

# Was Räuber und Beute in der Natur, sind Risiko und Sicherheit in Gesellschaft und Technik : Sicherheitsparadoxon und Risikokompensation

Autor(en): **Bützer, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **87 (1994)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-832720>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Was Räuber und Beute in der Natur, sind Risiko und Sicherheit in Gesellschaft und Technik. Sicherheitsparadoxon und Risikokompensation.

Peter Bützer

### Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	209
1. Einleitung .....	210
2. Risiko und Sicherheit sind rückgekoppelte Grössen .....	211
3. Folgerungen .....	216
Literaturverzeichnis .....	217

### Abstract

The populations of beasts of preys and preys in ecology show oscillations or fluctuations which are similar those of the levels of risk and safety in the technical and social field. One of the main aims of ecologists and risk managers is to discover just what the regulating factors are. Such an understanding is not only fundamentally important, but it also has practical applications for management in ecology and safety. It has been found that some of the basic dynamics in ecology and technology can be described with a similar feedback-model. A first result is: Without preys there are no beasts and without risk there is no safety. Safety measures are often compensated with new risks (risk compensation, safety-paradox) – high risks demand more safety – an iterative system. Three factors dominate the dynamics of ecological and safety-systems: The value of the starting risk  $R(1)$ , the coupling between the actual safety and the future risk, the factor  $r$ , and the capacity of the risk space, the parameter  $K$ . As strategy for stable or acceptable safe systems in the short and long term, a balanced combination of these three factors is essential. The consequences of the model, which is widely accepted in ecology, are: A small risk space allows tight couplings, a

large space only loose ones. All other combinations are either uneconomic or destructive.

## 1. Einleitung

Räuber-Beute-Beziehungen in der Natur, beispielsweise Luchs und Hase, sind durch Schwankungen der Populationsdichte gekennzeichnet. Die Dichteverhältnisse können mit dem Jahresverlauf regelmässig und geringfügig, abhängig von der Wachstumsrate, schwanken (Oszillationen). Sie können andererseits durch starke und regelmässige Ausschläge (Fluktuationen) oder gar einem Aussterben gekennzeichnet sein (HEINISCH/HERGT, 1990). Dieses dynamische Verhalten lässt sich auch in der vom Menschen vielseitig benutzten Technik bei Risiko und Sicherheit erkennen.

Je grösser das Risiko, desto grösser die erforderliche Sicherheit. Je grösser die erreichte Sicherheit, desto kleiner das zukünftige Risiko. Dies ist das erwartete Verhalten – ist es das? Das Sicherheitsparadoxon oder die Risikokompensation sagt aus, dass ein Zuwachs an Sicherheitsmassnahmen manchmal nicht zu mehr Sicherheit führt, ja dass diese im Gegenteil oft durch einen gleichzeitigen oder daraus folgenden Zuwachs an Risiko kompensiert wird (BÜTZER, 1991). Felix von Cube hat diese Verknüpfung als «Sicherheits-Risiko-Gesetz» formuliert (VON CUBE, 1990): «Der Mensch strebt nach Sicherheit und Geborgenheit, er strebt aber auch nach Abenteuer und Risiko. Dabei gilt: Je sicherer er sich fühlt, desto grössere Risiken geht er ein.» Das ist nicht neu, sondern hat die menschlichen Tätigkeiten schon seit sehr langer Zeit (immer?) begleitet.

Um 1815 erfindet der Engländer Sir Humphrey Davy die Sicherheitslampe, welche die Zündung von explosionsfähigen Gasgemischen durch eine brennende Lampe sehr stark verringert. Damit sollen

die Grubenexplosionen, die schlagenden Wetter, ausgelöst durch die offenen Flammen der Lampen der Bergleute, vermindert, die Sicherheit erhöht werden. Die Zahl der Grubenunglücke beginnt nach dieser entscheidenden Verbesserung aber zu steigen, weil nun Bereiche in den Gruben befahren werden, welche früher als zu gefährlich galten. 1860–90 erreicht die Zahl der Grubenunglücke in England ein Maximum. Erst als um 1911 der Coal Mines Act in Kraft tritt, welcher die Sicherheit in Bergwerken detailliert regelt, sinkt die Anzahl der Grubenunglücke wesentlich.

