

SPIELTHEORIE

Entscheidung unter Unsicherheit – die Ergebnisse

Das Spektrum-Gewinnspiel vom November 2002 stellte die Teilnehmer vor eine schwierige Wahl. Nach langem Nachdenken erweist es sich als die bessere Strategie, unkooperativ zu sein – vorausgesetzt, alle anderen denken genauso lange nach.

Von Antonio Cabrales und Rosemarie Nagel

Ein Handyhersteller *H* möchte Mobiltelefone mit einer Zusatzausstattung für Telefonspiele auf den Markt bringen. Diese Investition wird reichen Ertrag abwerfen – aber nur, wenn zugleich ein anderer Hersteller *S* in die zugehörige Spielesoftware investiert. Stattdessen könnte jeder der beiden sein Vermögen auch an der Börse anlegen. Das bringt unter sehr günstigen Umständen ungefähr so viel ein wie die Telefonspiele, wahrscheinlich aber weniger.

Aus irgendwelchen Gründen können die beiden Hersteller keinen bindenden Kooperationsvertrag abschließen. Vielmehr muss *H* sich überlegen, ob *S* freiwillig mitzieht, weil er die Investition in die Spielesoftware für aussichtsreicher hält als eine Anlage an der Börse. Dessen Einschätzung hängt wiederum davon ab, ob

S darauf vertrauen kann, dass *H* in die Handyausstattung investiert, und so weiter. Denn wenn der eine sein Geld in das Projekt steckt und der andere nicht, steht Ersterer mit leeren Händen da.

Wie werden sich beide entscheiden? Wie kommt der eine zu einer brauchbaren Einschätzung über die Einschätzung des anderen? Offensichtlich ist das gemeinsame Projekt (»*P*«) für jeden der beiden umso attraktiver, je schlechter sich die Alternative Börsenanlage (»*A*«) darstellt. Über die Zukunft der Börse haben beide zwar annähernd dieselben Informationen, aber nicht ganz. Wie weit beeinflusst die Unsicherheit über den Kenntnisstand des anderen die eigene Entscheidung?

Es zählt zu den Merkwürdigkeiten des Wirtschaftslebens, dass für Koordinationsprobleme dieser Art die Realität nur eine untergeordnete Rolle spielt. Wenn hinreichend viele Kunden befürchten,

dass ihre Bank demnächst zusammenbrechen werde, ist es für mich als Kunden derselben Bank belanglos, ob die Befürchtung den Tatsachen entspricht oder nicht. Ich sollte mich in jedem Falle beeilen, mein Geld abzuheben, solange noch welches da ist.

Oder noch krasser: Wenn in einem imaginären Land namens Olivien die Überzeugung herrscht, ein vermehrtes Auftreten von Sonnenflecken werde auf geheimnisvolle Weise den Kurs des olivianischen Peso ins Bodenlose stürzen lassen, dann ist das geeignetste Instrument zur Marktanalyse das Fernrohr. Auch der rationalste Finanzfachmann wird sorgfältig die Sonne beobachten und beim ersten Anzeichen vermehrter Sonnenflecken seine Pesos in Dollar umtauschen. Das tun alle, woraufhin der Kurs des Peso ins Bodenlose stürzt und die abstruse Theorie bestätigt.

Für und Wider einzelner Strategien

In derart komplizierten Situationen, denen mit Hilfe einer Theorie kaum beizukommen ist, versprechen Experimente Aufschluss. Man präsentiert den Versuchspersonen eine auf das Wesentliche reduzierte, vereinfachte Form der Entscheidungssituation und fragt sie nach ihrer Wahl.

Ein solches Experiment haben wir im letzten November den Lesern dieser Zeitschrift angeboten (Kasten links); an dem Spiel nahmen 392 Personen teil. Außerdem haben wir im Jahre 1999 zusammen mit Roc Armenter von der Northwestern University in Evanston (Illinois) dasselbe Experiment im Labor mit 32 Studenten durchgeführt. Die Antworten beider Studien ähneln sich sehr, trotz der erheblichen Unterschiede in der Versuchsdurchführung (Kasten auf Seite 16).

