

Das Kooperationsverhalten der Staaten bei der Begrenzung globaler Umweltrisiken: Zur Integration stochastischer und strategischer Unsicherheitsaspekte*

ALFRED ENDRES und CORNELIA OHL**

1. GLOBALE UMWELTRISIKEN: EINE PROBLEMSKIZZE

Die Begrenzung globaler Umweltrisiken und damit die Umsetzung des Leitprinzips einer nachhaltigen Entwicklung wirft in der Praxis erhebliche Probleme auf. Prominentestes Beispiel ist die Reduktion der Treibhausgase (THG), insbesondere der Kohlendioxidemissionen. Die Schwierigkeiten bei der Absenkung schädigender Emissionen liegen aus wirtschaftstheoretischer Sicht darin begründet, daß es sich bei der Erdatmosphäre, als Aufnahmemedium für Schadstoffe, um ein öffentliches Gut (DASGUPTA 1990; ENDRES 1995; SIEBERT 1998) handelt. Eine exzessive Nutzung ist dadurch vorprogrammiert. Charakteristisch für *globale* Umweltprobleme ist zudem, daß sich die Schadstoffe über nationale Grenzen hinweg gleichmäßig in der Erdatmosphäre verteilen. Im nationalen Alleingang („unilateral“) ist es deshalb unmöglich, ein national meistpräferiertes Schadstoffniveau zu stabilisieren. Die Einigung der Staatengemeinschaft auf ein gemeinsames Umweltziel ist also notwendige Voraussetzung für die Lösung globaler Übernutzungsprobleme.

Die Festlegung auf ein von allen Ländern akzeptiertes Umweltschutzniveau gestaltet sich in der Praxis jedoch äußerst schwierig. Dies zeigen z. B. die Verhandlungen über eine Begrenzung der THG in Kyoto 1997 oder Buenos Aires 1998. Das Streben jedes einzelnen Landes, die nationale Wohlfahrt zu maximieren, verhindert die Wahl der global optimalen Strategie – die Kooperation aller Staaten. Aus spieltheoretischer Sicht

* Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des von der DFG unter Nr. EN 192/4-1 geförderten Projekts „Zur Integration risikoökonomischer und strategischer Aspekte bei der ökonomischen Analyse globaler Umweltveränderungen“. Das Projekt ist Teil des DFG-Schwerpunktprogramms „Mensch und globale Umweltveränderungen: Sozial- und verhaltenswissenschaftliche Dimensionen“. Die Autoren danken der DFG für die freundliche Unterstützung. Das Papier wurde in einer vorläufigen Fassung auf der Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 1999 in Mainz vorgetragen. Den Teilnehmern dort sei für die anregenden Diskussionen ebenfalls gedankt. Verbunden sind die Autoren auch einem anonymen Gutachter für die hilfreichen Kommentare zu einer früheren Fassung.

** Lehrstuhl für Wirtschaftstheorie, Fernuniversität Hagen, Prof. i. d. R. 8, D-58084 Hagen, E-Mail: alfred.endres@fernuni-hagen.de.

läßt sich dies (zumindest im hier betrachteten statischen Kontext) durch das Wirken des Gefangenendilemmas¹ (GD) erklären:

Bei zwei potentiellen Vertragsstaaten und einer dichotomen Politikalternative ergeben sich vier Umweltsituationen, für die folgende ein GD konstituierende Präferenz-/Auszahlungsrelation typisch ist: $DK > KK > DD > KD$.² Diese Auszahlungsstruktur impliziert, daß es – unabhängig von der Strategie des zweiten Landes – für das erste Land immer günstiger ist, zu defektieren ($DK > KK$ und $DD > KD$). Gilt diese Präferenzrelation für beide Länder, ist kooperatives Verhalten nicht zu erwarten (Anreizproblem). Realisiert sich jedoch der Zustand DD (Gleichgewicht), stellen sich beide Länder schlechter als im Fall der bilateralen Kooperation ($KK > DD$). Dieses für alle unbefriedigende Ergebnis hat zum einen zur Folge, daß die Durchführung notwendiger Umweltschutzmaßnahmen unterbleibt und zum anderen, daß (nach wie vor) ein überstaatliches Interesse besteht, diesen unattraktiven Zustand zu ändern.

Wird aus diesem Grund angenommen, daß die potentiellen Vertragsstaaten sich auf die kooperative Lösung einigen, kann im Rahmen des GD jedoch gezeigt werden, daß der Abschluß internationaler Verträge keinen Automatismus enthält, der die Erfüllung der Vereinbarung garantiert. Jedes Land kann (mangels durchsetzbarer Sanktionsforderungen auf der überstaatlichen Ebene) auf Kosten des anderen Landes die nationale Wohlfahrt erhöhen, indem es die kooperative Leistung nicht erbringt (Freifahrerproblem: $DK > KK$). Diese Instabilität nach einem Vertragsschluß bewirkt letztlich, daß selbst bei positiven Wohlfahrtseffekten für alle Beteiligten, kooperatives Verhalten rational³ nicht begründbar ist.

Anreiz- und Freifahrerproblem gemeinsam erklären also, warum die Realisierung allgemein erwünschter Umweltschutzprojekte in der Praxis häufig unterbleibt bzw. internationale Vereinbarungen oftmals nicht den erwünschten Erfolg haben. Dieser Wirkungszusammenhang hat in der umweltökonomischen Literatur große Beachtung gefunden und die Konzeption selbstbindender Verträge⁴ (Mechanismusdesign) in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Die Literatur zu internationalen Umweltproblemen konzentriert sich damit auf die *strategischen* Aspekte der Interaktion zwischen den beteiligten Staaten. Dagegen wurde kaum beachtet, daß in der Realität die Kosten-Nut-

1. Zum GD vgl. z. B. LUCE/RAIFFA 1957; SHUBIK 1970; ERNST 1997. Zur Anwendung des GD auf die internationale Umweltproblematik z. B. BARRETT 1992; CANSIER 1996. Kritisch dazu FREY/BOHNET 1996.
2. Der erste Großbuchstabe bezeichnet die Strategie des ersten (betrachteten) Landes und der folgende die des zweiten Staates. Der Großbuchstabe D steht für nicht kooperatives Verhalten (Defektion) und K für Kooperation. Die Reihung der o. g. Präferenzstruktur entspricht also der Rangordnung der Alternativen aus Sicht der zuerst genannten Nation.
3. Als rational wird im folgenden stets die Maximierung der *nationalen* Wohlfahrt bezeichnet.
4. Ein Vertrag ist selbstbindend, wenn er für alle Beteiligten den Anreiz bietet, die vertraglich vereinbarte Leistung im Eigeninteresse zu erbringen. Im Bereich der internationalen Umweltpolitik bedeutet dies, daß der Nutzengewinn bei Erfüllung des Vertrages größer sein muß als bei Nichterfüllung. Zur Problematik selbstbindender Verträge im Bereich internationaler Umweltgüter vgl. insbesondere BARRETT 1994, 1998; CARRARO/SINISCALCO 1997 a, b; ENDRES/FINUS 1998 sowie HOEL 1997.

zenstrukturen der Länder nicht eindeutig bekannt sind. Die praktische Bedeutung dieses *stochastischen* Aspekts ist jedoch offensichtlich. So erschweren z. B. bei der Prognose der Entwicklung des Erdklimas Störfaktoren wie der Albedo-Effekt⁵ der Erdoberfläche, die Vorhersage der Wirkung von freigesetzten THG. Zu denken ist auch an die bislang ungeklärte Rolle der Ozeane bei der Schadstoffabsorption oder an die ungenaue Kenntnis zukünftiger Wolkenformationen und deren Wirkung auf die Sonneneinstrahlung. Der Nutzen von Klimaschutzmaßnahmen ist deshalb nicht eindeutig vorhersehbar.

Risikothoretische Analysen dazu liegen zwar vor, allerdings vernachlässigen diese i.a. strategische Aspekte, die für internationale Vereinbarungen ebenso charakteristisch sind wie naturwissenschaftliche Unsicherheitsphänomene.⁶ Beide Formen der Unsicherheit beeinflussen die Kosten-Nutzenstruktur globaler Umweltschutzprojekte entscheidend und folglich auch die selbstbindende Wirkung internationaler Abkommen. Deshalb ist es erforderlich, *simultan* als Unsicherheitsfaktoren sowohl das Verhalten potentieller Vertragsstaaten (strategisch bedingte Unsicherheit) als auch das der Natur (stochastisch bedingte Unsicherheit) zu erfassen.

Im folgenden wird geklärt, welche Wirkung stochastisch bedingte Unsicherheit auf die im Zusammenhang mit der Begrenzung globaler Umweltrisiken diskutierte Struktur eines GD hat. Dazu wird in *Teil II* zunächst dargelegt, was unter einem GD bei Unsicherheit zu verstehen ist. Unter Berücksichtigung alternativer Risikopräferenzen werden dann mit Hilfe des Mittelwert-Varianz-Kriteriums die internationalen Kooperationschancen bei strategisch *und* stochastisch bedingter Unsicherheit in einem Zwei-Länder-Modell mit dichotomer Politikwahl diskutiert. Im Mittelpunkt von *Teil III* steht der Kooperationsraum. Hier sollen Anhaltspunkte darüber gewonnen werden, welche Parameterkonstellationen auf der stochastischen Ebene günstig sind, um internationale Kooperationsprozesse zu fördern und bestehende Umweltschutzkoalitionen zu erweitern. Zudem wird erörtert, ob die Anforderungen zur Erzeugung eines unilateralen Kooperationsanreizes höher sind als die zur Erzeugung eines bilateralen. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse wird in *Teil IV* ein realer Kooperationsprozeß theoretisch erklärt. Abschließend werden in *Teil V* die wichtigsten Ergebnisse zusammengetragen und die umweltpolitischen Konsequenzen einer kombinierten Analyse aus stochastisch und strategisch orientierten Ansätzen (risiko-strategische Analyse) aufgezeigt.

2. STRATEGISCHES VERHALTEN BEI STOCHASTISCHER UNSICHERHEIT

Stochastische Interdependenzen beeinflussen die Kosten-Nutzenstruktur internationaler Umweltschutzprojekte wesentlich. Im Fall der anthropogen verursachten Umweltrisiken hat zudem das Kooperationsverhalten der Staaten Einfluß sowohl auf die Scha-

5. Der Albedo-Effekt bezeichnet das Intensitätsverhältnis der von der Erdoberfläche reflektierten zur auffallenden Sonneneinstrahlung.

6. Zu diesem Themenkreis siehe z. B. CHICHILNISKY/HEAL 1998; KREUZBERG 1994; MANNE/RICHELS 1991; SIEBERT 1998, STÄHLER 1991; WELSCH 1995 und XEPAPADEAS 1997.

denshöhe als auch die Schadenswahrscheinlichkeit (endogenes Risiko; dazu auch CHILNISKY/HEAL 1998). Denn jede vermiedene Schadstoffeinheit trägt zu einer Verringerung der anthropogen verursachten Umweltschäden bei. Deshalb sind um so geringere Umweltschäden zu erwarten, je mehr Staaten kooperieren (eine Emissionsbegrenzung wählen). Das Zusammenspiel natürlicher Wirkungszusammenhänge einerseits und das Kooperationsverhalten der Staaten andererseits ist damit bei der Begrenzung globaler Umweltrisiken von zentraler Bedeutung.

