«, in: World Politics 14 (1962) 4, 687–699.

*Hermann, C. F.:* »International Crisis as a Situational Variable«, in: *J. N. Rosenau*, ed., International Politics and Foreign Policy, New York, 1969, 409–421.

*Hoag, M. W.:* »On Stability in Deterrent Races«, in: World Politics 13 (1961) 4, 505–527.

*Holsti, K. J.:* »The Concept of Power in the Study of International Relations«, in: Background 7 (1964) 4, 179–194.

*Huntington, S. P.:* »Arms Races: Prerequisites and Results«, in: Public Policy 8 (1958), 41–86.
Institute for Strategic Studies: The Military Balance, London, jährlich ab 1959.
*Intriligator, M. D.:* »Some Simple Models of Arms Races«, in: General Systems 9 (1964), 143–147.
*Intriligator, M. D.:* Strategy in a Missile War: Targets and Rates of Fire (Security Studies Project, University of California), Los Angeles, Cal., 1967.
*Intriligator, M. D.:* »The Debate over Missile Strategy: Targets and Rates of Fire«, in: Orbis 11 (1968a) 4, 1138–1159.
*Intriligator, M. D.:* Arms Races and War Initiation: The Effect of Strategic Choices (United States Arms Control and Disarmament Agency, Arms Control Special Studies Programm, ACDA/WEC–126, vol. VI), Los Angeles, 1968b.
*Jervis, R.:* Deterrence, the Spiral Model, and Intention of the Adversary (Paper, Center for International Affairs, Harvard University), Cambridge, Mass., 1972.
*Joynt, C. B.:* »Arms Races and the Problem of Equilibrium«, in: Year Book of World Affairs 18 (1964), 23–40.
*Kahn, H.:* »The Arms Race and Some of Its Hazards«, in: *R. A. Falk et al.*, eds., Toward a Theory of War Prevention (The Strategy of World Order, vol. 1), New York, 1966, 17–50.
*Kalkstein, M.:* »ABM and the Arms Race«, in: *K. E. Boulding*, ed., Peace and the War Industry, 1970, 145–159.
*Kaplan, M. A., et al.:* »Theoretical Analysis of the Balance of Power«, in: Behavioral Science 5 (1960) 3, 240–252.
*Kaufmann, W. W.:* »The Requirements of Deterrence«, in: *W. W. Kaufmann*, ed., Military Policy and National Security, Princeton, N. J., 1956, 12–38.
*Kent, G. A.:* On the Interaction of Opposing Forces Under Possible Arms Agreements (Harvard University Center for International Affairs, Center Occasional Paper No. 5), Cambridge, Mass., 1963.
*Kintner, W. R.:* »The Uncertain Stategic Balance in the 1970's«, in: *M. A. Kaplan*, ed., Great Issues of International Politics: The International System and National Policy, Chicago, 1970, 354–370.
*Klaus, G.*, ed.: Wörterbuch der Kybernetik, Bd. 1, Frankfurt, 1969a.
*Klaus, G.*, ed.: Wörterbuch der Kybernetik, Bd. 2, Frankfurt, 1969b.
*Knorr, K.:* The War Potential of Nations, Princeton, N. J., 1956a.
*Knorr, K.:* »Military Potential in the Nuclear Age«, in: *W. W. Kaufmann*, ed., Military Policy and National Security, Princeton, N. J., 1956b, 137–161.
*Knorr, K.:* »The Concept of Economic Potential for War«, in: World Politics 10 (1957) 1, 49–62.
*Knorr, K.:* »Military Power Potential«, in: International Encyclopedia of the Social Sciences, New York, 1968, vol. 10, 325–333.
*Knorr, K.:* Military Power and Potential, Lexington, Mass., 1970.
*Kuzmack, A. M.:* »Technological Change and Stable Deterrence«, in: J. of Conflict Resolution 9 (1965) 3, 309–317.
*Lagerstrom, R. P.:* An Anticipated-Gap, Mathematical Model of International Dynamics (Paper, Institute of Political Studies, Stanford University), Stanford, Cal., 1968.
*Lambelet, J. C.:* »A Dynamic Model of the Arms Race in the Middle East, 1953–1965«, in: General Systems 16 (1971), 145–167.
*Lambeth, B. S.:* »Deterrence in the MIRV Era«, in: World Politics 24 (1972) 2, 221–242.
*Lax, P. D., et al.:* »Survey of the Stability of Linear Finite Difference Equations«, in: Communications on Pure and Applied Mathematics 9 (1956) 2, 267–293.
*Lederberg, J.:* »A Freeze on Missile Testing«, in: Bulletin of the Atomic Scientists 27 (1971) 3, 4–6, 43.
*Makridakis, S., et al.:* »On the Synthesis of General Systems, Part I: The Probability of Stability«, in: General Systems 16 (1971), 43–50.

