

Cui bono?*

Evolution, Selektion und Interessen

Christopher von Bülow†

Juli 2002

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Dennetts ‚stances‘ | 2 |
| 3 | Selektion nach ‚Entstehungsfreudigkeit‘ und Langlebigkeit | 4 |
| 4 | Selektion nach Replikationsfähigkeit | 6 |
| 4.1 | Replikatoren | 6 |
| 4.2 | Die ‚Attraktivität‘ von Replikator-Konfigurationen | 7 |
| 5 | Selektion nach Fitness | 8 |
| 5.1 | Schlechte Kopien und definite Replikator-Typen | 8 |
| 5.2 | Populationen von Replikatoren | 9 |
| 5.3 | Konstruktive und destruktive Verdrängungsfitness | 11 |
| 5.4 | Fortschritt? | 12 |
| 6 | Selektion nach Kooperationsfähigkeit | 14 |
| 7 | Selektion von Replikator-Gruppen | 15 |
| 7.1 | Gruppen-Populationen | 15 |
| 7.2 | Funktionale Rollen in Gruppen: Gene | 16 |
| 7.3 | Egoistische Replikatoren | 16 |
| 8 | Selektion nach Vehikeffizienz | 18 |
| 8.1 | Komplexe Effekte von Replikator-Gruppen | 18 |
| 8.2 | Vehikel und ihre Populationen | 19 |
| 8.3 | Organismen als Replikatoren? | 19 |
| 8.4 | Selektionskriterien für Vehikel | 21 |

*lat.: „Wem zum Nutzen?“ bzw. „In wessen Interesse [ist es]?“

†eMail: Christopher.von.Buelow@uni.kn; Website: www.uni.kn/FuF/Philo/Philosophie/philosophie/index.php?article_id=88.

| | | |
|-----|---|-----------|
| 9 | Selektion von Verhaltensoptionen durch Vehikel | 22 |
| 9.1 | „Selektion“, „Wahl“, „Entscheidung“ | 22 |
| 9.2 | Genetisch bedingtes Verhalten | 23 |
| 9.3 | Techniken der Verhaltenssteuerung | 24 |

1 Einleitung

^aIch versuche, die zentralen Punkte von Dawkins 1976, Kap. 2, und Dennett 1984, Abschn. 2.1, noch einmal klarer, präziser und im Zusammenhang darzustellen.

^bWoher *kommen* die Interessen von Menschen, Tieren, etc.?

^cAber wie ist es bei Menschen, die ihre Interessen nicht äußern können, z. B. Säuglingen, Embryonen oder Koma-Patienten? Und nach welchen Kriterien entscheiden wir, ob jemand *in Wirklichkeit* andere Interessen hat, als er zu haben behauptet oder glaubt (z. B. Selbstmörder, Verrückte)? – Habe natürlich auch keine Antworten. . . Sage nur: Ist auch bei Menschen nicht *immer* klar.

^d„Summe“ der Interessen der Gruppenmitglieder?!

^{ab} Wie können wir die Redeweise von den *Interessen* eines Systems, Objektes, Organismus rechtfertigen? Wenn der Organismus ein Mensch ist, dann haben wir klare Intuitionen, was seine Interessen sind und wie wir sie feststellen können.^c Bei Tieren ist es ähnlich, aber je einfacher sie strukturiert sind, desto wackliger und fragwürdiger werden unsere Intuitionen. Dies gilt in noch stärkerem Maße für Pflanzen. Was ist mit den ‚Interessen‘ von Genen und Memen? Es scheint noch einen gewissen Sinn zu machen, hier von Interessen zu reden, aber welchen genau, und warum?

Wer überlegt, ob das Verhalten eines Organismus eventuell im Interesse seiner Gruppe oder seiner Art sei, der setzt voraus, dass Gruppen oder Spezies bestimmte Interessen *haben*. Warum sollten sie welche haben und welche sollten das sein?^d Woher will man wissen, welche sie haben? Die Vermutung ist natürlich, dass das (Haupt-) Interesse einer Gruppe darin besteht, weiterzuexistieren oder zahlreicher zu werden. Warum sollte das das Interesse einer Gruppe sein? Warum sollte sie nicht im Gegenteil daran interessiert sein, auszusterben oder sich möglichst weit zu verstreuen oder möglichst viele Zoos zu besichtigen?

Die Rede von den Interessen eines Systems (oder eines Typs von Systemen?) lässt sich ungefähr darauf zurückführen, was für eine ‚Wahl‘ das System in verschiedenen Situationen jeweils trifft, wenn mehrere Optionen offenstehen. Bei Menschen kann man ihren Wahlen bzw. Entscheidungen ungefähr entnehmen, was sie wollen, d. h. was ihre Interessen sind. Wenn wir für *beliebige* Systeme eine Idee gewinnen möchten, was man nützlicherweise als ihre Interessen auffassen könnte, dann ist es sinnvoll, umgekehrt vorzugehen: Wir betrachten zuerst, was für Prozesse in der Welt ablaufen, und fragen uns dann, welche davon man nützlicherweise als Wahl- oder Selektionsprozesse auffassen kann und als welchem ‚Interesse‘ dienlich diese ‚Wahl‘ dann ggf. aufgefasst werden kann. Dann muss man noch zeigen, dass die solchermaßen dem System *unterstellten* Interessen tatsächlich in einem guten Sinne dessen Interessen *sind*. Ich betrachte erst mal verschiedene Prozesse, die irgendwie als Wahl oder Selektion aufgefasst werden können, und frage nicht gleich, wer da mit welchem Ziel ‚wählt‘. Die Darwinsche natürliche Auslese ist ein solcher Prozess, aber ich fange mit einfacheren, allgemeineren Prozessen an.

2 Dennetts ‚stances‘

In „Intentional Systems“ (Kap. 1 von Dennett 1981; s. auch Dennett 1987) führt Daniel C. Dennett Bezeichnungen für drei verschiedene Standpunkte oder Betrachtungsweisen ein, die man einnehmen kann, wenn man das Verhalten eines Systems erklären und vorhersagen möchte:

1. der physikalische Standpunkt (*physical stance*), bei dem man sich auf Ursache-Wirkung-Beziehungen, z. B. Naturgesetze, beruft;

2. der funktionale (oder ‚teleologische‘?) Standpunkt (*design stance*), bei dem man das System und seine Teile als für bestimmte Zwecke oder Funktionen entworfen betrachtet, und voraussetzt, dass es ordnungsgemäß funktioniert;
3. der intentionale Standpunkt (*intentional stance*), bei dem man das System als ‚intentionales System‘, als rationalen Agenten mit bestimmten Wünschen und Überzeugungen, auffasst.

Es ist nicht so, dass je nach betrachtetem System jeweils einer dieser Standpunkte der richtige wäre und die anderen falsch; vielmehr kann man im Prinzip jedes System von jedem der drei Standpunkte aus betrachten. Allerdings werden je nach System und Zielsetzung nicht alle Standpunkte gleich nützlich sein.