Die Kommentare der Teilnehmer, von der schlichten Phrase »schlechte Erfahrungen mit Teamwork« bis zur elfseitigen Abhandlung, geben ein gutes Bild der Widersprüche, denen sie sich ausgesetzt sahen. Ditmar Bezin wählte *PPPPP*, »weil der Wert von 80 bei *P* kaum durch den unsicheren Wert von *A* getoppt werden kann. Wenn alle Mitspieler so denken und auf *P* setzen, kann jeder eigentlich nur gewinnen!«

Das ist zweifellos richtig, nur denken keineswegs alle so; vielmehr sind die *PP-PPP*-Wähler eine klägliche Minderheit. Valentin Schmid begründete seine Wahl *AAAAA* wie folgt (und war sich darin ei- ▶

Zur Erinnerung

Das Gewinnspiel

Im Novemberheft stellten wir unseren Lesern ein Koordinationsspiel unter Unsicherheit vor. Zwei Spieler haben dabei die Wahl zwischen *A* (Alleingang) und *P* (Projekt). Wer sich für *A* entscheidet, erhält unabhängig von der Wahl des anderen eine unbekannte Auszahlung *X*, die aus den Werten 50, 60, 70, 80 oder 90 Euro mit gleicher Wahrscheinlichkeit gezogen wird. Ein *P*-Wähler bekommt 80 Euro, wenn der andere *P* wählt, und 0 Euro, wenn der andere *A* wählt. Jeder Spieler erhält über *X* eine Prognose, die gleich dem Wert von *X* ist oder um 10 Euro nach unten oder oben davon abweicht (allerdings kann sie nicht unter 50 und nicht über 90 liegen). Bei gegebenem *X*

hat jede mögliche Prognose die gleiche Wahrscheinlichkeit, gezogen zu werden.

Aus dem Blickwinkel des einzelnen Spielers addieren sich die Prognose-

Gewinnprognose	Auszahlung <i>X</i>
schwach	50 oder 60
durchwachsen	50 oder 60 oder 70
mäßig	60 oder 70 oder 80
gut	70 oder 80 oder 90
hervorragend	80 oder 90

unschärfen: Wenn ein Spieler die Prognose »mäßig« erhält, ist für seinen Partner jede beliebige Prognose denkbar, denn *X* könnte 60, 70 oder 80 sein.

Wir wollten von unseren Lesern wissen, welche Wahl sie für jede Prognose treffen würden, wenn sie das Spiel nur einmal mit einem völlig Unbekannten zu spielen hätten.

Die Kooperationsbereitschaft lässt langsam nach

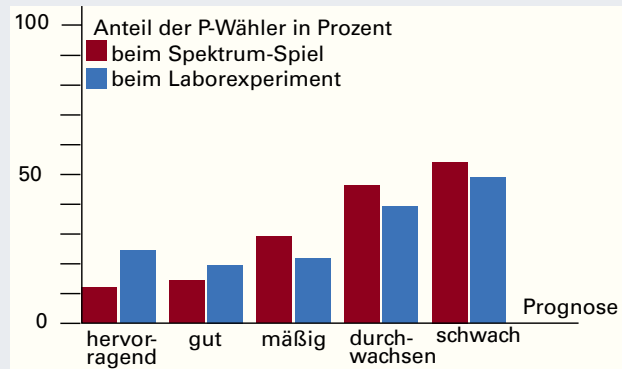
Offensichtlich ist ein Alleingang (Spielzug *A*) umso attraktiver, je höher der in Aussicht gestellte Lohn *X* ist. Wer also etwa bei der Prognose »mäßig« *A* sagt, hat allen Anlass, das auch für jede bessere Prognose zu tun. Entsprechend wäre es unlogisch, beispielsweise für die Prognose »gut« *P* zu wählen und für schlechtere Prognosen *A*. Die einzig sinnvollen Strategien sind also *AAAAA*, *AAAAP*, *AAAPP*, *AAPPP*, *APPPP* und *PPPPP*. Dabei ist zum Beispiel *AAPPP* zu lesen als »*A* für hervorragend, *A* für gut, *P* für mäßig, *P* für durchwachsen und *P* für schwach«. Unter den Teilnehmern des Spektrum-Gewinnspiels entschieden sich 95 Prozent für eine dieser Strategien; wahrscheinlich haben die übrigen ihre Antworten versehentlich in der umgekehrten Reihenfolge abgegeben.

Aus den Teilnehmern des Spiels haben wir vier Paare ausgelost und die Strategien jedes Paares nach den Regeln des Spieles gegeneinander antreten lassen. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse (spielentscheidende Wahl gefettet).

