Betrug und Vergeltung
Analyse und Experimente zur Lösung des Gefangenendilemmas

Timm Grams, Fulda, http://www.hs-fulda.de/~grams, 25.03.2009

Zusammenfassung. Untersucht wird eine Modellwelt, in der die Individuen nach den Regeln des Gefangenendilemmas interagieren, und die nur von lupenreinen Betrügern und Vergeltern besiedelt ist. Vergelter betrügen niemals von sich aus. In diesem Sinne sind sie kooperativ. Aber sie zahlen jeden Betrug unbefristet heim – ganz im alttestamentarischen Sinn. Die Bedingungen, unter denen sich kooperatives Verhalten durchsetzt, decken einen weiten Bereich ab. Dürfen beispielsweise Gewinne aus den Begegnungen nicht akkumuliert werden, ist also die Fitness der Individuen nur vom Ergebnis des letzten Treffens abhängig, sind die Kooperationswilligen grundsätzlich im Vorteil. Selbst wenn sie anfangs in der Minderheit sind, genügen ein paar wenige gleich gesinnte Nachbarn, um erfolgreiche Kolonien der Kooperation zu bilden, die schließlich die Welt (fast) vollständig besiedeln. Wenn Akkumulation erlaubt ist, hängt das Ergebnis vor allem von der Häufigkeit ab, mit der ein Wesen auf ein bestimmtes anderes trifft. Bei hoher Begegnungshäufigkeit obsiegt auch in diesem Fall meistens die Kooperation. Eine hohe Begegnungshäufigkeit wird erreicht 1. durch die Begrenzung der Interaktionen auf enge Nachbarn und 2. durch eine große Lebenserwartung auch derjenigen Wesen, die mit nur geringer Fitness ausgestattet sind.

Einleitung

Ist Kooperation in einer Welt voller Egoisten möglich? Im Prinzip ja. Das haben die berühmten Computerturniere von Robert Axelrod (1984) gezeigt. Im Anschluss daran sind aber neue Fragen aufgetaucht: Es mag zwar sein, dass bereits etablierte Kooperation unter bestimmten Bedingungen erhalten bleibt und sogar dominant werden kann. Aber kann Kooperation auch entstehen? Haben kooperative Minderheiten eine Chance? Zu klären bleibt, was genau die Bedingungen sind, unter denen Kooperation entstehen kann und letztlich siegreich ist.

Schauen wir uns die Modellwelt, die hinter den Turnieren steckt, genauer an. In dieser Welt treffen die Individuen rein zufällig aufeinander. Sie kennen nur Kooperation und Defektion (Betrug). Kooperiert ein solches Paar, mögen beide mit je zwei Punkten belohnt werden. Betrügen sie sich, gehen beide leer aus und erhalten jeweils null Punkte. Betrügt einer und der andere versucht zu kooperieren, dann streicht der Betrüger vier Punkte ein und der Kooperationswillige muss einen Punkt abgeben. Das ist ein Interaktionsschema nach Art des *Gefangenendilemmas*. Die Spielmatrix fasst das Schema zusammen:

		Aktion des Gegenübers	
		K	D
Nutzen der Aktion	K	2	-1
	D	4	0

Wesentliche Merkmale des Gefangenendilemmas sind: 1. Defektion ist immer günstiger als Kooperation, unabhängig davon, was das Gegenüber macht: KD<DD und KK<DK. 2. Wenn man den Gewinn beider Kontrahenten addiert, ist beidseitige Kooperation (KK) günstiger als unterschiedliches Verhalten (KD oder DK); und dieses wiederum ist günstiger als beidseitige Defektion (DD): 2·DD<DK+KD<2·KK

Damit haben wir das Dilemma: Das Glück des Einzelnen wird durch Betrug gefördert. Das *Greatest Happiness Principle* (John Stuart Mill, 1863, und andere Utilitaristen), das ja nicht nur das Glück eines Einzigen im Blick hat, sondern das Glück aller, verlangt Kooperation. Letztlich fahren Utilitaristen besser als krasse Egoisten. Aber Betrug bleibt verlockend. Wie dem widerstehen?