Dennett gibt das Beispiel eines Schachcomputers. Wenn ich den nächsten Zug des Computers vom *physikalischen* Standpunkt aus vorhersagen wollte, müsste ich eine unüberschaubar große Menge physikalischer Sachverhalte und Prozesse miteinander in Beziehung setzen: Wann fließt in welchem Kabel Strom? Welches Stück des Speichers ist wie magnetisiert? Und so weiter. Um durch physikalische Berechnungen zu einem Resultat zu kommen, würde wahrscheinlich nicht einmal ein Supercomputer ausreichen. Auf keinen Fall komme ich auf mich allein gestellt (eventuell unter Verwendung von Papier und Bleistift) zu einem Ergebnis.

Wenn ich den *funktionalen* Standpunkt einnehme, kann ich die funktionale Architektur des Computers und seines Programms mehr oder weniger ‚feinkörnig‘ in Betracht ziehen. Wenn ich ein halbwegs hohes Maß an Details berücksichtige (Informationen über die verwendeten Algorithmen und Heuristiken), dann wird das Problem wieder zu kompliziert für die Praxis. Ich *könnte* bei dieser Art der Betrachtung das Problem von einem weiteren Computer lösen lassen. Aber dann könnte ich genauso gut einen weiteren Computer mit identischer Hard- und Software (und ggf. identischer ‚Spielerfahrung‘) daneben stellen und laufen lassen. Ohne Computerunterstützung bin ich immer noch verloren.

Wenn ich hingegen auf detaillierte Informationen verzichte, dann kann ich vermutlich immerhin vorhersagen, dass der Computer einen regelkonformen Zug machen wird (weil er ja zum Schach Spielen entworfen wurde), mehr aber auch nicht; und wenn ich die Zusatzannahme mache, dass er *optimal* entworfen wurde, dann befinde ich mich laut Dennett schon auf dem intentionalen Standpunkt.^e

Wenn ich den *intentionalen* Standpunkt einnehme, dann betrachte ich den Computer als rationalen Agenten und mein bester Tipp ist einfach, dass er vermutlich einen der in dieser Situation bestmöglichen Züge machen wird. Ich erhalte die Antwort, indem ich mich frage, was ich an seiner Stelle tun würde. Vom intentionalen Standpunkt aus erhalte ich also in vertretbarer Zeit (ohne Computerunterstützung!) eine brauchbare Antwort, während ich von den anderen Standpunkten aus entweder erst nach einer Ewigkeit eine (dann eventuell verlässlichere) Antwort bekomme oder einigermassen schnell eine nutzlose.

Erst wenn der Computer *schlecht* spielt, kann der funktionale Standpunkt praktikabel werden: wenn nämlich sein Programm Mängel aufweist, die ihn auf durchsichtige Weise ‚irrational‘ machen. Und wenn der Computer gar nicht mehr ordnungsgemäß funktioniert, kann der physikalische Standpunkt der geeignetste werden: wenn z. B. der Strom ausgefallen ist oder ein Prozessor sich überhitzt hat.

Für die meisten Belange ist es sinnvoll, *andere Menschen* vom intentionalen Standpunkt aus zu betrachten. Wenn ich allerdings vorhersagen möchte, ob sie einer bestimmten optischen Täuschung zum Opfer fallen werden oder wie sich ihre Körpertemperatur bei einer Erkältung verändern wird, dann muss ich den funktionalen

^eStimmt das? Vielleicht sagt er auch nur, dass wir bei den Produkten der Evolution optimales Design annehmen dürfen, aber nicht, dass die Annahme optimalen Designs bedeutet, den intentionalen Standpunkt einzunehmen. Die letztere These kommt mir allerdings plausibel vor: Ein wirklich optimales Messer versteckt sich vor kleinen Kindern, warnt dich, wenn du drauf und dran bist, dir damit in den Finger zu schneiden, etc.

Standpunkt einnehmen und ihren Wahrnehmungsapparat bzw. ihr Immunsystem betrachten. Und wenn ich wissen will, wie sie den Zeiger einer Badezimmerwaage auslenken werden, kann ich mich getrost auf den physikalischen Standpunkt stellen. (Ich kann das Waagenproblem auch vom intentionalen Standpunkt betrachten, indem ich überlege, wie der Körper mit seinem ‚Wunsch‘, sich zur Erdmitte zu begeben, und die Feder in der Waage mit ihrem ‚Bestreben‘, ihn davon abzuhalten, einander ‚behandeln‘ werden, aber dabei ist gegenüber dem physikalischen Standpunkt nichts gewonnen.)

Wenn ich bei der Betrachtung eines Systems einen zu ‚niedrigen‘ Standpunkt einnehme, kann es sein, dass ich manche Regularitäten oder Muster gar nicht bemerke, dass ich sozusagen den Wald vor Bäumen nicht sehe. Solche Muster können insofern wichtig sein, als sie u.U. Erklärungen und Vorhersagen drastisch vereinfachen – wenn man ein gewisses Risiko bei der Vorhersage in Kauf nimmt. Dies wird ausführlicher in Dennett 1991 besprochen.

Wenn ich einem System vom funktionalen Standpunkt aus bestimmte Zwecke oder vom intentionalen Standpunkt aus bestimmte Überzeugungen unterstelle, hat es diese dann *wirklich*? Sind sie *real*? Dennett meint (1991), dass die strenge Dichotomie in *real* und *nicht real* hier aufgegeben werden sollte. Wenn das Unterstellen von Zwecken oder Überzeugungen es mir wesentlich erleichtert, gute Vorhersagen über ein System zu machen oder Erklärungen seines Verhaltens zu liefern oder zu verstehen, dann sind diese ‚Zwecke‘ und ‚Überzeugungen‘ jedenfalls *real* genug für den Alltagsgebrauch. Wer darauf besteht, dass sie nicht im eigentlichen Sinne *real* sind, der kann sich ja darauf beschränken, in denjenigen Begriffen zu denken, deren Denotate er für richtig *real* hält; er ist dann selber schuld, wenn er auf keinen grünen Zweig kommt.

Wenn ich im Folgenden vom ‚physikalischen‘ Standpunkt aus rede, dann denke ich nicht immer wirklich an physikalische (oder chemische) Zusammenhänge. Man nimmt z.B. hinsichtlich John H. Conways *Life*-Spiel (Dennett 1995, S. 166 ff.; Dennett 1991, S. 37 ff.) den physikalischen Standpunkt ein, wenn man einzelne ‚Zellen‘ und deren Zustandswechsel betrachtet. Die ‚Physik‘ der *Life*-Welt ist aber rein informationell oder mathematisch und hat nichts mit echter Physik zu tun. Sich hier auf den physikalischen Standpunkt zu stellen, heißt, diese Welt im Lichte der Gesetzmäßigkeiten zu betrachten, nach denen ein Zustand der Welt einen anderen nach sich zieht, d.h. ihre Phänomene als Ursachen bzw. Wirkungen von anderen ihrer Phänomene aufzufassen. (In ähnlicher Weise ist der ‚physikalische Standpunkt‘ in Bezug auf Meme eher *psychologisch* als physikalisch.) Vielleicht wäre also „kausaler Standpunkt“ eine treffendere Bezeichnung für den physikalischen Standpunkt.

