

# Vom optimalen Umgang mit langfristigen Risiken

**Kurzfristige Risiken lassen sich meist noch einigermaßen abwägen. Der Mensch ist auch psychologisch besser darauf eingrichtet, mit ihnen umzugehen. Langfristige Risiken dagegen sind schwer abzuschätzen und leicht zu verdrängen. Umweltrisiken sind dafür ein typisches Beispiel. Gibt es optimale Strategien im Umgang mit langfristigen Risiken?**

VON ULRICH MÜLLER-HEROLD

In ihrem 1965 erschienenen Buch «How to gamble if you must» gehen die Autoren Dubbin und Savage von der Frage aus: Wie soll ein Spieler vorgehen, der vom Glücksspiel lebt. Einerseits soll ihm das Spiel einen guten Ertrag abwerfen, andererseits aber muss er darauf achten, im Fall einer Pechsträhne nicht sein gesamtes Spielkapital zu verlieren und sich so zu ruinieren. Es gilt also, Mittelwege zu finden zwischen dem kurzfristigen Streben nach hohen Tagesgewinnen und langfristiger Erhalt der Kapitalbasis. Die Auswahl geeigneter Spiele und die Wahl der Einsätze kennzeichnen seine Risikostrategie. Vom Ziel her gesehen ist es eine Strategie der Ruinvermeidung.

Bei der Wahl optimaler Strategien zur Ruinvermeidung spielt unter anderem die Zeit eine entscheidende Rolle: es ist ein Unterschied, ob jemand weiss, dass er in einem Monat eine grosse Erbschaft antritt und danach mit dem Spielen aufhören kann, oder ob er sich darauf einstellen muss, noch

jahrelang seinen Lebensunterhalt auf diese Weise sicherzustellen.

Was 1965 noch eine rein mathematische Fragestellung war, spielt heute in so verschiedenen Gebieten wie der Verhaltensbiologie, der Anthropologie und der Finanzwissenschaft eine Rolle.

## Von den Gabbra lernen

Ein besonders schönes Beispiel betrifft die Gabbra, ein kuschitisches Weidevolk im Norden Kenias. Die Gabbra bewohnen ein Gebiet mit knappen, weitgehend unvorhersehbaren Regenfällen. Die grösste Bedrohung für die Herden ist die Dürre, die den Hirten eine Risikoentscheidung abverlangt: Einerseits hat der Hirte ein Interesse daran, dass seine Herde sich vermehrt, damit er genügend Tiere als Nahrung für sich und seine Familie abzweigen kann. Andererseits gehen säugende Mutterschafe in Dürrezeiten als erste zugrunde. Will der Hirte während einer längeren Dürreperiode den Ruin seiner Herde vermeiden, so muss er durch Absonderung eines Teils der weiblichen Tiere dafür sorgen, dass diese nicht gedeckt werden. Das aber vermindert den kurzfristigen Ertrag der Herde für den Fall, dass die Dürre ausbleibt.

Die englische Anthropologin Ruth Mace hat 1993 nachgewiesen, dass bei den Gabbra in gezielter Weise beides vorkommt: teilweise Trennung der Geschlechter bei Herden über 100 Tiere und unkontrollierte Vermehrung bei Herden von weniger als 100 Schafen. Man kann diese Strategie unmittelbar verstehen: wer genügend Tiere hat, kann es sich leisten, zur langfristigen Ruinvermeidung die Vermehrung zu beschränken; wer nur wenig Tiere hat, muss voll auf Vermehrung setzen, um nicht kurzfristig

selbst zu verhungern. Mit Hilfe einer mathematischen Methode (stochastic dynamic programming) lässt sich zeigen, dass der Wechsel des Verhaltens bei etwa 100 Tieren die 15-Jahres-Ruinwahrscheinlichkeit minimal macht, das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der Herde 15 Jahre zu überleben, insgesamt maximal wird. Eine derartige Strategie heisst maximal ruinvermeidend. Humanökologisch interessant ist, dass Geschlechtertrennung mit gesellschaftlichem Ansehen für den Hirten verbunden ist. Da Ansehen aber auch mit Reichtum, also mit einer grossen Herde korreliert ist, für die die Geschlechtertrennung ja die bessere Variante ist, unterstützt hier das soziale Wertesystem das humanökologisch richtige Verhalten.