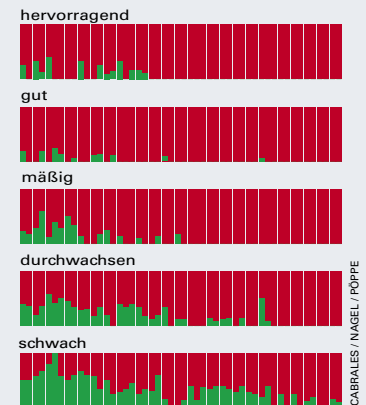
Name	Strategie	X	Prognose	Auszahlung
Claudia Füsers	<i>AAAAA</i>	60	durchwachsen	60
Reto Müller	<i>AAPPP</i>		durchwachsen	0
Sebastian Heidenreich	<i>AAAAA</i>	80	mäßig	80
Gerit Hoppe	<i>AAPPP</i>		hervorragend	80
Philip Rebensburg	<i>AAAAP</i>	60	schwach	80
Daniela Paller	<i>APPPP</i>		durchwachsen	80
Dirk Koßmann	<i>PPAAA</i>	90	gut	0
Michael Lustenberger	<i>AAAAA</i>		hervorragend	90

In dem Laborexperiment im Jahre 1999 spielte jede von 32 Versuchspersonen das Spiel fünfzigmal mit wechselnden Gegnern. Pro Durchgang erhielt jeder Spieler eine zufällig ausgewählte Prognose und hatte etwa fünf Minuten Bedenkzeit pro Zug. Die Gewinne wurden in spanischen Peseten ausbezahlt (eine Peseta sind ungefähr 0,6 Eurocent).

Trotz der Unterschiede im Versuchsaufbau sind die Ergebnisse beider Studien sehr ähnlich, wenn man das Spektrum-Spiel mit der ersten Runde des Laborexperiments vergleicht.



Beim Laborexperiment nahm aber auf die Dauer die Bereitschaft ab, sich für *P* zu entscheiden. Offenbar ist die Hoffnung der *P* wählenden Teilnehmer, einen gleich gesinnten Partner zu finden, oft enttäuscht worden. Die Grafik rechts zeigt für jede Runde den Anteil der *P*-Spieler (grün) und der *A*-Spieler (rot), aufgegliedert nach Prognosen.



▷ nig mit der Mehrheit der *AAAAA*-Wähler): »Falls ich ausgelost werde, hab ich auch sicher was gewonnen.« Claus Schäfer hat »per Programm jede Strategie gegen jede andere spielen lassen. Ist die Immer-*A*-Strategie dabei, ist sie am aussichtsreichsten. Fehlt sie aber, so gewinnt die Strategie *AAAAP*, für die ich mich aus »ästhetischen« Gründen entschieden habe.« Elsa Romfeld berechnete, dass die erwartete Auszahlung – ohne Berücksichtigung der Prognose – bei Strategie *AAAAA* 70 Euro beträgt; um diesen Wert mit einer *P*-Strategie zu erreichen, müssten sieben von acht Mitspielern *P* wählen, »was sehr unwahrscheinlich ist.«

Wer wie Anke Römer annimmt, dass »die Spektrum-Leser keineswegs auf den Kopf gefallen sind und zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommen wie ich«,

landet bei der Strategie *AAAAA*, indem er die Prognosen der Reihe nach, von »hervorragend« bis »schwach«, durchgeht und in jedem Fall die Strategie *P* ausschließt. Etwa dreißig Prozent der *AAAAA*-Wähler wandten dieses Verfahren an, das in der Spieltheorie als »iterative Elimination dominierter Strategien« bekannt ist.

Ein rationales Ausschlussverfahren

Eine Strategie heißt »dominiert«, wenn es stets eine andere gibt, die eine bessere Auszahlung einbringt, einerlei was der Partner tut. Eine dominierte Strategie ist also unter allen Umständen die schlechtere Wahl; deswegen kann man sie auch weglassen (»eliminieren«). Anstelle des ursprünglichen Spiels betrachtet man ein reduziertes Spiel, in dem die dominierte

Strategie nicht mehr zur Verfügung steht – und zwar beiden Partnern, denn das Spiel ist symmetrisch, und man unterstellt, dass der eine Spieler so rational ist wie der andere. Im reduzierten Spiel erweist sich dann möglicherweise eine Strategie als dominiert, die es im ursprünglichen Spiel noch nicht war. Diese ist ebenfalls zu eliminieren und so weiter.