Meine Beispiele für ‚physikalische‘ Phänomene im Folgenden werden i.a. tatsächlich physikalische oder chemische Phänomene sein; meine Überlegungen sollen aber für *alle* ‚Substrate‘ gelten, die man erfolgreich vom physikalischen Standpunkt aus betrachten kann.

3 Selektion nach ‚Entstehungsfreudigkeit‘ und Langlebigkeit

Betrachten wir das Verhalten von Ansammlungen oder Systemen aus vielen Objekten bestimmter Typen. Diese Objekte könnten z.B. Sauerstoff- und Wasserstoffatome sein, aber auch beliebige andere physikalische oder nichtphysikalische Entitäten, z.B. Meme. Ich nenne diese Objekte hier *Bausteine*.^f Ich denke dabei gerne an Ele-

^fWas sind bei memetischen Überlegungen die ‚Bausteine‘? Menschen? – sind eher das *Material*.

mentarteilchen und Atome; sie müssen aber keine *Grundbausteine* der Welt sein. Für diese Bausteine sind verschiedene *Konfigurationen* möglich (z. B. freies Sauerstoffatom, O₂-Molekül, Ozonmolekül[§]). Je nach Umweltbedingungen gehen verschiedene Konfigurationen unterschiedlich leicht (genauer: mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit) ineinander über.^h

Z. B. gehen einzelne Sauerstoffatome gern Zweierverbindungen ein, und diese O₂-Moleküle lösen sich nur ungern wieder in Einzelatome auf. Ozonmoleküle (O₃) lösen sich viel bereitwilliger als O₂-Moleküle wieder auf. Wenn die Umgebung aber sehr energiereich ist, z. B. sehr heiß oder strahlungsintensiv, dann überwiegt die Neigung von O₂ und O₃ zum Auseinanderbrechen gegenüber der Neigung freier Atome, sich zu Molekülen zusammenzuschließen.

Eine weitere wichtige Umweltbedingung neben dem Energiereichtum der Umgebung ist die Verteilung oder Dichte der jeweils betrachteten Bausteine und der Tokens¹ ihrer Konfigurationen. Wenn das nächste Sauerstoffatom weit entfernt ist, dann hat ein freies Sauerstoffatom keine Chance, in eine O₂- oder O₃-Konfiguration einzutreten, egal wie günstig die sonstigen Bedingungen dafür wären. Wenn ein O₃-Molekül von lauter freien O-Atomen umgeben ist, wird es leichter (zusammen mit einem O-Atom) zu zwei O₂-Molekülen werden, als wenn es schon von lauter O₂-Molekülen umgeben ist (die ihm nur ungern ein O-Atom abgeben werden).

Im Lauf der Zeit treten tendenziell immer mehr der Bausteine in die (unter den jeweiligen Umweltbedingungen) ‚attraktiveren‘ Konfigurationen ein, also in diejenigen, die von den vorhandenen Konfigurationen aus mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht werden (also sozusagen sehr ‚entstehungsfreudig‘² sind) und mit geringer Wahrscheinlichkeit wieder verlassen werden (also sehr stabil oder langlebig sind).ⁱ Dabei verändern sich i. a. die Umweltbedingungen in mehr oder weniger hohem Maße, zunächst einfach insofern, als die ‚attraktiven‘ Konfigurationen in der Umwelt häufiger werden, und indirekt durch die physikalischen Effekte, die das nach sich zieht. (Wenn sich z. B. Wassermoleküle an einer kalten Fensterscheibe niederschlagen, dann wird Wärme frei, die ein wenig die Wahrscheinlichkeit verringert, dass sich *weitere* Wassermoleküle niederschlagen.) Sicher haben Physiker oder Chemiker geeignete mathematische Modelle, um solche Prozesse zu beschreiben.

Diese Art von ‚Evolution‘ – normalerweise als (Zunahme der) *Entropie* bezeichnet – lässt uns also erwarten, die Bausteine der Welt hauptsächlich in ‚attraktiven‘, ‚wahrscheinlichen‘, ‚stabilen‘ Konfigurationen vorzufinden (also reinen Sauerstoff z. B. hauptsächlich in Form von O₂-Molekülen). Die stabileren Konfigurationen (genauer: deren Tokens) werden die weniger stabilen Konfigurationen weitgehend ‚verdrängen‘. Dies nennt Richard Dawkins „survival of the stable“ (1976, S. 13), als Verallgemeinerung von „survival of the fittest“. Man darf dabei nur nicht vergessen, dass bestimmte Konfigurationen nicht an sich ‚attraktiv‘ sind, sondern nur relativ zu bestimmten Umweltbedingungen; und ein möglicher Zustand der Welt ist auch nicht an sich ‚wahrscheinlich‘, sondern nur relativ zu bestimmten Anfangsbedingungen (inklusive Umweltbedingungen, inklusive Menge an verschiedenen Bausteinen).

¹Zu einem bestimmten *Typ* von Objekt (z. B. einer bestimmten Konfiguration von Bausteinen, z. B. „O₂-Molekül“) kann es mehrere *Tokens*, konkrete Objekte *von* diesem Typ, geben (z. B. ein ganz bestimmtes O₂-Molekül an einem ganz bestimmten Ort). Ein Typ ist sozusagen nur eine Schublade (oder eine Menge), und die Dinge (bzw. Elemente), die darin liegen – wenn die Schublade nicht leer ist –, sind seine Tokens. Ein Typ kann auch andere umfassen, z. B. ist „Sauerstoffmolekül“ ein Obertyp von „O₂-Molekül“ und „O₃-Molekül“. Tokens der Subtypen sind dann immer auch Tokens des Obertyps.

²„Entstehungsfreudig“ ist ein irreführender Begriff, weil er suggeriert, dass die Konfiguration *spontan* entsteht, sozusagen aus dem Nichts, unabhängig davon, in was für Konfigurationen das ‚Ausgangsmaterial‘ vorliegt. Ich verwende ihn – in Anführungsstrichen – dennoch wegen seiner Handlichkeit.

[§] ‚Verhaltensoptionen‘ für Sauerstoff??

^h wie ist es mit verschiedenen *Zuständen* von Konfigurationen bzw. Bausteinen?

ⁱ mathematische Modelle? Übergangsmatrix...

