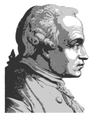
Spieltheorie und Ethik

Können zukünftige Generationen
ihre Rechte schon heute einklagen?

Vortrag im Rahmen der Hochschulgruppe reason[Ing.]
zum Thema Ethik in den Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr. Michael Eisermann
Institut für Geometrie und Topologie

Universität Stuttgart
2. Dezember 2019



Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen!

Much to learn, you still have. This is just the beginning.

Wie verhalten sich Ratio und Moral?

Spieltheorie versucht, menschliches / ökonomisches / strategisches Verhalten zu beschreiben, zu erklären, vorherzusagen, zu optimieren.

To be literate in the modern age, you need to have a general understanding of game theory.
(Paul Samuelson, 1915–2009, Nobelpreis 1970)

Nutzenmaximierendes / ökonomisches / rationales Verhalten kann moralisch oder unmoralisch sein, das hängt von den (Spiel-)Regeln ab und von den (gesellschaftlich vereinbarten) moralischen Normen.

Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde.
(Immanuel Kant, 1724-1804, *Kritik der praktischen Vernunft*, 1788)

Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser.
(Wladimir Iljitsch Lenin, 1870–1924)

Erst kommt das Fressen, dann die Moral.
(Bertolt Brecht, 1898-1956, *Dreigroschenoper*, 1928)

Motivation und Überblick

In diesem Vortrag geht es um einige große Fragen der Menschheit, für die ich einige (zunächst sehr kleine) Antworten skizzieren möchte.

Wie / Können Sie aus nichts Geld machen? Sie ahnen es bereits, das wird legal wohl nicht möglich sein, dennoch werden solch windige Projekte oft versucht und als bequeme Einkommensquelle angepriesen. Das Internet ist hierfür ein idealer Nährboden.

In diesem Kapitel werden wir uns solche Modelle genauer anschauen. Sie sind meist nach dem ewig selben, sehr einfachen Muster gebaut, doch dank phantasievoller Verkleidung erkennt man sie nicht sofort. Ich beginne daher mit ein paar lächerlich simplen Illustrationen.

Natürlich will ich Sie nicht zu solchen Aktivitäten anstiften, im Gegenteil! Ich möchte, dass Sie illegale Tricks leichter als solche durchschauen und sich möglichst dauerhaft dagegen immunisieren. Die Erfahrung zeigt, dass dies leider nicht so einfach ist, wie man zunächst hoffen könnte.

Motivation und Überblick

Warum sollten Sie meine Rente zahlen? Diese Frage liegt mir ganz persönlich am Herzen, und ich gebe zu: aus egoistischen Gründen. Aus ebenso egoistischen Gründen wollen Sie das vielleicht nicht.

Ich möchte Sie in diesem Kapitel davon überzeugen, dass es auch für Sie lohnend sein kann, meine Rente zu zahlen! Das glauben Sie nicht? Dann lesen und prüfen Sie alles kritisch und lernen Sie staunend dazu! Sie müssen es demnächst nämlich Ihren Kindern erklären.

Warum sollte Ihre Generation meine Generation verklagen?
So ein Generationenvertrag, hier im Beispiel zur Altersversorgung, ist eine feine Sache. Im letzten Teil dieses Kapitels möchte ich auf ein grundlegendes Problem eingehen: Was tun, wenn eine Generation Raubbau betreibt und die Lebensgrundlage zukünftiger Generationen vernichtet? Dazu müssten zukünftige Generationen ihre Rechte bereits heute einklagen! Das klingt unmöglich. Gibt es dennoch eine Lösung?
Spoiler: Ja, das geht, wird aber vermutlich nicht genutzt werden.

Definition 1A (Stufen der Rationalität)

Unter **(unbeschränkter) Rationalität** verstehen wir folgende Axiome:

$\mathscr{R}_0$: Jeder Spieler will sein Ergebnis (Nutzen, Gewinn) maximieren.

$\mathscr{R}_1$: Jeder Spieler versteht die Spielregeln und alle Konsequenzen.

$\mathscr{R}_2$: Es gelten die Aussagen $\mathscr{R}_0, \mathscr{R}_1$, und jeder Spieler weiß dies.

$\mathscr{R}_3$: Es gilt die vorige Aussage $\mathscr{R}_2$, und jeder Spieler weiß dies.

etc... Genauer definieren wir für jedes $n \in \mathbb{N}_{\geq 3}$ die Aussage

$\mathscr{R}_n$: Es gilt die Aussage $\mathscr{R}_{n-1}$, und jeder Spieler weiß dies.

$\mathscr{R}_\infty$: Es gelten die Aussagen $\mathscr{R}_n$ für alle $n \in \mathbb{N}$.

Axiome $\mathscr{R}_0$ und $\mathscr{R}_1$ sind extrem wichtige Annahmen für die Spieltheorie: Erst damit können wir das Spielerverhalten mathematisch analysieren. Je nach Spiel nutzen wir auch die Verschärfungen $\mathscr{R}_2, \mathscr{R}_3, \mathscr{R}_4, \dots$ usw.

In Spielanalysen bzw. Beweisen ist es zur Klärung nützlich anzugeben, welche Stufe $\mathscr{R}_n$ der Rationalität wir jeweils benutzen und voraussetzen. Implizite Annahmen formulieren wir damit explizit, präzise und bequem.

Diese Axiome sind meist **Grundlage der Spieltheorie**. Wir müssen sie gründlich verstehen und an möglichst zahlreichen Beispielen erproben.

Als Warnung bzw. freundliche Enttäuschung schicke ich gleich vorweg: Diese Idealisierungen gelten in vielen realen Situationen leider nicht! Diese Eigenschaften sind zwar wünschenswert, doch oft nicht erfüllt. Alles hängt von den Akteuren ab: Menschen, Unternehmen, Staaten, KI.

Axiom $\mathscr{R}_0$ bedeutet: Die im Spiel formulierte Nutzenfunktion erfasst das Wesentliche. Wir verkneifen uns danach metaphysische Spekulationen über Moral, Ethik, Gerechtigkeit, Egoismus vs Altruismus, Erziehung, Tradition, Religion, Sünde, Fegefeuer, jüngstes Gericht, Karma, etc...

Damit will ich nicht behaupten, dass diese Fragen unwichtig wären, sie liegen nur außerhalb der Reichweite unseres mathematischen Modells. Sie sind nicht Teil des Spiels; wenn doch, dann in der Nutzenfunktion:

Wenn wir diese Begriffe in der Spieltheorie betrachten wollen, und das sollten wir, dann dürfen wir sie nicht implizit und vage dazufabulieren, sondern müssen sie explizit und präzise im Spiel codieren.

Axiom $\mathscr{R}_1$ bedeutet: Jeder Spieler kennt und versteht die Regeln des Spiels, er kennt alle Handlungsoptionen und deren Konsequenzen.

Das ist eine zentrale, aber manchmal allzu starke Annahme: Für das Spiel Schach kenne ich zwar alle Regeln, aber nicht alle Konsequenzen; mir fehlt die Rechenkapazität, ausreichend viele Züge vorauszudenken.

Das gilt selbst für sehr einfache Spiele, wie unsere folgenden Beispiele. Sie erfahren damit ganz konkret, dass Sie zwar die Regeln verstehen, aber nicht sofort alle Konsequenzen erkennen. Wir sehen das daran, dass Sie als Spieler nicht sofort die beste Strategie wählen, sondern noch Fehler machen. Sie beherrschen das Spiel erst nach etwas Übung!

Gerade hierzu ist es wichtig, diesen Vortrag mit konkreten Beispielen aufzubauen, die Sie dann auch ernsthaft bearbeiten und lösen sollen. Andernfalls hören Sie schöne Theorie und glauben, damit sei alles klar.

Die Wirklichkeit ist viel komplizierter... und auch viel interessanter! Neben der Spieltheorie lohnt sich immer auch das soziale Experiment.

Axiome $\mathscr{R}_2, \mathscr{R}_3$ usw. codieren die **gegenseitigen Einschätzungen**. „Als Spieler verhalte ich mich rational. Dazu muss ich das Verhalten der anderen Spieler vorhersehen, antizipieren, besser gesagt: berechnen. Am besten gelingt mir dies, wenn ich weiß, dass auch alle anderen Spieler sich rational verhalten. Davon will / muss / kann ich ausgehen.“

Wir nennen dies **gemeinsames Wissen**, engl. *common knowledge*. Es genügt nicht, dass etwas wahr ist, es muss auch jeder wissen. Und man muss sich darauf verlassen können, dass es jeder weiß. Und auch darauf, dass jeder weiß, dass jeder es weiß. Usw.

Das ist ein allgemeines und wichtiges Konzept: Das Wissen eines Spielers besteht neben seiner reinen Sachkenntnis auch aus seinem Metawissen über das Wissen der anderen Spieler. „Ich weiß, dass du weißt, dass ich weiß, ...“. Das klingt vertrackt und ist es meist auch.

In strategischen Situationen sind Wissen und Nichtwissen entscheidend. Für die Analyse von Spielen (und überall sonst) ist daher die Verteilung von Wissen und der Zugang zu Information von zentraler Bedeutung.