In unserem Falle verläuft der Eliminationsprozess so:

▶ Bei der Prognose »hervorragend« ergibt *P* unter allen Umständen eine schlechtere Auszahlung als *A* und wird deshalb als dominierte Strategie aus der Betrachtung eliminiert.

▶ Bei der Prognose »gut« ist die erwartete Auszahlung bei der Wahl *A* 81,4 (nämlich 90 mal der Wahrscheinlichkeit von 3/7, dass *X*=90 ist, plus die entsprechen-

den Terme für $X=80$ und $X=70$), während die Wahl P bestenfalls 80 einbringen kann. Wieder ist P dominiert und scheidet aus den Überlegungen aus.

► Bei »mäßig« kommt es auf die Entscheidung des Partners an. Dieser erhält mit einer Wahrscheinlichkeit von $1/3$ die Prognose »hervorragend« oder »gut« und wählt – siehe oben – in diesen Fällen A . Unter der optimistischen Annahme, dass er sich in allen anderen Fällen für P entscheidet, kann ich bei Strategie P höchstens mit einer Auszahlung von $(1-1/3) \times 80 = 53,3$ rechnen. Dagegen beträgt für A die erwartete Auszahlung 70, und wieder ist die Strategie P dominiert.

► Ähnliche Rechnungen zeigen, dass auch bei den Prognosen »durchwachsen« und »schwach« P die schlechtere Wahl ist – immer aus dem Blickwinkel eines rationalen Spielers, der auch seine Mitspieler für rational hält.

Die einzige Strategie, die den iterativen Eliminationsprozess überlebt, ist $AAAAA$. Der Zustand, in dem sich beide Spieler dafür entscheiden, ist das, was die Spieltheoretiker ein Gleichgewicht nennen: Beide Teilnehmer verharren in diesem Zustand, weil eine einseitige Abweichung dem Abweichler nichts einbringt.

Der Glaube an das Schlechte siegt

Das Endergebnis ist ebenso ernüchternd wie beim notorischen Gefangenendilemma (Spektrum der Wissenschaft 3/2002, S. 52): Die schlechte Alternative A setzt sich gegen die bessere Lösung P durch, weil beide Spieler Grund haben zu fürchten, dass der jeweils andere die schlechte wählen wird.

Dabei kann diese Befürchtung aus völlig irrealen Gründen gespeist sein. Nehmen wir an, die Wirtschaftslage sei generell schlecht, aber das sei den Leuten nicht klar. Beispielsweise würde der Versuchsleiter das Experiment genauso darstellen wie zuvor, aber verschweigen, dass der Bereich für die X -Werte nur 50 bis 70 statt 50 bis 90 Euro beträgt. Wenn die Spieler das wüssten (und einander nach wie vor für rational hielten), hätten sie allen Anlass, P zu spielen; mangels Information ist jedoch die Wahl A genauso wohlbegründet wie zuvor. Auch einem Spieler, der Bescheid weiß, bleibt nichts anderes übrig, als sich für A zu entscheiden, solange er alle seine Mitspieler für uninformiert halten muss. Wenn alle an den Einfluss der Sonnenflecken glauben, muss man sich an die Sonnenflecken halten.

Die Teilnehmer unseres Laborexperiments haben im Verlauf der fünfzig Runden gelernt, die Strategie A zu bevorzugen, und zwar nicht unbedingt, weil sie den Eliminationsprozess gedanklich vollzogen hätten, sondern schlicht durch Anpassung an das Verhalten ihrer Mitspieler. Immerhin ist es interessant zu beobachten, dass die kooperative Strategie P um so schneller schwindet, je früher sie im Eliminationsprozess als dominiert ausscheidet. Je schlechter die Prognose, desto mehr Denkschritte – oder mehr Erfahrung – sind erforderlich, um zu der Entscheidung A statt P zu kommen.

Die Ergebnisse des Spektrum-Spiels – mit nur einer Runde, aber beliebig langer Bedenkzeit – zeigen, dass eine starke Minderheit bereits durch Nachdenken zu der Strategie $AAAAA$ kommt. Wahrscheinlich ist diese Form des Spiels sogar realitätsnäher. Wer hat im echten Leben schon Gelegenheit, aus fünfzig Wiederholungen der gleichen Situation zu lernen?