Diese Erwartung erfüllt sich im allgemeinen – wird aber scheinbar auch oft widerlegt, denn wir finden z. B. auch sehr komplizierte Moleküle vor (z. B. Eiweiße) und Moleküle in sehr komplexen Konfigurationen (z. B. Lebewesen, Artefakte), die auf den ersten Blick sehr ‚unwahrscheinlich‘, weil wenig ‚entstehungsfreudig‘ oder sehr instabil, erscheinen. Um dieses Paradox aufzulösen, müssen wir eine besondere Form betrachten, die diese erste Art der Selektion oder Evolution annehmen kann.

4 Selektion nach Replikationsfähigkeit

4.1 Replikatoren

Unter den möglichen Konfigurationen, in denen sich bestimmte Bausteine (z. B. Atome) befinden können, gibt es u. U. auch solche, die bewirken, dass sich weitere Bausteine (mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit, je nach Umweltbedingungen) zu ebensolchen Konfigurationen zusammenschließen, Konfigurationen also, die *Kopien* von sich selbst herstellen. (Da die Kopien wiederum Kopien von sich selbst herstellen, usw., ist das ganze ein autokatalytischer Prozess.) Solche Konfigurationen nennt Dawkins (1976, bzw. 1989) *Replikatoren*.

In Büchern über Evolution wird das Wort „Replikator“ in drei verschiedenen Bedeutungen gebraucht:

1. als Replikationssubstrat (in diesem Sinne ist DNS ein Replikator, Meme sind ein anderer),
2. als Replikator-Typ (in diesem Sinne ist das DNS-‚Wort‘ GATTACA ein anderer Replikator als CCCG, trotz gleichen Substrats),
3. als Replikator-Token (in diesem Sinne ist ein GATTACA-Strang in einer Zelle in meiner linken Hand – ein GATTACA-Token – ein anderer Replikator als ein GATTACA-Strang in meiner rechten, obwohl es sich um denselben Typ handelt).

Es hängt vermutlich vom Kontext ab, ob ACATTAG als derselbe Replikator-Typ wie GATTACA aufzufassen ist oder nicht, je nachdem, ob es bei der Replikation auf die ‚Leserichtung‘ ankommt.

Tatsächlich kann so ziemlich jedes beliebige Objekt (genauer: jeder Typ von Objekt) ein Replikator-Typ sein, wenn nur seine Umgebung geeignet ist. Wenn der Montblanc sich im Zugriffsbereich von Wesen befände, die willens und in der Lage sind, von Montblanc-gestaltigen Objekten mehr und mehr Kopien herzustellen, dann wäre eben der Montblanc (bzw. seine Gestalt) ein Replikator-Typ. Es gibt also keinen intrinsischen Unterschied zwischen Replikatoren und Nicht-Replikatoren; vielmehr ist jeder Typ von Objekt (bzw. jede Konfiguration von Bausteinen) nur *relativ* zu seiner jeweiligen Umwelt ein Replikator-Typ, oder eben keiner.

Aber der Montblanc würde sich doch in dem Beispiel gar nicht aus eigener Kraft replizieren!? – Darauf kommt es nicht an. Von einem DNS-Strang, der sich z. B. im wachsenden Embryo repliziert, verlangen wir ja auch nicht, auf den dazu nötigen komplizierten Hilfsapparat in der Zelle zu verzichten. Wenn sich ein Molekül in der Ursuppe repliziert, tut es das ‚aus eigener Kraft‘? Wohl in keinem besonders wichtigen Sinne. Wenn die Temperatur und die übrigen physikalischen Bedingungen nicht stimmen würden, wenn es nicht von Ursuppe mit geeigneter Zusammensetzung umgeben wäre, wenn der Zufall es nicht mit den richtigen Bausteinen zusammenbrächte: dann würde es sich nicht replizieren; es ist also auf seine Umwelt (und den Zufall

bzw. die Wahrscheinlichkeit) angewiesen. Und wenn diese stimmt, dann ist der Replikationsvorgang einfach eine Konsequenz von Naturgesetzen und Wahrscheinlichkeit. Man könnte genausogut sagen, die *Ursuppe* stellt ‚aus eigener Kraft‘ eine Kopie des Moleküls her. Es kommt nicht darauf an, von wem die Kopien hergestellt werden; es kommt nur darauf an, *ob* Kopien hergestellt werden, und in welchem Ausmaß.^j

^jfalsch gefaltete Prionen (Stanley Prusiner) als Beispiele für ungewöhnliche Replikatoren

4.2 Die ‚Attraktivität‘ von Replikator-Konfigurationen

Sobald Replikatoren (genauer: Tokens eines Replikator-Typs) vorhanden sind, nimmt *derselbe* ‚Evolutionsprozess‘ wie in Abschnitt 3 eine deutlich andere Qualität an. Solange es noch *keine* Replikatoren gibt, können replikationsfähige Konfigurationen von Bausteinen extrem ‚unattraktiv‘ sein, d.h. die Bausteine gehen von ‚normalen‘ Konfigurationen aus mit viel, viel geringerer Wahrscheinlichkeit in eine Replikator-Konfiguration über als in eine andere ‚normale‘, und Replikator-Tokens zerfallen auch recht leicht wieder. Replikatoren sind also, naiv betrachtet, weder ‚entstehungsfreudig‘ noch langlebig. Sobald es jedoch Replikatoren *gibt*, nimmt per definitionem in ihrer Umgebung die Neigung anderer Konfigurationen deutlich zu, in die betreffende Replikator-Konfiguration überzugehen. Weniger metaphorisch: Die Wahrscheinlichkeit nimmt zu, dass die Tokens anderer Konfigurationen einem Replikator-Token begegnen und von diesem zur Herstellung weiterer Replikator-Tokens ausgeschlachtet werden. Natürlich kann der Replikator nicht aus *beliebigen* Konfigurationen Kopien seiner selbst herstellen, sondern nur aus solchen, die geeignete Bausteine enthalten, die für ihn leicht genug aufzubrechen sind, usw. – man könnte sie seine *Beutekonfigurationen* nennen.

Naiv betrachtet ändern sich die Umweltbedingungen durch das Entstehen eines Replikators nicht: Temperatur, Druck und andere physikalische Aspekte der Umgebung ändern sich dadurch nicht nennenswert. Insofern könnte man meinen, auch die ‚Attraktivität‘ einer Replikator-Konfiguration ändere sich durch Entstehen eines solchen Replikators nicht nennenswert. Es gehört aber auch zu den Umweltbedingungen für die anderen Konfigurationen, *ob* sich in ihrer Nähe ein Replikator befindet oder nicht. Die Gegenwart eines Replikators verringert drastisch die Langlebigkeit seiner Beutekonfigurationen zugunsten seiner eigenen ‚Entstehungsfreudigkeit‘. (Analog könnte man sagen, dass die Gegenwart von Kindern die Haltbarkeit oder Langlebigkeit von Schokoladentafeln drastisch verringert.) Dies ist sicher nicht das, woran wir bei dem Wort „Umweltbedingungen“ normalerweise denken; aber in diesem Fall ist es einer der wichtigsten Umweltaspekte überhaupt. Ich werde das Wort in diesem weiten Sinne verwenden, weil es hier der angemessene ist. Das Entstehen eines Tokens einer Replikator-Konfiguration *ist* also eine Veränderung der Umweltbedingungen, die die ‚Attraktivität‘ dieser Konfiguration deutlich erhöht auf Kosten der ‚Attraktivität‘ der entsprechenden Beutekonfigurationen.