Obwohl in der Realität viele Staaten verhandeln und diese über ein breites Spektrum an Handlungsmöglichkeiten verfügen, beschränkt sich die hier durchgeführte Analyse auf die Betrachtung eines Zwei-Länder-Modells mit dichotomer Politikwahl. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Komplexität der Darstellung auf das notwendige Maß zu beschränken und so die fundamentalen Wirkungszusammenhänge in den Vordergrund der Betrachtung zu rücken.⁷

2.1. Gefangenendilemma und endogenes Umweltrisiko

Betrachtet werden zwei Staaten (n) und eine dichotome Politikalternative (i). Zur Wahl steht kooperatives oder nichtkooperatives Verhalten (Defektion). Die Wahl der Kooperation (K) entspricht der Absenkung eines globalen Schadstoffes um einen bestimmten Prozentsatz; bei Defektion (D) verharrt der Schadstoff auf seinem Niveau im Status quo. Kosten einer Schadensvermeidung (c) fallen im Entscheidungszeitpunkt ($t = 0$) mit Sicherheit an. Das betrachtete Umweltrisiko wird anthropogen verursacht. D. h., geeignete Schutzmaßnahmen beeinflussen sowohl die Schadenshöhe (e) als auch die Schadenswahrscheinlichkeit (p). Exemplarisch dafür steht der anthropogene Treibhauseffekt. Die Wahrscheinlichkeit eines Schadeneintritts ist hier u. a. davon abhängig, welche Menge an Klimagasen durch wirtschaftliche Aktivität freigesetzt wird. Das betrachtete Umwelt-/Wohlfahrtsrisiko sei durch den Erwartungswert (μ) und die Standardabweichung (σ) beschrieben. Beide Größen werden im Fall eines endogenen Umweltrisikos auch durch die Kooperationsentscheidung variiert. Der strategische Einfluß auf die stochastischen Parameter wird wie folgt abgebildet:

$$\mu_{DK} > \mu_{KK} > \mu_{DD} > \mu_{KD} > 0 \quad (1)$$

$$\sigma_{DD} > \sigma_{KD} = \sigma_{DK} > \sigma_{KK} > 0 \quad (2)$$

7. Auch beim Design ökonomischer Modelle sollte das Gebot der Effizienz beachtet werden. Unser Fundamentalergebnis: „Risikoscheu transformiert eine GD-Struktur in ein Spiel höherer Kooperationswahrscheinlichkeit, sobald die Risikoscheu eine kritische Intensitätsgrenze erreicht!“, wird durch zusätzliche Modellkomplifikationen (etwa die Betrachtung von N Ländern, die Unterscheidung zwischen Strom- und Bestandsgrößen oder die Verwendung einer elaborierten Stochastik) nicht relativiert. Wir legen daher die für unsere Analyse wesentlichen Zusammenhänge mit einem möglichst einfachen Modell dar.

Der tiefgestellte Index an μ bzw. σ gibt an, mit welcher Strategienkombination der jeweilige Erwartungswert bzw. Risikoparameter verbunden ist.

Der Erwartungswert gibt bei gegebenem Verhalten des jeweils anderen Staates die Veränderung der nationalen Wohlfahrt W_i^n :

$$W_i^n = W \left[\left(e_0^n - \sum_{j=1}^t p_{ij}^n e_{ij}^n \right) - c_i^n \right] \quad (3)$$

des Landes n ($n = X, Y$) in den alternativ möglichen Umweltzuständen j ($j = 1 \dots t$) bei Wahl der i -ten Option ($i = K, D$) an.⁸ Der Ausdruck $\left(e_0^n - \sum_{j=1}^t p_{ij}^n e_{ij}^n \right)$ erfaßt die bereits auf den Entscheidungszeitpunkt abgezinste erwartete Schadensersparnis; e_0^n bezeichnet die Schadenserwartung im Status quo und der Summenausdruck die erwarteten Schäden nach Wahl von i .

Der Risikoparameter σ :

$$\sigma_i^n = \left[\sum_{j=1}^t \left(e_{ij}^n - \sum_{j=1}^t p_{ij}^n e_{ij}^n \right)^2 p_{ij}^n \right]^{1/2} > 0 \quad (4)$$

mißt bei gegebenem Verhalten des jeweils anderen Staates mögliche Abweichungen von dem im Mittel zu erwartenden Schadensniveau.

Zum Entscheidungszeitpunkt kooperiere kein Staat, so daß μ_{DD} das erwartete nationale Wohlfahrtsniveau im Status quo unter einem „business as usual“-Szenario bezeichnet. Zwischen den Staaten werden keine Kreditbeziehungen unterstellt. Das erwartete Wohlfahrtsniveau der Länder (gemessen in Geldeinheiten) ist deshalb für jede Strategienkombination positiv definiert ($\mu > 0$).

Die ordinale Reihung der Erwartungswerte (1) impliziert einerseits, daß ausgehend von der Wohlfahrts-/Schadensverteilung im Status quo die Schadenshöhe bzw. die Wahrscheinlichkeit für hohe Schäden sinkt (μ steigt), sobald ein Staat kooperiert, und andererseits, daß bei kooperativem Verhalten die Kosten den erwarteten nationalen Nutzen übersteigen (μ sinkt). Deshalb ist aus der Sicht des agierenden Staates das erwartete Wohlstandsniveau bei Wahl der Kooperation stets niedriger als das bei Wahl der Defektion ($\mu_{DD} > \mu_{KD}$ und $\mu_{DK} > \mu_{KK}$). Anders ausgedrückt: Durch die Implementierung der Umweltschutzmaßnahme sinkt die Wohlfahrt des unilateral kooperierenden Staates ($\mu_{KD} < \mu_{DD}$), während aus der Sicht des defektierenden Landes die Wohlfahrt steigt

8. Der hochgestellte Index n signalisiert, daß sowohl Schäden und Reduktionskosten als auch die Schadenswahrscheinlichkeit länderindividuell spezifiziert werden können. Die Einigung der Staaten auf allgemein anerkannte objektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen ist für die hier durchgeführte Analyse nicht notwendig. Allerdings wird vorausgesetzt, daß, selbst bei divergierender Kosten-Nutzenstruktur bzw. Wahrscheinlichkeitsschätzung, in beiden Staaten die o. g. ordinale Reihung der μ - und σ -Werte gilt, wobei zur Vereinfachung der Schreibweise unterstellt wird, daß μ und σ in beiden Ländern identisch ist (der Länderindex an μ und σ entfällt). Da es sich bei der Schadenshöhe (e) um eine bereits abgezinste Größe handelt, kann zudem von dem Problem der Wahl einer optimalen Diskontrate abstrahiert werden. Zu diesem Themenkreis z. B. LIND u. a. 1982; STÄHLER 1998: S. 19–21.

($\mu_{DK} > \mu_{DD}$). Damit treten sowohl das Anreiz- als auch das Freifahrerproblem auf; ein GD bei stochastischer Unsicherheit entsteht.

Verharren deshalb beide Länder im Status quo, entspricht das global zu erwartende Wohlfahrtsniveau der Summe der Mittelwerte bei Defektion beider Staaten (entspricht $2\mu_{DD}$). Die Vorteile einer globalen Kooperation ($2\mu_{KK} > 2\mu_{DD}$) bleiben ungenutzt. Bei stochastischer Unsicherheit muß deshalb (wie bei Sicherheit auch) das Ziel einer wohlfahrtsorientierten globalen Umweltpolitik sein, daß beide Staaten ein Umweltschutzabkommen unterzeichnen.

Die Risikorelationen (2) können wie folgt interpretiert werden: Eine koordinierte Mengenpolitik der Staaten beeinflußt sowohl die Schadenswahrscheinlichkeit als auch die Schadenshöhe. Denn es gilt das Prinzip: Jede Schadstoffeinheit weniger trägt zu einer Verringerung der anthropogenen Effekte bei. Deshalb kann auch die Streuung der Schadensverteilung mit dem strategischen Verhalten der Staaten variieren. Im nationalen Alleingang leiste jedes Land den gleichen Beitrag zur Stabilisierung des Klimas bzw. der Schadenswerte ($\sigma_{KD} = \sigma_{DK}$). Dies impliziert, daß entweder die Staaten jeweils den gleichen Einfluß auf das betrachtete Umweltrisiko haben (symmetrischer Fall) oder die umweltpolitische Maßnahme bei inhomogenen Ländern mengenmäßig identisch ist (Vereinbarung gleicher Reduktionsmengen im asymmetrischen Fall). Die Absenkung der Streuung ist am stärksten, wenn beide Länder kooperativ handeln ($\sigma_{KK} < \sigma_{DK}$, $\sigma_{KD} < \sigma_{DD}$).

Mit der Gleichgewichtsstrategie des GD – beide wählen die Defektion – ist folglich ein höheres Umweltrisiko verbunden als im Fall der bilateralen Kooperation ($\sigma_{KK} < \sigma_{DD}$). Wohlfahrtsorientierte Maximierungskalküle auf der globalen Ebene bewirken also zugleich eine Minimierung von Umweltrisiken. Das Auflösen von Widersprüchen zwischen kollektiver (globaler) und individueller (nationaler) Rationalität trägt deshalb dazu bei, sowohl die Qualität der Umwelt als auch die erwartete Wohlfahrt der Nationen zu erhöhen.

Ob alternative Risikopräferenzen Einfluß auf die Rangordnung der strategischen Möglichkeiten (die Struktur eines GD) haben, wird in den folgenden Abschnitten erörtert.

2.2. Die Wahl des Entscheidungskriteriums

Interessieren sich die Entscheidungssubjekte vor allem für die „durchschnittlichen“ Erfolgsaussichten einer Risikooption und das Ausmaß möglicher Abweichungen davon, kann sich die Entscheidung z. B. am quadratischen Mittelwert-Varianz-Prinzip⁹ orientieren. Dieses Prinzip bildet die Risikopräferenz wie folgt ab:

9. Dieses exemplarisch gewählte klassische Prinzip ist im Rahmen der Portefeuille-Theorie populär geworden, u. a. deshalb, weil es den Rationalitätspostulaten der Nutzenaxiomatik i. S. v. von NEUMANN und MORGENTHAU genügt. Zur Rationalität sowie den Vor- und Nachteilen des μ - σ -Prinzips siehe z. B. BRACHINGER/WEBER 1997; HUANG/LITZENBERGER 1988: Kap. 1 sowie SINN 1990. Die hier vorgestellte Methode ist jedoch auch bei Wahl anderer Entscheidungskriterien und Risikomaße anwendbar.

$$\phi(a_i) = \mu_i - \alpha(\mu_i^2 + \sigma_i^2) \quad (5)$$

Der Präferenzwert (ϕ) einer Alternative (a_i) entspricht der Höhe des Erwartungswertes, der je nach Risikoneigung um einen Auf- oder Abschlag $\alpha(\cdot)$ korrigiert wird. Die Korrekturgröße entspricht der mit α gewichteten Summe aus quadriertem Erwartungswert (μ_i^2) und Varianz (σ_i^2). Der Parameter α bringt die Risikoeinstellung der Entscheidungssubjekte zum Ausdruck: risikoneutrales Verhalten entspricht einem α -Wert von Null, risikoscheues Verhalten einem positiven und risikofreudiges einem negativen Wert. Die Höhe des Präferenzwertes (*Auszahlung* in Risiko-Nutzeneinheiten) spiegelt den Einfluß auf die nationale Wohlfahrt wider: je höher der Präferenzwert einer Maßnahme ist, umso höher ist (ex ante) der subjektiv empfundene nationale Wohlfahrtsgewinn.¹⁰ Mit dem Präferenzwert steht ein Maß zur Verfügung, welches die bei Sicherheit übliche Nutzenbetrachtung um den Risikoaspekt erweitert (Risiko-Wohlfahrtsfunktion).