Das Dilemma lässt sich lösen. Dazu brauchen die Individuen noch nicht einmal Gemeinsinn. Es reicht, wenn sie über den Tag hinaus denken und wenn sie sich an frühere Begegnungen erinnern können. „Über den Tag hinaus denken" heißt, einen Plan zu haben oder eine Strategie. Kurz: Die Wesen machen ihre Entscheidungen von den Erfahrungen abhängig. Nach wie vor handeln sie ausschließlich zum eigenen Vorteil. Sie bleiben Egoisten.

Und diese Egoisten mit ihren Strategien treten in der Modellwelt gegeneinander an. Jedes Individuum trifft immer wieder rein zufällig auf andere Wesen dieser Welt. Und in jeder dieser Begegnungen macht es Gewinn oder Verlust gemäß der Gewinnmatrix. Dieser Gewinn geht in seine Lebenskraft oder Fitness ein. Übersteigt die Fitness eines Wesens im Mittel die seiner Nachbarn, kann es Nachkommen haben. An diese vererbt es seine Strategie. Liegt die Fitness unterhalb des Mittelwerts, gibt es keine Nachkommen und das Wesen stirbt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit.

Nur zwei Strategien sollen hier untersucht werden. In der Modellwelt gibt es

1. den lupenreinen Betrüger (iB), der von der Erfahrung unbeeindruckt immer defektiert und
2. den Vergelter (iV), der nach alttestamentarischer Sitte zurückschlägt, der aber von sich aus nie mit dem Betrug beginnt.

Wurde der Vergelter von einem Gegenüber einmal betrogen, endet seine anfängliche Kooperationsbereitschaft und er wechselt diesem Betrüger gegenüber auf immerwährende Defektion[1].

Die Kooperation setzt sich genau dann durch, wenn die Vergelter die Betrüger verdrängen. Es sind die Bedingungen zu formulieren, unter denen das der Fall ist. Insbesondere geht es um die folgenden Einflüsse:

1. Umfang der Nachbarschaft, aus der ein Gegenüber kommen kann
2. Mehr oder weniger starke Akkumulation von Gewinnen
3. Lebenserwartung der „minderbemittelten" Individuen
4. Anfangsverteilung der Strategien

Analytische Modellierung des Verhaltens von Basischarakteren

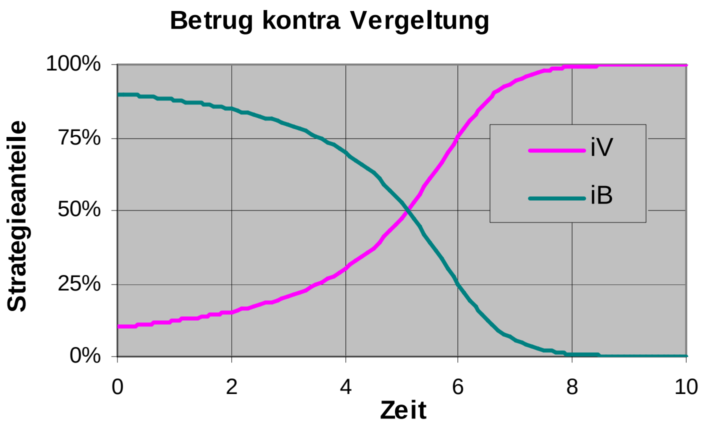
Die analytische Ermittlung des Überlebenserfolgs gelingt nur für Sonder- und Grenzfälle. Eine Möglichkeit ist, von einer langen Lebensdauer auszugehen und mit dem Gewinn zu rechnen, den die Individuen im Mittel und auf „auf lange Sicht gesehen" machen. Das ist der Standpunkt, der bei der Umweltsimulation mit Tabellenkalkulation eingenommen wird. Wenn nur iV- und iB-Strategen im Spiel sind, ergibt sich eine Spielmatrix mit leicht voraussehbaren Konsequenzen.