Aus den Überlegungen von Abschnitt 3 folgt somit, dass wir nach Entstehen eines Replikators damit rechnen dürfen, dass die Zahl der Tokens dieses Typs lokal zunimmt, soweit es die Ressourcen (vorhandene Beutekonfigurationen, Energiezufuhr, Platz etc.) zulassen, oder anders formuliert: solange die Umweltbedingungen so sind, dass er ein Replikator *ist*. Replikator-Konfigurationen ‚verdrängen‘ ihre Beutekonfigurationen (ein Stück weit) aus der Welt.

5 Selektion nach Fitness

5.1 Schlechte Kopien und definite Replikator-Typen

Wenn der Kopiervorgang, den ein Replikator bewirkt, nicht hundertprozentig zuverlässig ist und die ‚Kopie‘ eines Replikator-Tokens somit manchmal nicht von genau demselben Typ ist, kann die ‚Evolution‘ wiederum eine neue Qualität annehmen.

Dies muss erläutert werden. Wenn die Kopie nicht genau dieselbe Konfiguration wie das Original hat, dürfen wir sie dann überhaupt eine Kopie nennen? – Hier beginnt der physikalische Standpunkt seine Nützlichkeit zu verlieren und wir müssen auf den funktionalen Standpunkt überwechseln. Wir *können* zwar die Effekte, die ein Replikator-Token in seiner Umgebung hat, rein physikalisch betrachten; dann sehen wir einen Haufen Bausteine seine Konfiguration(en) verändern. Wir sehen auch, wie sich die Anzahlen der verschiedenen Konfigurationen verändern, und verstehen, was lokal passiert; aber wir verstehen nicht das globale *Muster* hinter den Anzahlveränderungen. Wenn wir das verstehen wollen, worauf es mir hier ankommt, dann müssen wir den Replikator-Token statt einfach als irgendein physikalisches Objekt vielmehr als ein Objekt auffassen, das (zufällig) die *Funktion* erfüllt, weitere Tokens seines Typs herzustellen. Niemand hat ihn zu diesem Zweck hergestellt, aber wenn jemand einen Replikator hätte herstellen *wollen*, dann wäre dies eine mögliche Art gewesen, es zu tun.

Wenn wir den Replikator-Token vom funktionalen Standpunkt aus betrachten, dann können wir bestimmte seiner physikalischen Wirkungen als (versuchte) Kopierprozesse und andere als ‚Nebenwirkungen‘ interpretieren. Wenn der Kopierprozess klappt, dann enthält der betreffende Haufen von Bausteinen danach *mehrere* Tokens der ursprünglichen Replikator-Konfiguration; wenn er völlig misslingt, so bleibt ihre Anzahl gleich (oder wird sogar kleiner); wenn er aber *beinahe* klappt, dann liegt nachher neben dem ursprünglichen Token ein weiterer vor, der dem ersteren mehr oder weniger ähnelt, ihm aber nicht völlig gleicht.

Original und Kopie sind von verschiedenem Typ. Andererseits ähneln sie sich aber, und ihre Gemeinsamkeiten konstituieren einen neuen, umfassenderen Typ. Einen Typ (bzw. eine Konfiguration von Bausteinen), der *alle* (nichtrelationalen) Eigenschaften seiner Tokens festlegt, könnten wir einen *definiten* Typ nennen.

Ein bisschen Spielraum müssen wir hier aber doch offenlassen, nach funktionalen Kriterien: Eigenschaften von Replikator-Tokens, die nicht oder nur zufälligerweise (d. h. ‚zufällig‘ vom funktionalen Standpunkt aus) mitrepliziert werden, sollten wir nicht zur Replikator-Konfiguration dazurechnen. Stellen wir uns etwa vor, die Tokens eines bestimmten replikationsfähigen Molekültyps hätten je nach der Tageszeit ihrer Entstehung eine andere Farbe, ohne dass ihre Farbe sich auf ihre Replikationsfähigkeit auswirkt. Dann wäre es unpassend, nur in Fällen von farbgleicher Replikation von erfolgreicher Replikation (des ‚definiteren‘ Typs, inklusive Farbe) zu sprechen. – Wie sollten wir vorgehen, wenn alle DNS-Stränge der Gestalt GATTAC* (wo $* \in \{A, C, G, T\}$) bei der Replikation jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von einem Viertel wiederum einen der vier DNS-Stränge dieser Gestalt hervorbringen? Ist dann GATTACA noch ein definitiver Typ? Eigentlich sollte man dann schon GATTAC* einen definitiven Typ nennen. Aber das sind Feinheiten.

Mit „nicht von genau demselben Typ“ war jedenfalls weiter oben auf dieser Seite gemeint: nicht vom selben *definiten* Typ. Eine schlechte Kopie muss aber, damit man sie Kopie nennen kann, von irgendeinem (umfassenderen, nichtdefiniten) Typ sein, den sie mit dem Original gemein hat. – Aber kann man dann nicht alles mögliche

als Kopie eines Tokens bezeichnen? Wenn man nur weit genug abstrahiert, wird man schon eine Gemeinsamkeit finden! – Das stimmt in gewissem Sinne. Es gibt keinen intrinsischen Unterschied zwischen schlechten Kopien eines Tokens und Tokens völlig anderer Konfigurationen. (Auch Replikationsfähigkeit wäre kein gutes Unterscheidungskriterium: Man würde GATTACT sicher als (schlechte) Kopie von GATTACA anerkennen, selbst wenn GATTACT nicht mehr replikationsfähig sein sollte.) Als (schlechte) Kopie muss man wohl das zählen, was bei einem (einigermaßen gelungenen) Kopiervorgang ‚an der Stelle‘ herauskommt, wo bei perfektem Ablauf des Prozesses die genaue Kopie herauszukommen pflegt. Was noch als (schlechte) Kopie zählt, wird also vom funktionalen Standpunkt aus festgelegt.

5.2 Populationen von Replikatoren

^kAber zurück zum eigentlichen Thema. Indem seine Tokens Kopien von sich herstellen, bringt ein Replikator-Typ (sobald er Tokens *hat*) eine ganze ‚Population‘³ von Tokens seiner selbst hervor. Ein Token produziert ‚Kinder‘, diese produzieren ‚Enkel‘, diese produzieren ‚Urenkel‘, usw., so dass prinzipiell auch beliebig viel später noch Tokens von diesem Typ existieren können, wenn der ‚Urahn‘ längst zerfallen ist. Replikator-Typen können natürlich auch aussterben, verschwindet die Population. Dies ist aber beim Urahn aller heutigen Lebewesen offensichtlich nicht der Fall gewesen („Urahn aller heutigen *Gene*“ sollte es eher heißen). (Unter Umständen kann man nicht richtig zwischen ‚Mutter‘- und ‚Tochter‘-Token unterscheiden, d. h. nicht richtig festlegen, was das Original und was die Kopie ist, etwa wenn die Replikation durch eine Art von Spaltung vonstatten geht. Das ist aber nicht wichtig: Entscheidend ist, ob da, wo vorher *ein* Token des Typs X war, nachher zwei (oder mehr) X-Tokens sind.)