2.3. Internationale Kooperationschancen

Im folgenden werden Bedingungen (Anforderungen an die Risikopräferenz) formuliert, die bei stochastischen und strategischen Interdependenzen erfüllt sein müssen, damit stabile internationale Kooperationsprozesse stattfinden können. Für gegebene μ - σ -Kombinationen ermitteln die Abschnitte a) und b) die Voraussetzungen für einen unilateralen (Kooperationsbedingung) und einen bilateralen (Stabilitätsbedingung) Kooperationsanreiz. In Abschnitt c) wird ein axiomatisch zu erfüllendes Rationalitätskriterium (Dominanzprinzip) formuliert. Mit Hilfe dieser Kriterien werden anschließend empirisch mögliche Präferenzprofile im Hinblick auf ihr Kooperationspotential beurteilt.

a) Die Kooperationsbedingung: $\phi(KD) > \phi(DD)$ (nationale Rationalität)

Bei zwei Vertragsstaaten, von denen ein Staat defektiert, liegt ein Kooperationsanreiz vor, wenn der Präferenzwert für einseitig kooperatives Verhalten [$\phi(KD)$] höher ist als der für nichtkooperatives [$\phi(DD)$]. Wenn also gilt:

$$\phi(KD) = \mu_{KD} - \alpha[(\mu_{KD})^2 + (\sigma_{KD})^2] > \phi(DD) = \mu_{DD} - \alpha[(\mu_{DD})^2 + (\sigma_{DD})^2] \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow \alpha[(\mu_{DD})^2 - (\mu_{KD})^2 + (\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2] > \mu_{DD} - \mu_{KD}$$

10. Ex post besteht die Möglichkeit, daß selbst bei Wahl der nach dem Risiko-Nutzenkonzept zu präferierenden Alternative (durch das Eintreten eines im Hinblick auf die Schadenshöhe ungünstigen Umweltzustandes) die nationale Wohlfahrt stärker sinkt als bei Wahl einer weniger präferierten. Diese Möglichkeit ist typisch für Entscheidungen unter Unsicherheit und hat auch in der umweltpolitischen Diskussion dazu geführt, daß einige Interessengruppen eine stärkere Orientierung der Entscheidung an maximalen Verlustmöglichkeiten fordern. Allerdings ist dieses Entscheidungsverhalten bei internationalen Verhandlungen bislang nicht zu beobachten. Auf eine Erörterung beispielsweise von Mini-Max-Kriterien (WALD 1950) wurde deshalb verzichtet.

Die Differenz der Erwartungswerte rechts des Ungleichheitszeichens ist wegen $\mu_{DD} > \mu_{KD}$ stets positiv. Ebenso der Klammerausdruck auf der linken Seite des Ungleichheitszeichens; es gilt: $\mu_{DD} > \mu_{KD} > 0$ und $\sigma_{DD} > \sigma_{KD} > 0$. Obige Ungleichung kann deshalb wie folgt notiert werden:

$$\alpha > (\mu_{DD} - \mu_{KD}) / [(\mu_{DD})^2 - (\mu_{KD})^2 + (\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2] \quad (7)$$

Auf Basis von (7) wird geprüft, welche Einstellung zum Risiko rationale unilaterale Kooperationsanreize erzeugt. Der kritische Aversionsgrad, der (7) gerade noch erfüllt, wird mit $\alpha_K^{\min}$ bezeichnet.

b) Die Stabilitätsbedingung: $\phi(KK) > \phi(DK)$ (globale Rationalität)

Neben dem Anreizproblem stellt sich im GD zusätzlich das Freifahrer- oder Stabilitätsproblem. Liegen Freifahreranreize vor, bricht eine bilaterale Kooperation – selbst bei unilateralen Kooperationsanreizen in jedem einzelnen Staat – auseinander. Um dies zu vermeiden, muß der Präferenzwert bei bilateraler Kooperation [$\phi(KK)$] höher sein als der bei einseitiger Defektion [$\phi(DK)$]. Algebraisch muß also gelten:

$$\phi(KK) = \mu_{KK} - \alpha[(\mu_{KK})^2 + (\sigma_{KK})^2] > \phi(DK) = \mu_{DK} - \alpha[(\mu_{DK})^2 + (\sigma_{DK})^2] \quad (8)$$

Da $\mu_{DK} > \mu_{KK} > 0$ und $\sigma_{DK} > \sigma_{KK} > 0$, kann wie folgt notiert werden:

$$\alpha > (\mu_{DK} - \mu_{KK}) / [(\mu_{DK})^2 - (\mu_{KK})^2 + (\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2] \quad (9)$$

Mit Hilfe von (9) wird nachfolgend die Stabilität bilateraler Kooperationsanreize überprüft. Der kritische Aversionsgrad, der (7) gerade noch erfüllt, wird mit $\alpha_S^{\min}$ bezeichnet.

c) Das Dominanzprinzip ($\partial\phi/\partial\mu > 0$)

Das quadratische Mittelwert-Varianz-Prinzip zählt zu den klassischen Entscheidungsregeln bei Risiko. Im Vergleich zu der modernen Risiko-Nutzentheorie¹¹ i. S. v. von Neumann und Morgenstern haben die klassischen Prinzipien den Vorteil, daß sie bestimmte wahrscheinlichkeitstheoretische Kennziffern explizit betrachten. Nachteil dieser Regeln ist jedoch, daß sie in Relation zur Risiko-Nutzentheorie axiomatisch weniger gut fundiert sind. Allerdings läßt sich zeigen, daß einige der klassischen Entscheidungsregeln in eine Risiko-Nutzenfunktion des von Neumann-Morgenstern-Typs überführt werden

11. Die Risiko-Nutzentheorie ist insbesondere als normative Theorie populär geworden. Ihre deskriptive Leistungsfähigkeit ist dagegen äußerst umstritten (insbes. KAHNEMAN/TVERSKY 1979; CURRIM/SARIN 1989; QUERNER 1994. Bewertungsanomalien (das sind Verstöße gegen diese Theorie) treten vor allem in extremen Entscheidungssituationen auf, von denen wir hier jedoch absehen.

können (z. B. HUANG/LITZENBERGER 1988: Kap. 3). So korrespondiert das hier gewählte quadratische Mittelwert-Varianz-Prinzip mit einer quadratischen Risiko-Nutzenfunktion (R) vom Typ:

$$R(W) = W - \alpha W^2, \quad (10)$$

wobei W die Höhe des Ergebniswertes (hier: der nationalen Schäden bzw. Wohlfahrtslagen) in den alternativ möglichen Umweltzuständen bezeichnet. Eine Entscheidung wird als rational i. S. d. Risiko-Nutzentheorie bezeichnet, wenn $\partial R/\partial W > 0$ gilt. Eine Verbesserung des Wohlfahrtsergebnisses zieht dann ceteris paribus einen Anstieg des Präferenzwertes nach sich (Dominanzprinzip) und die Präferenz der Staaten, die nationale (Risiko-)Wohlfahrt zu maximieren, wird beschrieben. Für das quadratische μ - σ -Prinzip ist deshalb analog dazu $\partial \Phi/\partial \mu = 1 - 2\alpha\mu > 0$ als weiteres Rationalitätskriterium zu fordern. Hieraus ergibt sich:

$$\alpha \leq 1/2\mu \quad (11)$$

Diese Bedingung ist wegen $\mu > 0$ für risikoneutrale Staaten ($\alpha = 0$) und risikofreudige Länder ($\alpha < 0$) stets erfüllt. Für risikoscheue Staaten ist dagegen eine rationale Ordnung der Wohlfahrtswerte nur möglich, wenn die Erwartungswerte unterhalb der kritischen Grenze $1/2\alpha$ liegen ($\alpha \leq 1/2\mu \Leftrightarrow \mu \leq 1/2\alpha$). Dieses Kriterium wird im folgenden stets als erfüllt vorausgesetzt. Die kritische Obergrenze, die durch das maximal zu erwartende Wohlfahrtsergebnis determiniert ist, wird nachfolgend als $\alpha^{\max}$ bezeichnet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Bedingungen (7), (9) und (11) den Rahmen abstecken, innerhalb dessen sowohl aus strategischer als auch axiomatischer Sicht als rational zu bezeichnende Kooperationsprozesse stattfinden können. Die jeweils rechte Seite von (7) und (9) – das durch μ und σ erfaßte objektive Risiko – legen jeweils einen kritischen Aversionsgrad ($\alpha_K^{\min}$ bzw. $\alpha_S^{\min}$) fest. Überschreitet die tatsächliche Risikopräferenz der Staaten (α) den höheren der beiden Minimalwerte, wird sowohl ein Kooperationsanreiz ausgelöst (nationale Rationalität gemäß 7) als auch die Stabilität einer bilateralen Kooperation garantiert (globale Rationalität gemäß 9). Die Bedingungen (7) und (9) legen folglich ein Anforderungsprofil fest, welches nationale Risikopräferenzen bzw. μ - σ -Kombinationen dahingehend unterscheidet, ob die Begrenzung globaler Umwelt Risiken im Selbstinteresse der betrachteten Staaten ist. Zudem zeigt die Beschränkung (11) an, ob eine empirisch gegebene Risikopräferenzfunktion geeignet ist, ein durch μ und σ aufgespanntes Aktionsfeld (die zu beurteilenden Handlungsalternativen) i. S. d. Erwartungsnutzenkonzeptes rational zu bewerten. Unter diesen Aspekten erlaubt ein Vergleich der theoretischen Anforderungen (7, 9 und 11) mit tatsächlichen Präferenzprofilen einen Rückschluß auf die Kooperationswahrscheinlichkeit der Staaten bei der Bereitstellung globaler Umweltgüter.

Im folgenden wird geprüft, ob die drei Verhaltensmuster: Risikoneutralität, Risikofreude und Risikoscheu gleichermaßen geeignet sind, kooperatives Verhalten der Staaten unter den Prämissen des hier definierten GD bei Unsicherheit zu fördern.

1. Risikoneutralität ($\alpha = 0$)

Bei risikoneutralem Verhalten lösen die Länder folgendes Entscheidungsproblem:

$$\phi(a_i) \longrightarrow \max |\alpha = 0$$

Der Wert des Risikoabschlagparameters ($\alpha = 0$) bewirkt, daß die Risikorelationen für die Reihung der Alternativen irrelevant sind. Eine Auswahl der riskanten Optionen erfolgt also allein nach der Höhe ihres Erwartungswertes (reines μ -Prinzip). Wegen $\mu_{DK} > \mu_{KK}$ und $\mu_{DD} > \mu_{KD}$ ist folglich (ebenso wie bei Sicherheit bzw. rein strategischer Unsicherheit auch) die Wahl der Defektion dominant.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß unter der Erwartungswertkonstellation eines GD im Gleichgewicht sowohl bei Sicherheit als auch bei Unsicherheit mit risikoneutralem Entscheidungsverhalten keine Umweltschutzkooperation zu erwarten ist.

2. Risikofreude ($\alpha < 0$)

Das Maximierungsproblem bei Risikofreude lautet:

$$\phi(a_i) \longrightarrow \max |\alpha < 0$$

Für alle α -Werte kleiner null ist die linke Seite von (7) negativ. Da die rechte Seite positiv ist, kann bei Risikofreude keine der möglichen μ - σ -Kombinationen die Kooperationsbedingung (7) erfüllen. Das gleiche gilt für (9). Die Defektion wird der Kooperation also stets vorgezogen, unabhängig davon, ob bereits ein Land kooperiert oder nicht. Dies entspricht der Präferenz risikofreudiger Entscheidungssubjekte, eine breit streuende Ergebnisverteilung mit hohem Erwartungswert einer vergleichsweise gering streuenden Verteilung mit kleinerem Erwartungswert vorzuziehen.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß beim Vorliegen eines GD risikofreudiges Verhalten ebenso wie risikoneutrales zu nichtkooperativem Verhalten führt.