Kreative Summation nach Guido Grandi

These: Jedes mathematische Phänomen lässt sich finanziell ausnutzen.
Ziel: Ich will aus nichts Geld machen. Hier mein genialer Businessplan:

$$
\begin{array}{lccccccccc}
 & 0 \\
= & 0 & + & 0 & + & 0 & + & 0 & + & \dots \\
= & (1-1) & + & (1-1) & + & (1-1) & + & (1-1) & + & \dots \\
= & 1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & + & \dots \\
= & 1 & + & (-1+1) & + & (-1+1) & + & (-1+1) & + & \dots \\
= & 1 & + & 0 & + & 0 & + & 0 & + & \dots \\
= & 1
\end{array}
$$

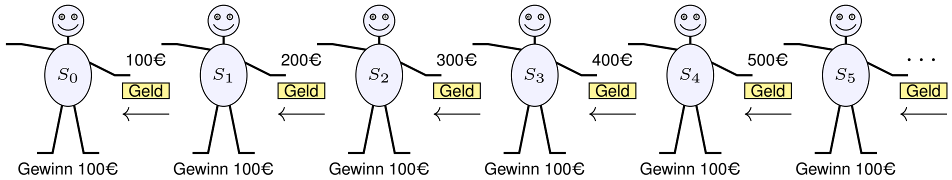
Der italienische Mönch und Mathematiker Guido Grandi erklärte damit 1703 wie Gott das Universum aus dem Nichts erschaffen haben könnte. Warum sollen wir diesen göttlichen Trick nicht auch ökonomisch nutzen?

Wie können Sie aus nichts Geld machen?

Charles Ponzi: „Investieren Sie jetzt, alle werden gewinnen!“

Ich bin ein grundehrlicher Anteilsschein und immer verlässlich.
Wer mich für n Euro kauft, darf mich für $n + 100$ Euro verkaufen.
Dank dieser Eigenschaft bringe ich jedem Wohlstand und Glück.

These: Jedes mathematische Phänomen lässt sich finanziell ausnutzen.



Wundersame Vermehrung des Geldes: *Everyone's a winner?*

Schneeballsystem und Ponzi–Betrug

Wir machen folgendes **Finanzexperiment** – bitte nur in Gedanken!
„Ich darf mich vorstellen, mein Name ist Charles Ponzi, Finanzgenie. Bitte passen Sie gut auf und machen Sie mit, alle werden gewinnen! Ich bin Spieler 0, Sie sind Spieler 1, Ihr Nachbar ist Spieler 2, usw. Spieler 1: Sie geben mir 100€, Ihr Nachbar gibt Ihnen 200€, Ihnen bleiben 100€ Gewinn. Spieler 2: Sie haben gerade 200€ gegeben, Ihr Nachbar gibt Ihnen jedoch 300€, also bleiben auch Ihnen 100€ Gewinn. Und so weiter, und so weiter. Jeder Teilnehmer macht so 100€ Gewinn.

Wo liegt das Problem? Befragungen meiner Mitmenschen deuten an: Viele schöpfen Verdacht, deutlich weniger durchschauen es sofort.

Als Grundregel helfen **Erhaltungssätze**: Werte kann man nicht mühelos vermehren, das sollte jeden warnen: *There are no free lunches!*

Eine genauere Analyse offenbart das **Problem der Endlichkeit**. $\mathscr{R}_1$: Der letzte Spieler S_n bleibt auf seinen Schulden sitzen. Ist er rational, wird er schon zuvor nichts zahlen. $\mathscr{R}_2$: Ist S_{n-1} rational zweiter Stufe, so sieht er den Zusammenbruch kommen und wird zuvor nichts zahlen… Die frühen Spieler benötigen jedoch Rationalität sehr hoher Stufe!

Schneeballsystem und Ponzi–Betrug

Schneeballsystem nennt man ein betrügerisches Geschäftsmodell, das zu seinem Betrieb immer neue Teilnehmer benötigt: Es gibt kein profitables Produkt, sondern Gewinne entstehen hauptsächlich oder ausschließlich durch das frisch zufließende Kapitel neuer Teilnehmer.

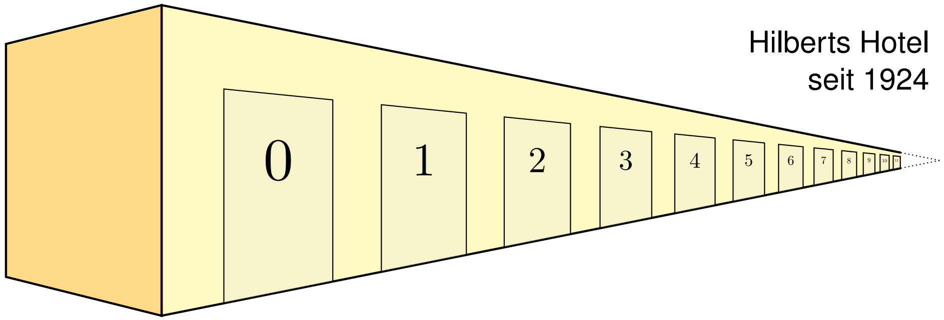
Dies heißt auch **Ponzi–Betrug**, engl. *Ponzi scheme*: Beiträge neuer Teilnehmer bezahlen die Ausschüttungen der vorigen Teilnehmer.

Berühmt-berüchtigt wurde diese Betrugsmasche durch **Charles Ponzi**, der in den 1920er Jahren Anleger in den USA um 20Mio Dollar prellte. Er versprach phantastische Renditen und lockte immer neue Investoren. Seine Methode **robbing Peter to pay Paul** flog nach acht Monaten auf.

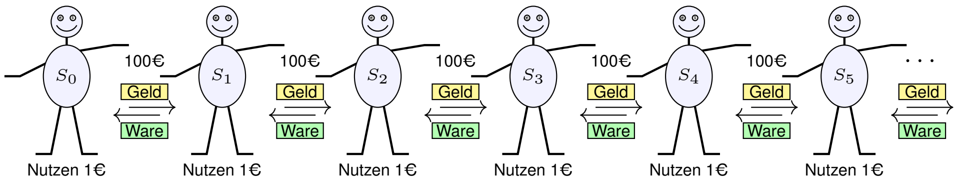
Aktuelles Beispiel eines solchen Betrugssystem ist der Betrugsskandal des Investmentunternehmens von **Bernard Madoff**. Es brach 2008 in der Bankenkrise zusammen, Investoren verloren etwa 18Mrd Dollar.

Ähnlich funktionieren **Kettenbriefe** und **Pyramidensysteme**, die heute im Internet kursieren: *Schnelles-Geld-Briefe*, engl. *Make Money Fast*. Der Schwindel beruht auf dem Versuch, Schulden nach Unendlich zu verschieben: eine unseriöse Rechnung, die Sie vermeiden sollten!

Wie und warum funktioniert Geld?



These: Jedes mathematische Phänomen lässt sich finanziell ausnutzen.



Wundersamer Nutzen des Geldes: *Everyone's a winner!*

Von Hilberts Hotel zu Hilberts Casino

Wenn in einem **endlichen Hotel** alle Zimmer belegt sind, dann kann kein Gast mehr aufgenommen werden. Das gilt selbst dann noch, wenn die Managerin die Gäste neu auf die Zimmer verteilt. Es hilft alles nichts!

Wir betrachten nun **Hilberts Hotel** mit unendlich vielen Zimmern. Diese seien nummeriert durch die natürlichen Zahlen $0, 1, 2, 3, \dots$ Sind alle Zimmer belegt, so kann immer noch ein Gast aufgenommen werden: Der Gast aus Zimmer 0 zieht nach 1, der von 1 nach 2, der von 2 nach 3, usw. Wir nutzen hierzu die Bijektion $\mathbb{N} \xrightarrow{\sim} \mathbb{N}_{\ge 1} : n \mapsto n+1$.

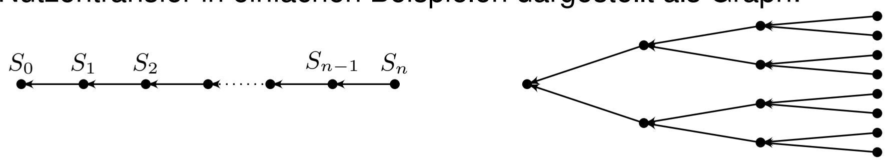
Ebenso zwei Gäste, oder drei, oder vier... Nun kommt ein Hilbert–Bus mit unendlich vielen neuen Gästen. Die Managerin quartiert die alten Gäste um vermöge der Bijektion $\mathbb{N} \xrightarrow{\sim} 2\mathbb{N} : n \mapsto 2n$. Die neuen Gäste beziehen ihre Zimmer vermöge $\mathbb{N} \xrightarrow{\sim} 2\mathbb{N}+1 : n \mapsto 2n+1$. Zusammen erhalten wir so die Bijektion $\{0,1\} \times \mathbb{N} \xrightarrow{\sim} \mathbb{N} : (i,n) \mapsto 2n+i$.