Gewinn für den Zeilenspieler	iV	iB
iV	2	0
iB	0	0

Diese Gewinnmatrix wird der ökologischen Simulation zugrunde gelegt. Wie groß auch immer der anfängliche Anteil der Betrüger an der Gesamtpopulation ist: Da nur die iV-Population wächst, und zwar exponentiell, setzt sie sich gegenüber der stagnierenden iB-Population jedenfalls durch.

---

[1] Würde man anstelle des Vergelters die vieldiskutierte Wie-du-mir-so-ich-dir-Strategie (Tit for Tat) setzen, ergäbe sich kein anderes Bild. Die Versöhnlichkeit, die Tit for Tat auszeichnet, spielt hier keine Rolle, denn der Betrüger lässt Versöhnung nicht zu. Die folgende Analyse ändert sich nicht, wenn man die Vergelter durch Tit-for-Tat-Strategen ersetzt und überall TfT anstelle von iV einsetzt.



Der Auf-lange-Sicht-gesehen-Trick wird in der Simulation gern angewendet. Dadurch wird manches Problem überhaupt erst behandelbar. Die „lange Sicht“ mag für Modellierung bequem sein, aber dem Untersuchungsgegenstand ist sie zuweilen nicht angemessen. Das meint John Maynard Keynes, wenn er sagt: „In the long run we are all dead“ (1923).

In unserem Beispiel wird einfach der Gewinn unterschlagen, den ein Betrüger beim ersten Zusammentreffen mit einem Vergelter macht. Ebenso gehen die Anfangsverluste, die Betrüger den Vergeltern zufügen, in die Rechnung nicht ein. Um Keynes’ Bild wieder aufzunehmen: Wir sehen nur die geglätteten Wogen, nachdem der Sturm sich längst gelegt hat.

Begegnungswahrscheinlichkeit und Lebensspanne

Nun sollen die Anfangseffekte untersucht werden. Dazu müssen wir wissen, wie oft ein Individuum im Rahmen seiner Spielrunden auf ein bestimmtes anderes Wesen trifft. In einer sehr großen Welt mit sehr vielen Individuen kommen wiederholte Treffen fast nie vor. Es gibt immer nur Anfangsbegegnungen mit dem für die Kooperativen verheerenden Ausgang.

Wenn die Vergelter überhaupt eine Chance haben sollen, muss die Zahl der möglichen Kontrahenten beschränkt werden. Das wird mit dem Umgebungskonzept erreicht: Jedem Individuum ist eine Umgebung zugeordnet. Sie besteht aus einer bestimmten Anzahl u von Feldern für Individuen. Jedes Feld kann leer sein oder von einem Wesen besetzt sein. Jedes Individuum trifft grundsätzlich nur mit Wesen aus seiner Umgebung zusammen.

Umgebungen sind in folgendem Sinne symmetrisch und reflexiv: Seien A und B zwei beliebige Wesen der Modellwelt. Wenn das Wesen B aus der Umgebung von A ist, dann ist A auch in der Umgebung von B enthalten. Jedes Wesen ist in seiner eigenen Umgebung enthalten.

Für ein bestimmtes Individuum A soll ermittelt werden, welchen Gewinn es aufgrund der Begegnungen mit dem Individuum B aus seiner Umgebung macht. Die Umgebung A möge insgesamt v Individuen enthalten. Da die Umgebung wenigstens die Wesen A und B enthält, ist $2 \le v \le u$. Es gibt $v(v\text{-}1)/2$ mögliche (reihenfolgeunabhängige) Paarungen. In v-1 Paarungen ist das Individuum A beteiligt. Und in genau einer davon treffen A und B zusammen. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass A ausgerechnet auf B trifft ist also gleich $p=1/(v\text{-}1)$. Diese Wahrscheinlichkeit ist gleich $1/(u\text{-}1)$, wenn alle Felder der Umgebung von A mit Individuen besetzt sind, und gleich 1, wenn A und B allein auf weiter Flur sind. Insgesamt gilt für die (*bedingte*) *Begegnungswahrscheinlichkeit p:*

$$\frac{1}{u-1} \le p \le 1 .$$

Beispiel: Sei die Welt schachbrettartig strukturiert. Jedes Feld kann von einem Wesen besetzt sein. Unter einer k-Umgebung eines bestimmten Feldes verstehen wir alle die Felder, die man mittels maximal k horizontaler und maximal k vertikaler Verschiebungen auf Nachbarfelder erreichen kann; k-Umgebungen bestehen also aus $u = (2k+1)\times(2k+1)$ Feldern. Bei einer 3-Umgebung ist $u = 49$ und p wenigstens gleich 0.021.