3. Risikoscheu ($\alpha > 0$)

Zu klären bleibt, welche Wirkung risikoscheues Verhalten auf das Kooperationsergebnis hat. Das Maximierungsproblem lautet:

$$\phi(a_i) \longrightarrow \max |\alpha > 0$$

Bei risikoscheuem Verhalten ($\alpha > 0$) sind beide Seiten von (7) positiv. Folglich existieren α -Werte, die (7) erfüllen. Also kann in Abhängigkeit vom Grad der Risikoscheu die Kooperation der Defektion vorgezogen werden. Da zudem beide Seiten von (9) positiv sind, ist sogar ein Bereich für α gegeben, innerhalb dessen *stabile* Kooperationen rational erklärbar sind.

Damit ist festzuhalten, daß die zwischenstaatliche Kooperationsbereitschaft von der Beziehung zwischen der Risikopräferenz und der Struktur der Wahrscheinlichkeitsverteilung (wiedergegeben durch die subsidiären Zielvariablen μ und σ) geprägt ist. Während unter der Erwartungswertstruktur eines GD weder bei Risikoneutralität noch Risikofreude eine Umweltschutzkooperation zu erwarten ist, verbessern sich bei hinreichend risikoaversen Verhalten die Kooperationsaussichten. Liegt die Intensität der Risikoscheu innerhalb der Grenzen (7), (9) und (11), sind internationale Kooperationsprozesse zu erwarten, die – selbst im statischen Kontext – stabil und rational begründbar sind. Innerhalb des risikoaversen Verhaltensmusters ist damit ein Sprung in den Bereich positiver Kooperationschancen möglich.

3. INTERNATIONALER UMWELTSCHUTZ MIT RISIKOSCHEUEN STAATEN

Daß Staaten risikoavers entscheiden, ist notwendig, aber nicht hinreichend für eine globale Risikobegrenzung. Deshalb wird in Abschnitt 1 geprüft, welche Konstellationen der stochastischen Parameterwerte die Umsetzung einer gegebenen Intensität der Risikoscheu in hinreichende Kooperationsimpulse begünstigen. In diesem Zusammenhang wird in Abschnitt 2 erörtert, welche der strategisch bedingten Kooperationsgrenzen ($\alpha_K^{\min}$ oder $\alpha_S^{\min}$) nach unten bindet, d. h. die höheren Ansprüche an die tatsächliche Risikoscheu der Staaten stellt.

3.1. *Der Einfluss stochastischer Parameter auf die strategisch bedingten Kooperationsgrenzen*

Unsicherheit liegt im Rahmen dieses Modells allein auf der Schadensseite vor. Auf dieser Ebene entwickeln sich Mittelwert μ und Streuungsparameter σ in unterschiedliche Richtungen: Nimmt der Kooperationsgrad zu, erhöht sich der Wert für μ und der für σ sinkt. Diese gegenläufige Tendenz bewirkt, daß bei Risikoaversion trotz positiver Kosten-Nutzendifferenz (die Kosten einer Risikobegrenzung übersteigen die erwartete Schadensersparnis) Kooperationsanreize entstehen können. Risikoscheues Verhalten grenzt sich gegenüber risikoneutralem und -freudigem Verhalten durch einen höheren Wert von α ab. Eine Veränderung des Risikoabschlagparameters ($\Delta\alpha > 0$) ist der Transformationsmechanismus, der das in Abschnitt II definierte GD in einen Spieltyp höherer Kooperationswahrscheinlichkeit überführt. Zur Transformation muß α die nationale ($\alpha_K^{\min}$) bzw. globale Rationalitätsgrenze ($\alpha_S^{\min}$) überschreiten. Diese strategisch bedingten Grenzen sind durch die Struktur der Wahrscheinlichkeitsverteilung, hier erfaßt durch μ und σ , determiniert. Die Staaten sind über die Kooperationsentscheidung in der Lage, zwischen alternativen Verteilungen zu wählen. Für diese Wahl sind bei gegebener Risikopräferenz die Abstände zwischen den Erwartungs- bzw. Streuungswerten entscheidend.

Ändern sich diese Abstände, z. B. weil neue Erkenntnisse über die stochastischen Umweltbedingungen vorliegen, ändert sich auch die (Transformations-)Anforderung an α . Betrachtet man die Transformationsbedingung (7):

$$\alpha > (\mu_{DD} - \mu_{KD}) / [(\mu_{DD})^2 - (\mu_{KD})^2 + (\sigma_{DD}^2) - (\sigma_{KD})^2] \equiv \alpha_K^{\min}$$

zeigt sich, daß das minimale kooperationsunterstützende Niveau ($\alpha_K^{\min}$) um so geringer ist, je geringer die Varianz bei Kooperation $[(\sigma_{KD})^2]$ in Relation zu der bei Defektion $(\sigma_{DD})^2$ ausfällt und vice versa. Der ökonomische Hintergrund besteht darin, daß zur Spieltransformation – unabhängig davon, ob das Risikoreduktionspotential hoch oder niedrig ist – eine positive Erwartungswertdifferenz ($\mu_{DD} - \mu_{KD} > 0$) durch einen entsprechend hohen Nutzengewinn (Zahlungsbereitschaft) aus der Risikoabsenkung zu kompensieren ist. Dies ist gewährleistet, wenn bei Konstanz der Erwartungswerte die Risikoscheu bei einer niedrigen Risikoabsenkung (σ_{KD} ist relativ hoch) höher ist als die bei hohem Reduktionspotential (σ_{KD} ist relativ gering).

Ändert sich andererseits, d. h. bei Konstanz der Risikoparameter, der Abstand zwischen den Erwartungswerten, schlägt sich dies sowohl im Zähler als auch im Nenner von (7) nieder. Dies liegt daran, daß eine Änderung der Erwartungswerte sowohl mittelbar als auch unmittelbar auf den Präferenzwert wirkt. Der erste Term der Ableitung $\partial\phi/\partial\mu = 1 - 2\alpha\mu$ zeigt, daß sich auf dem direkten Weg ein gleichgerichteter Effekt einstellt, während der mittelbare Einfluß des zweiten Terms durch die Abdiskontierung mit α gegenläufig ist. Unter Bezugnahme auf die Axiomatik des Modells kann jedoch gefolgert werden, daß der direkte Effekt im Zähler stärker wirken muß als der mittelbare im Nenner. Denn die Erfüllung von (11) setzt voraus, daß ein streuungsneutraler Anstieg eines Erwartungswertes den Anstieg des entsprechenden Präferenzwertes nach sich zieht ($\partial\phi/\partial\mu > 0$). Tritt also eine Mittelwertverschiebung zugunsten des Erwartungswertes bei Defektion ein (die Differenz $\mu_{DD} - \mu_{KD}$ weitet sich aus), weil sich z. B. die Kooperationskosten durch eine streuungsneutrale Abwertung der unilateral vermeidbaren Umweltschäden erhöhen (ϕ_{KD} sinkt), muß die höhere Attraktivität der Defektion durch eine Intensivierung der Risikoscheu ($\Delta\alpha > 0$) kompensiert werden.¹²

Betrachtet man die Stabilitätsbedingung (9):

$$\alpha > (\mu_{DK} - \mu_{KK}) / [(\mu_{DK})^2 - (\mu_{KK})^2 + (\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2] \equiv \alpha_S^{\min}$$

zeigt sich eine zu (7) analoge Struktur. Deshalb nimmt der kritische Wert $\alpha_S^{\min}$ und damit die Anforderung an die tatsächliche Intensität der Risikoscheu zu, zum einen je geringer ceteris paribus der streuungssenkende Effekt bei kooperativen Verhalten ist (die Differenz zwischen den Streuungsparametern nimmt ab) und zum anderen, wenn bei Kon-

12. Die Veränderung von α neutralisiert dann (durch den sinkenden Grenznutzen des Geldes, den die Risikopräferenz implizit zum Ausdruck bringt, und die stärkere Gewichtung des Risikoparameters) das bei nichtkooperativem Verhalten entstehende Zusatzgeschäft. Der Präferenzwert ϕ_{DD} sinkt wegen $\mu_{DD} > \mu_{KD} \Rightarrow -\alpha\mu_{DD}^2 < -\alpha\mu_{KD}^2$ und $\sigma_{DD} > \sigma_{KD} \Rightarrow -\alpha\sigma_{DD} < -\alpha\sigma_{KD}$ relativ stärker als ϕ_{KD} .

stanz der Varianzen eine Mittelwertverschiebung zugunsten des Erwartungswertes bei Defektion erfolgt. Aus (7) und (9) gemeinsam kann gefolgert werden:

- 1) Je höher (niedriger) die erwartete Kosten-Nutzendifferenz bei Wahl der Kooperation und damit auch der erwartete Freifahreranreiz ist, umso höher (niedriger) sind die kritischen Grenzwerte $\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$, d. h. die Anforderungen an die tatsächliche Intensität der Risikoscheu.
- 2) Die (Transformations-)Anforderungen $\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$ sind umso geringer (höher), je größer (kleiner) das Potential einer Risikoabsenkung bei Wahl der Kooperation ist.

Dies bedeutet, daß risikoaverses Verhalten zwar in der Lage ist, sowohl einen Überschuß der Kosten über die Nutzen zu kompensieren als auch die darin enthaltenen Freifahreranreize zu neutralisieren, daß dieser Mechanismus jedoch ein Überschreiten der unteren strategisch bedingten Rationalitätsgrenzen ($\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$) voraussetzt. Deshalb kann – selbst bei Risikoscheu – die Anforderung an das tatsächlich gegebene α zur Spieltransformation bei ungünstigen μ - σ -Kombinationen nicht erfüllt sein. In diesem Fall könnte ein Kooperationsimpuls und damit eine Zielharmonisierung zwischen lokalen und globalen Interessen nur ausgelöst werden, wenn sich die Risikoscheu der Staaten intensiviert ($\Delta\alpha > 0$). Liegt jedoch der minimale kooperationsfreundliche Aversionsgrad oberhalb der Dominanzschränke (11) ($\max[\alpha_K^{\min}, \alpha_S^{\min}] > \alpha^{\max}$), kann eine Intensivierung der Risikoscheu zwar bewirken, das sowohl die Kooperations- als auch die Stabilitätsbedingung erfüllt wird ($\alpha > \alpha_K^{\min}, \alpha_S^{\min}$), dies hätte aber zur Folge, daß ein Konflikt mit dem Rationalitätsaxiom der Risiko-Nutzentheorie entsteht ($\alpha > \alpha^{\max}$). Eine Kooperationsaussage müßte unterbleiben, da eine i. S. d. Nutzenaxiomatik rationale Handlungsempfehlung nicht gegeben werden kann. Eine Erhöhung der globalen Wohlfahrt durch kooperatives Handeln wäre in diesem Fall nur erreichbar, wenn jede Nation die Möglichkeit einer irrationalen Wahl in Kauf nehmen würde.