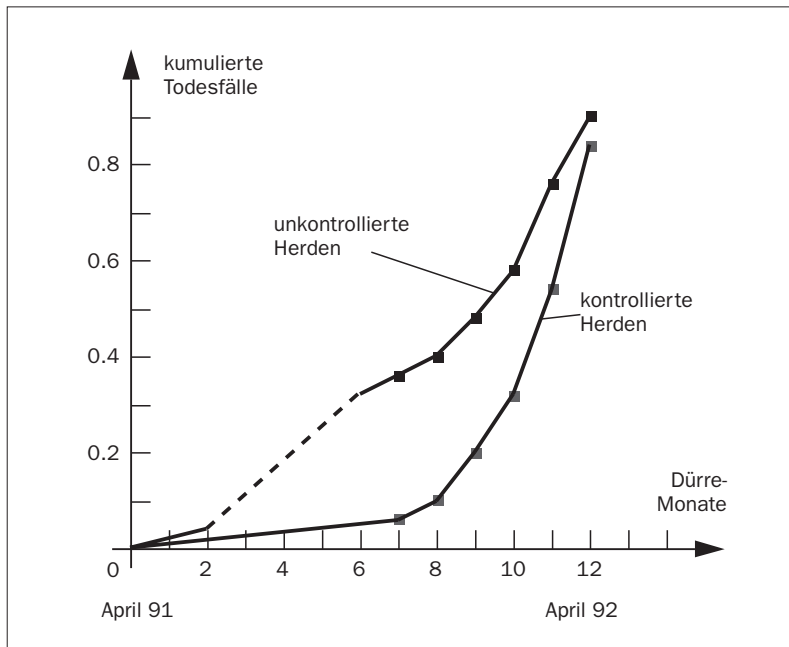
Typisch für maximal ruinvermeidende Strategien ist der Wechsel zwischen risikoscheuem und risikobereitem Verhalten. Bei den Ökonomen und Verhaltensbiologen wird ein Verhalten als risikobereit bezeichnet, wenn planmässig unter zwei Möglichkeiten diejenige mit der grösseren Unsicherheit gewählt wird: risikobereit handelt, wer vor die Wahl gestellt, 1 Franken zu behalten oder ihn für ein Los auszugeben, bei dem er mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 Millionstel eine Million Franken gewinnt, immer das Los kauft. Im umgekehrten Fall ist er risikoscheu. Entscheidet er widersprüchlich, so handelt er risikoindifferenter.

## Auch Tiere kennen Risikostrategien

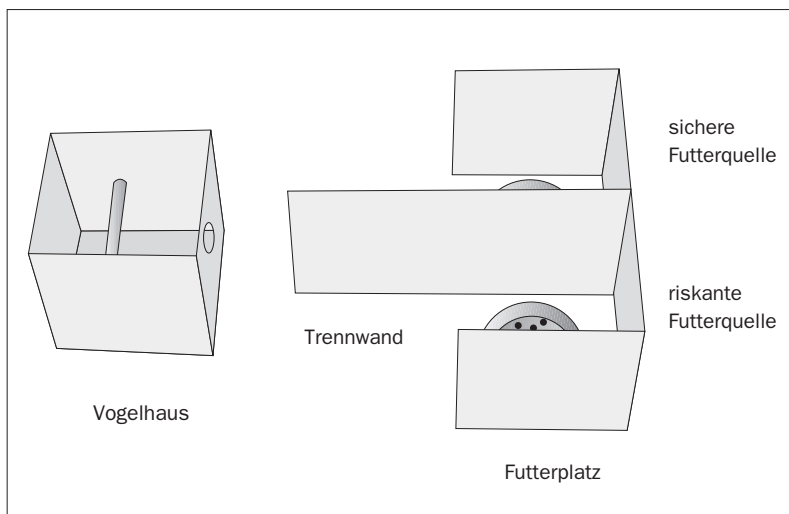
Bis 1980 glaubte man, dass etwa Tiere in ihrem Verhalten risikoindifferenter seien. Viele Aktivitäten von Tieren sind ja von extremen Unsicherheiten geprägt: Paa-

---

Prof. Dr. Ulrich Müller-Herold ist Adjunkt an der Professur Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik, Privatdozent der Abt. Chemie und assoziiertes Mitglied des Departements UMNW der ETH Zürich.



Auswirkung der Dürreperiode 91/92 auf die Schafherden der Gabbra



Versuchsanordnung im Experiment von Th. Caraco. Der Vogel muss wählen zwischen einer riskanten und einer sicheren Futterquelle.

rung, Futtersuche, Verteidigung von Territorien, Wachsamkeit gegenüber Feinden. Besonders gut untersucht ist die Futtersuche (das sog. Fouragieren) kleiner Vögel. Kleine Vögel sind beweglich, haben also viele Optionen und können nur begrenzt Nahrung in ihrem Körper speichern. Die richtige Wahl zwischen verschiedenen Futterplätzen und verschiedenen Futterarten ist entscheidend für ihr Überleben, besonders im Winter.