^kStammbaum-Begriff (oder Abstammung von genau *einem* Replikator; vgl. Thagard laut Goldman 2001) ist nicht wichtig für die Evolution; er erleichtert bloß später die Anwendung des ‚selectional stance‘

Replikation erzeugt also Populationen von Tokens. Wenn jeder Replikationsschritt perfekt verläuft, dann sind alle Tokens in der Population vom selben definiten Typ; das wäre nur ein Fall von exponentieller Vermehrung dieses Typs, eine reine Frage der Anzahl. Interessant wird es, wenn die Replikation manchmal *nicht* perfekt verläuft, wenn also *Mutationen* stattfinden. Dann haben wir Tokens *verschiedener* (definiten) Typen in der Population.

Wenn wir eine Population von Replikatoren zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachten, dann treffen wir darin unterschiedliche Anzahlen von Tokens unterschiedlicher Typen an. Was können wir von einigermaßen alten (d. h. lange bestehenden) Populationen erwarten? Dass sie voll mit Replikator-Tokens sind, die sich aufgrund der vielen Kopierfehler nur noch mit Müh und Not replizieren können und kaum noch Ähnlichkeit mit dem Urahn haben? Dass sie hauptsächlich exakte Kopien des Urahnen enthalten, mit ein paar verstreuten Abweichlern darunter? Oder dass sie voll mit Tokens sind, die zwar nur noch wenig Ähnlichkeit mit dem Urahn besitzen, sich aber viel *effizienter* replizieren als dieser? *Was für eine Sorte von Replikator-Typen wird den Löwenanteil einer ‚reifen‘ Population ausmachen?*

Können wir diese Frage eventuell vom physikalischen Standpunkt aus beantworten? – Nicht wirklich. Zunächst mal wäre eine physikalische Antwort an ein ganz bestimmtes Substrat gebunden. Dann könnte es zwar im Prinzip sein, dass die Antwort z. B. lautet: „Die überwiegende Anzahl von Tokens in der Population werden diejenigen Typen ausmachen, die Schwefel enthalten“, aber wir müssten dennoch

³Das Wort „Population“ ist etwas irreführend, weil man dazu tendiert, dabei an Populationen von Organismen zu denken. Ein besseres Wort wäre also „Pool“ wie in „Genpool“. Ich verwende „Population“ im Folgenden jedoch erst mal immer für ‚Populationen‘ von Replikatoren, nicht Organismen (30. 10. 2014).

den funktionalen Standpunkt einnehmen, um zu begründen, *warum* dies die richtige Antwort ist: Was hat Schwefel mit Verbreitung in der Population zu tun?

Die Frage kann eigentlich nur vom funktionalen Standpunkt aus beantwortet werden: Den Löwenanteil einer (reifen) Population werden solche Replikator-Typen ausmachen, die *gut darin sind, sich in der Population auszubreiten* (soll heißen: ihren Tokens eine möglichst große relative Häufigkeit in der Population zu sichern). Das ist eine Charakterisierung nach *funktionalen* Gesichtspunkten. Eine Charakterisierung dieser Typen nach *physikalischen* Gesichtspunkten kann nur dann (nur deswegen) adäquat sein, wenn (weil) sie die unter *funktionalen* Gesichtspunkten richtigen Typen einfängt.

Die Antwort ist natürlich nur dann interessant, wenn

- (a) überhaupt Kopierfehler auftreten,
- (b) nicht alle Mutanten replikationsunfähig sind und
- (c) manche unter den replikationsfähigen Mutanten *besser* als ihre Zeitgenossen darin sind, sich in der Population auszubreiten;

kurz gesagt: wenn immer wieder ‚vorteilhafte‘ Variation in der Population auftritt.

Auf welche Weise kann ein Replikator-Typ besser als ein anderer darin sein, sich in der Population auszubreiten? Dawkins gibt drei Möglichkeiten an (1976, S. 18 f.):

- Langlebigkeit (*longevity*), d.h. Stabilität, wie wir sie schon in Abschn. 3 hatten: eine hohe Wahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit, dass ein Token der betreffenden Konfiguration erhalten bleibt;
- Fruchtbarkeit (*fecundity*), d.h. eine hohe Replikationsrate pro Token und Zeiteinheit;
- Kopiertreue (*copying-fidelity, accuracy of replication*), d.h. eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Replikationen *exakte* Kopien produzieren.

Wenn der Replikator-Typ X *langlebiger* ist als Y, dann wird sich *ceteris paribus* X offenbar schneller vermehren als Y, in dem Sinne, dass sich die Anzahl der X-Tokens schneller *vervielfacht* (z.B. verdoppelt) als die der Y-Tokens. (Analoge Überlegungen gelten, wenn X fruchtbarer oder ‚kopiertreuer‘ als Y ist.) Das bedeutet zunächst nicht unbedingt, dass die Anzahl der X-Tokens schneller *wächst* als die der Y-Tokens. Wenn zum Zeitpunkt 0 ein einziger X-Token einer Million Y-Tokens gegenübersteht und die Anzahl der X-Tokens sich pro Zeiteinheit – sagen wir, pro Stunde – z.B. verzehnfacht, die der Y-Tokens sich aber nur verdoppelt, dann wächst etwa in den ersten vier Stunden die Zahl der X-Tokens jeweils nur um maximal vierstellige Beträge (nämlich um 9, 90, 900 und 9000), die der Y-Tokens hingegen jeweils um sechsstelligen Beträge (nämlich um eine, zwei, vier und acht Millionen). Wenn es sich hier um lineares Wachstum handeln würde, hätte X schlechte Karten. Es handelt sich aber um exponentielles Wachstum, und da holt X den Vorsprung von Y schnell ein: Nach neun Stunden hat die Zahl der X-Tokens die der Y-Tokens überholt,⁴ und danach bleiben die Y-Tokens weit abgeschlagen zurück. Nach gut 17 Stunden hat sich das Verhältnis umgekehrt: Es gibt dann eine Million mal so viele X-Tokens wie Y-Tokens.

⁴Die Formel ist: $t = (\ln a_Y - \ln a_X) / (\ln w_X - \ln w_Y)$, wo a_X (bzw. a_Y) die Anzahl der X-(bzw. Y-) Tokens zum Zeitpunkt 0 ist, w_X (bzw. w_Y) der Faktor, mit dem sich die Anzahl der X-(bzw. Y-) Tokens pro Stunde vervielfacht, und t der Zeitpunkt, an dem die beiden Anzahlen gleich werden. Im Beispiel ist das also $t = (\ln 10^6 - \ln 1) / (\ln 10 - \ln 2) \approx 8,6$.