3.2. Nationale oder globale Rationalität – Welche Restriktion bindet?

Die Ausdehnung des Kooperationsraums ist durch das Zusammenspiel alternativer Erwartungswert-Varianz-Kombinationen einerseits und durch die Höhe des Risikoabschlagparameters andererseits determiniert. Die Qualität dieses Raumes hängt davon ab, ob die darin stattfindenden Kooperationsprozesse stabil oder instabil sind. Bei gegebenen stochastischen Parametern legt (11) eine formale Obergrenze ($\alpha^{\max}$) für die Beurteilung riskanter Alternativen fest. Das Überschreiten der unteren Kooperationsgrenzen ($\alpha_K^{\min}$) und ($\alpha_S^{\min}$) ist entscheidend dafür, ob stabile Kooperationsanreize entstehen können. Ist (7) erfüllt, ist es im Selbstinteresse der Staaten zu kooperieren (nationale Rationalität). Ist (7) zugleich restriktiver als (9), d. h. $\alpha_K^{\min} > \alpha_S^{\min}$, kann zudem gefolgert werden, daß bei Rationalverhalten der Staaten der jeweils nationale Kooperationsanreiz in eine *stabile* Umweltschutzkoalition mündet (globale Rationalität). Umgekehrt ist davon auszugehen, daß im Fall $\alpha_S^{\min} > \alpha_K^{\min}$ zwar Kooperationsprozesse stattfinden

können, diese jedoch instabil sind, solange der tatsächliche Aversionsgrad (α) zwischen den Grenzen ($\alpha_K^{\min}$) und ($\alpha_S^{\min}$) liegt. Im Hinblick auf das Kooperationsergebnis bzw. um Aussagen über die Stabilitätseigenschaften einer Umweltschutzkoalition zu gewinnen, ist es deshalb erforderlich zu klären, welche der unteren Schranken ($\alpha_K^{\min}$) oder ($\alpha_S^{\min}$) – bindet.¹³

Intuitiv liegt zwar die Vermutung nahe, daß die Stabilitätsbedingung (9) die Anforderungen an den Aversionsgrad α erhöht und damit den Kooperationsraum stärker beschränkt als die Kooperationsbedingung (7). Denn (9) bedingt, daß für *beide* Länder kooperatives Handeln lohnt, während (7) den Kooperationsanreiz für nur *einen* Staat formuliert. Allerdings bestätigt sich diese Vermutung nicht.

Aus (7) und (9) folgt, daß ($\alpha_K^{\min}$) > ($\alpha_S^{\min}$), wenn gilt

$$\begin{aligned} & (\mu_{DD} - \mu_{KD}) / [(\mu_{DD})^2 - (\mu_{KD})^2 + (\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2] > \\ & (\mu_{DK} - \mu_{KK}) / [(\mu_{DK})^2 - (\mu_{KK})^2 + (\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2] \end{aligned} \quad (12)$$

Diese Ungleichung ist stets erfüllt, wenn

- a) bei identischer Erwartungswertdifferenz, d. h. bei Unabhängigkeit der erwarteten Kosten-Nutzendifferenz vom Kooperationsgrad, die Differenz der Varianzen bei Defektion des zweiten Landes $[(\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2]$ nicht größer ist als die Differenz bei Kooperation desselben $[(\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2]$.
- b) bei identischer Varianzdifferenz der Abstand der Erwartungswerte bei Defektion des zweiten Landes $(\mu_{DD} - \mu_{KD})$ größer ist als der Abstand, wenn es kooperiert $(\mu_{DK} - \mu_{KK})$.

Diese Aussagen begründen sich wie folgt:

Die Präferenz risikoaverser Staaten, für eine Risikoabsenkung zu zahlen, wird durch kooperatives Verhalten befriedigt. Bei Wahl der Kooperation übersteigen die Kosten den erwarteten Nutzen. Die Erfüllung von (7) stellt jedoch sicher, daß dieser Kostenüberschuß durch entsprechende (Risiko-)Nutzengewinne aus der Risikoabsenkung kompensiert wird (nationale Rationalität). Kooperiert dagegen nur der andere Staat, erfolgt eine Risikoreduktion, ohne daß dafür nationale Kosten entstehen. Sollen beide Länder kooperieren, darf der entstehende kostenlose Nutzengewinn nicht durch die nationalen Kooperationskosten absorbiert werden (Prämisse der globalen Rationalität). Dies gewährleistet die Erfüllung der Stabilitätsbedingung (9).

Damit $\alpha_K^{\min} > \alpha_S^{\min}$ gilt, darf das Risikominimierungspotential bei unilateraler Kooperation nicht größer sein als das bei bilateraler (Fall a). Der Überschuß der Kooperationskosten wird dann in nur relativ geringem Maß durch den Risikoreduktionsbeitrag *eines*

13. An dieser Stelle könnte vermutet werden, daß die Beziehung zwischen $\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$ mit Hilfe des Arrow-Pratt-Maßes geklärt werden kann. Dies ist jedoch nicht der Fall. Denn es geht hier nicht um den Vergleich verschiedener Intensitäten von Risikoscheu in einem bestimmten Punkt, sondern um die relative Vorteilhaftigkeit zwischen zwei Präferenzwerten, die sich hinter den Ausdrücken $\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$ verbergen.

Landes gedeckt, während ein Kooperationsbeitrag *beider* Länder, d. h. ein Verzicht auf den erwarteten Freifahrervorteil ($\mu_{DK} - \mu_{KK} > 0$), einen relativ hohen Nutzengewinn aus der Risikoabsenkung in Aussicht stellt. Ist ein Koalitionsaustritt also relativ teuer (riskant), werden Freifahreranreize selbst dann absorbiert, wenn bei identischer Erwartungswertdifferenz der Mittelwert bei einseitiger Defektion (μ_{DK}) mit einem niedrigeren Risikoabschlag belegt wird als der bei bilateraler Defektion (μ_{DD}). Die Relation $\alpha_K^{\min} > \alpha_S^{\min}$ gilt sogar dann, wenn die Varianzdifferenzen identisch sind.¹⁴ Daraus kann umgekehrt gefolgert werden, daß die Prämisse der globalen Rationalität nur dann bindet ($\alpha_K^{\min} < \alpha_S^{\min}$), wenn bei identischer Erwartungswertdifferenz ein unilateraler Kooperationsbeitrag relativ stark auf σ wirkt (die Differenz der Varianzen bei Defektion des zweiten Landes also hinreichend größer ist als die Differenz bei Kooperation desselben).

Bei Aussage b) ist zu berücksichtigen, daß eine Transformation um so schwieriger wird, je größer ceteris paribus der Defektionsanreiz ist. Eine Ausweitung der Mittelwertdifferenz muß deshalb von einem Anstieg des Risikoabschlagparameters begleitet werden ($\Delta\alpha > 0$). Drohen bei unilateraler Kooperation erhebliche Verluste, so daß bei identischer Varianzdifferenz $(\mu_{DD} - \mu_{KD}) > (\mu_{DK} - \mu_{KK})$ gilt, ist folglich auch die Anforderung $\alpha_K^{\min}$ stets größer als $\alpha_S^{\min}$.

Die Wirkung der Bindungskraft von $\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$ läßt sich durch unterschiedliche Typen von Spielen illustrieren.¹⁵

Unabhängig davon, ob die Relation $\alpha_K^{\min} > \alpha_S^{\min}$ oder $\alpha_K^{\min} < \alpha_S^{\min}$ gilt, entstehen keine Kooperationsanreize, solange das tatsächliche α unterhalb der beiden kritischen Grenzen liegt ($\alpha < \alpha_K^{\min}; \alpha_S^{\min}$). Diese Situation ist durch ein GD beschrieben.

Bewegt sich der tatsächliche α -Wert zwischen den unteren Kooperationsgrenzen und bindet $\alpha_S^{\min}$ ($\alpha_K^{\min} < \alpha < \alpha_S^{\min}$), entsteht ein unilateraler Kooperationsanreiz. In diesem Fall liegt ein Chicken-Spiel (CH) vor.¹⁶ Im CH ist strittig, wer die Kooperationsleistung erbringt: Jedes Land präferiert, daß andere Länder kooperativ handeln, um selbst in den Genuß des Freifahrervorteils zu kommen [für $\alpha < \alpha_S^{\min}$ gilt: $\phi(DK) > \phi(KD)$]. Dies kann zu einer Abwartehaltung der Staaten führen, in der jedes Land darauf spekuliert, daß andere Umweltschutz betreiben. Anders als im GD ist unter den Prämissen eines

14. Dies begründet sich mathematisch unter Berücksichtigung der 3. Binomischen Formel wie folgt: $(\mu_{DD} - \mu_{KD}) / [(\mu_{DD} - \mu_{KD})(\mu_{DD} + \mu_{KD}) + (\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2] > (\mu_{DK} - \mu_{KK}) / [(\mu_{DK} - \mu_{KK})(\mu_{DK} + \mu_{KK}) + (\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2]$. Da $(\mu_{DD} - \mu_{KD}) = (\mu_{DK} - \mu_{KK})$ und im GD $(\mu_{DD} + \mu_{KD}) < (\mu_{DK} + \mu_{KK})$ gilt, ist $\alpha_K^{\min}$ stets größer als $\alpha_S^{\min}$, wenn zusätzlich $(\sigma_{DD})^2 - (\sigma_{KD})^2 \leq (\sigma_{DK})^2 - (\sigma_{KK})^2$ gilt. Demzufolge ist $\alpha_K^{\min}$ auch dann stets größer als $\alpha_S^{\min}$, wenn die Gleichheit gilt, also sowohl die Mittelwert- als auch Varianzdifferenzen unabhängig vom Kooperationsgrad sind. Der ökonomische Hintergrund ist: Je höher ceteris paribus das im Mittel zu erwartende Kooperationsergebnis ist (hier gilt: $\mu_{KK} > \mu_{KD}$), um so leichter läßt sich bei identischer Varianzdifferenz eine gleich hohe Mittelwertdifferenz neutralisieren ($\partial\phi/\partial\mu > 0$).
15. Die folgende spieltheoretische Argumentation läßt sich mit Hilfe von Zahlenbeispielen veranschaulichen, die von den Autoren auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.
16. Ein CH zeichnet sich gegenüber einem GD [$\phi(DK) > \phi(KK) > \phi(DD) > \phi(KD)$] dadurch aus, daß $\phi(DK) > \phi(KK) > \phi(KD) > \phi(DD)$ gilt. Zum CH siehe z. B. RASMUSEN 1989: 73; RAPORT/CHAMMAH 1969.

CH zu erwarten, daß früher oder später zumindest eine partielle Kooperation zustande kommt [für $\alpha > \alpha_K^{\min}$ gilt: $\phi(KD) > \phi(DD)$]. Bei entsprechenden Modellparametern liefert das CH also einen rationalen Erklärungsansatz dafür, warum in der Realität selbst bei Freifahreranreizen manche Länder einen umweltpolitischen Alleingang unternehmen und andere nicht.¹⁷

Bindet $\alpha_K^{\min}$ ($\alpha_K^{\min} > \alpha > \alpha_S^{\min}$), ist kooperatives Verhalten beider Staaten immer dann zu erwarten, wenn mindestens ein Staat eine umweltpolitische Vorreiterrolle übernimmt, d. h. durch kooperatives Verhalten weitere Kooperationsimpulse gibt (Reziprozität). Das ist die Situation im Stag hunt (SH).¹⁸ In der Ausgangssituation (DD) besteht hier – anders als im CH – für kein Land ein Anreiz zu kooperieren. Dieser mangelnde Kooperationsanreiz kann im SH jedoch z. B. durch die Übernahme einer Vorreiterrolle substituiert werden. Diese bewirkt, daß andere auf kooperatives Verhalten mit Kooperation reagieren [wegen $\alpha > \alpha_S^{\min}$ gilt: $\phi(KK) > \phi(DK)$].¹⁹ Aus diesem Grund setzt eine stabile bilaterale Kooperation *keinen* unilateralen Kooperationsanreiz gemäß (7) voraus.