In einem Schlüsselexperiment konnte Thomas Caraco 1982 zeigen, dass Gelbfinken (*Junco phaeotus*) je nach Situation konsistent eine sinnvolle Wahl zwischen einer sicheren und einer unsicheren Futterquelle treffen. An der sicheren Quelle fanden sie jedesmal eine feste Anzahl von  $m$  Körnern, an der unsicheren Quelle gab es eine «Körnerlotterie» bei der sie zufällig, aber mit derselben Wahrscheinlichkeit  $m+d$  oder  $m-d$  Körner fanden, sodass der

Mittelwert wiederum  $m$  ist. Die Zahl der erlaubten Anflüge war begrenzt und den Finken bekannt. War  $m$  gross genug, um den voraussichtlichen energetischen Tagesbedarf zu decken, flogen die Vögel die sichere Quelle an, war  $m$  hingegen zu klein, so bevorzugten sie die unsichere Lotterie.

Dieses Ergebnis lässt sich als eine Strategie maximaler energetischer Ruinvermeidung verstehen: im Falle des Überflusses (grosses  $m$ ) ist ein Gelbfink auf der sicheren Seite, wenn er zur fixen Quelle geht; an der unsicheren Quelle würde er das Risiko auf sich nehmen, mit kleiner Wahrscheinlichkeit trotz des ausreichenden Mittelwertes  $m$  infolge einer Schwankung doch nicht genug zu erhalten. Bei zu kleinem Mittelwert  $m$  (Mangel) meidet er die fixe Quelle, die den sicheren Ruin bringt, und wählt statt dessen die «Körnerlotterie», d.h. die unsichere Quelle. Zwar muss er auch bei dieser Wahl erwarten, das energetische Tagesziel nicht zu erreichen, aber es besteht eine kleine Wahrscheinlichkeit, dass er infolge einer Schwankung doch noch ans Ziel kommt. Vor allem durch den Wechsel des Verhaltens – je nach Anordnung – zeigt der Fink, dass er auf die Risikocharakteristik der Futterquellen reagiert.

### Ruinvermeidende Strategien bei Versicherungen

Das Risikoverhalten der Gabbra und der Gelbfinken ist bewundernswürdig professionell. Ohne in irgendeinem Sinne zu «rechnen», kommen sie trotzdem zu mathematisch optimalen, ruinvermeidenden Risikoentscheidungen. In den modernen Industriestaaten sind Versicherungsgesellschaften Risikomanager mit vergleichbaren Qualitäten, und auch sie verfolgen eine Strategie der Ruinvermeidung. Eine Versicherung übernimmt Schadensrisiken gegen eine Prämie. Übersteigen die fälligen Schadensleistungen ihr Kapital, so wird sie zahlungsunfähig und kann ihren Auftrag nicht mehr erfüllen (sog.



Bild: Mohamed Amin, Portraits of Africa

technischer Ruin). Eine zentrale Steuerungsmöglichkeit liegt in der Gestaltung der Versicherungsprämie: sind die Prämien hoch, so bleibt die Versicherung solvent, gerät aber gegenüber den Konkurrenten ins Hintertreffen. Sind ihre Prämien hingegen zu tief (etwa aus Konkurrenzgründen), so erhöht sich die Gefahr des technischen Ruins.

In einer konzeptuell wichtigen Arbeit hat der Versicherungsmathematiker und ehemalige

ETH-Präsident Prof. Hans Bühlmann 1985 gezeigt, wie aus den Erfordernissen der Ruinvermeidung und der Schadenscharakteristik die «richtige» Höhe der Prämien bestimmt werden kann. Mit Hilfe der sog. Cramér-Lundberg-Ungleichung leitet er eine Formel her, die die Höhe der Prämie als Funktion des Kapitals einer Versicherung, der von ihrer Geschäftsleitung in Kauf genommenen Ruinwahrscheinlichkeit, der erwarteten Schadensleistung

Hirten in Afrika müssen mit dem Risiko der Dürre rechnen können.

gen und deren, aus der Erfahrung bekannten oder geschätzten, Schwankungen ausdrückt. Auch dabei ist es wieder bemerkenswert, dass eine *kurzfristige* Entscheidung – die Festlegung einer Versicherungsprämie für das nächste Jahr – durch optimale Ausrichtung auf ein *langfristiges* Unternehmensziel – die Erhaltung der Geschäftsfähigkeit – herbeigeführt werden kann. Ein ähnli-

### Langfristige Risiken und Ruinvermeidung

Das zugrunde liegende mathematische Modell ist die Theorie der Irrwege (random walks). Sie erlaubt die Berechnung so verschiedener Dinge wie a) der idealen «technischen» Versicherungsprämie (nach Bühlmann)

$$\text{Versicherungsprämie} = E[S] - \frac{1}{2} \frac{\ln \Psi_0}{w} \text{Var}[S]$$