Wir gehen nun von einem Individuum A aus und wählen ein B aus der Umgebung von A. Uns interessiert, welchen Profit A im Laufe seines Lebens durch Treffen mit dem Individuum B erzielt. Dabei gehen wir der Einfachheit halber davon aus, dass sich in der Umgebung von A während seiner Lebensdauer keine Veränderungen ergeben und dass insbesondere B nicht verschwindet.

Minderbemittelte Wesen, also Wesen mit einer unterdurchschnittlichen Fitness, sind Todeskandidaten. Wir wollen für diese Analyse annehmen, dass diese Individuen nach jeder Begegnung, an der sie beteiligt sind, mit einer Sterbewahrscheinlichkeit d verschwinden. Sie erleben genau j Treffen mit der Wahrscheinlichkeit $d\cdot(1-d)^j$. Der Erwartungswert der Anzahl von Treffen, die ein Todeskandidat im Mittel erlebt ist gleich $E[j] = 1/d$.

Wir bezeichnen die Zahl Begegnungen, die ein Wesen hatte, bevor eine Entscheidung über Leben und Tod ansteht, mit N. Für die Beispielrechnung setzen wir diese Lebensspanne auf den Wert $N = 20$. Je geringer die Sterbewahrscheinlichkeit, desto größer werden tendenziell die Lebensspannen der Individuen. Was die Überlebenschancen eines Individuums angeht, kommt es auf die Fitness am Ende einer solchen Lebensspanne an.

Die Wahrscheinlichkeit, dass A innerhalb einer solchen Lebensspanne genau i mal auf das Individuum B aus seiner Umgebung trifft, ist gleich $p_i = \binom{N}{i} \cdot p^i \cdot (1-p)^{N-i}$. Interessant sind vor allem die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das andere Wesen nie getroffen wird und die Wahrscheinlichkeit dafür, dass es genau einmal beteiligt ist: $p_0 = (1-p)^N$ und $p_1 = N \cdot p \cdot (1-p)^{N-1}$. In unserem Fall und bei minimalem p ist p_0=0.65 und p_1=0.28.

Die (mittlere) *Begegnungshäufigkeit h* ist der Erwartungswert für die Anzahl der Treffen mit einem bestimmten anderen Individuum aus der Umgebung innerhalb der Lebensspanne. Sie ist gegeben durch $h = E[i] = \sum_{i=0}^{N} i \cdot p_i = N \cdot p$. In unserem Fall ist $h = 0.42$.

Für die Wahrscheinlichkeiten p_0 und p_1 werden die Näherungsformeln $p_0 \approx e^{-h}$ und $p_1 \approx h \cdot e^{-h}$ eingeführt (Approximation der Binomialverteilung durch die Poisson-Verteilung). Diese Näherungsformeln lassen sich für unsere Zwecke in einem weiten Wertebereich der Parameter N und p anwenden, unter anderem auch deshalb, weil es hier nur um qualitative Trendaussagen geht und nicht um möglichst genaue quantitative Analysen. Im gewählten Zahlenbeispiel sind die poissonschen Näherungswerte für p_0 und p_1 gleich 0.66 bzw. 0.28.

Analyse von Grenz- und Sonderfällen

Zwar ändert sich die Umgebung des Individuums fortwährend. Doch sei einmal angenommen, dass die Umgebung während der N Treffen unverändert bleibt.