In der Realität sind jedoch Fehleinschätzungen bezüglich der vorliegenden Spielsituation möglich. So mögen genaue Angaben über die nationale Risikopräferenz im Ausland fehlen und/oder die objektive Risikoeinschätzung nur auf Vermutungen über die im Ausland geschätzten Schadens-/Kostenfunktionen basieren. Unter diesen Informationsbedingungen besteht die Möglichkeit, daß kein Staat wagt, einen Kooperationsimpuls zu senden. So könnte nämlich z. B. die Anreizstruktur eines CH Anlaß sein, daß eine „Vorreiterposition“ im Ausland aufgegeben wird, sobald die eigene Staatengruppe kooperiert. Umgekehrt könnten bei einer Vorleistung im Inland z. B. schwach risikoscheue Länder statt mit Kooperation mit Defektion reagieren (ein GD wird irrtümlich als SH identifiziert). Eine globale Risikobegrenzung ist deshalb – selbst unter stabilen Kooperationsbedingungen ($\alpha > \alpha_S^{\min}$) – nicht notwendigerweise zu erwarten.

Diese möglichen Kooperationshemmnisse verschwinden erst, wenn simultan (7) und (9) erfüllt werden ($\alpha > \alpha_K^{\min}$; $\alpha_S^{\min}$). Dann lohnt es, *unabhängig* vom Verhalten anderer Länder zu kooperieren; ein Spiel ohne Konflikt (NCG) entsteht.²⁰

17. Mit Hilfe des CH kann zudem gefolgert werden, daß bei divergierenden Risikopräferenzen der Staaten ein umweltpolitischer Alleingang in erster Linie von solchen Staaten zu erwarten ist, die risikoavers agieren bzw. deren Risikoscheue am intensivsten ist. Dies liegt daran, daß es risikoneutralen und risikofreudigen Ländergruppen an Kooperationsanreizen mangelt und innerhalb des risikoaversen Verhaltensmusters die Nutzeneinbuße bei nichtkooperativem Verhalten für weniger risikoscheue Staaten geringer ist als für sehr scheue, so daß erstere ggf. eine Abwarteposition länger durchhalten werden.
18. Zum SH: $\phi(KK) > \phi(DK) > \phi(DD) > \phi(KD)$, einer Variante des Assurance Game, vgl. z. B. OYE 1985/86, TAYLOR 1987.
19. Die Übernahme einer Vorreiterrolle ist insbesondere dann zu erwarten, wenn eine Koalitionsausdehnung unmittelbar erfolgen kann, so daß selbst kurzfristige Gewinneinbußen (bei zunächst unilateraler Kooperation) nicht zu befürchten sind. Zu möglichen Nachteilen siehe z. B. HOEL 1991; KIRCHGÄSSNER 1995 und die dort angegebene Literatur.
20. Im Spiel ohne Konflikt gilt: $\phi(KK) > \phi(DK)$ und $\phi(KD) > \phi(DD)$. Zum NCG siehe z. B. STEIN 1982.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Anforderungen an α zur Erfüllung der Stabilitätsbedingung (9) – entgegen intuitiver Vermutung – nicht notwendigerweise über den Anforderungen gemäß (7) liegen. Bewegt sich das kritische Niveau $\alpha_K^{\min}$ über $\alpha_S^{\min}$, ist eine *stabile* bilaterale Kooperation leichter zu erreichen als eine unilaterale. Ursache hierfür ist, daß bei risikoscheuem Verhalten der Risikoverbund der Staaten (d. h. der Nichtausschluß von risikoreduzierenden Maßnahmen) über den Varianzeffekt die destabilisierenden Kräfte eines erwarteten Kosten-Nutzenüberschusses (Freifahreranreiz) so unterlaufen kann, daß eine selbstbindende Wirkung entsteht. Die Vorteile der bilateralen Kooperation ($2\mu_{KK} > 2\mu_{DD}$ und $\sigma_{KK} < \sigma_{DD}$) kommen dann entsprechend zum Wirken und ein Widerspruch zwischen globalen und nationalstaatlichen Interessen ist nicht zu erwarten.

Im Einzelnen gilt:

- 1) Die Kooperationsgrenze $\alpha_K^{\min}$ liegt unter der Stabilitätsgrenze $\alpha_S^{\min}$, wenn mit der Kooperation eines Staates das Risikoreduktionspotential verhältnismäßig stark absinkt. Das gleiche gilt, wenn die Freifahreranreize so hoch sind (die unilateralen Kooperationskosten so gering), daß die Mittelwertdifferenz in (9) größer ist als die Mittelwertdifferenz in (7). Eine stabile bilaterale Kooperation setzt dann voraus, daß die Intensität der Risikoaversion diese Effekte neutralisiert. Es gilt: $\alpha_S^{\min} > \alpha_K^{\min}$.
- 2) Je höher die Synergieeffekte bei einer gemeinsamen Risiko-(Schadstoff-)reduktion sind, desto höher ist die selbstbindende Wirkung des Varianzeffektes und desto weniger wirken Freifahreranreize. Infolge kann die Stabilitätsgrenze $\alpha_S^{\min}$ unter das Niveau $\alpha_K^{\min}$ sinken.
- 3) Die Erzeugung bilateraler Kooperationen setzt keine intensivere Risikoscheu voraus, wenn die Differenz zwischen den Mittelwerten *und* den Varianzen unabhängig vom Kooperationsgrad ist. In diesem Fall gilt stets: $\alpha_K^{\min} > \alpha_S^{\min}$.

Die Relation zwischen den kritischen Grenzen ($\alpha_K^{\min}$ und $\alpha_S^{\min}$) und deren Beziehung zu dem tatsächlichen α definieren das Verhandlungsspiel (ob z. B. ein CH oder SH gegeben ist). Sie entscheiden letztlich über die Höhe der Kooperationswahrscheinlichkeit der Staaten.

4. DER PROZESS DER SPIELTRANSFORMATION IN THEORIE UND PRAXIS

In der Realität ist zu beobachten, daß die Begrenzung globaler Umweltrisiken oftmals zunächst in einer nichtkooperativen Phase verharrt. Während dieser Zeit kommt es unter günstigen Bedingungen zur Einigung auf ein gemeinsames Umweltziel. Die Konzeption eines internationalen Umweltschutzvertrages, der die nationalen Kooperationsleistungen regelt, schließt sich an. Die nichtkooperative Phase mündet dann in ein Ratifizierungsverfahren, in dem sich einige Staaten bereit erklären, eine umweltpolitische Vorreiterrolle – die Kooperationsverpflichtung – zu übernehmen. In manchen Fäl-

len trägt dies dazu bei, daß später weitere Staaten ebenfalls kooperativ handeln. Das Montrealer Abkommen zum Schutz der Ozonschicht ist ein Beispiel hierfür. Auch das Kyoto-Protokoll, welches die Begrenzung der Treibhausgase regelt, sieht vor, daß zunächst die Industrieländer Reduktionsziele übernehmen. Die Einbindung der Entwicklungsländer wird jedoch für einen späteren Zeitpunkt angestrebt. Mit Hilfe der zuvor gewonnenen Erkenntnisse, läßt sich die Abfolge eines solchen Kooperationsprozesses wie folgt erklären:

Die nichtkooperative Phase ist durch die Struktur eines GD gekennzeichnet; die Risikopräferenz der Staaten liegt unterhalb der Kooperationsgrenzen ($\alpha < \alpha_K^{\min}; \alpha_S^{\min}$). Die öffentliche Diskussion der Umweltproblematik in der nichtkooperativen Phase führt jedoch dazu, daß Interessengruppen entstehen, die durch eine aktive Informationspolitik gravierende Umweltschäden beim „business as usual“ in das Bewußtsein der Gesellschaft rücken. Als Folge davon ändern sich die erwarteten Kosten-Nutzenstrukturen, indem es zu einer Umbewertung der erwarteten Schäden kommt oder neue Techniken der Schadensvermeidung bekannt werden. Denkbar ist zudem, daß Angst vor katastrophalen Umweltschäden entsteht, wodurch sich die Risikoscheu der Staaten intensiviert. Das GD schlägt in ein CH um ($\alpha > \alpha_K^{\min}$). Einige Staaten sind daraufhin bereit, einen umweltpolitischen Alleingang zu unternehmen. Sie treten einem Ratifizierungsabkommen bei (welches bedingte Kooperationen institutionalisiert) oder geben unilaterale Reduktionsversprechen ab (wie die Bundesregierung 1995 in Berlin bei den Verhandlungen über eine Begrenzung der Treibhausgase oder wie Argentinien als erstes Entwicklungsland (Schwellenland) bei den Klimaschutzverhandlungen 1999 in Bonn). Durch den Koalitionsbeitritt der CH-Länder entstehen Kooperationsimpulse in den Staaten, deren Risikopräferenz zwischen den unteren Kooperationsgrenzen liegt. Sie treten der bestehenden Umweltschutzkoalition ebenfalls bei. Das ist die Situation, in der Kooperationsbedingung (7) bindet: auf kooperatives Verhalten wird mit Kooperation reagiert ($\alpha_S^{\min} < \alpha < \alpha_K^{\min}$). Für die übrigen Länder bestehen keine Beitrittsanreize; ihre Risikopräferenz liegt außerhalb der Kooperationsgrenzen ($\alpha < \alpha_K^{\min}; \alpha_S^{\min}$). Sie profitieren von den Schutzmaßnahmen anderer Staaten.

Ob jedoch alle der Koalitionsstaaten die vertraglich vereinbarte Leistung erbringen, hängt wesentlich davon ab, ob die Kooperationsanreize in den CH-Ländern erhalten bleiben. Denn die Risikoabsenkung durch die versprochene Kooperationsleistung der nachträglich beigetretenen Staaten kann (durch deren Wechsel von D zu K) die Anforderungen an α so stark erhöhen, daß die Risikopräferenzen der CH-Staaten außerhalb der neuen Kooperationsgrenzen liegen ($\alpha_K^{\min} < \alpha < \alpha_S^{\min}$). Die Erfüllung der Vereinbarung läßt dann, wie z. B. beim Abkommen über den Walfang, auf sich warten.

Damit ist festzuhalten, daß der Prozeß der Spieltransformation reale Kooperationsvorgänge unter Berücksichtigung risiko-strategischer Aspekte theoretisch erklären kann. Ebenso wird deutlich, daß die Implementierung eines Ratifizierungsverfahrens (die Mindestanzahl von Kooperationsbeiträgen ist bestimmt) die strategische Wechselwirkung zwischen Risikopräferenz und Risiko-Ertragsstruktur so beeinflusst, daß Kooperationsanreize entstehen können bzw. weitere Kooperationsbeiträge (insbesondere

in SH-Staaten) erzielbar sind. Die simultane Berücksichtigung stochastischer und strategischer Effekte liefert damit auch einen Erklärungsbeitrag zum Entstehen dieser umweltpolitischen Institution.

5. DIE UMWELTPOLITISCHE RELEVANZ DES TRANSFORMATIONS-MECHANISMUS: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Stochastische Phänomene bestimmen die Kosten-Nutzenstruktur internationaler Umweltschutzprojekte ebenso wie strategisches Verhalten der Länder. Bei der Beurteilung schadenbegrenzender Maßnahmen sind deshalb simultan beide Formen der Unsicherheit explizit zu berücksichtigen und qualitativ zu bewerten. Der risiko-strategische Ansatz zeigt, daß das Kooperationsverhalten der Staaten sowie die Stabilität internationaler Verträge bei stochastisch bedingter Unsicherheit wesentlich durch die nationalen Risikopräferenzen determiniert ist. Der „Spielraum“ für kooperatives Verhalten wird bei Wahl des Mittelwert-Varianz-Prinzips durch die Ungleichungen (7), (9) und (11) bestimmt. Eine Zielharmonie zwischen globalen und lokalen Interessen besteht, wenn die real gegebenen Risikopräferenzen innerhalb dieser Grenzen liegen. Während unter der Erwartungswertstruktur eines GD das Kooperationsproblem bei Sicherheit und Unsicherheit sowohl mit risikoneutralem als auch risikofreudigem Entscheidungsverhalten ungelöst bleibt, steigen bei Risikoaversion die Kooperationschancen. Diese variieren abhängig davon, ob der tatsächliche Grad der Risikoscheu unter, zwischen oder über den unteren strategisch bedingten Kooperationsgrenzen ($\alpha_K^{\min}$) und ($\alpha_K^{\min}$) liegt.