*Martin, L. W.:* »Ballistic Missile Defence and the Strategic Balance«, in: *J. Garnett*, ed., Theories of Peace and Security: A Reader in Contemporary Strategic Thought, London, 1970, 113–119.

*McGuire, M. C.:* Secrecy and the Arms Race: A Theory of the Accumulation of Strategic Weapons and How Secrecy Affects It, Cambridge, Mass., 1965.

*McGuire, M. C.:* »The Structure of Choice between Deterrence and Defense«, in: *R. N. McKean*, ed., Issues in Defense Economics, New York, 1967, 129–149.

*McNamara, R. S.:* The Essence of Security: Reflections in Office, London, 1968.

*McNaughton, J. T.:* »Arms Restraint in Military Decisions«, in: J. of Conflict Resolution 7 (1963) 3, 228–234.

Members of Congress for Peace through Law, Military Spending Committee, The Economics of Defense: A Bipartisan Review of Military Spending, New York, 1971.

*Midgaard, K.:* »Arms Races, Arms Control, and Disarmament«, in: Cooperation and Conflict 5 (1970) 1, 20–51.

*Miercort, F. A., et al.:* »Optimal Allocation of Missiles against Area and Point Defenses«, in: Operations Research 19 (1971) 3, 605–617.

*Milburn, T. W.:* »What Constitutes Effective Deterrence?«, in: J. of Conflict Resolution 3 (1959) 2, 138–145.

*Milburn, T. W.:* »The Concept of Deterrence: Some Logical and Psychological Considerations«, in: J. of Social Issues 17 (1961) 3, 3–11.

*Miller, R. C.:* »Some Comments on Power on the Inter-Nation Level«, in: Background 7 (1964) 4, 195–200.

*Milsum, J. H.:* »Mathematical Introduction to General System Dynamics«, in: *J. H. Milsum*, ed., Positive Feedback, Oxford, 1969, 23–65.

*Moberg, E.:* »Models of International Conflicts and Arms Races«, in: Cooperation and Conflict 1 (1966) 2, 80–93.

*Monks, A. L., et al.:* »Soviet Strategic Claims, 1964–1970«, in: Orbis 16 (1972) 2, 520–544.

*Nagabhushanam, A., et al.:* »Stochastic Duels with Damage«, in: Operations Research 20 (1972) 2, 350–356.

*Newcombe, A. G.:* »Toward the Development of an Inter-Nation Tensiometer«, in: Papers, Peace Research Society 13 (1970), 11–27.

*Nicholson, M.:* Conflict Analysis, London, 1970.

*Nilson, S. S.:* »Political Equilibrium«, in: J. of Conflict Resolution 3 (1959), 383–390.

*O'Neill, B.:* »The Pattern of Instability among Nations: A Test of Richardson's Theory«, in: General Systems 15 (1970), 175–181.

*Panofsky, K. H.:* »Roots of the Strategic Arms Race: Ambiguity and Ignorance«, in: Bulletin of the Atomic Scientists 27 (1971) 6, 15–20.

*Piccariello, H. J.:* »A Missile Allocation Problem«, in: Operations Research 10 (1962), 795–798.

*Pitman, G. R.:* »A Calculus of Military Stability«, in: J. of Peace Research 3 (1966) 4, 349–358.

*Popper, K. R.:* The Logic of Scientific Discovery, London, 1959.

*Pruitt, D. G.:* »National Power and International Responsiveness«, in: Background 7 (1964) 4, 165–178.

*Pruitt, D. G.:* »Stability and Sudden Change in Interpersonal and International Affairs«, in: *J. N. Rosenau*, ed., International Politics and Foreign Policy, New York, 1969, 392–408.

*Quester, G. H.:* »On the Identification of Real and Pretended Communist Military Doctrine«, in: J. of Conflict Resolution 10 (1966) 2, 172–179.

*Raser, J. R.:* »Deterrence Research: Past Progress and Future Needs«, in: J. of Peace Research 3 (1966) 4, 297–327.

*Rathjens, G. W.:* The Future of the Strategic Arms Race: Options for the 1970's, New York, 1969a.

*Rathjens, G. W.:* »The Dynamics of the Arms Race«, in: Scientific American 220 (1969b) 4, 15–25.

*Rathjens, G. W.:* »Introduction: Technology and the Arms Race – Where We Stand«, in: *B. T. Feld et al.*, eds., Impact of New Technologies on the Arms Race, Cambridge, Mass., 1971, 1–12.

*Richardson, L. F.:* Generalized Foreign Politics (British J. of Psychology, Monograph Supplements, No. 23), Cambridge, 1939.

*Richardson, L. F.:* Arms and Insecurity: A Mathematical Study of the Causes and Origins of War, London, 1960.