Die Fitness oder Gewinne werden für zwei Extremfälle abgeschätzt: Einmal für den Fall, dass der Gewinn aus N Treffen akkumuliert wird. Die Erwartungswerte für den Gesamtgewinn aus den Treffen eines Individuums A, den es aus den Begegnungen mit einem Individuen B aus seiner Umgebung zieht, sind aus der folgenden Matrix zu ersehen:

Gewinn für Zeilenspieler (akkumuliert)	iV	iB
iV	$2 \cdot h = 0.84$	$-1 \cdot (1-p_0) = -0.34$
iB	$4 \cdot (1-p_0) = 1.375$	0

Jede Zeile entspricht einem Typ des Individuums A und jede Spalte steht für den Typ des Individuums B.

Für den anderen Fall, nämlich dass nur der Gewinn aus dem letzten Treffen zählt, sieht die Matrix so aus:

Gewinn für Zeilenspieler (zuletzt)	iV	iB
iV	$2h/N = 0.1$	$-1 \cdot p_1/N = -0.014$
iB	$4 \cdot p_1/N = 0.056$	0

Der Wert für den Fall, dass sowohl A als auch B iV-Strategen sind, ergibt sich aus der folgenden Überlegung: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass B im letzten Treffen als Gegenüber von A ausgewählt wird, ist gleich $p = h/N$. Daraus ergibt sich durch Multiplikation mit 2 der zu erwartende Gewinn aus dieser Paarung. Die anderen Einträge ergeben sich analog.

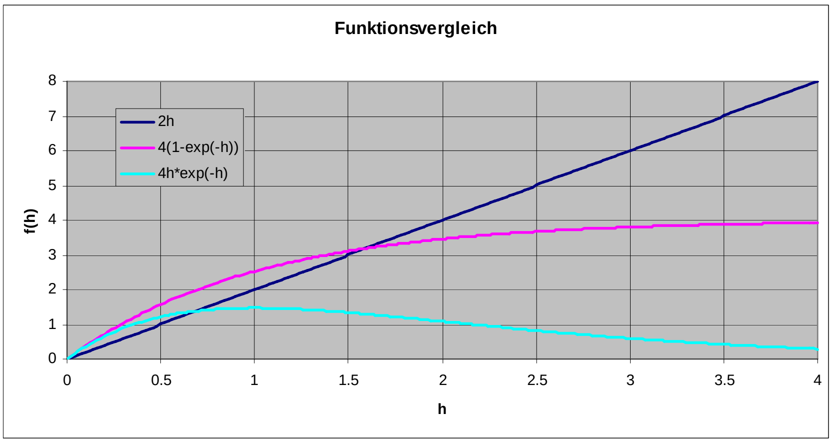
Sind die Charaktere in gleichen Anteilen vertreten, dann kann man den Zeilensummen ansehen, wer dem anderen überlegen ist.

Trendaussagen

Es werden die Näherungsformeln zugrunde gelegt. Die folgende Tabelle zeigt die Spielmatrizen für den Fall der Akkumulation von Gewinnen und für den Fall, dass nur der letzte Gewinn zählt.

Gewinn für Zeilenspieler	iV		iB	
	akkumuliert	zuletzt	akkumuliert	zuletzt
iV	$2 \cdot h$	$2h/N$	$-(1-e^{-h})$	$-h\,e^{-h}/N$
iB	$4 \cdot (1-e^{-h})$	$4 \cdot h\,e^{-h}/N$	0	0

Die Verläufe der in den Spielmatrizen auftretenden Funktionen zeigt die folgende Grafik.



Der kooperationsbereite iV-Stratege profitiert umso mehr von Seinesgleichen, je größer die Begegnungshäufigkeit ist. Auch der Gewinn, den iB von iV erhält, wächst mit h zunächst an. Anfangs liegt der Profit von iB über dem von iV. Ab $h = 1.6$ (im Fall der Akkumulation) bzw. ab $h = 0.7$ hat iV mehr von Seinesgleichen als iB.

Die Begegnungshäufigkeit h wächst mit N und mit p; und p ist umso größer, je kleiner die Umgebung ist. Auch eine Verringerung der Sterberate vergrößert den Vorteil für iV. Die Verluste durch iB halten sich für iV in Grenzen.