Damit ein durch die Erwartungswerte definiertes GD in ein Spiel höherer Kooperationswahrscheinlichkeit (z. B. in das CH) transformiert werden kann, muß die Risikoaversion zumindest zwischen den unteren Kooperationsgrenzen liegen. Darunter sind selbst bei Risikoscheu keine Kooperationsanreize zu erwarten. Bindet die Untergrenze $\alpha_K^{\min}$, kann der Anreiz zum „Freifahren“ (wie im SH) bereits innerhalb des Zwischenbereiches völlig ausgeschaltet werden. Allerdings gewährleistet dies keinen Automatismus für kooperatives Handeln. Liegen keine unilateralen Kooperationsanreize vor, müssen zusätzlich noch andere Voraussetzungen, z. B. die Übernahme einer Vorreiterrolle, erfüllt sein, um Kooperationsbeiträge zu erzielen. Die Wahl der Kooperation unabhängig vom Verhalten anderer Staaten ist dagegen dann zu erwarten, wenn der Risikoabschlag beide Untergrenzen überschreitet.

Soll darüber hinaus das Dominanzprinzip (Nichtsättigungshypothese) als Minimalforderung an eine rationale Entscheidung i. S. d. Nutzenaxiomatik gelten, sind solche Kooperationsaussagen nur möglich, wenn die Risikoaversion jeweils die Kooperationsobergrenze ($\alpha^{\max}$) nicht überschreitet. Anderenfalls könnte, mangels einer Möglichkeit zur rationalen Erwartungsbildung, eine Blockade der kooperationsunterstützenden Spieltransformation (GD $\rightarrow$ CH/SH $\rightarrow$ NCG) entstehen. Denn kooperatives Verhalten wäre an die Möglichkeit einer irrationalen Wahl gebunden. Paradoxerweise hätte dies jedoch den Effekt, daß durch die axiomatisch irrationale Absenkung des Umweltrisikos

sowohl die erwartete Wohlfahrt der Staaten insgesamt als auch die Wohlfahrt jedes einzelnen Staates steigt ($\mu_{KK} > \mu_{DD}$).

Die aufgezeigten Interdependenzen zwischen stochastischer und strategischer Ebene verdeutlichen, daß eine monokausale Betrachtung globaler Umweltprobleme unzureichend ist. *Strategische Analysen* zeigen zwar, daß Freifahreranreize einer Minimierung globaler Umweltrisiken zum Nachteil aller Staaten entgegenstehen; und *risikothoretische Ansätze* verdeutlichen, daß risikoaverses Verhalten tendenziell dazu beiträgt, ein höheres Umweltschutzniveau zu unterstützen. Doch erst die *risiko-strategische Analyse* demonstriert, daß Freifahreranreize durch risikoaverses Verhalten absorbierbar sind und daß dieses Verhaltensmuster erst dann in kooperatives Verhalten umschlägt (ein höheres Umweltschutzniveau fördert), wenn die Intensität der Risikoscheu eine durch die Wahl des Entscheidungskriteriums bestimmte kritische Grenze überschreitet.

Die Relevanz des risiko-strategischen Ansatzes zeigt sich zudem darin, daß er reale Kooperationsprozesse ebenso wie das Entstehen umweltpolitischer Institutionen i. V. m. dem Prozeß der Spieltransformation theoretisch erklären kann. Dadurch eröffnen sich neue Ansatzpunkte für ein umweltpolitisches Risikomanagement:

1) Ansatzpunkte auf der Präferenzebene

Ob Staaten kooperieren, hängt i. d. R. auch von der Kooperationsentscheidung anderer Nationen ab. Die Risikopräferenz ist bei gegebenem stochastischen Unsicherheitspotential entscheidend für das strategische Verhalten von Staaten. Deshalb können Erkenntnisse über die Risikopräferenzen anderer Länder beitragen, die nationale Erwartungsbildung (bezüglich der Frage, ob sich kooperatives Verhalten lohnt) zu unterstützen. Ebenso können diese Erkenntnisse dazu genutzt werden, das Design eines Ratifizierungsabkommens zu optimieren. Die Anzahl der Unterzeichnerstaaten kann so gewählt werden, daß unter risiko-strategischen Gesichtspunkten maximale Kooperationsimpulse bei minimalen Defektionsanreizen entstehen (daß CH-Länder selbst dann noch kooperieren, wenn SH- oder NCG-Staaten beitreten).

Der Prozeß der Spieltransformation zeigt zudem, daß eine Intensivierung der Risikoscheu unterhalb der Kooperationsobergrenze tendenziell kooperationsfördernd wirkt.²¹ Die Kenntnis der Bestimmungsfaktoren der länderindividuellen Risikoneigung, hier i. V. m. der Kenntnis der darauf wirkenden Politikinstrumente, kann folglich auch eine Stimulierung der Kooperationsneigung ermöglichen. In der Realität ist eine zielgerichtete Einflußnahme auf die Risikopräferenz allerdings äußerst schwierig und langwierig. Möglicherweise bedarf es dazu erst gravierender Umweltschäden, was für ein globales Risikomanagement äußerst unbefriedigend ist. Denn eine Verhaltensänderung ist oft-

21. Vgl. in diesem Zusammenhang die Analogie zur Wirkung einer Erhöhung des Umweltbewußtseins auf das kooperative Verhalten von Staaten (ENDRES 1997; ENDRES/FINUS 1997). Die Erforschung eines möglichen Zusammenhangs von Umweltbewußtsein und Risikopräferenz erscheint deshalb besonders vielversprechend.

mals erst dann zu erwarten, wenn zusätzliche situative Faktoren günstig sind (zu denken ist z. B. an den Einfluß des Reaktorunglücks in Tschernobyl auf die Risikohaltung in der Atompolitik). Deshalb besteht beim Vorliegen entsprechender Informationen generell zwar die Möglichkeit, die Risikopräferenz zu variieren (indem z. B. mit den Mitteln der Risikokommunikation drohende Umweltgefahren und deren negative Wohlfahrtsfolgen auch in den Staaten publik gemacht werden, die sich bislang nicht bei der Lösung von Umweltproblemen engagieren). Diese Stoßrichtung verfolgt auch der Wissenschaftliche Beirat der (deutschen) Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 1999), indem er sich nachdrücklich dafür ausspricht, gegenüber global relevanten Umweltrisiken eine risikoscheue Haltung einzunehmen. Ob und ggf. wann dadurch Kooperationsimpulse ausgelöst werden, ist jedoch äußerst ungewiß. Zumal auch der WBGU zum Grad der Risikoscheu bislang keine Aussage getroffen hat. Deshalb sind kurz- bis mittelfristig wirkende Maßnahmen wichtig, die Einfluß auf die Höhe des „objektiven“ Risikos (hier: auf μ und σ) haben.

2) Ansatzpunkte auf der stochastischen Ebene

Für eine aktive Beeinflussung der stochastischen Parameter gibt es verschiedene Ansatzpunkte. Zu denken ist insbesondere an den Einfluß umweltpolitischer Instrumente und Technologien, die sich u. a. in der Höhe der bei ihrem Einsatz verursachten Kosten als auch in ihrer ökologischen Treffsicherheit unterscheiden. Der Spielraum für kooperatives Verhalten wird dadurch entsprechend variiert. So können z. B. Synergieeffekte bei Wahl einer Reduktionstechnologie ein Absinken des Freifahreranreizes (Mittelwerteffekt) und in folge kooperatives Verhalten bewirken. Auf diesen Wirkungszusammenhang hat bereits HEAL (1992) in Verbindung mit der Einführung der Katalysatortechnik hingewiesen.²² Bei HEAL müssen zur Transformation des GD Freifahrervorteile gänzlich entfallen ($\mu_{KK} > \mu_{DK}$). Im Unterschied dazu deutet der risiko-strategische Ansatz auf die Möglichkeit einer Spieltransformation selbst dann hin, wenn die Anreizstruktur eines GD ($\mu_{DK} > \mu_{KK}$) bestehen bleibt.

Zum anderen ist ein im Hinblick auf die Kooperationschancen positiver Effekt des Risikoverbundes zu erwarten, wenn die Risikoabsenkung (der Varianzeffekt) bei bilateralen Schutzmaßnahmen höher ist als die im nationalen Alleingang (was insbesondere im Fall der THG gegeben sein dürfte). Auch dieser Mechanismus ist letztlich auf das Wirken von Synergieeffekten zurückzuführen (hier: im Bereich der Schadensverteilung).

22. HEAL führt an, daß der starke PKW-Tourismus von Deutschland nach Italien zu einer Versorgung mit bleifreiem Benzin (das ist die Infrastruktur für die Einführung der Katalysatortechnik) in Italien führte. Durch dieses Kostensplitting zwischen Automobil- und Tourismusindustrie sind die Kosten der Katalysatoreinführung gesunken (Synergie-Effekt). Ein möglicher Grund dafür, warum sich die von den Italienern auf EG-Ebene zunächst abgelehnte Technik auch dort durchsetzen konnte.

Beiden Varianten ist gemeinsam, daß sie auf unterschiedliche Kooperationspotentiale alternativer Reduktionstechnologien hinweisen. Diese Erkenntnis eröffnet eine neue Perspektive im Rahmen der Technologiefolgeabschätzung. Gelingt es, alternative Produktionsmöglichkeiten nach ihrer Risiko-Ertragsstruktur (hier: μ - σ -Struktur) zu differenzieren, kann das in einer Umwelttechnologie gebundene Kooperationspotential als zusätzlicher Faktor bei der Bewertung der Technologiefolgen berücksichtigt werden. Liegt z. B. die Risikoaversion einer Staatengemeinschaft beim aktuellen Stand der Technik innerhalb der Kooperationsgrenzen, die der zweiten jedoch unterhalb der Stabilitätsgrenze (9), kann – so paradox es auch klingen mag – der Einsatz einer Technologie, die im nationalen Alleingang nur relativ wenig zur Begrenzung des globalen Umwelttrisikos beiträgt (σ_{KD} verharrt auf relativ hohem Niveau), die Stabilitätsgrenze soweit nach unten verlagern, daß beide Staatengruppen einen stabilen Kooperationsanreiz erhalten. Insgesamt kann dies zu einem signifikanten Umwelteffekt führen, der die Wohlfahrt beider Nationen erhöht.

Ebenso ist an das divergierende Unsicherheitspotential verschiedener umweltpolitischer Instrumente zu denken (ENDRES/OHL 1999a). Zum Beispiel kann unter einer CO₂-Steuer die Schadensverteilung stärker streuen als unter einer Zertifikatlösung. Theoretisch können beide Instrumente zwar so determiniert werden, daß die Emissionshöhen identisch sind; die dazu notwendigen Informationsvoraussetzungen liegen in der Realität i.a. jedoch nicht vor. Hinzu kommt, daß selbst unter idealen Informationsbedingungen sich durch den Einsatz innovativer Reduktionstechniken eine abweichende Entwicklung (der Wohlfahrtsverteilung) ergeben kann. Das gleiche gilt für unterschiedliche Handelsregime wie sie derzeit im Zusammenhang mit der Ausgestaltung des Kyoto-Protokolls diskutiert werden (beschränkter versus unbeschränkter Handel mit Emissionsrechten).