Man könnte meinen, X hole Y nur deswegen so schnell ein, weil X einen so deutlichen Vorteil (Faktor 10 gegenüber Faktor 2) hat. Aber bei exponentiellem Wachstum ist auch ein kleiner Vorteil schon ein deutlicher Vorteil. Wenn die Zahl der X-Tokens sich beispielsweise pro Stunde nur ver-2,1-fachen statt verzehnfachen würde, dann würde X dennoch den Vorsprung von Y schon nach 284 Stunden,⁵ also nach knapp zwölf Tagen, eingeholt haben.

Diese Rechnung ist allerdings insofern unrealistisch, als sie auf der Voraussetzung beruht, dass sich die Umweltbedingungen (und damit die Wachstumsraten) in dieser Zeit nicht verändern. Das kann aber kaum sein, weil es in diesem Fall nach 284 Stunden mehr als 10^{91} X-Tokens (und ähnlich viele Y-Tokens) geben müsste, und für so viele Tokens enthält das Universum (von einem einzelnen Planeten ganz zu schweigen) vermutlich nicht genug Material. Es müssen also viel früher die Ressourcen (Energie, Material, Raum) zur Neige gehen, und spätestens dann trifft das Modell nicht mehr zu. Aber wahrscheinlich sind schon vorher neue Replikator-Typen aufgetaucht, die sich (unter den jeweils aktuellen Umweltbedingungen) noch besser ausbreiten, so dass sich die Welt und die Zusammensetzung der Population in neue Richtungen verändert haben. Die Quintessenz dieses Absatzes ist, dass wir bei Replikator-Typen X, die schon einige Zeit auf der Welt sind, davon ausgehen können, dass sie die Grenzen ihres Wachstums weitestgehend ausgeschöpft haben und nun bestenfalls stagnieren (d. h. Wachstumsfaktor $w_X = 1$ haben).

Dennoch, glaube ich, zeigt uns diese Art von Rechnung, dass wir unter den obigen Voraussetzungen (a)–(c) (s. S. 10) erwarten dürfen, dass reife Populationen von solchen Replikator-Typen beherrscht werden, die besser als frühere Typen darin sind, sich in der Population auszubreiten.

5.3 Konstruktive und destruktive Verdrängungsfitness

Im allgemeinen wird dies Besser-Sein mit besserer Replikationsfähigkeit einhergehen, also mit größerer Langlebigkeit, Fruchtbarkeit und Kopiertreue. Ein zwangsläufiger Zusammenhang ist das jedoch nicht. Da die relevante Sorte von Erfolg hier immer *relativer* Erfolg verglichen mit anderen Typen ist (also langlebiger, fruchtbarer, kopiertreuer als die jeweilige Konkurrenz zu sein), kann ein Replikator-Typ auch dadurch erfolgreich sein, dass er die Langlebigkeit, Fruchtbarkeit oder Kopiertreue von anderen *vermindert*. Während der eine Läufer Rennen dank seiner hochgezüchteten Muskulatur gewinnt, mag der andere gewinnen, indem er seinen Konkurrenten Gewichte anhängt. Was für den Sieg zählt, ist nicht, wie schnell man ist, sondern ob man schneller als die anderen ist. So könnte ein Replikator-Typ sich in der Population ausbreiten, obwohl er sich nicht besonders schnell vervielfacht, wenn z. B. als Nebenwirkung seines Replikationsprozesses Stoffe (Konfigurationen von Bausteinen) entstehen, die die anderen Typen zerstören, ihre Replikation behindern oder diese fehleranfälliger machen.⁶

Wenn ein Replikator-Typ sich deswegen in der Population ausbreitet, weil er andere an der Ausbreitung *hindert*, dann könnte man das *destruktive Fitness* nennen; wenn er sich hingegen deswegen ausbreitet, weil er noch effizienter in der Selbstreplikation ist als die anderen, dann wäre das entsprechend *konstruktive Fitness*. „Fitness“ soll dabei eine griffige Kurzbezeichnung für „Effizienz bei der Ausbreitung in der Population“ sein und ist, wie immer, als *relative* Effizienz im Vergleich mit den jeweils gerade

⁵ $(\ln 10^6 - \ln 1) / (\ln 2,1 - \ln 2) \approx 283,2$.

⁶Dieses Beispiel ist angelehnt an Dawkins' (1999, S. 133, 135–137) Ausführungen über *segregation distorters* bzw. *meiotic drive*-Gene.

¹Stimmt das? Wenn X sich langsamer vermehrt, als sich Y in Abwesenheit von X vermehrt, und die Anwesenheit von X die Vermehrung von Y bremst, breitet sich X dann im Vergleich zu Y aus? Dazu ist wohl noch nötig, dass die Anwesenheit von X die Vermehrung von Y so *weit* bremst, dass Y langsamer als X wird. Aber genügt *das*? Wenn sich X langsamer als Y vermehrt, kann X doch nur einen immer kleineren Prozentsatz der Y-Tokens erreichen (und damit bremsen)! Wenn natürlich Y schon sein Maximum erreicht hat, dann kann X sich Zeit lassen. Aber dann hat Y sowieso Vermehrungsrate 1, stagniert also, d. h. X ist sowieso schneller. Aber dann wird X die Zahl der Y's sogar rückläufig machen!?

vorhandenen anderen Typen aufzufassen. Die Möglichkeit von destruktiver Fitness zeigt, dass für die Frage, wer den größeren Anteil in der Population für sich erstreitet, nicht die Selbstreplikationseffizienz im naiven Sinne entscheidend ist, sondern die Effizienz bei der *Verdrängung anderer Typen* – ob auf konstruktivem oder destruktivem Wege. Deswegen bietet sich „Verdrängungsfitness“ als Oberbegriff für konstruktive und destruktive Fitness an. Konstruktive Fitness ist sozusagen (Verdrängungs-)Fitness durch *Besser-Sein*, destruktive Fitness hingegen (Verdrängungs-)Fitness durch *Andere-schlechter-Machen*. Im allgemeinen wird ein Replikator von beiden Qualitäten etwas haben.