Und heute: Auf eisigen Strassen gibt es weniger tödliche Unfälle als auf trockener Strasse. Die grössere Gefährdung führt also nicht zu einer kleineren Sicherheit – ein Paradox der Sicherheit. Angegurtet wird im Durchschnitt schneller gefahren als nicht angegurtet, mit und ohne Antiblockier-Bremssystem gibt es gleich viele Unfälle, weil die zusätzliche Sicherheit der Gurten und des Bremssystems durch höhere Geschwindigkeiten kompensiert wird. Andererseits haben wir bei dem an sich ausserordentlich risikobehafteten technischen System des Flugzeugs die Sicherheit so stark erhöht, dass dieses Verkehrsmittel ein grosses Vertrauen genießt.

In einem dichten Wald sind die Stämme der Bäume in Verhältnis zu ihrer Länge weniger dick, nicht abholzig. Die Wuchshöhe wird durch die Bonität des Standorts bestimmt. Im Kampf ums Licht wird praktisch immer die volle Höhe erreicht. Die grössere Sicherheit von mehr Licht muss mit dem Risiko eines schwächeren Stammes kompensiert werden; das Wachstum hört nicht früher auf. Solange der Wald intakt ist, hat diese Schwächung oft keine sichtbaren Konsequenzen. Tritt aber irgendwo eine Bresche auf, dann wachsen die Schäden kettenreaktionsartig an, ganze Flächen werden umgelegt – das Bild der grossen Sturmschäden (GÄCHTER, 1994). Die einfachste Form der passiven Sicher-



heit für Tiere ist ein unauffälliges Feder- oder Haarkleid. Solche Arten mit «Tarnfarben» verhalten sich beim Annähern eines Feindes meist ruhig, vertrauen darauf, dass sie farblich mit der Umgebung «verschmelzen», und fliehen oft mit grossem Risiko erst im allerletzten Zeitpunkt (PORTMANN, 1956). Andererseits gibt ein Panzer bei Schildkröten, Gürteltier oder Schuppentier eine Sicherheit, die mit einer Einschränkung der Beweglichkeit erkaufte wird.

Dieses Verhalten in Natur, Technik und Gesellschaft, umschrieben durch die Begriffe Sicherheitsparadoxon oder Risikokompensation, beruht im Zentrum darauf, dass Risiko und Sicherheit komplementär miteinander verbunden sind. Zwischen diesen beiden Polen wird ein Optimum gesucht. Es ist ein dynamisches Verhalten, eine zeitliche, irreversible Abfolge – eine Strategie.

## 2. Risiko und Sicherheit sind rückgekoppelte Grössen

Das Risiko wird nach den Erfahrungen der Vergangenheit beurteilt. Ist lange nichts geschehen, geht man grössere Risiken ein – und umgekehrt (FRITSCH, 1989). Die Neubeurteilung von Risiko und Sicherheit erfolgt immer iterativ. Das Mass, mit dem die Erfahrungen aus der n-ten Periode auf direkt die nächste (n+1)-te Periode übertragen wird, sei mit dem Faktor r erfasst. Je grösser r, desto mehr wird für die Prognosen auf die Vergangenheit zurückgegriffen. Auf eine günstige Risikobeurteilung der Vergangenheit, unter diesen Voraussetzungen, wird mit einer Verringerung der Sicherheit reagiert.

### 2.1 Modellannahmen

Die Rückkopplung von aktuellen auf zukünftige Risiken erfolgt über die Beurteilung der aktuell erreichten Sicherheit (Abb. 1).

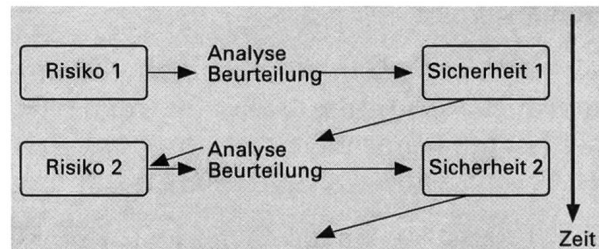


Abb. 1: Ein iterativer Prozess. Zusammenhang zwischen dem Risiko bei der Periode n und der erwarteten Sicherheit bei der Periode (n+1).

Dieses Modell zeigt einen irreversiblen Prozess, da es mit den zeitlich ablaufenden Perioden einen unumkehrbaren Ablauf beschreibt.

$$\frac{R(n+1)}{R(n)} = r \cdot [S(n)] \tag{1}$$

Das zukünftige Risiko  $R(n+1)$  wird, im Vergleich zum aktuellen Risiko  $R(n)$ , durch die Beurteilung der aktuellen Sicherheit  $S(n)$  bestimmt.