Schließlich kommen unendliche viele Busse jeweils mit unendlich vielen Gästen. Kein Problem, hierzu finden wir eine Bijektion $\mathbb{N} \times \mathbb{N} \xrightarrow{\sim} \mathbb{N}$.

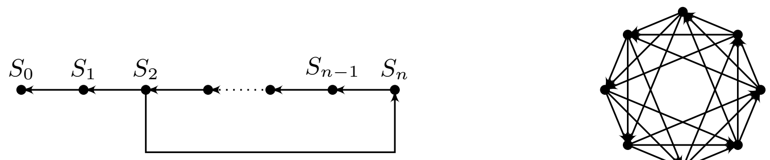
Übung: Schreiben Sie eine solche Bijektion möglichst explizit aus!

Wie und warum funktioniert Geld?

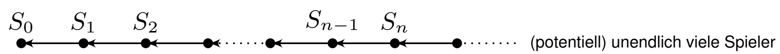
Nutzentransfer in einfachen Beispielen dargestellt als Graph:



☹ Gleichgewicht unmöglich: Ponzi–Betrug, Schneeballsystem



☺ Gleichgewicht möglich: Geldzirkulation, evtl. Abfluss, Steuern, etc.



☺ Gleichgewicht möglich: Generationenvertrag, Rentensystem, etc.

Wie und warum funktioniert Geld?

Anders als beim Ponzi–Betrug kann Geldzirkulation überall positiven Nutzen erzeugen. Das sagt freilich noch nichts über die Verteilung!

In unserem stark vereinfachten Beispiel erhält jeder denselben Nutzen / Gewinn von 1€. Für rationales Verhalten würde genügen, dass jeder strikt positiven Nutzen hat; der Nutzen kann dabei sehr unterschiedlich verteilt sein, gar extrem ungerecht. Solche Phänomene beobachten wir tatsächlich in der uns umgebenden Ökonomie. Dennoch läuft es.

Aus diesem Grunde wurde und wird das Geldsystem kritisiert: *Das herrschende Geldsystem ist das Geldsystem der Herrschenden.* Es wird verteidigt mit dem ideologischen Anspruch der allgemeinen Partizipation, der Chancengleichheit und der Gerechtigkeit. In der Praxis kann es dies jedoch oft nicht einlösen. Liegt das am Geldsystem selbst oder an anderen Faktoren? Darüber lohnt es sich zu streiten.

> *Geld ist eine neue Form der Sklaverei, die sich von der alten nur unterscheidet, indem sie unpersönlich ist, dass es keine direkte Beziehung zwischen Herren und Sklaven gibt.*
>
> Leo Tolstoi (1828–1910)

Aufgabe: Wir untersuchen eine einfache Gesellschaft $I = \{0, 1, \dots, N\}$. Spieler $i, j \in I$ handeln mit Wkt $p_{ij} = p_{ji}$, etwa $p_{ij} = 1/N$ für $i \neq j$.

A \ B	M	V
M	0, 0	0, $-a$
V	$-a$, 0	b, b

Geldnutzen zwischen Tauschpartnern: Verlust a, Nutzen b, etwa $a = b = 1$.

M: misstraut dem Tauschmittel / Geld und lehnt jeden Handel damit ab.

V: vertraut dem Tauschmittel / Geld und akzeptiert jeden Handel damit.

Ab welcher Akzeptanzrate $q \in [0, 1]$ setzt sich das Tauschmittel durch?

Lösung: Der erwartete Nutzen für M-Spieler ist Null. Der erwartete Nutzen für V-Spieler ist $qb - (1 - q)a$, also positiv für $q > a/(a + b)$.

Beispiel: SaniFair-Gutscheine könnten Geldfunktion übernehmen, doch sie setzen sich nicht als Zahlungsmittel durch. Zu Recht!

Das Spiel *Misstrauen-gegen-Vertrauen* hat drei Gleichgewichte: Die beiden reinen Gleichgewichte (Misstrauen,Misstrauen) und (Vertrauen,Vertrauen) sind stabil, das gemischte Gleichgewicht dazwischen ist instabil. Wie gelingt der Übergang vom einen (Misstrauen,Misstrauen) zum anderen (Vertrauen,Vertrauen)?

Zunächst einmal hilft es, wenn das Zahlungsmittel Vorteile b hat, zudem möglichst große gegenüber den möglichen Nachteilen a.

Weiterhin ist es günstig, eine korrelierte Strategie zu verfolgen. In der Praxis kann dies geschehen, indem ein speziell ausgewiesener Markt für die Benutzung des neuen Zahlungsmittels eingerichtet wird. Jeder Teilnehmer entscheidet sich, ob er daran teilnimmt (Vertrauen) oder nicht (Misstrauen). Dadurch werden die beiden Teilpopulationen weitgehend getrennt und verlustreiche Konflikte vermieden.

Jedes Geldsystem beruht auf **Vertrauen**, es ist eine stillschweigende **Vereinbarung** per Tradition oder ein **Gesellschaftsvertrag** per Gesetz. In unserem stark vereinfachten Modellbeispiel entsprechen allseitiges Misstrauen bzw. Vertrauen den beiden stabilen Nash–Gleichgewichten.

Ein Geldsystem funktioniert, solange ausreichend viele Teilnehmer dem System vertrauen und sich ein Nutzengleichgewicht einstellt, also Akzeptanz durch strikt positiven Nutzen für jeden Teilnehmer.

In schweren **Krisen** (Hyperinflation, Staatsbankrott, Bankenkollaps) übersteigt das Misstrauen (geschätzte Abbruchwkt) den Geldnutzen. Dann bricht das Geldsystem zusammen, und die Akteure flüchten sich in **Sachwerte**, etwa Rohstoffe, Edelmetalle, Immobilien, Aktien, usw. . .

Dies ist ein sich selbst verstärkender (autokatalytischer) Vorgang. Im positiven Falle ist es eine Aufwärtsspirale, die zu einem stabilen Geldsystem führt. Im negativen Falle ist es eine Abwärtsspirale, die alle Geldwerte vernichtet. Beides kommt tatsächlich vor.

Im **Tauschhandel** entwickeln sich meist bestimmte Güter zur Referenz, etwa nützliche (Getreide, Vieh) oder seltene (Muscheln, Edelmetalle): Sie werden allgemein als wertvoll anerkannt, existieren in ausreichender aber beschränkter Menge, sind praktikabel und haltbar. Sie können als **Tauschmittel** und **Wertspeicher** dienen und erhalten so Geldfunktion.

Anekdote: Auch **Zigaretten** dienten als Währung auf Schwarzmärkten. Warum akzeptiert ein Nichtraucher dieses Zahlungsmittel? Er vertraut auf viele Raucher. . . und auf Nichtraucher, die darauf vertrauen. . . usw. Viele Güter sind dazu geeignet. Der Kernpunkt ist immer das Vertrauen!

Als **Zahlungsmittel** dienen ganz allgemein übertragbare, einheitliche Wertträger. Molluskengeld (Muschelgeld) ist eine vormünzliche Geldform und wird teilweise heute noch als Kleingeld verwendet. **Kaurigeld** aus den Gehäusen von Kaurischnecken war das erste allgemeingültige Geld und förderte maßgeblich den überregionalen Handel. Hier gibt es keine Kontrolle über die Geldmenge, diese wird der Natur überlassen.

Die Übertragung dieser Funktion auf **Münzen** (China, Indien, Ägäis um 700 v.Chr.) und **Papiergeld** (China um 1000 n.Chr.) ist eine erstaunliche Errungenschaft. Das nötige Vertrauen muss zunächst aufgebaut werden, als Garant dienten meist zentrale Institutionen (König, Staat, Bank).

Sprichwörtlich ist hier König Krösus (ca. 590–541 v.Chr.): Als König von Lydien in Vorderasien prägte er als erster Münzen und verhalf so einer der nachhaltigsten Erfindungen der Geschichte zum Durchbruch.

Seit jeher müssen diese Institutionen auch **Falschgeld** bekämpfen. In Deutschland wird bestraft (§146 StGB), wer Geld nachmacht oder verfälscht, sich Falschgeld verschafft und in Verkehr bringt, auch wer gutgläubig Falschgeld erwirbt und wissentlich weitergibt (§147 StGB).

Falschgeld wird staatlicherseits eingezogen und nicht erstattet; solange jedoch niemand die Echtheit prüft, wirkt falsches genau wie echtes Geld. Alles beruht auf diesem Gleichgewicht, **Misstrauen gegen Vertrauen!**

Im Rückblick auf die menschliche Geschichte sehen wir eine schrittweise Abstraktion vom Tauschhandel über prämonetäre Zahlungsmittel zu Münzen und schließlich Geldscheinen. Der Abstraktion scheinen dabei keine Grenzen gesetzt, wir erleben dies gerade in unserem Zeitalter:

Buchgeld stand früher im *Bankbuch*, heute wird es auf Girokonten *gebucht*. Es heißt auch **Bankengeld** oder **Giralgeld** (it. *giro*, gr. γυρός [gyrós], ‘Kreis, Umlauf’). Es ist zunächst nur ein **Zahlungsversprechen** oder umgekehrt eine **Geldforderung**. Buchgeld ist kein gesetzliches **Zahlungsmittel**, ein Gläubiger muss es daher nicht annehmen. Solange jedoch alle Beteiligten Buchgeld vertrauen, übernimmt es Geldfunktion.