Dabei ist  $w$  das Kapital einer Versicherung,  $\Psi_0$  das in Kauf genommenen Rufrisiko,  $E[S]$  die erwartete Schadensleistung und  $\text{Var}[S]$  deren Schwankung. Aus demselben Grundmodell erhält man b) die charakteristische Reichweite einer Substanz (nach Müller-Herold und Nickel)

$$\text{Reichweite} = \frac{e}{2} \sqrt{D/k} \tanh(\pi r \sqrt{k/D}) \exp \left[ \frac{\pi/2 - 2 \arctan e^{\pi r \sqrt{k/D}}}{\sinh(\pi r \sqrt{k/D})} \right]$$

Darin ist  $r$  der Erdradius ( $\pi r = 20037$  km),  $D$  ist die effektive globale Wirbel-diffusionskonstante und  $k$  die effektive umweltchemische Abklingkonstante einer Substanz. In analoger Weise ergibt sich c) der Preis einer Aktienoption (nach Black und Scholes)

$$\begin{aligned} \text{Optionenpreis} &= SN(d) - Le^{-rt} N(d - \sigma \sqrt{t}) \\ d &= \frac{\ln(S/L) + (r + \sigma^2/2)t}{\sigma \sqrt{t}} \end{aligned}$$

In diesem Ausdruck ist  $S$  der gegenwärtige Preis der Aktie,  $L$  der Ausübungspreis,  $\sigma$  die Volatilität (d.h. die Schwankung des Aktienkurses),  $r$  der durchschnittliche Jahreszins auf einem festverzinslichen Papier und  $t$  die Zeitspanne zwischen dem Kauf und der Ausübung der Option.  $N$  schliesslich ist die Gaussische Fehlerfunktion

$$N(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^d e^{-x^2/2} dx$$

ches Problem haben die Finanzmathematiker Black und Scholes mit ihrer Formel zur Optionenbewertung gelöst: was ist der heutige Geldwert einer Aktionoption, die erst nach längerer Zeit fällig wird und bis dahin den Schwankungen der Finanzmärkte ausgeliefert ist?

#### Vorsorgeprinzip im Umweltrecht

Was hat all das mit langfristigen Umweltrisiken zu tun? Die langfristigen Aspekte von Umweltproblemen werden heute unter dem Begriff der Nachhaltigkeit zusammengefasst. Beim nachhaltigen Management von teilweise unbekanntem Umweltrisiken versucht man, sich auf das Vorsorgeprinzip des Umweltrechtes ab-

zustützen. Der Grundgedanke besteht darin, unter bestimmten Umständen Restriktionen zu erwirken, auch ohne dass die Folgen unrestringierten Handelns vollständig bekannt oder ihre Schädlichkeit mit letzter Sicherheit nachgewiesen ist.

Nun leuchtet es ein, dass ein derart allgemeines Prinzip in Interessenkonflikten nur dann eingesetzt werden kann, wenn es nach klar definierten, quantitativen Kriterien angewendet wird. Anderenfalls wäre der Willkür Tür und Tor geöffnet. Diese Frage steht im Mittelpunkt einer heftigen Kontroverse zwischen den USA und der EU. Während sich die EU grundsätzlich für das Vorsorgeprinzip ausgesprochen und

vor einigen Monaten ein entsprechendes Weissbuch veröffentlicht hat, sperren sich die USA unter anderem mit dem Argument der angeblichen «Unwissenschaftlichkeit» des Vorsorgeprinzips.

In unserer Arbeitsgruppe «Umwelt und Risikoversorge» (*Ecological Risk Prevention*) an der ETH haben wir darum mit Partnern in England und Deutschland ein EU-Forschungsprojekt «Regulatory Strategies and Research Needs to Compose and Specify a European Policy on the Application of the Precautionary Principle» aufgelegt. Es geht dabei um Vorsorgeeinrichtungen zum Schutz von Mensch und Umwelt, die der Komplexität der Probleme gerecht werden, ohne zu Übervereinfachungen oder zur Paralyse zu führen, die mit möglichst geringen Mitteln auskommen, die politisch wertkonform und bei den Beteiligten konsensfähig sind.

Unser besonderer Zürcher Beitrag besteht darin, dass wir für den zentralen Bereich der Umweltchemikalien einen Satz von Vorsorgeindikatoren entwickelt haben, die das Potenzial einer Substanz angeben, weit entfernt vom Freisetzungsort und weit in der Zukunft präsent zu sein. Die entsprechenden räumlichen und zeitlichen Reichweiten können aus wenigen Labordaten mit einer einfachen Formel berechnet werden, wobei auch Umwandlungsprodukte mit einbezogen werden können, die überhaupt erst in der Umwelt entstehen. Die Mathematik, die dabei zum Zuge kommt, ist ganz ähnlich wie im Black-Scholes-Modell oder bei den Caracofinken. Von Vögeln, Nomaden und Ökonomen lässt sich vieles lernen – für die Umwelt und die weit reichenden Risiken.