- $n$ : aktuelle Periode der Sicherheits- oder Risikobeurteilung (entspricht dem Bewertungsintervall)  
 $S(n)$ : Sicherheit in der  $n$ -ten Periode  
 $R(n)$ : Risiko in der  $n$ -ten Periode  
 $R(1)$ : Anfangsrisiko ( $n = 1$ )  
 $R(n+1)$ : Risiko der  $(n+1)$ -ten Periode

$r$ : Reaktionsfaktor (Stärke der Rückkopplung). Das Verhältnis des zukünftigen Risikos  $R(n+1)$  zum aktuellen, erkannten Risiko  $R(n)$ , wird als Funktion der aktuellen Sicherheit  $S(n)$  und deren Reaktionsgrösse  $r$  bestimmt. Ist  $r$  klein, dann spricht man von einer losen, ist  $r$  gross, von einer engen (starken) Kopplung (PERROW, 1988).

$S(n) = [K - R(n)]$  (2)  
 Sicherheit definiert als komplementäre Grösse zum Risiko (beide weisen dieselben Einheiten auf).

$\frac{R(n+1)}{R(n)} = r \cdot [K - R(n)]$  (3)  
 Verhältnis von zukünftigem zum aktuellem Risiko.

$K$ : Risiko-Sicherheitskapazität (Risiko- und Sicherheitsraum). Das maximale Risiko ist auf  $K$  normiert.

$R(1)$ : Anfangsrisiko, Startrisiko;  $n = 1$ .

$R = 0$  heisst maximale Sicherheit. ( $S = K$ ) gegenüber diesem Risiko.  $S = 0$  bedeutet keine Sicherheit, aber maximales Risiko: ( $R = K$ ). Je grösser  $K$ , desto grösser ist die Sicherheits- oder Risikokapazität. Dieser Sicherheits- und Risikoraum wird auch durch den Nutzen bestimmt – je grösser der erwartete Nutzen, desto grösser der tolerierte Risikoraum. In ein stark erdbebengefährdetes Gebiet ein grosses Gefahrenpotential zu stellen (Pipeline, Grosstankanlage, Kernkraftwerk, Staumauer, Grosschemieanlage) wird intuitiv als nicht sinnvoll angesehen. Zu grosse Kumulationen von Risiken werden abgelehnt.

Gleichung (3) lässt sich als eine in der Chaos-Theorie sehr gut bekannte Funk-

tion für die  $(n+1)$ -Periode darstellen (siehe auch DAVIES, 1988; VIVALDI, 1989):

$$R(n+1) = r \cdot R(n) \cdot [K - R(n)]^1 \quad (4)$$

Der zeitliche Risikoverlauf ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ) kann durch drei Grössen beeinflusst werden: Startrisiko  $R(1)$ , Reaktionsfaktor  $r$  und Risikokapazität  $K$ .

Die mathematische Funktion (4) entspricht auch der Lotka-Volterra-Gleichung, wie sie in der Ökologie bei der dynamischen, deterministischen Beschreibung von biologischen Gleichgewichten verwendet wird (SCHAEFER, TISCHLER, 1983).

Ist  $R(1) = 0$ , dann sind alle folgenden Risiken  $R(n) = 0$  (risikofreie Systeme verschwinden). Ist  $R(1) = K$ , dann wird die Forderung nach absoluter Sicherheit,  $R(2) = 0$ , sofort nach dem Erkennen in Periode 1 für die Periode 2 gestellt werden (Systeme ohne jede Sicherheit werden sofort abgeschafft). Ist das  $n$ -te Risiko klein, dann ist die  $n$ -te Sicherheit gross, und damit wird das  $(n+1)$ -te Risiko grösser.

## 2.2 Ökologische Interpretation eines Räuber-Beute-Systems

Bekannt geworden ist das sogenannte Räuber-Beute-System mit der Beobachtung der periodischen Schwankungen der Populationen von Luchs und Schneehase. Mit einem einfachen Modell gelang es, dieses Verhalten plausibel nachzuvollziehen (teilweise: MAY, 1989).