Ich wiederhole nochmal zur Betonung die Voraussetzung des Vetrauens: Ein Geldsystem funktioniert, solange ausreichend viele Teilnehmer dem System vertrauen und sich ein Nutzengleichgewicht einstellt, also Akzeptanz durch strikt positiven Nutzen für jeden Teilnehmer.

Ähnlich verlief seit den 1960er Jahren die Einführung und Akzeptanz von **Kreditkarten** (Plastikgeld). Die Situation ist nicht symmetrisch, der Mechanismus aber ähnlich: Ausreichend viele Händler müssen diese Karte akzeptieren und zugleich müssen ausreichend viele Kunden sie nutzen wollen. In unserem obigen Modell entspräche dies einem Spiel zwischen zwei Populationen $I = \{1, 2, \dots, M\}$ und $J = \{1, 2, \dots, N\}$. Schwindet das Vertrauen, so kollabiert das System (auf ein voriges).

Wir beobachten parallel, wenn auch in sehr beschränktem Umfang, den umgekehrten Trend zu Regionalwährungen und Tauschringen. Auch das funktioniert nur, wenn genügend Leute mitmachen, andernfalls bricht diese Form des Tauschs zusammen.

Mancher mag kritisch einwenden, hier wird das Geld neu erfunden. Dennoch sind solche lebensgroßen Experimente oft erstaunlich und aufschlussreich, sowohl in ihren Erfolgen wie in ihren Schwierigkeiten.

Wir erleben die jüngsten Entwicklungen dieser **Abstraktion** nahezu live: vom einst direkten Warentausch über Tauschmittel, Münzen, Scheine, Buchgeld zum elektronischen Geld und zuletzt **Kryptowährungen**.

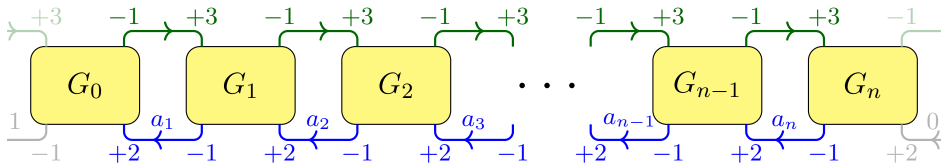
Auch diese leben grundlegend vom Vertrauen (allseitiger Akzeptanz) und brauchen zu diesem Zweck sichernde Institutionen, also eine geeignete und vertrauenswürdige Infrastruktur. Hier ist die dezentral organisierte **Blockchain** eine wesentliche technologische Neuerung.

Der Wert entsteht durch Aushandlung und gegenseitiges Vertrauen, hier gestützt durch technische Vorkehrungen. Die enorme Wertsteigerung entsteht durch spekulative Hoffnungen auf zukünftige Interessenten. Die Grenze zum Ponzi–Betrug ist nicht einfach zu ziehen.

In Deutschland sind Kryptowährungen (noch) kein Zahlungsmittel. Die BaFin sieht Bitcoin als Rechnungseinheit, eine Art Privatgeld, das durch gegenseitige Verrechnung als Finanzinstrument dienen kann.

Altersversorgung als spieltheoretisches Modell

Die Generationen $G_0, G_1, \dots, G_n$ interagieren nach folgendem Muster:



Jede Generation G_i kennt nur die Aktion $a_{i-1} \in \{0,1\}$ ihrer Eltern G_{i-1}. Sie entscheidet sich daraufhin entweder für Egoismus ($a_i = 0$) oder Altersversorgung ($a_i = 1$). Ihre Auszahlung ist $u_i = 2 - 1a_i + 2a_{i+1}$. Wie skizziert gelten die Randbedingungen $a_0 = 1$ und $a_{n+1} = 0$.

Jede Generation G_i hat demnach vier mögliche Strategien:

Egoist $E = \left[\begin{smallmatrix} 0\mapsto 0 \\ 1\mapsto 0 \end{smallmatrix}\right]$, Altruist $A = \left[\begin{smallmatrix} 0\mapsto 1 \\ 1\mapsto 1 \end{smallmatrix}\right]$,

Kontra $K = \left[\begin{smallmatrix} 0\mapsto 1 \\ 1\mapsto 0 \end{smallmatrix}\right]$, Nachmacher $N = \left[\begin{smallmatrix} 0\mapsto 0 \\ 1\mapsto 1 \end{smallmatrix}\right]$.

Aufgabe: Untersuchen Sie den endlichen Fall $n < \infty$ sowie $n = \infty$. Was sind hier Gleichgewichte? Kann Altersversorgung rational sein?

Altersversorgung als spieltheoretisches Modell

Lösung: (1) Der endliche Fall $n < \infty$ entspricht einem Ponzi–Betrug! Für die letzte Generation G_n ist die Aktion $a_n = 0$ strikt dominant. Per Rückwärtsinduktion folgt $a_i = 0$ für alle Generationen $i = 0, 1, \dots, n$.

☹ Bei endlicher Generationenfolge ist dies das einzige Gleichgewicht.

(2) Zu $k \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$ betrachten wir folgenden Strategievektor $s^k \in S$:

$$\begin{array}{rcccccccccc} i = & 0, & 1, & \dots, & & & k, & \dots & & & \\ s^k = (& E, & E, & \dots, & E, & E, & A, & N, & N, & N, & \dots \ ) \\ a^k = (& 0, & 0, & \dots, & 0, & 0, & 1, & 1, & 1, & 1, & \dots \ ) \\ u(s^k) = (& 2, & 2, & \dots, & 2, & 4, & 3, & 3, & 3, & 3, & \dots \ ) \end{array}$$

Kann sich irgendein Akteur $i \in \mathbb{N}$ aus eigener Kraft verbessern? Nein!

☺ Demnach ist der Strategievektor s^k ein Gleichgewicht!

☺ Unser Modell ist extrem vereinfacht, aber es illustriert das Prinzip. Es ist ein Gleichnis, ein einfaches Lehrbeispiel und leicht zu verstehen.

Altersversorgung als spieltheoretisches Modell

Bei nur **endlich vielen Generationen** ist dies ein Ponzi–Betrug: Dieses Umverteilungssystem muss irgendwann zusammenbrechen!

$\mathscr{R}_1$: Die letzte Generation G_n hat kein Interesse an einer Zuwendung an ihre Elterngeneration G_{n-1}. Im Gegenteil, dies schadet G_n nur. Bei rationalem Verhalten wird die Generation G_n also $a_n = 0$ wählen.

$\mathscr{R}_2$: Die vorletzte Generation G_{n-1} sieht dies kommen, Rationalität zweiter Stufe vorausgesetzt. Daher wird auch sie $a_{n-1} = 0$ wählen.

So geht es weiter: $a_n = 0$ führt zu $a_{n-1} = 0$ bis schließlich $a_0 = 0$. Bei rationaler Spielweise entstehen hier also keinerlei Zuwendungen.

Diese raffinierte Schlussweise heißt auch **Rückwärtsinduktion**. Wir eliminieren hierbei schrittweise alle strikt dominierten Strategien.

Zu beachten ist hierbei jedoch, dass die Generation G_i Rationalität der Stufe $n - i + 1$ benötigt. Die frühen Generationen benötigen demnach Rationalität sehr hoher Stufe! Das entspricht genau dem Ponzi–Betrug.

Die Schlussweise gilt nicht mehr im Falle unendlich vieler Generationen. Tatsächlich finden wir im unendlichen Falle völlig neue Gleichgewichte.

Altersversorgung als spieltheoretisches Modell

Bei nur endlich vielen Generationen bricht das System irgendwann ein. Selbst wenn die frühen Spieler von diesem System profitieren sollten, so ist doch klar: irgendein späterer Spieler muss die Zeche zahlen.

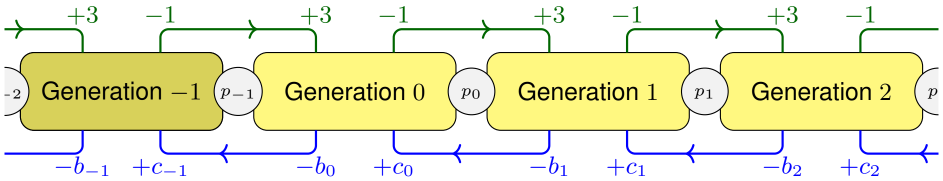
In der Realität treten Betrugssysteme mit diesem Muster tatsächlich auf. Warum fallen Spieler darauf herein? Mehrere Erklärungen sind denkbar:

Die frühen Spieler können irrational handeln, weil sie das Spielsystem nicht durchschauen oder analysieren können. (Annahme $\mathscr{R}_1$ ist verletzt.)

Es könnte auch sein, dass frühe Spieler durchaus das Spielsystem durchschauen, also für sie die Annahme $\mathscr{R}_1$ gilt, sie aber umgekehrt auf die Naivität späterer Spieler hoffen. (Annahme $\mathscr{R}_2$ ist verletzt.)