*Ross, S. L.:* Introduction to Ordinary Differential Equations, Waltham, Mass., 1966.

*Russett, B. M.:* »The Calculus of Deterrence«, in: J. of Conflict Resolution 7 (1963) 2, 97–109.

*Saaty, T. L.:* Mathematical Models of Arms Control and Disarmament: Application of Mathematical Structures in Politics (Publications in Operations Research No. 14), New York, 1968.

*Saaty, T. L.:* »Mathematical Structures Applicable to Multi-Party Conflicts«, in: Papers, Peace Research Society 17 (1971), 7–30.

*Schelling, T. C., et al.:* Strategy and Arms Control, New York, 1961a.

*Schelling, T. C.:* The Stability of Total Disarmament (Institute for Defense Analyses, Special Studies Group, Study Memorandum No. 1), Washington, D. C., 1961b.

*Schelling, T. C.:* The Strategy of Conflict, Cambridge, Mass., 1963.

*Schelling, T. C.:* Assumptions about Enemy Behavior«, in: *E. S. Quade*, ed., Analysis for Military Decisions, Chicago, 1964, 199–216.

*Schelling, T. C.:* Arms and Influence, New Haven, 1966.

*Scowcroft, B.:* »Deterrence and Strategic Superiority«, in: Orbis 13 (1969) 2, 435–454.

*Singer, J. D.:* »Weapons Technology and International Stability«, in: Centennial Review 5 (1961), 415–435.

*Singer, J. D.:* Deterrence, Arms Control, and Disarmament: Toward a Synthesis in National Security Policy, Columbus, Ohio, 1962a.

*Singer, J. D.:* »Stable Deterrence and its Limits«, in: Western Political Quarterly 15 (1962b), 449–464.

*Singer, J. D.:* »The Outcome of Arms Races: A Policy Problem and a Research Approach«, in: Proceedings of the International Peace Research Association, Third General Conference, vol. II: The International System (IPRA Studies in Peace Research, vol. 4), Assen, 1970, 135–146.

*Singer, J. D., et al.:* Capability Distribution, Uncertainty, and Major Power War, 1816–1965 (Unpubl. Paper Univ. of Michigan), 1971.

*Smart, I.:* Advanced Strategic Missiles: A Short Guide (Institute for Strategic Studies, Adelphi Papers, No. 63), London, 1969.

*Smart, I.:* »Political Implications«, in: B. T. Feld et al., eds., Impact of New Technologies on the Arms Race, Cambridge, Mass., 1971, 343–350.

*Snyder, G. H.:* Deterrence and Defense: Toward a Theory of National Security, Princeton, N. J., 1961.

*Snyder, G. H.:* »The Balance of Power and the Balance of Terror«, in: *D. G. Pruitt et al.*, eds., Theory and Research on the Causes of War, Englewood Cliffs, N. J., 1969, 114–126.

*Snyder, G. H.:* »Balance of Power in the Missile Age«, in: *G. H. Quester*, ed., Power, Action, and Interaction: Readings on International Politics, Boston, 1971, 461–475.

*Snyder, R. C.:* Deterrence, Weapons Systems, and Decision-Making (U. S. Naval Ordnance Test Station, NOTS Technical Publication 2769, Studies in Deterrence No. 3), China Lake, Cal., 1961.

*Solow, R. M.:* »Ein Beitrag zur Theorie des wirtschaftlichen Wachstums«, in: *H. König*, ed., Wachstum und Entwicklung der Wirtschaft, Köln, 1968, 67–96.

*Stone, J. J.:* Containing the Arms Race: Some Specific Proposals, Cambridge, Mass., 1966.

*Stone, J. J.:* The Case against Missile Defence (Institute for Strategic Studies, Adelphi Papers, No. 47), London, 1968.

*Strauss, R. P.:* »An Adaptive Expectations Model of the East-West Arms Race«, in: Papers, Peace Research Society 19 (1972), 29–34.

United States Atomic Energy Commission, The Effects of High-yield Nuclear Explosions (U. S. Dept. of the Army Pamphlet No. 39-2), Washington, D. C., 1957.
*Wohlstetter, A.:* »The Delicate Balance of Terror«, in: Foreign Affairs 37 (1959) 2, 211–234.
*Wolfson, M.:* A Dynamic Model of Present World Conflict (Paper, Ninth European Conference, Peace Research Society (International), Rotterdam, 29.–31. August 1972), 1972.
*Wright, Q.:* A Study of War, Chicago, ²1965.
*Yamane, T.:* Statistics: An Introductory Analysis, New York, 1967.
*York, H. F.:* »ABM, MIRV, and the Arms Race«, in: Science 169 (1970, 17. Juli) 3942, 257–260.
*Zinnes, D. A.:* »An Analytical Study of the Balance of Power Theories«, in: J. of Peace Research 4 (1967) 3, 270–288.