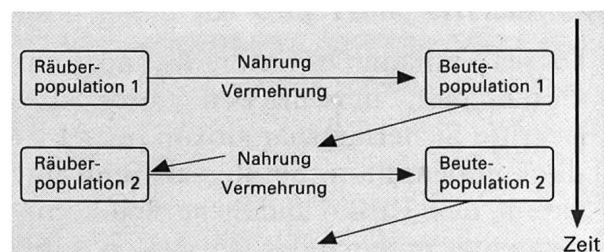


Abb. 2: Rückgekoppelte Regelung von Räuber-Beute-Systemen.

<sup>1</sup> Ist  $K=1$ , so liegt die logistische Differenzgleichung vor (GLEICK, 1990).

$$I(n+1) = r \cdot I(n) \cdot [K - I(n)] \quad (5)$$

I(n): Individuenzahl zur n-ten Periode,

I(1) = Anfangspopulation

r: potentielle Wachstumsrate (Reproduktionsrate und Tod)

K: Aufnahmefähigkeit (Kapazität) des Raums.

Ohne Räuber gibt es keine Beute und ohne Risiko keine Sicherheit.

Lebewesen sind für die Raumbesiedlung genetisch verschieden ausgestattet und verfügen über zwei grundsätzlich unterschiedliche Strategien: r- und K-Strategien, entsprechend den Parametern in den Lotka-Volterra-Gleichungen.

### 2.3 Zwei biologische Überlebensstrategien

	<b>r-Strategie</b>	<b>K-Strategie</b>
Grösse von r	<b>gross</b>	klein
Grösse von K	klein	<b>gross</b>
Dauer einer Generation	kurz	lang
Populationsdichte	gross	klein
Mortalität	hoch	klein
Energieverbrauch pro Individuum	hoch	gering, effizient
Pro Individuum beanspruchter Raum	klein	gross
Brutpflege	wenig	viel
Körpergrösse	gering	gross
Mobilität	eher klein (lokal)	eher gross
Stabilität in der Umwelt	instabil	± stabil
Beispiel	Insekten	Säuger

In einer sich rasch ändernden Umwelt sind r-dominante Strategen insgesamt bevorzugt (z.B. Bakterien). Sie lassen sich wohl lokal, aber als Gesamtheit kaum ausrotten. Genetisch kommen r- und K-Strategien immer verschränkt vor.

### 2.4 Vergleiche von Ökologie und Technik

#### 2.4.1 r-Strategie

Starke, enge, rasche Kopplung zwischen aktueller und zukünftig angestrebter Situation.

<b>Ökologie</b>	<b>Technik</b>
r: potentielle Wachstumsrate (Reproduktionsrate), Kopplung von aktueller Individuenzahl mit zukünftiger Populationsdichte.	r: Reaktionsfaktor, Kopplung von aktueller Sicherheit mit zukünftigem Risiko.
r-Strategen oder <i>Opportunisten</i> , z.B. Insekten, können Lebensräume mit kurzfristig wechselnden Lebensbedingungen rasch, manchmal auch nur kurz besiedeln, z.B. Tümpel, und kommen in Wüsten, Halbwüsten und in der borealen sowie arktischen Klimazonen vor. Sie erzeugen zahlreiche Nachkommen in dichter Generationenfolge. Sie entwickeln sich rasch und sind früh, in der Regel nur einmal, reproduktionsfähig. Ihre Lebensdauer ist kurz, meist geringer als ein Jahr. Ihre Körpergrösse ist eher gering. Der individuelle Energieverbrauch ist gross. Nur selten erreicht eine Population die Kapazitätsgrenze des Raums. Die r-Strategen sind lokalen Umweltveränderungen minimal angepasst (keine Reservhaltung) und dadurch oft katastrophalen Sterblichkeitsraten ausgesetzt (Bsp.: Feuchtpflanzen an kleinen Bächen).	r-Strategen passen sich den momentanen Situationen <i>rasch</i> an, um in der nächsten Periode die Vorteile nützen zu können. Eine etwas zu grosse Sicherheit von heute wird durch Vergrösserung des zukünftigen Risikos sehr direkt und stark korrigiert. Meist können nur <i>Kleinsysteme</i> so rasch reagieren. Die Risikoänderungen können dabei sehr gross sein, ebenso das maximale Risiko. Die grosse <i>Flexibilität</i> ermöglicht das Ausnutzen von Nischen (Just-in-time-Systeme). Eine grosse kurzzeitige Belastung von aussen führt <i>mangels Reserven</i> zur Vernichtung. r-Strategen sind nur als Gesamtheit, nicht als Einzelsysteme stabil. Das Risiko- oder Sicherheitsverhalten ändert sich so rasch, dass dieses nie als Referenz genommen werden kann.