Bei beschränkter Rationalität gibt es genug Möglichkeiten, auf solche Betrugssysteme hereinzufallen. Erfahrung lehrt, dass dies geschieht. Das gilt insbesondere, wenn sich Darstellung und Details ändern, und so die erneute Analyse die Kapazitäten der Spieler übersteigt. Zudem ist das Internet ein ideales Medium für Betrügereien.

Zusammenfassung und Verallgemeinerung des Rentenmodells:



Satz 2A (Gleichgewichte im Rentenmodell)

Die Generationen $(G_i)_{i\in\mathbb{N}}$ interagieren wie gezeigt, mit Kosten $b_i \in \mathbb{R}_{>0}$ und Nutzen $c_i \in \mathbb{R}_{>0}$ sowie den Fortsetzungswkten $p_i \in [0,1]$ für $i \in \mathbb{N}$.

(1) Ist $s \in \prod_{i\in\mathbb{N}} S_i$ ein Nash–Gleichgewicht, so ist der Aktionsvektor $a = a(s) \in \{0,1\}^{\mathbb{N}}$ wachsend, also $a = a^n := \mathbf{I}_{\mathbb{N}_{\ge n}}$ für ein $n \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$.

(2) Gilt $p_m c_m < b_m$ für ein $m \in \mathbb{N}$, so ist $a_m = 0$ strikt dominant für G_m, per Rückwärtsinduktion folgt $a_i = 0$ für alle $i = 0, 1, \dots, m$, also $n > m$.

(3) Gilt $p_i c_i > b_i$ für alle $i \ge m$, so lässt sich jeder Aktionsvektor $a = a^n$ mit $n \ge m$ durch ein Nash–Gleichgewicht $s \in \prod_{i\in\mathbb{N}} S_i$ realisieren.

Die Altersversorgung ähnelt oberflächlich einem **Ponzi–Betrug**, führt aber tatsächlich zu einem nicht-trivialen Nash–Gleichgewicht. Das Modell erklärt nicht, was eine **gerechte Altersversorgung** ist. Es zeigt jedoch, dass eine Altersversorgung der Eltern nicht altruistisch begründet sein muss, sondern durchaus egoistisch vorteilhaft sein kann.

Es gibt Menschen, die diesem System **misstrauen**, es ablehnen und seine Wirksamkeit abstreiten. In unserem Modell ist die von ihnen zugrundegelegte Wkt Null oder zu klein, um ein Nash–Gleichgewicht tragen zu können. Auch dieses Misstrauen ist also im Modell abbildbar.

Unsere Modelle sind einfache Beispiele zum **Mechanismendesign** (engl. *mechanism design*). Das Ziel ist die Schaffung eines Rahmens (als Spiel, Anreiz, Gesetz, etc.), der gewünschtes Verhalten ermöglicht, fördert oder gar erzwingt. Die individuelle Entscheidungsfreiheit kann / soll / darf nicht direkt eingeschränkt werden, allein der Rahmen wird so gestaltet, dass rationale Spieler das gewünschte Verhalten wählen.

Die Spieltheorie ist daher logische Grundlage für jeden **Gesetzgeber**, oder allgemein für jede Gestaltung von Regeln des Zusammenlebens.

Rückwärtsinduktion gilt nicht im Falle unendlich vieler Generationen: Es gibt keine letzte Generation, mit der die Induktion beginnen könnte. Tatsächlich finden wir im unendlichen Falle völlig neue Gleichgewichte.

Zunächst einmal sollte ich betonen, dass dieses Modell auf raffinierte Weise zwischen **Genotyp** $s_i \in \{E, A, K, N\}$ und **Phänotyp** $a_i \in \{0,1\}$ unterscheidet: Ersteres sind die individuellen Strategien, zweiteres sind die ausgespielten Aktionen, abhängig von der **Vorgeschichte**. Wie in der Biologie entsteht der Phänotyp aus Genotyp und Umweltfaktoren.

Die Generation G_0 hat nur zwei phänotypisch verschiedene Wahlen: $E \equiv N$ oder $A \equiv K$. Jede Generation G_i für $i \ge 1$ hat vier Strategien.

Jede Generation G_i trifft eine einzige Entscheidung, die Zuwendung a_i an ihre Elterngeneration G_{i-1}. Die Elterngeneration G_{i-1} hat keinerlei Rückwirkung auf G_i, also kein echtes Druckmittel (allenfalls moralische Appelle oder leere Drohungen, die wir in unserem Modell ignorieren).

Allein die Kindergeneration G_{i+1} hat ein mögliches Druckmittel auf G_i. Bemerkenswerterweise genügt bereits dieser schwächere Mechanismus, wie oben nachgerechnet, zur Erhaltung von Gleichgewichten.

Damit dieses filigrane Gleichgewicht bestehen kann, muss es unendlich viele Generationen geben. Der endliche Fall verläuft völlig konträr!

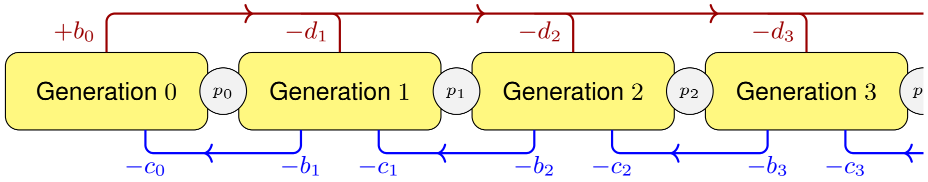
Genauer: Es muss *potentiell* unendlich viele Generationen geben, denn keine Generation darf ernsthaft glauben, die letzte zu sein. Die Maxime „Nach mir die Sintflut!“ führt zu Rücksichtslosigkeit.

Etwas realistischer ist folgendes Modell: Jede Generation G_i glaubt, dass die Generationenfolge mit Wkt $p_i \in [0,1]$ weitergeht. Mit Wkt $1 - p_i$ geht die Welt unter, oder Generation G_{i+1} spielt einfach nicht mehr mit.

Generation G_i vergleicht ihre Aktion $a_i = 0$ und die Auszahlung $u_i = 2$ mit ihrer Alternative $a_i = 1$ und der Auszahlung $u_i = 1 + 2p_i \overset{!}{>} 2$. Für $p_i > 1/2$ fällt der Vergleich weiterhin zugunsten der Aktion $a_i = 1$ aus. Bei Fortsetzungswkt von $p_i = 2/3$ erwarten wir nur drei Generationen. Dennoch lohnt immer noch der Generationenvertrag!

Fazit: Jede Generation muss ausreichend sicher an den Fortbestand weiterer Generationen glauben und so auf die Fortsetzung des Systems vertrauen. Dann und nur dann sind nicht-triviale Gleichgewichte möglich.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen



Nach uns die Sintflut!
Wo kein Kläger, da kein Richter!

Wir haben die Erde nicht von unseren Eltern geerbt,
sondern von unseren Kindern nur geliehen.

Akteure sind die Generationen G_i für $i \in \mathbb{N}$. Die Generation G_0 wählt ihre Aktion / Strategie $a_0 \in A_0 = \{0 = \text{Nachhaltigkeit}, 1 = \text{Raubbau}\}$.

Jede Generation G_i mit $i \geq 1$ kennt die gesamte Vorgeschichte und folgert daraus ihre Aktion $a_i \in A_i = \{0 = \text{schweigen}, 1 = \text{anklagen}\}$.

Letzteres kostet sie selbst $b_i > 0$ und ihre Elterngeneration $c_{i-1} > 0$. Generation G_i hat somit die Strategiemenge $S_i = \{\, s_i : \{0,1\}^i \to \{0,1\}\,\}$.

Mit Wkt $p_i \in [0,1]$ setzt sich das System von Generation G_i zu G_{i+1} fort. Auszahlungen sind $u_0 = b_0 a_0 - p_0 c_0 a_1$ und $u_i = -b_i a_i - p_i c_i a_{i+1} - d_i a_0$.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

„Nach uns die Sintflut!" Was tun, wenn eine Generation durchdreht? Kommt sie immer straflos davon? „Wo kein Kläger, da kein Richter!" Oder können wir **intergenerationelle Schutzmechanismen** entwickeln für den Erhalt der Umwelt und die Rechte zukünftiger Generationen?

Wir haben die Erde nicht von unseren Eltern geerbt,
sondern von unseren Kindern nur geliehen.

Der Autor dieses Sinnspruchs ist unbekannt. Eine frühe Verwendung geht zurück auf Moses Henry Cass, 1974 Autraliens Umweltminister:

We have not inherited this earth from our parents to do with it what we will.
We have borrowed it from our children and we must be careful
to use it in their interests as well as our own.

Die **Generationengerechtigkeit** leidet an ihrer inhärenten Asymmetrie: Zukünftige Generationen können ihre Interessen aktuell nicht vertreten. Gewaltenteilung beruht prinzipiell auf **Checks and Balances**, und diese erfordern gleichzeitige Existenz, Kommunikation und Einflussnahme.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Wir, die aktuelle Generation G_0, sind jetzt verantwortlich für diese Welt. Wenn unser Handeln sich in Generation G_n niederschlägt, kann sie sich nicht wehren: Wir sind lange tot, alle Appelle und Anklagen sind nutzlos. Heute sind wir zwar noch lebendig und belangbar, doch Generation G_n lebt noch nicht und kann uns daher nicht zur Verantwortung ziehen.