Trendaussage 0. Lange Lebensdauer (kleines d) und kleine Umgebung (kleines k) führen zu einer hohen Begegnungshäufigkeit h.

Trendaussage 1. In iB-dominierten Umgebungen ist iB grundsätzlich im Vorteil.

Trendaussage 2. Unter der Voraussetzung der Gewinnakkumulation und in einer iV-haltigen Umgebung zahlt sich eine hohe Begegnungshäufigkeit ($1.6<h$) für iV aus.

Trendaussage 3. Gewinnakkumulation wird vorausgesetzt. In Kolonien aus iB-Strategen führen einige wenige iV-Strategen zur Stärkung von iB-Strategen der unmittelbaren Nachbarschaft. Die gestärkten iB-Strategen lassen iB-Strategen ihrer Umgebung und letztlich auch die iV-Strategen verschwinden. Das führt zu Landschaften mit *ausgedünnter* iB-Besiedelung.

Trendaussage 4. Gewinnakkumulation wird vorausgesetzt. Treffen bei ausreichend großer Begegnungshäufigkeit ($1.6<h$) iB-Strategen mit ausreichend vielen iV-Strategen zusammen, dann siegen die iV-Strategen. Ist die Geburtenrate deutlich höher als die Sterberate ($b\approx 2d$), kommt es zur Kolonienbildung, also zu Landschaften mit *klumpenförmiger* iV-Besiedlung.

Ohne Gewinnakkumulation, also wenn nur der zuletzt getätigte Gewinn zählt, hängen die relativen Gewinne nicht von der „Lebensdauer“ N ab. Bei vorgegebenem N wird der Schaden für iV und der Nutzen für iB bei „gemischten Treffen“ im Wesentliche durch die Funktion $h \cdot e^{-h}$ bestimmt; sie ist für $h = 1$ maximal. Im Sinne von iV sollte der Wert dieser Funktion möglichst klein sein. Da andererseits der Nutzen, den iV von Seinesgleichen hat, mit h linear zunimmt, ist eine große Begegnungshäufigkeit ($1<h$) für iV günstig.

Trendaussage 5. Gilt immer nur der zuletzt gemachte Gewinn und ist die Begegnungshäufigkeit hoch, dann übernehmen die iV-Strategen bei ausreichendem Anfangsbestand die Herrschaft. Bei geringem iV-Anfangsbestand können die iB-Strategen sich zumindest vorübergehend durchsetzen. Das hat ein Ende, wenn sich zufällig iV-Kolonien bilden. Diese wachsen dann an und übernehmen die Welt.

Experimente mit dem Java-Progamm KoopEgo

Die Genauigkeit der Darstellung von Basischarakteren

Die Basisstrategien iV, iB, iK und hV lassen sich in KoopEgo exakt darstellen, weil bei ihnen die Aktion

1. von der Aktion des Gegenübers unabhängig und immer gleich ist (iB und iK) oder weil sie
2. ausschließlich von der letzten Aktion des Gegenübers abhängt, also davon, ob die Historie für das Gegenüber eine 0 oder eine 1 an letzter Stelle hat.

iV lässt sich nur bis zur Gedächtnistiefe 3 darstellen, weil vier Treffen später ein Betrug vergessen wird. Auch Pawlow funktioniert in KoopEgo nur bis zum vierten Treffen. Das liegt daran, dass sich Pawlow sein eigenes Verhalten merken muss, und dafür ist das Gedächtnis nicht eingerichtet. Bis zum vierten Treffen kann man das eigene Verhalten allerdings aus dem Verhalten des Gegenübers rekonstruieren.

Basisdaten

Die Experimente gehen von diesem Datensatz aus[2]:

```
mode = 1
stan = 0 9 0 0 1
n = 40
k = 3
h = 10000
a = .5
b = 0.1
d = 0.05
p = 0.0
f = 0.0
q = 0.7
```

Zugrundegelegt wird die Standard-Gewinnmatrix:

```
kk = 2.0, kd = -1.0
dk = 4.0, dd = 0.0
```

Die Daten bilden einen Verzweigungspunkt: Kleine Parametervariationen bewirken starke Änderungen der Abläufe.