### 2.4.2 K-Strategie

Ausnützung der Kapazität des Raumes.

Ökologie	Technik
<p>K: Aufnahmefähigkeit (Kapazität) des Raums. Die Kapazität ist gegeben durch Nahrung und Umwelt (auch Räuber- oder Beutepopulation).</p>	<p>K: Risiko-/Sicherheitskapazität (Risiko- und Sicherheitsraum). Dieser Raum ist angespannt durch das mögliche Gefahrenpotential und die entsprechende Eintretenswahrscheinlichkeit (Akzeptanz).</p>
<p>K-Strategen oder <i>Persistenten</i>, z.B. Bäume oder Säuger, bevorzugen Lebensräume mit konstanten Umweltbedingungen, deren Wandel gering oder aber kontinuierlich ist. Sie besiedeln den Raum dauerhaft und erreichen dort häufig dessen maximale Tragfähigkeit. Die artgemässe Verteilung und Dichte werden durch Konkurrenz und Territorialverhalten geregelt. K-Strategen haben wenige Nachkommen und erreichen durch längere Lebensdauer beachtliche Grösse. Biomassenspeicherung vergrössert die Widerstandsfähigkeit, besonders von grösseren Lebewesen. Sie benötigen zum Überleben der Art eine geringere Fortpflanzungsrate als kleine Arten. Übervölkerungen (Gedrängfaktor) können durch Auswanderung ausgeglichen werden, plötzliche Verluste durch Erhöhung der Reproduktionsrate. Ihr Energieverbrauch ist klein.</p>	<p>K-Strategen suchen grosse Risiko- resp. Sicherheitsräume, um diese ganz auszunützen, dazu ist die Mobilität klein. Für K-Strategen sind bei <i>Grosssystemen</i> grosse Gefahrenpotentiale, oder bei <i>Kleinstsystemen</i> grosse Eintretenswahrscheinlichkeiten üblich. <i>Reservebildung</i> ermöglicht das Überdauern von Fluktuationen. Die Kopplung zwischen der aktuellen Sicherheit und zukünftigem Risiko ist meist lose, d.h. eine Sicherheitsphilosophie, die das eigene System schützt, verhindert rasche Ausschläge. Diese Systeme reagieren meist <i>langsam</i>. Der asymptotisch erreichte Grenzwert erlaubt eine Aussage über die Grösse des angestrebten K-Werts (Sicherheitsphilosophie).</p>

### 2.5 Das dynamische Verhalten bei unterschiedlichen Strategien

Die r- oder K-dominierten Strategien zeigen entscheidende Unterschiede in ihrer Dynamik. Mit einer Simulation werden die Risiken für die Perioden 1 bis 12 berechnet (siehe Abb. 3).

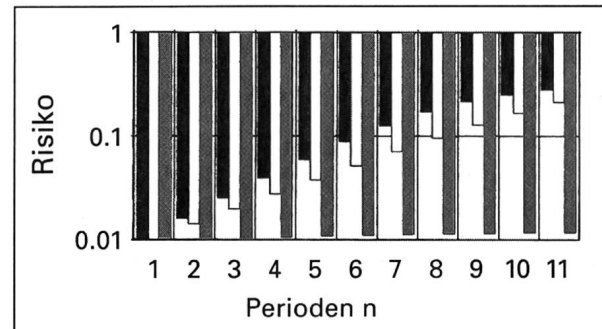


Abb. 3: Drei unterschiedliche Strategien im Umgang mit Sicherheit und Risiko zeigen verschiedenes dynamisches Verhalten;  $R(1) = 0.01$ .

- a) linke Säulen: r-Strategie, grosses  $r$ , mittleres  $K$  ( $r=2$ ;  $K=0.8$ )
- b) mittlere Säulen: K-Strategie, grosses  $K$ , kleines  $r$  ( $r=0.7$ ;  $K=2$ )
- c) rechte Säulen: K-Strategie, grosses  $K$ , kleines  $r$  ( $r=0.51$ ,  $K=2$ ).

Das Risikoverhalten ändert sich kontinuierlich. Bei der r-Strategie a) wird das grössere Risiko ausgeschöpft als mit der K-Strategie b).