Nur Sie, die direkt nachfolgende Generation G_1, könnten uns belangen. Sie stehen also vor Ihrer Entscheidung: schweigen oder anklagen? Sie können unser Verschulden nicht mehr heilen, nur noch ertragen. Anklage kostet Sie Ressourcen: Zeit, Energie, Mühe, Überwindung. Rational würden Sie also die Situation zähneknirschend akzeptieren. Sie werden sich beruhigend einreden, es sei noch nicht so schlimm. Wir, G_0, kommen straflos davon. „Wo kein Kläger, da kein Richter."

Was werden später Ihre Kinder, die Generation G_2 tun? Sie können uns, die Großeltern G_0 und eigentlichen Verursacher, nicht mehr belangen. Generation G_2 kann nur Sie, die eigene Elterngeneration G_1, anklagen. Werden Ihre Kinder das tun? Vermutlich nicht. Sie werden schweigen, so wie Sie geschwiegen haben. So geht es Generation um Generation.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Ist diese Entwicklung unausweichlich? Oder gibt es Alternativen?

Nachhaltigkeit bedeutet die Nutzung und Bewahrung von Ressourcen; sie garantiert die Stabilität und die natürliche Regenerationsfähigkeit. Derzeit verbraucht Deutschland das Dreifache der Reproduktion!

Die **Ethnologie** untersucht hierzu traditionell-nachhaltiges Wirtschaften in indigenen Kulturen. Ein typisches Muster: Stabile Systeme verfügen über stabilisierende Mechanismen durch ethisch-moralische Prinzipien. Diese sind meist nicht rational, sondern animistisch-religiös begründet durch Mythen, Rituale, Tabus, etc. Das erschwert die Übertragung auf unsere aktuelle Gesellschaft. Ist hier Rationalität überhaupt möglich?

Hierzu untersuchen wir die Situation spieltheoretisch. Das obige Modell ist wie immer beschämend simpel, aber es illustriert doch das Prinzip.

Selbstverständlich können Fehlentscheidungen nicht gänzlich verhindert werden. Aber wir suchen ein ausgewogenes System von *Checks and Balances*, das **erkennbare Fehlentscheidungen** angreifbar macht: Sie können angeklagt werden, ja sie müssen angeklagt werden!

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Aufgabe: Was sind hier Gleichgewichte? Ist Nachhaltigkeit rational? Können Sie ein System von **Checks and Balances** implementieren?

We will have to repent in this generation not merely for the vitriolic words and the violent actions of the bad people, but for the appalling silence and indifference of the good people.
(Martin Luther King, 1929–1968)

Gesetz zur Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen (GzG):

§0: Jede Generation muss nach ihrem bestem Wissen und Gewissen die berechtigten Interessen aller zukünftigen Generationen wahren.

§1: Jede Generation muss §0 von ihren Eltern einfordern.

§2: Jede Generation muss §1 von ihren Eltern einfordern.

§3: Jede Generation muss §2 von ihren Eltern einfordern.

usw… Jede Generation muss diese Prinzipien strengstens einhalten, Forderungen unverzüglich einklagen und jede Säumnis bestrafen.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Lösung: Wann kann sich Nachhaltigkeit individuell lohnen?

(0) Gilt $p_n c_n < b_n$ für ein $n \geq 1$, so ist $a_n = 0$ strikt dominant für G_n, und per Rückwärtsinduktion folgt $a_i = 0$ für $i = 1, \dots, n$ und $a_0 = 1$.

(1) Gilt $p_i c_i > b_i$ für alle $i \geq 1$, dann bilden nachhaltiges Verhalten und strenge Kontrolle ein weiteres mögliches Gleichgewicht.

Wie kann das funktionieren? Wird Information von der Zukunft in die Gegenwart übertragen? Nein, natürlich nicht! Aber die gegenwärtige Information wird generationenübergreifend bewertet und vertreten.

Kurz gesagt: Das Anklagerecht wird zur Anklagepflicht aufgewertet. Auch diese Pflicht muss überwacht werden, und das Anklagerecht hierzu zur Anklagepflicht aufgewertet werden, usw. Das erklärt die spezielle rekursive Form des oben skizzierten Gesetzes (GzG).

Die gesamte Konstruktion ist subtil und nicht einfach realisierbar. Aber seien wir ehrlich: Wer erwartet denn hier einfache Lösungen? Die Sachlage ist so verzwickt, dass wir erstaunt und glücklich sind, wenn sich überhaupt Lösungen abzeichnen. Denken hilft!

Nachhaltigkeit als spieltheoretisches Modell

Das Modell erklärt nicht explizit, was **Generationengerechtigkeit** ist, es zeigt lediglich, wie **Kontrollmechanismen** implementiert werden. Das ist generationenübergreifend keineswegs trivial, wie wir wissen.

Unser Modell ist ein einfaches Beispiel von **Mechanismendesign** (engl. *mechanism design*). Das Ziel ist die Schaffung eines Rahmens (als Spiel, Anreiz, Gesetz, etc.), der gewünschtes Verhalten ermöglicht, fördert oder gar erzwingt. Die individuelle Entscheidungsfreiheit kann / soll / darf nicht direkt eingeschränkt werden, allein der Rahmen wird so gestaltet, dass rationale Spieler das gewünschte Verhalten wählen.

Die Spieltheorie ist daher logische Grundlage für jeden **Gesetzgeber**, oder allgemein für jede Gestaltung von Regeln des Zusammenlebens.

Unsere Modelle sind simpel, aber die Fragen sind ernst. Seit Jahren wird darüber gestritten, in welchem Umfang die menschliche Aktivität das Klima beeinflusst oder gar eine Klimakatastrophe auslösen kann. Das ist nicht nur eine wissenschaftliche, sondern eine politische Frage. Daher müssen auch soziale Regeln und Kontrollen bedacht werden.

Nachhaltigkeit als spieltheoretisches Modell

Unser Modell versucht, Nachhaltigkeit mit Rationalität zu vereinen. Wem das zu theoretisch ist, der fragt nach praktischen Anwendungen: Lassen sich solche Prinzipien wirklich nutzen oder schon beobachten?

Die **Ethnologie** untersucht hierzu traditionell-nachhaltiges Wirtschaften in indigenen Kulturen. Rekordhalter sind die Ureinwohner Australiens (Aborigines) mit etwa 40 000 Jahren erfolgreicher Anpassung.

Manche Ethnologen interpretieren **Mythen und Riten** derart, dass sie genau diese stabilisierende Aufgabe erfüllen und den Gemeinschaften ermöglichen, sich Umweltveränderungen so weit wie nötig anzupassen und zugleich ihr Ökosystem so wenig wie möglich zu belasten.

Negativbeispiele sind (soweit wir es verstehen) die Bewohner der Osterinseln, die zwischen 1300 und 1700 n.Chr. durch systematische Abholzung ihre eigenen Lebensgrundlagen zerstörten. Gleiches gilt (vermutlich) für den Untergang der Maya-Kultur zwischen 750 und 950 n.Chr. durch natürliche und anthropogene Klimaveränderungen. Nochmal: Unsere Modelle sind simpel, aber die Fragen sind ernst.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Aufgabe: (0) Formulieren Sie dies als Spiel $u : \prod_{i\in\mathbb{N}} S_i \to \mathbb{R}^{\mathbb{N}}$.
(1) Ist Raubbau $(b_0, -d_1, -d_2, \dots)$ eine Gleichgewichtsauszahlung?
(2) Ist Nachhaltigkeit $(0, 0, 0, \dots)$ eine Gleichgewichtsauszahlung?
(3) Wenn sich $G_0, \dots, G_n$ gegen alle nachfolgenden verbünden?

Lösung: (0) Die Konfliktsituation wurde vollständig als Spiel formalisiert.
Hierbei gilt $u_0 = b_0 a_0 - p_0 c_0 a_1$ und $u_i = -b_i a_i - p_i c_i a_{i+1} - d_i a_0$.
Dies entnehmen wir der Graphik mit den Konstanten $b_i, c_i, d_i \in \mathbb{R}_{>0}$.

Generation G_i hat die Strategiemenge $S_i = \{\, s_i : \{0,1\}^i \to \{0,1\} \,\}$.
Beispiel: Die konstante Abbildung $s_i = 0$ bedeutet „immer schweigen".
Rekursiv erhalten wir die Aktion $a_i = s_i(a_0, a_1, \dots, a_{i-1})$ für jedes $i \in \mathbb{N}$.

(1) Der Strategievektor $s = (1, 0, 0, 0, \dots)$ führt zu den Aktionen
$a = (1, 0, 0, 0, \dots)$ und den Auszahlungen $u = (b_0, -d_1, -d_2, -d_3, \dots)$.

Dieser Strategievektor s ist tatsächlich ein Nash–Gleichgewicht.
Keiner der Akteure G_i kann sich aus eigener Kraft verbessern.