Experimente mit verschiedenen q-Werten

Wie erwartet, setzt sich im Fall q=0 (keine Akkumulation von Gewinnen) und für Umgebungen mit k = 1, 2, 3, …, 19 stets iV durch.

Jetzt wird k = 3 festgehalten und der Dämpfungsfaktor wird variiert. Bis q=0.6 siegt iV. Für q=0.7, 0.8, 0.9 und 0.95 bleiben nur iB übrig.

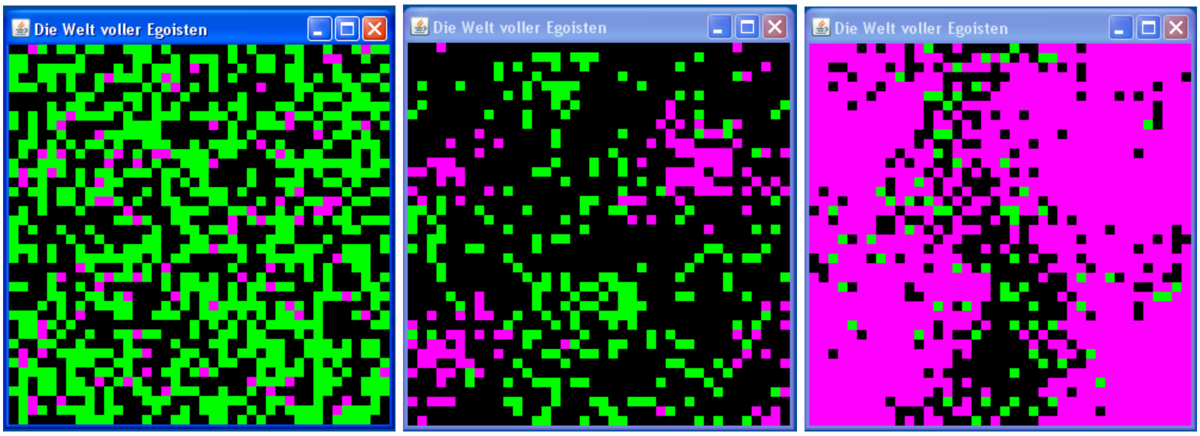
Das gilt für einen Anfangsbestand von 90% iV-Strategen. Vertauscht man die Anteile, geht iV in fast immer unter.

---

[2] Hier werden die Parameter nicht kursiv geschrieben. Das soll verdeutlichen, dass es sich um Programmvariablen handelt und nicht um die mathematischen Variablen des analytischen Modells. Die Sterbewahrscheinlichkeit d in KoopEgo hat eine geringfügig andere Bedeutung als das *d* des mathematischen Modells: In KoopEgo kann immer nur das zuerst ausgewählte Individuum eines Paares sterben. Im mathematischen Modell wird diese Unterscheidung nicht gemacht.

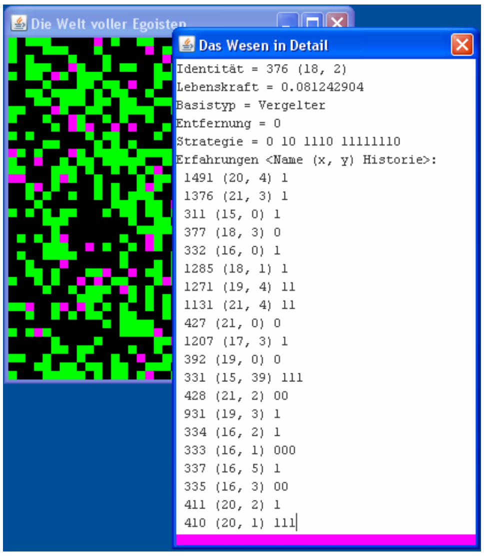
Experimente ohne Akkumulation von Gewinnen

Der Parameterwert q=0 bewirkt, dass Gewinne nicht akkumuliert werden und dass nur der zuletzt gemachte Gewinn gilt. Dann erhält man für viele Anfangsverhältnisse für iV und iB das erwartete Bild: iV setzt sich durch. Interessant sind Läufe, in denen das Verhältnis von iV und iB gegenüber den Basisdaten umgekehrt ist. Beispiel: stan = 0 1 0 0 9. Es kann zum Einfrieren des Bildes mit verstreuten iB und einigen wenigen iV kommen. Aber häufiger und geradezu typisch ist der folgende Verlauf.