Bei einer K-Strategie c) kann durch eine lose Kopplung ( $r=0.51$ ) das Sicherheitsniveau gehalten werden (Stauseen, Grosssysteme). Diese grossen Risikoräume verlangen grosse Sicherheitsreserven, inhärent sichere Systeme, lange verfügbare Reaktionszeiten, Redundanzen und Diversifikationen bei Auslegung und Betrieb. Nur so kann die Kopplung auf dem erforderlichen, sehr tiefen Niveau gehalten werden.

Mit der Entwicklung der Industriegesellschaft haben sich die Nutzen- und damit auch die Risikoräume ausgeweitet, und zwar in Richtung grösserer Auswirkungen (grosse Gefahrenpotentiale mit kleinen Eintretenswahrscheinlichkeiten) und grös-

seren Eintretenswahrscheinlichkeiten (kleine Konzentrationen, dafür häufige oder chronische Freisetzung). Die Ethik muss dieser Ausweitung folgen (siehe auch HALLER, 1993). (Abb. 4)

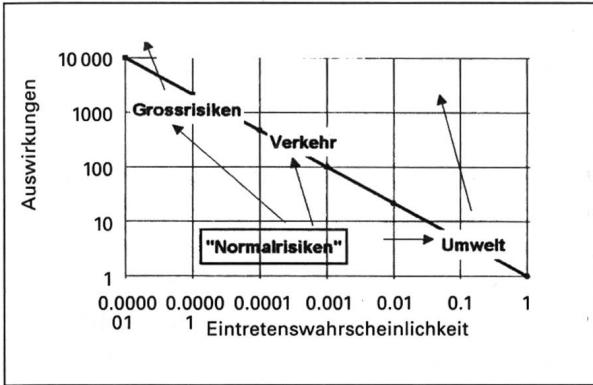


Abb. 4: Die Ausweitung des Risikoraumes, ausgehend von Normalrisiken.

Die mit der Technik verbundene Ausweitung des Risikoraumes hat zu einer Bevorzugung der K-Strategien geführt (economies of scale). Wenn Eintretenswahrscheinlichkeiten bis zu 0.000'01 pro Jahr zugelassen sind, dann werden sie mit den entsprechenden Gefahrenpotentialen auch ausgeschöpft, ebenso wie die Grenzwerte bei der Umweltgesetzgebung. Dies sollte nur dann möglich sein, wenn gleichzeitig auch der zweite Parameter r entsprechend angepasst wird. Ist dies nicht der

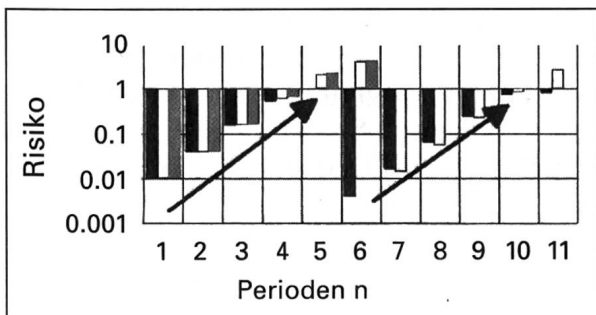


Abb. 5: Extreme Kombinationen von r- und K-Strategien;  $R(1) = 0.01$

- a) linke Säulen: r-Strategie, sehr grosses r, mittleres K ( $r=4; K=1$ )
- b) mittlere Säulen: K-Strategie, sehr grosses K, mittleres r ( $r=1; K=4$ )
- c) rechte Säulen: K-Strategie, sehr grosses K, mittleres r ( $r=1, K=4.1$ ).

Fall, dann reagiert das System auf eine vorhersehbare, gefährliche Art und Weise. Diese Feststellung gilt auch für r-Strategen (siehe Abb. 5).

Das System mit einer sehr starken Kopplung a) in einem grossen Risiko- und Sicherheitsraum verhält sich cyclisch mit einer Periodendauer 5. Immer wenn das Risiko sehr gross geworden ist, wird die Sicherheit wieder massiv erhöht. Auch eine extreme K-Strategie b) zeigt ein vergleichbares Verhalten. Es kann noch krasser ausfallen c). Wird der Sicherheitsraum nur wenig stärker vergrössert (K von 4 auf 4.1), so vernichtet sich das System nach 6 Perioden selbst. Die Folgerung müsste lauten, je stärker die Kopplung, desto kleiner der zulässige Risikoraum. Je grösser der verfügbare Risikoraum, desto schwächer die erlaubte Kopplung (siehe Abb. 6).