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Für die Modellparameter setzen wir $0 < b_i < p_i c_i$ voraus für alle $i \ge 1$.
Der angerichtete Schaden $d_i > 0$ spielt im Folgenden keine Rolle.

(2) Jede Generation G_i prüft §0–§∞ GzG, bis §$(i-1)$ genügt: Hat ihre Elterngeneration G_{i-1} die Rechte zukünftiger Generationen gewahrt?

Falls ja, so schweigt sie: $a_i = 0$. Falls nein, so klagt sie an: $a_i = 1$.
Formel $s_i : \{0,1\}^i \to \{0,1\} : (a_0, \dots, a_{i-1}) \mapsto a_0 + \dots + a_{i-1} \bmod 2$.

Dieser spezielle Strategievektor $s = (s_0, s_1, s_2, s_3, \dots)$ führt zu den Aktionen $a = (0, 0, 0, 0, \dots)$ und den Auszahlungen $u = (0, 0, 0, 0, \dots)$.

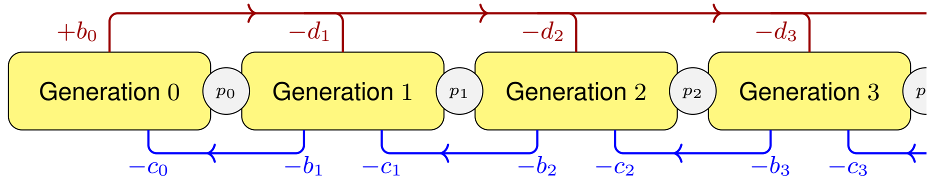
Dieser Strategievektor s ist tatsächlich ein Nash–Gleichgewicht.

(3) Das gilt selbst, wenn sich $G_0, G_1, \dots, G_n$ verbünden sollten.
Rückwärtsinduktion: Schließlich wird G_n einlenken müssen.
Daher lenken vorsorglich auch $G_{n-1}, G_{n-2}, \dots, G_0$ ein.

⚠ Wir haben hier starke Voraussetzungen, insbesondere Kenntnis der gesamten Vergangenheit und so umfangreiche Strategiemöglichkeiten.

Nachhaltigkeit als spieltheoretisches Modell

Zusammenfassung unserer Ergebnisse zum Nachhaltigkeitsmodell:



Satz 3A (Gleichgewichte im Nachhaltigkeitsmodell)

Die Generationen $(G_i)_{i\in\mathbb{N}}$ interagieren wie oben erklärt.

(0) Raubbau $s_0 = 1$ und Schweigen $s_i = 0$ für alle $i \ge 1$ bilden ein Gleichgewicht dieses Spiels. (Das ist traurig aber wahr.)

(1) Gilt $p_n c_n < b_n$ für ein $n \ge 1$, so ist $a_n = 0$ strikt dominant für G_n, und per Rückwärtsinduktion folgt $a_i = 0$ für $i = 1, 2, \dots, n$ und $a_0 = 1$.

(2) Gilt $p_i c_i > b_i$ für alle $i \ge 1$, dann bilden nachhaltiges Verhalten und strenge Kontrolle ein Gleichgewicht. Als Formel ausgeschrieben:

$$s_i \;:\; \{0,1\}^i \to \{0,1\} \;:\; (a_0, \dots, a_{i-1}) \mapsto a_0 + \dots + a_{i-1} \bmod 2$$

Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen

Dieses Modell vereinfacht jede Generation G_i zu einem einzigen Akteur. Übertragen auf die Menschheit ist das recht unrealistisch: Einerseits ist diese Einteilung willkürlich. Andererseits gibt es Divergenzen innerhalb jeder Generation. Damit wird auch die Schuldfrage juristisch schwierig:

Wer sind hier die handelnden (juristischen) Personen? Zählt nur die Individualschuld? Was bedeutet Kollektivschuld? Diese Fragen erfordern Überzeugung und Entschlossenheit. Daran wird es wohl scheitern.

Die gesamte Konstruktion ist subtil und nicht einfach realisierbar. Aber seien wir ehrlich: Wer erwartet denn hier einfache Lösungen? Die Sachlage ist so verzwickt, dass wir erstaunt und glücklich sind, wenn sich überhaupt Lösungen abzeichnen. Denken hilft!

Alternative: Schlägt hier der **großе Filter** zu? (engl. *the great filter*) Das Universum ist groß, doch wir kennen bislang keine Zivilisationen außer unserer. Daher dürfen wir spekulieren: warum? Ist das Zufall oder Notwendigkeit? Zerbrechen Zivilisationen systematisch an ihrem Erfolg?

Egonomics nach Thomas Schelling

Das **Rentenmodell** zur Altersversorgung ist raffiniert aber noch leicht. Unser **Nachhaltigkeitsmodell** zur Wahrung der Rechte zukünftiger Generationen ist naturgemäß etwas schwieriger, sowohl im logischen Aufbau als auch in der praktischen Umsetzung. Die Frage ist überaus wichtig: Unsere Verantwortung ist groß, doch unsere Erfahrung gering.

Wenn Ihnen das zu anwendungsfern ist: Betrachten Sie doch einmal Ihr eigenes Leben als Aneinandereihung von Generationen Ihres Ichs.

Viele Menschen kennen solche **Selbst-Konflikte**: Einerseits möchte ich heute Eis / Schokolade / Chips / Nachtisch essen. Andererseits werde ich mich morgen dafür verfluchen, denn ich will eigentlich abnehmen.

Ähnlich ist es mit der Entscheidung, Geld auszugeben oder zu sparen. Mancher zwingt sich durch Sparpläne zu einem langfristigen Handeln. Genauer gesagt: Sein heutiges Ich zwingt sein zukünftiges Ich dazu.

Diese Idee geht zurück auf Thomas Schelling: *Egonomics, or the art of self-management*, American Economic Review 68 (1978) 290–294. Ihr „gegenwärtiges Ich“ spielt gegen Ihr „zukünftiges Ich“.

Egonomics nach Thomas Schelling

Das Studentenleben ist geprägt von **Freiheiten und Entscheidungen**. Die Übungen / Hausarbeit / Klausurvorbereitung rechtzeitig anfangen oder doch lieber auf morgen verschieben und heute zur Party gehen?

Prokrastination (Aufschieberitis) zeichnet sich durch extremes Vertagen bzw. häufiges Unterbrechen unangenehmer Arbeiten aus. Es verursacht meist starken Leidensdruck. Mancher setzt sich daher selbst Deadlines.

Weitere Selbst-Konflikte sind zum Beispiel die Lust zu rauchen gegen den Wunsch gesund zu bleiben: Mancher vermeidet, Zigaretten auf Vorrat zu kaufen, um dem zukünftigen Ich den Zugang zu erschweren.

Allgemein führt Suchtverhalten zu extremen Selbst-Konflikten dieser Art. Aber auch simple Angewohnheiten folgen oft einem ähnlichen Muster: angenehmes lieber sofort, unangenehmes lieber später. Ist das rational?

Ein mögliches Mittel ist **Selbstbindung**. Ein Beispiel für Sportmuffel ist die Jahresmitgliedschaft im Fitnessstudio oder ein Vertrag mit einem Personal Trainer: Es war teuer, also muss ich jetzt Sport machen. Auch Studiengebühren können diesen positiven Effekt zeitigen.

Egonomics nach Thomas Schelling

Bildquelle: wikimedia.org

Odysseus und die Sirenen, attische Vasenmalerei, ca. 480–470 v.Chr.

Egonomics nach Thomas Schelling

Das klassische Beispiel einer Selbstbindung, im ganz wörtlichen Sinne, ist Odysseus, der sich an den Mast binden lässt, um dem betörenden Gesang der Sirenen lauschen und ihnen doch widerstehen zu können.

Homers *Odyssee* (8.Jh.v.Chr.) erzählt wortgewaltig von Irrfahrten und Abenteuern des Odysseus, darunter seine Begegnung mit den Sirenen. „Dieses sind sangreiche Nymphen, die jedermann bezaubern, der auf ihr Lied horcht. [. . .] Ich aber gedachte an das Wort, das Circe, die mir dieses Alles voraussagte, gesprochen hatte. [. . .] Das weiche Wachs strich ich sodann meinen Reisegenossen in die Ohren. Sie aber banden mich auf mein Geheiß aufrecht unten an den Mast; dann setzten sie sich wieder an die Ruder und trieben das Fahrzeug getrost vorwärts. [. . .] Erst als wir glücklich vorübergesteuert und ganz aus dem Bereich der Sirenenstimmen waren, nahmen meine Freunde sich selbst das Wachs aus den Ohren, und mir lösten sie die Fesseln wieder. Ich aber dankte ihnen herzlich für ihre Beharrlichkeit.“ (Zitiert aus Gustav Schwab, *Die schönsten Sagen des klassischen Altertums*, Band 3, Stuttgart 1840, `www.deutschestextarchiv.de/schwab_sagen03_1840?p=182`)

Das berühmte **Marshmallow-Experiment** wurde von Walter Mischel in den Jahren 1968 bis 1974 in Stanford durchgeführt. Vierjährige Kinder mussten wählen zwischen einem Marshmallow sofort oder zwei in etwa 15 Minuten, also kleine sofortige Belohnung gegen größere später.