Der linke Schnappschuss zeigt die Anfangsbelegung aus grünen Betrügern und magentafarbenen Vergeltern. Die Vergelter verlieren zunächst Terrain, aber es gibt erste Anzeichen für magentafarbene Kolonien (mittleres Bild). Das rechte Bild zeigt den Vergelter auf dem Siegeszug. Schließlich verschwinden die Betrüger vollständig.

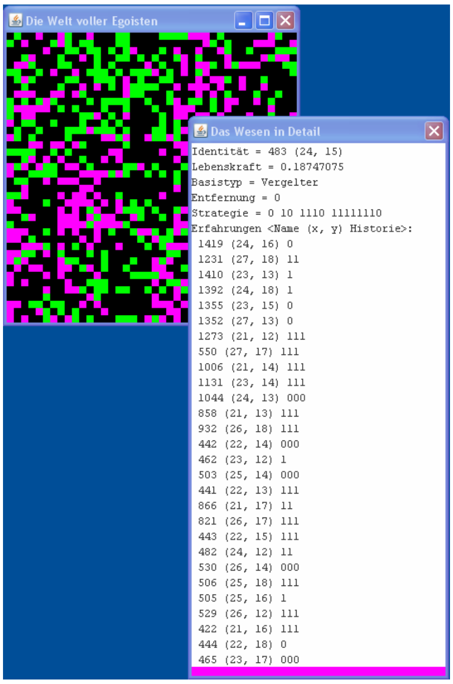
Bei sehr kleiner Umgebungen (k=1) kommt es schnell zu Isolationseffekten: Es entstehen voneinander separierte Gebieten von Individuen mit gleicher Fitness. Die Inseln frieren ein – mangels Anreiz und wegen der Abwesenheit von Minderbemittelten. Aber auch hier lässt sich in Ansätzen die Tendenz zur Bildung von kooperativen Kolonien beobachten.



Experimente mit Akkumulation von Gewinnen

Die vollkommene Akkumulation von Gewinnen erfordert einen Wert q = 1. Das lässt KoopEgo nicht zu. Der q-Wert muss immer kleiner als 1 sein. Es wird q = 0.99 gesetzt. Außerdem werden mit der Parameteranweisung stan = 0 1 0 0 1 die Strategien anfangs auf gleiche Anteile gesetzt. Erwartungsgemäß hat der kooperationswillige iV-Stratege keine Chance. Nach einer Weile zeigt sich das nebenstehende Bild.

Das detailliert dargestellte Individuum hat die Identität 376. Es ist bisher mit den folgenden älteren Wesen seiner Umgebung zusammengetroffen: 311, 332, 331, 334, 333, 337 und 335. Die Begegnungshäufigkeiten waren 1, 1, 3 (oder mehr), 1, 3 (oder mehr), 1 und 2. Das lässt auf eine Begegnungshäufigkeit h von etwa 2 schließen.



Die Begegnungswahrscheinlichkeit beträgt bei der etwa zu 50% belegten 3-Umgebung etwa 4%. Die Poisson-Näherung ist in diesem Zahlenbereich völlig ausreichend. Die Kurven aus dem Funktionsvergleich und die Trendaussagen legen nahe, dass eine Reduzierung der Sterbewahrscheinlichkeit und die damit einhergehende größere Begegnungshäufigkeit die Situation der kooperationswilligen iV-Strategen verbessert. Das wird durch einen Lauf mit den auf b = 0.02 und d = 0.01 geänderten Parameterwerten bestätigt. Der Schnappschuss zeigt ein Bild der Modellwelt kurz bevor die iV allein übrig bleiben.