Da intensives Nachdenken Anlass gibt, sich für die schlechtere Alternative zu entscheiden, leuchtet ein, was stattdessen dem Guten zum Durchbruch verhelfen kann: ein Denkfehler. Das aber nur dann, wenn er allgemein üblich ist. In der Wirtschaftswissenschaft spricht man von »begrenzt rationalem Verhalten«.

Solche Denkfehler gibt es durchaus. So unterstellt man meist unbewusst, der Partner verfüge über dieselben Informationen wie man selbst, und übersieht damit die Möglichkeit, dass er eine bessere Prognose erhält. Sowie jedoch (scheinbar) vollständige Information über den Wert von X vorliegt, vermag eine Präferenz für A im einen Fall die anderen Fälle nicht mehr zu »infizieren«, sodass zumindest für schlechte Prognosen die Präferenz für P erhalten bleiben kann.

Ein anderer geläufiger Denkfehler besteht darin, den Eliminationsprozess vorzeitig abzubrechen. Auch das war in den Kommentaren der Einsender zu beobachten. Aber wieder gilt: Rational handelt, wer die Gedanken seiner Mitspieler – seien diese fehlerhaft oder nicht – richtig einschätzt. Wenn der rationale Spieler im Prinzip in derselben Situation steckt wie seine Mitspieler, muss er so handeln, als ließe er sich von den gleichen Gedanken – fehlerhaft oder nicht – leiten wie diese.

Ein Modell des Wirtschaftsgeschehens soll eindeutige Vorhersagen erlauben, um anwendbar zu sein. Den Theoretikern gelingt es, durch die Einfüh-

Im Mai bei wissenschaft-online



► **Zu Beginn** des neuen Jahrtausends stehen die Geowissenschaften vor großen Herausforderungen – mit diesem Satz beginnt das sechsbändige Lexikon der Geowissenschaften. wissenschaft-online stellt im Mai die Geowissenschaften in den Vordergrund, alle aktuellen Meldungen sind auf www.wissenschaft-online.de/geowissenschaften frei zugänglich.



Die täglichen Nachrichten aus der Wissenschaft werden ergänzt durch informative Reportagen. So begleitet wissenschaft-online – Redakteur Joachim Schüring die Marineflieger aus Nordholz bei ihren Flügen zur Überwachung von Meeresverschmutzungen.



Das Verständnis aktueller Informationen verlangt Grundlagen. Neben dem Lexikon der Geowissenschaften bietet wissenschaft-online den Zugang zum Lexikon der Geographie sowie der Kartographie und Geomatik mit insgesamt über 34.000 Stichwörtern.

www.wissenschaft-online.de

▷ rung von Informationsunschärfen, etwa in Form unserer ungenauen Prognosen, manchen Modellen diese hoch erwünschte Eigenschaft zu verschaffen.

Nehmen wir unser Spiel mit vollständiger Information über X statt der vagen Abschätzung. Dann gibt es manchmal zwei Gleichgewichte, und mit der Theorie ist nicht vorherzusagen, welches von beiden sich einstellen wird. Diese Zweideutigkeit wird durch die geschilderte Unschärfe aufgehoben. Denn bei vollständiger Information sind für $X=70$, 60

oder 50 (mäßig, durchwachsen oder schwach) sowohl (A,A) als auch (B,P) Strategiekombinationen, von denen keiner einseitig zu seinem Vorteil abweichen kann, das heißt Gleichgewichte. Dagegen ist im Spiel mit Informationsunschärfe (A,A) ein eindeutig bestimmtes Gleichgewicht. Für diesen Fall sagt die Theorie voraus, dass das Verhalten der Menschen gegen dieses Gleichgewicht konvergiert.

Unsere Experimente haben – für dieses Spiel – die Theorie bestätigt. Das ist allerdings keineswegs immer der Fall.

Scheinbar belanglose Effekte können die ansonsten übermächtige Tendenz zum Gleichgewicht außer Kraft setzen; das bekannteste Beispiel ist das iterierte Gefangenendilemma. Welche dieser Einflüsse eine Rolle spielen und welche nicht – das sind Fragen, zu deren Klärung Experimente wie das unsere dienen sollen. ◀

Antonio Cabrales und **Rosemarie Nagel** sind Professoren an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Pompeu Fabra in Barcelona.