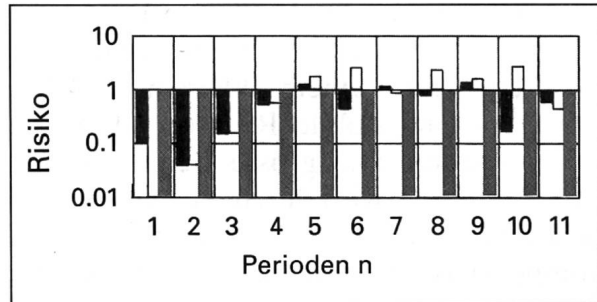


Abb. 6: Unausgewogene und ausgewogene Kombinationen von r- und K-Strategien

- a) linke Säulen: r-Strategie ( $r=2.8; K=1.4$ );  $R(1) = 0.1$ ; kleines System
- b) mittlere Säulen: K-Strategie ( $r=1.4; K=2.8$ );  $R(1) = 0.01$
- c) rechte Säulen: r-Strategie ( $r=2.8, K=0.37$ );  $R(1) = 0.01$ .

Die r-Strategie im kleinen System, a), (grosse Eintretenswahrscheinlichkeit:  $R(1) = 0.1$ ) zeigt ein interessantes Verhalten. Ganz am Anfang nimmt das Risiko sogar ab, dann erst wird es gesteigert – am Anfang vorsichtiger, dann mutiger. Sich selbst überschätzende Autofahrer sind von ihrem richtigen Verhalten und Können überzeugt. Die Kopplung zwischen der empfundenen Sicherheit und dem daraus



abgeleiteten zulässigen Risiko ist gross. Grösseres Risiko heisst auch mehr Schäden. Das System verhält sich in kurzer Zeit unvorhersehbar *chaotisch*.

Das System mit grossem  $K$ , b), wird rasch unsicher. Das Ausmass der Sicherheit scheint zufällig, obwohl es im Modell ganz eindeutige, *statistisch aber nicht erfassbare Ursachen* hat. Für Grosssysteme wird eine Risikoabschätzung unter diesen Voraussetzungen unmöglich, eine Prämiengestaltung für die Versicherungen gefährlich. Zuerst ist eine generelle Zunahme des Risikos festzustellen. Für Häufungen von Unfällen kann hier noch statistisch eine Kausalität gefunden werden. Ab Periode 8 wird das Verhalten des Systems nicht mehr prognostizierbar. (Ein relativ grosses  $R(1)$  für die grossen Systeme wurde gewählt, damit die Darstellung aussagekräftig ist, prinzipiell zeigt sich aber bei kleinen Anfangswerten dasselbe Verhalten.)

Auch wenn eine  $r$ -Strategie dominiert, c), kann mit einem kleinen  $K$ -Wert ( $K=0.37$ ) eine stabile Risikosituation erreicht werden. Die grosse Beeinflussbarkeit, Kopplung, wird durch eine grosse Regeldichte, also einen kleinen Spielraum, kompensiert (Beispiel: Flugverkehr). Durch enge Kopplung charakterisierte Systeme müssen sich selbst viele Regeln geben und den Risikospielraum permanent, der aktuellen Situation angepasst, eingrenzen. Durch die rasche Auswertung vieler Erfahrungen kann die Kopplung damit trotzdem hoch und damit eine grosse Flexibilität erhalten bleiben.

Die moderne Entwicklung läuft nun dahin, dass bei kleinen Systemen die Gefahrenpotentiale wohl wachsen, die enge Kopplung aber beibehalten wird. Im persönlichen Bereich sind die Autofahrer von ihrem Können und von dem Fortschritt bei Material und Technik ganz überzeugt, die Kopplung von guten Erfahrungen und dem darauf abgestimmten Verhalten wird immer stärker ( $r$  nimmt zu), die notwendigen Vorschriften können kaum mehr voll-

zogen werden ( $K$  nimmt nicht ab). Das System Auto, als ein Beispiel für ein Kleinsystem, wird immer gefährlicher. Die Gefahrenpotentiale vieler Grosssysteme steigen, die Eintretenswahrscheinlichkeiten nehmen bei zunehmender Komplexität kaum ab, die Risikoräume werden damit immer grösser ( $K$  nimmt zu). Die Kopplung kann kaum noch verringert werden, da der Mensch bei Planung, Bau und Betrieb einen minimalen Einfluss immer haben wird ( $r$  nimmt nicht ab). Die Produktivitätssteigerungen bedingen einen immer rascheren Einfluss des Menschen, die Rationalisierung verringert die menschlichen Redundanzen, die Kopplung wird enger. Grosssysteme, die in diese Richtung laufen, werden immer unsicherer.