Kinder, die länger warten konnten, waren statistisch gesehen auch später als Erwachsene kontrollierter, zudem beruflich erfolgreicher, sie waren seltener übergewichtig und wurden seltener drogensüchtig.

W. Mischel, Y. Shoda, M.L. Rodriguez: *Delay of gratification in children.* Science 244 (1989) 933–938. Dieser und weitere Artikel sind online verfügbar unter `bingschool.stanford.edu/research/publications`.

Wohl kaum ein Experiment der Psychologie ist so bekannt wie dieses. Die faszinierende Geschichte wird wunderbar erzählt von Jonah Lehrer: *DON'T! The secret of self-control*, in The New Yorker vom 18. Mai 2009, online verfügbar `www.newyorker.com/magazine/2009/05/18/dont-2`.

Wie jedes Experiment sollten wir auch dieses kritisch betrachten; da es besonders berühmt ist, nenne ich einige Warnungen und Hinweise.

Die Versuchsgruppe war klein und selektiv: Sie bestand aus Kindern der Bing Nursery School an der Stanford University, und die meisten hatten dementsprechend gut ausgebildete Eltern. Solche sozialen Faktoren beeinflussen das Verhalten. Es ist daher denkbar, dass hier gefundende Zusammenhänge wenig repräsentativ für die Gesamtbevölkerung sind.

In der Längsstudie der Folgejahre konnten erwartungsgemäß immer weniger Studienteilnehmer erreicht und befragt werden, was die Fallzahl weiter verringerte und statistisch verlässliche Aussagen erschwerte.

Eine kritische Studie finden Sie in T.W. Watts, G.J. Duncan, H. Quan: *Revisiting the Marshmallow Test*, Psychological Science (2018) 1–19, `journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0956797618761661`.
Auch diese neue Studie sollten wir kritisch abwägen.

Belohnungsaufschub (*deferred gratification*) erfordert Selbstdisziplin und Impulskontrolle. Dies ist notwendig für langfristiges planvolles Handeln und ein wichtiger Aspekt der Selbstkontrolle.

Konrad Adenauer wird (sinngemäß) folgender Ausruf zugeschrieben:

Was interessiert mich mein Geschwätz von gestern?

Im Sinne von Gratifikationsaufschub vs sofortiger Belohnung oder Selbstkontrolle vs Prokrastination formulieren wir die Umkehrung:

Was interessiert mich mein Gejammer von morgen?

Wir müssen in spieltheoretischen Modellen die zeitliche Struktur noch wesentlich genauer untersuchen, indem wir dynamische Spiele erklären. Die Lösungskonzepte werden ausgehend von Nash–Gleichgewichten noch weiter verfeinert, etwa zu teilspielperfekten Gleichgewichten.

Das Leben ist, soweit ich es sagen kann, ein fragiles Gleichgewicht von **Konsum und Investition**. Das trifft insbesondere auf ein Studium zu:

Sie investieren lange Jahre in Ihre Ausbildung. Da ist viel schönes dabei, das kann als sofortige Belohnung dienen, aber auch viel harte Arbeit, die Sie vielleicht gerne vermeiden oder zumindest aufschieben möchten.

Natürlich lohnt sich ein Studium, sowohl kurz- als auch mittel- und langfristig, aber es erfordert doch ein hohes Maß an Selbstdisziplin.

Vielleicht ist Ihr Studium ja eine Art Marshmellow-Experiment, bei dem Sie unter Beweis stellen, wie viel Selbstdisziplin Sie aufbringen können. Tatsächlich ist es – über die eigentlichen Inhalte, speziellen Fähigkeiten und allerlei Kompetenzen hinaus – ganz allgemein ein **guter Prädiktor**:

Wer erfolgreich Mathematik studiert hat, den haut so schnell nichts um. Sie beweisen damit neben mathematischen Fähigkeiten ein hohes Maß an Selbstdisziplin, Frustrationstoleranz und Durchhaltevermögen.

🙂 Ganz nebenbei lernen Sie auch noch, mathematische Methoden selbstständig, sicher, kritisch, korrekt und kreativ anzuwenden.

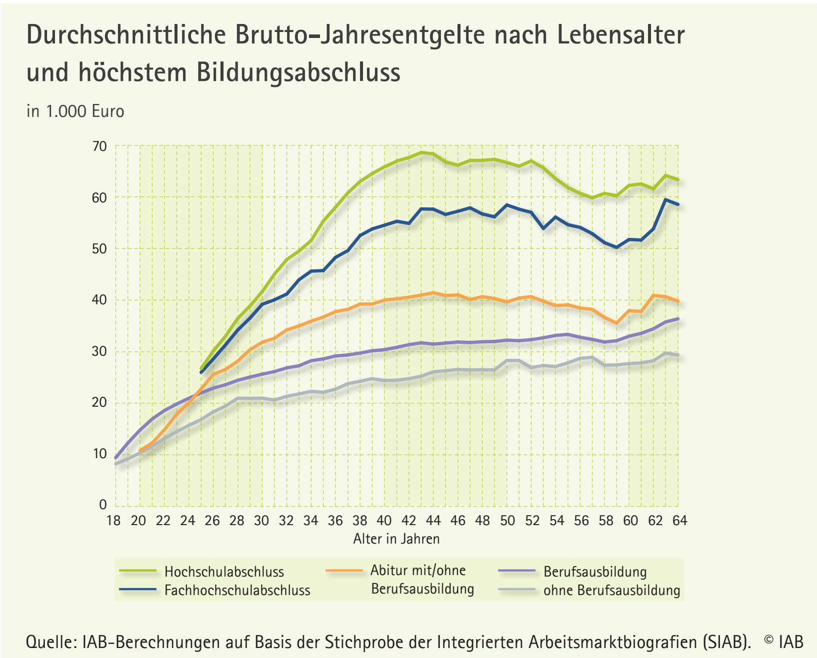
Lohnt sich die Büffelei? (FAZ, Studenten-Spezial, 20.05.2015)

Lohnt sich die Büffelei? (FAZ, Studenten-Spezial, 20.05.2015)

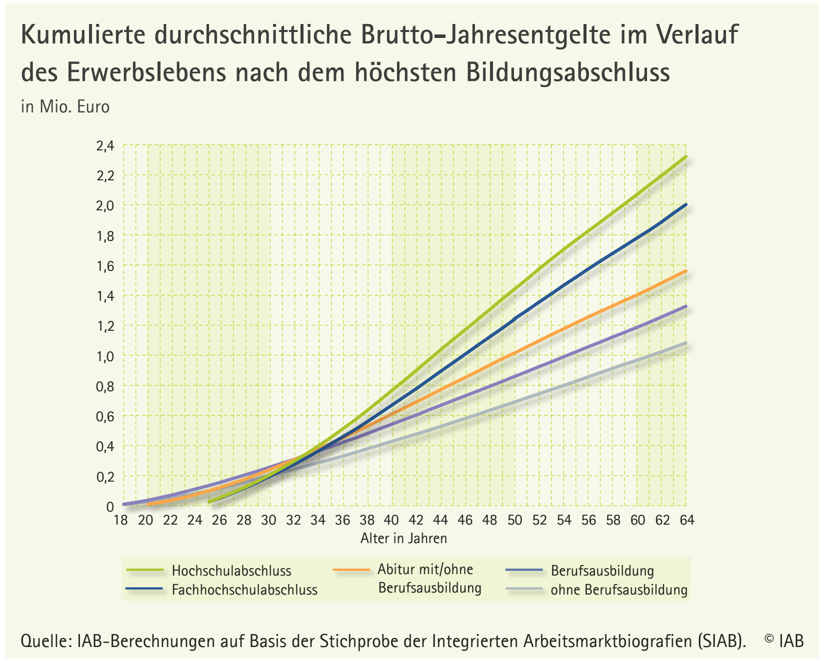
„Studium oder Ausbildung — wer vor dieser Wahl steht, macht folgende Rechnung auf: Eine Lehre ist der erste Schritt in Richtung finanzieller Unabhängigkeit. Zwar ist die Vergütung nicht opulent, doch in Kombination mit Hotel Mama winkt ein bescheidener Luxus. Und nach zwei oder drei Jahren lässt sich mit dem Abschluss in der Tasche richtig Geld verdienen.

Anders beim Studium: Wer nach akademischen Weihen strebt, muss erst einmal investieren. Wenn ein Umzug nötig ist, kann Bildung richtig teuer werden. Bis der Hochschulabsolvent sein erstes Geld verdient, hat die Fachkraft oft schon die ersten Stufen auf der Karriere- und Gehaltsleiter genommen. Lässt sich das im Laufe eines Berufslebens noch aufholen?“

Die folgenden Daten und Graphiken (Stand 2014) stammen vom Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit, online verfügbar unter `doku.iab.de/kurzber/2014/kb0114.pdf`. Gruppiert nach Bildungsabschluss zeigen sie die Entgelte jetziger Arbeitnehmer, die in den letzten 40 Jahren ihre Abschlüsse erwarben.



www.iab.de/194/section.aspx/Publikation/k140121301



www.iab.de/194/section.aspx/Publikation/k140121301