GLOSSE

Ein Diamant ist unvergänglich

Neue Optionen für ein Leben nach dem Tode

Ich habe es nicht genau nachgerechnet, aber irgendwann in den letzten Monaten war die Hälfte der mir statistisch zustehenden Lebenserwartung verstrichen. Nicht dass ich daraus jetzt eine Krise machen will, aber es ist vielleicht ein passender Zeitpunkt, darüber nachzudenken, was wird, wenn der oberste Schiedsrichter auch die zweite Halbzeit abpfeift.

Da kam mir ein Artikel in der britischen Presse gerade recht, der vermeldete, dass eine amerikanische Firma neuerdings die Asche Verstorbener in Diamanten verwandelt. Für einen einkarätigen Klunker soll der Preis bei schlappen 22 000 Dollar liegen. Im Hinblick auf langfristige Haltbarkeit ist diese Form der Unsterblichkeit natürlich kaum zu überbieten. Zwar ginge dabei der gesamte Informationsgehalt meines Biomaterials zusammen mit dem Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefel durch den Schornstein, aber zumindest meine Kohlenstoffatome (oder ein Teil von ihnen, je nach Kassenstand) blieben der Nachwelt erhalten. Wahrscheinlich würde mein so komprimierter Körper noch funkeln, wenn sich meine gesamten gedruckten Gedanken bereits in Kohlendioxid verwandelt haben.

Der Haken an der Sache ist natürlich, dass meine sterblichen Überreste in Diamantform genauso aussehen werden wie die eines jeden x-beliebigen anderen Kunden der Firma LifeGem. Von der Möglichkeit der Verwechslung ganz abgesehen, steht diese posthume Uniformität in eklatantem Widerspruch zu dem Individualismus, dem ich zu Lebzeiten stets gehuldigt habe.

Also sollte ich vielleicht doch eine etwas vollständigere Konservierung ins Auge fassen. Auch kein Problem: In Scottsdale (Arizona) gibt es die Alcor Life Extension Foundation, die Frischverstorbene in flüssigem Stickstoff einfriert – mit dem Versprechen, sie wiederzubeleben, sobald die Fortschritte der Medizin das ermöglichen. (Und sollte jemals das dringende Bedürfnis nach einer Klonkopie von mir auftauchen, fände sich in meinem tiefgefrorenen Körper genug DNA für zahllose Versuche.) Das Dumme ist nur, dass ich die Firma nicht verklagen kann, wenn sie das Versprechen nicht hält, denn dann lagere ich immer noch mausetot im Tiefkühlank. Und



was passiert, wenn Alcor pleite macht und keiner mehr da ist, Flüssigstickstoff nachzufüllen? Nicht auszudenken.

Da wende ich mich doch lieber an Gunther von Hagens. Der Heidelberger Anatomieprofessor braucht meine Körperflüssigkeiten nur gegen seine Plastiklösung auszutauschen, und schon kann ich in ganzer Schönheit weiterhin der Wissenschaftsvermittlung dienen, so wie die Herrschaften in der »Körperwelten«-Ausstellung. Mit meinem Hirn in der Hand oder Herz in der Hose, wie auch immer. Doch halt, der Herr Professor ist ja viel älter als ich, wer weiß ob sein Service noch zur Verfügung steht, wenn ich ihn brauche. Aber vielleicht wird ja dereinst die Plastination bei jedem besseren Bestattungsunternehmen angeboten.

Und dann gibts noch die traditionellen Optionen. Ich kann mich Bodenbakterien und Maden als Festschmaus andienen, bis nur noch meine Knochen in der Erde herumliegen. Oder mich verbrennen und die Asche im Garten/auf hoher See/im Weltraum verstreuen lassen (Nichtzutreffendes bitte streichen). Das eine oder andere Organ mag vielleicht noch jemand anderem nützen. Aber irgendwie ist das alles nicht so recht befriedigend.

Ich glaube, ich bleibe doch bei der Diamant-Option und fange schon mal an zu sparen, damit es auch für ein Steinchen von sichtbarer Größe reicht. Vielleicht lässt sich ja im Zentrum des Brillanten etwas von meiner DNA unterbringen, damit ich in meiner zweiten Existenz nicht gar so verwechselbar dastehe. In der Hinsicht bin ich nämlich empfindlich.

Michael Groß

www.michaelgross.co.uk