### 3. Folgerungen

Räuber und Beute in der Natur verhalten sich komplementär wie Risiko und Sicherheit in Gesellschaft und Technik. Die Beute ist immer bedroht, und genauso kann Sicherheit nur optimiert, nicht maximiert werden. Die Feststellung: *«Wer sicher lebt, der lebt gefährlich»*, findet eine gute Begründung in Rückkopplungen, die in unserem Modell von zwei Parametern bestimmt sind, der *Kopplung*  $r$  zwischen dem aktuellen und dem zukünftigen Risiko (in der Ökologie: Reproduktionsrate) und dem verfügbaren *Risikoraum*  $K$  (in der Ökologie: Aufnahmekapazität eines Raums). Die Ökologie beschreibt dazu zwei grundsätzliche Strategien für das Verhalten einer Population, die  $r$ -Strategie und die  $K$ -Strategie. Diese beiden Strategien treffen auch für Risikosysteme zu: die  $r$ -Strategie für Kleinsysteme, die  $K$ -Strategie für Grosssysteme. *Nur eine ausgewogene Kombination von  $r$ - und  $K$ -Strategie kann das Überleben eines Systems sichern.* Für Kleinsysteme ist ein kleiner Risikoraum, für Grosssysteme sind lose Kopplungen zur Erhaltung der Sicherheit und der

Ökonomie notwendig. Unsere Zeit hat viele Tendenzen, diese überlebenswichtigen Einschränkungen zu überschreiten. Die Natur zeigt das Verhalten von Risikokompensation auch, das muss gar nicht immer so falsch sein, solange die damit gekoppelten Parameter im richtigen Ausmass mitverändert werden. Die Einsicht ist notwendig, dass wir das seit Jahrtausenden erprobte und bewährte Verhalten der Natur von Räuber und Beute, von r- und K-Strategien, bei Risiko und Sicherheit besser verstehen lernen – dann könnten wir es zu unserem langfristigen, existenzsichernden Vorteil nachahmen.

Springer-Verlag, Berlin.

SCHAEFER, M., TISCHLER, W. (1983): Wörterbuch der Biologie. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, S.154.

VIVALDI, F. (1989): An experiment with mathematics. – New Scientist, 28. Oct., p. 46.

VON CUBE, F. (1990): Gefährliche Sicherheit, Die Verhaltensbiologie des Risikos. – R. Piper GmbH & Co. KG, München, S.12.

### Literaturverzeichnis

BÜTZER, P. (1991): Risiko-Management, Methodik zum Umgang mit Risiken. – Berichte der St.Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, 85. Band, S. 198.

DAVIES, P. (1988): Prinzip Chaos. – Bertelsmann Verlag, München, S. 59.

FRITSCH, B. (1989): Wachstum – Aus dem Bedürfnis nach Sicherheit? – In Tschirky H., Suter A. (Hrsg.): Wieviel Sicherheit braucht der Mensch? – Verlag der Fachvereine Zürich, S. 133ff.

GÄCHTER, M. (1994): persönliche Mitteilung eines Forstingenieurs.

GLEICK, J. (1990): Chaos – die Ordnung des Universums. – Droemersch Verlaganstalt Th. Knaur Nachf., München, S. 97.

HALLER, M. (1993): Das Problem mit der Ethik im Risiko-Dialog – Konkretisierung am Beispiel der Versicherung. – In RUH, H., SEILER, H. (Hrsg.): Gesellschaft – Ethik – Risiko. – Ergebnisse des Polyprojekt-Workshops vom 23. bis 25. November 1992, Basel/Boston/Berlin, S.173.

HEINISCH, D., HERGT, M. (1990): dtv-Atlas zur Ökologie. – Deutscher Taschenbuch Verlag, München, S.77.

MAY, R. (1989): The chaotic rhythms of life. – New Scientist, 11. Nov., p.37.

PERROW, CH. (1988): Normale Katastrophen. – Fuldaer Verlagsgesellschaft, Fulda.

PORTMANN, A. (1956): Tarnung im Tierreich. –