Deshalb lassen sich die Kooperationschancen verbessern, wenn neben den traditionellen Kriterien: Effizienz, ökologische Treffsicherheit und dynamische Anreizwirkung, zusätzlich das einer umweltpolitischen Maßnahme inhärente Kooperationspotential berücksichtigt wird. Dadurch wird gleichzeitig eine Vernetzung von lokaler und globaler Handlungsebene erreicht, die eine zielkonforme Gestaltung der globalen Risikolandschaft ermöglicht (wie sie z. B. vom WBGU 1999 gefordert wird). Für die Risikobearbeitung schlägt der WBGU vor, global relevante Umwelttrisiken zunächst nach sechs Risikotypen zu klassifizieren. Geeignete Managementstrategien sollen dann ein betrachtetes Risiko entweder direkt oder über den Umweg einer Transformation in andere Risikotypen in einen Normalbereich überführen. Nach welchen Kriterien der Transformationspfad zu gestalten ist, bleibt dabei unklar. Wird jedoch bei der Verknüpfung verschiedener Risikotypen durch eine Managementstrategie die Wirkung auf die Kooperationswahrscheinlichkeit der Staaten berücksichtigt, ist eine zielgerechte Ordnung möglich (dazu auch ENDRES/OHL 1999b, OHL 2000).

Damit bietet die risiko-strategische Analyse zahlreiche Anregungen für ein effizientes Management globaler Umwelttrisiken. Dies gibt Anlaß zur Hoffnung, daß künftige Forschungsbeiträge aus diesem Analysebereich neue Kooperationsmechanismen er-

schließen, die sowohl die Qualität der Umwelt als auch die Wohlfahrt der Nationen nachhaltig verbessern helfen.

LITERATUR

- BARRETT, S. (1998), Do International Environmental Agreements Really Work? Economic Incentives and Enforcement are Crucial to a Climate Treaty, <http://www.weather-vane.rff.org/pointcpoint/pcp4/barrett.ht>.
- BARRETT, S. (1994), Self-Enforcing International Environmental Agreements, Oxford Economic Papers, 46, S. 878–894.
- BARRETT, S. (1992), International Environmental Agreements as Games in: Pethig, Rüdiger (Hrsg.): Conflicts and Cooperation: Managing Environmental Resources Microeconomic Studies, Berlin u. a., S. 11–37.
- BRACHINGER, H. W./WEBER, M. (1997), Risk as a Primitive: A Survey of Measures of Perceived Risk, OR Spectrum, 4, S. 235–250.
- CANSIER, D. (1996), Umweltökonomie, Stuttgart/Jena.
- CARRARO, C./SINISCALCO, D. (1997a), The International Protection of the Environment: Voluntary Agreements among Sovereign Countries, in: DASGUPTA, P./MÄLER, K.-G./VERCELLI, A. (Hrsg.), The Economics of Transnational Commons, Oxford, S. 192–209.
- CARRARO, C./SINISCALCO, D. (1997b), R&D Cooperation and the Stability of International Environmental Agreements, in: CARRARO, C. (Hrsg.), International Environmental Negotiations: Strategic Policy Issues, Cheltenham, UK, Brookfield, US, S. 71–109.
- CHICHILNISKY, G./HEAL, G. (1998), Global Environmental Risks, in: CHICHILNISKY, G./HEAL, G./VERCELLI, A. (Hrsg.), Sustainability: Dynamics and Uncertainty, Dordrecht, S. 23–46.
- CURRIM, I. S./SARIN, R. K. (1989), Prospect versus Utility, Management Science, 35, S. 22–41.
- DASGUPTA, P. (1990), The Environment as a Commodity, Oxford Review of Economic Policy, 6(1), S. 51–67.
- ENDRES, A. (1997), Increasing Environmental Awareness to Protect the global Commons – A Curmudgeon’s View, Kyklos, 50, S. 3–27.
- ENDRES, A. (1995), Zur Ökonomie internationaler Umweltschutzvereinbarungen, Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 18, S. 143–178.
- ENDRES, A./FINUS, M. (1998), Playing a Better Global Warming Game: Does it Help to be Green?, Swiss Journal of Economics and Statistics, 134(1), S. 21–40.
- ENDRES, A./FINUS, M. (1997), The Role of Environmental Awareness in International Pollution Control – An Economic Analysis, in: KAUFMANN-HAYOZ, R./HAEFELI, U. (Hrsg.), Ökologisierungsprozesse in Wirtschaft und Verwaltung, Bern, S. 74–82.
- ENDRES, A./OHL, C. (1999a), Taxes versus Quotas to Limit Global Environmental Risks: New Insights into an Old Affair, Manuskript, Hagen.

- ENDRES, A./OHL, C. (1999b), *Damokles & Co. – Im Labyrinth der Risikotypologie*, Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung, 12(3), S. 308–313.
- ERNST, A. M. (1997), *Ökologisch-soziale Dilemmata*, Weinheim.
- FREY, B. S./BOHNET, I. (1996), *Tragik der Allmende. Einsicht, Perversion und Überwindung*, in: DIEKMANN, A./JAEGER, C. C. (Hrsg.), *Umweltsoziologie*, Sonderheft 36, S. 292–307.
- HEAL, G. (1992), *Formation of International Environmental Agreements*, Discussion Paper 28.93, Serie: Energy, Environment, Fondazione ENI Enrico Mattei, Milan.
- HOEL, M. (1997), *How Should International Greenhouse Gas Agreements be Designed?*, in: DASGUPTA, P./MÄLER, K.-G./VERCELLI, A. (Hrsg.), *The Economics of Transnational Commons*, Oxford, S. 172–191.
- HOEL, M. (1991), *Global Environmental Problems: The Effects of Unilateral Actions Taken by One Country*, Journal of Environmental Economics and Management, 20, S. 55–70.
- HUANG, C./LITZENBERGER, R. H. (1988), *Foundations for Financial Economics*, Elsevier, Amsterdam, New York.
- KAHNEMAN, D./TVERSKY, A. (1979), *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*, Econometrica, 47, S. 263–291.
- KIRCHGÄSSNER, G. (1995), *Internationale Umweltprobleme und die Problematik öffentlicher Güter*, Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, 8, S. 34–44.
- KREUZBERG, P. (1994), *CO₂-Emissionen unter Risikoaversion: Vermeidungskosten als Prämie für „greenhouse insurance“*, WiSt, 9, S. 463–466.
- LIND, R. C. (1982), *A Primer on the Major Issues Relating to the Discount Rate for Evaluating National Energy Options*, in: LIND, R. C. u. a. (Hrsg.) *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*, Washington, S. 21–94.
- LUCE, R. D./RAIFFA, H. R. (1957), *Games and Decisions*, New York.
- MANNE, A. S./RICHEL, R. G. (1991), *Buying Greenhouse Insurance*, Energy Policy, 7/8, S. 543–552.
- NEUMANN, J. VON/MORGENSTERN, O. (1947), *The Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton.
- OHL, C. (2000), *Transformation global relevanter Umweltrisiken – Chancen und Grenzen*, Zeitschrift für Energiewirtschaft, 2, in Druck.
- OYE, K. A. (1985/86), *Explaining Cooperation under Anarchy: Hypotheses and Strategies*, World Politics, 38, S. 1–24.
- QUERNER, I. (1994), *The Need for Alternatives to the Expected Utility Approach in Environmental Risk Economics or 'Who is afraid of Russian Roulette?'*, in: PETHIG, R. (Hrsg.), *Valuing the Environment: Methodological and Measurement Issues*, Dordrecht u. a., S. 83–128.
- RAPOPORT, A./CHAMMAH, A. M. (1969), *The Game of Chicken*, in: BUCHLER, IRA R./NUTINI, HUGO G. (Hrsg.), *Game Theory in the Behavioral Sciences*, Pittsburgh, S. 151–175.

- RASMUSEN, E. (1989), *Games and Information: an Introduction to Game Theory*, Cambridge.
- SHUBIK, M. (1970), Game Theory, Behavior, and the Paradox of the Prisoner's Dilemma: three Solutions, *Journal of Conflict Resolution*, 14, S. 181–193.
- SIEBERT, H. (1998), *Economics of the Environment: Theory and Policy*, Berlin, Heidelberg u. a.
- SINN, H.-W. (1990), Expected Utility, μ - σ Preferences, and Linear Distribution Classes: A Further Result, *Journal of Risk and Uncertainty*, 3, S. 277–281.
- STÄHLER, F. (1998), *Economic Games and Strategic Behaviour: Theory and Application*, Cheltenham.
- STÄHLER, F. (1991), Kollektive Umweltnutzungen und individuelle Bewertung, *Umwelt und Ökonomie* 4, Heidelberg.
- STEIN, A. A. (1982), Coordination and Collaboration: Regimes in an Anarchic World, *International Organization*, 36, S. 299–324.
- TAYLOR, M. (1987), *The possibility of Cooperation*, Cambridge.
- WALD, A. (1950), *Statistical Decision Functions*, New York u. a.
- WBGU (1999), *Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken*, Jahrgutachten 1998, Berlin u. a..
- WELSCH, H. (1995), Greenhouse Gas Abatement under Ambiguity, *Energy Economics*, 17, S. 91–100.
- XEPAPADEAS, A. (1997), *Advanced Principles in Environmental Policy*, Cheltenham.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Begrenzung globaler Umweltrisiken ist an kooperatives Verhalten der Staaten gebunden. Spieltheoretische Analysen weisen jedoch darauf hin, daß der Abschluß und die Erfüllung internationaler Umweltschutzverträge unter der Anreizstruktur eines Gefangenendilemmas nicht zu erwarten sind. Dagegen betonen risikothoretische Ansätze, daß die Umweltqualität steigt, wenn risikoscheues Verhalten der Staaten vorausgesetzt werden kann. Die vorliegende Arbeit zeigt, daß durch eine simultane Berücksichtigung strategischer *und* stochastischer (parametrischer) Unsicherheitsaspekte sogar unter der Erwartungswertstruktur eines statischen Gefangenendilemmas internationale Kooperationen entstehen können. Voraussetzung dafür ist, daß Staaten risikoavers agieren. Anders als es risikothoretische Erkenntnisse vermuten lassen, steigt die Umweltqualität allerdings erst dann, wenn die Risikoscheu eine kritische Intensitätsgrenze überschreitet.

SUMMARY

To limit global environmental risks, countries must cooperate. However, the prisoners' dilemma-type of the problem suggests that international environmental agreements are difficult to obtain and to maintain.

In this paper, the role of countries' risk preferences for the prisoners' dilemma-incentive-structure is analysed. It is shown that parametric and strategic uncertainty might interact favourably with respect to the countries' propensity to cooperate. If countries are risk averse cooperation might arise, even if expected pay-offs take the form of a static prisoners' dilemma. However, a prerequisite for this result is that risk aversion exceeds a certain threshold.

RESUME

La limitation de risques environnementaux globaux est liée à un comportement coopératif de la part des différents pays. Des analyses basées sur la théorie du jeu démontrent cependant que, face aux incitations du dilemme du prisonnier, la conclusion et l'exécution de contrats internationaux sur la protection de l'environnement ne peuvent être espérées. Des approches fondées sur la théorie du risque affirment par contre que la qualité de l'environnement augmente si l'on admet une aversion au risque de la part des pays. La présente étude démontre qu'une coopération internationale peut naître même en présence d'une structure expectative correspondant au dilemme du prisonnier statique, si l'on tient simultanément compte d'aspects d'incertitude stratégiques et stochastiques; ceci à condition d'une aversion au risque de la part des pays. Contrairement à ce la théorie du risque laisserait supposer, la qualité de l'environnement n'augmente que lorsque l'aversion au risque dépasse une certaine limite critique.