Ein Replikator-Typ kann also einem anderen ‚schaden‘, ihn in der Ausübung seiner Selbstreplikationsarbeit behindern. Auch andere Wechselwirkungen sind möglich. Stellen wir uns etwa vor, die Population wird zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Replikator-Typ K beherrscht. Nun taucht ein neuer Replikator-Typ, X, auf, dessen Replikationsprozess zufällig durch die Gegenwart (bzw. die Effekte) von K-Tokens beschleunigt wird. (D.h. die Gegenwart von K-Tokens erhöht die Fruchtbarkeit von X-Tokens. Statt Fruchtbarkeit könnten wir aber genauso gut Langlebigkeit oder Kopiertreue betrachten.) Wir können sagen, K-Tokens sind *Katalysatoren* für die Replikation von X-Tokens. Wenn ein X-Token von Katalysatoren umgeben ist, dann repliziert er sich viel schneller, als wenn er von anderen Objekten, etwa weiteren X-Tokens, umgeben ist. Nehmen wir darüber hinaus an, dass sich ‚katalysierte‘ X-Tokens *schneller* replizieren als K-Tokens, unkatalysierte hingegen langsamer. Wenn der erste X-Token in einem ‚Meer‘ von K-Tokens auftaucht, sind die Umweltbedingungen sehr günstig für X: Im allgemeinen sind X-Tokens von vielen Katalysatoren umgeben und vermehren sich daher prächtig, erfolgreicher als K-Tokens. Der neue Typ wird sich also ausbreiten – aber nur bis zu einem gewissen Punkt. Das Verhältnis von K- zu X-Tokens wird sich nicht beliebig weit auf die X-Seite verlagern, wie es bei unserer vorigen Modellrechnung herauskam, denn die X-Tokens graben sich durch ihre erfolgreiche Vermehrung selbst das Wasser ab. Je mehr X-Tokens es im Verhältnis zu den katalysierenden K-Tokens gibt, desto mehr werden X-Tokens von ‚Artgenossen‘ statt von Katalysatoren umgeben sein und desto schlechter werden sie sich vermehren. Irgendwann ist ein Verhältnis erreicht, bei dem sich X-Tokens gleich gut wie K-Tokens replizieren, und dieses ist dann stabil. (Genauer ist es wohl so, dass der Anteil der X-Tokens immer langsamer zunimmt, je seltener die Katalysatoren für sie werden, und sich das Verhältnis von K- zu X-Tokens dergestalt asymptotisch dem stabilen Verhältnis annähert.)⁷

5.4 Fortschritt?

Ich habe hier immer von *der* Population geredet, die mit dem ersten Replikator-Token beginnt und alle Replikator-Tokens enthält (jedenfalls alle des betrachteten Replikationssubstrats, sofern nicht anderswo weitere ‚Ur-Replikatoren‘ spontan entstanden sind). Aber die Nachkommenschaft jedes Tokens in der Population bildet selbst wieder eine Population. (Wenn der Token Pech hat, d.h. geringen Replikationserfolg, dann ist er der alleinige Vertreter seiner Population oder seine Population stirbt bald wieder aus, endgültig verdrängt von fitteren Konkurrenten in der umfassenderen Population.) Die vom ‚Urahn‘ begründete Population zeichnet gegenüber ihren Teilpopulationen lediglich aus, dass sie allumfassend ist. Da unsere Überlegungen in

⁷Dieses Beispiel ist angelehnt an Dawkins' Ausführungen über *evolutionarily stable strategies* (1976, Kap. 5; s. auch Dawkins 1982 bzw. 1999, Kap. 7).

diesem Abschnitt sich nur darum drehen, wie *innerhalb* einer Population Replikator-Typen von anderen verdrängt werden, treffen unsere Schlussfolgerungen auf *alle* diese Populationen zu. Wir können also erwarten, dass in jeder dieser Populationen, in ‚kleinen‘ wie in ‚großen‘, immer wieder Typen mit höherer Fitness solche mit niedrigerer verdrängen werden.

Dies ist keine langweilige Tautologie. Dass X fitter als Y ist, bedeutet nicht *per definitionem*, dass X den Typ Y verdrängt. Dann hätte ich im letzten Absatz nur die Trivialität behauptet, dass diejenigen Typen, die die anderen verdrängen, eben die anderen verdrängen. Dass X fitter als Y ist, heißt vielmehr, dass X besser dafür *geeignet* ist, Y zu verdrängen, als umgekehrt. Ob dem so ist, überprüfen wir, indem wir die ‚Konstruktion‘ von X und Y als ‚Verdrängungsmaschinen‘ für eine bestimmte Umwelt begutachten, nicht indem wir später ihre Nachkommen zählen. Der besser ‚konstruierte‘ Typ wird *wahrscheinlich* den größeren Erfolg haben, aber auch ein noch so fitter Token kann Pech haben und z. B. vom Blitz getroffen werden. Je mehr Tokens aber der fittere Typ hat, desto unwahrscheinlicher ist es, dass sie *alle* mehr Pech haben als die Tokens von der Konkurrenz, und desto sicherer wird sich seine überlegene Konstruktion durchsetzen. Wenn es also einmal von Y sehr viele Tokens gegeben hat, dann ist die Tatsache, dass Y von X verdrängt wurde, ein sehr zuverlässiges *Indiz* dafür, dass X fitter war.

Wenn nun immer wieder Typen von höherer solche von geringerer Fitness aus der Population verdrängen, dann liegt die Schlussfolgerung nahe, dass in einer gegebenen Population die Fitness der vorkommenden Replikator-Typen mit der Zeit immer größer werden muss. Das stimmt so jedoch nicht, weil bei diesem Schluss die Relativität von Fitness vernachlässigt wird. Wenn diese Art von Evolution stattfindet, dann entstehen in einer Population immer wieder neue Typen, die *fitter als die gerade vorherrschenden* sind und diese daher aus der Population verdrängen. Wenn sie ihre Konkurrenten aber so weit verdrängt haben, wie es ihnen möglich war, dann *zählt* ihre relative Fitness mangels dieser Konkurrenten nichts mehr. Unter Umständen waren die Emporkömmlinge nur gut darin, *die* speziellen Typen zu verdrängen, auf die sie zufällig bei ihrer Entstehung gestoßen sind. Das würde nichts über ihre Erfolgchancen im Vergleich mit einem vorher seltenen Typ (eventuell einem Mutanten aus ihren eigenen Reihen) besagen. Es macht also gar keinen Sinn, von immer weiter steigender Fitness zu sprechen, weil die Konkurrenten, mit denen verglichen werden muss, dauernd wechseln. Statt von ‚der Fitness von X‘ muss man also eher nacheinander reden von ‚der Fitness von X verglichen mit Y (während Y häufig, Z aber selten ist)‘ und ‚der Fitness von X verglichen mit Z (wenn Y und Z selten sind)‘ usw.

Es kann aber dennoch ein Fortschritt stattfinden, nicht in punkto Fitness, wo an die Stelle jedes verdrängten Konkurrenten bald ein anderer tritt und somit die Karten immer wieder ganz neu verteilt werden, sondern hinsichtlich der *Mechanismen* der Verdrängung. Wenn immer wieder Replikator-Typen mit weniger ausgefeilter Konstruktion von solchen ersetzt werden, die etwas ‚ausgeklügelter‘ konstruiert sind, dann können mit der Zeit immer *komplexere* Mechanismen zur Selbstreplikation und Verdrängung anderer entstehen. – Das ist der Kern von Dawkins‘ Buch *The Blind Watchmaker*: Durch kumulative Selektion können bei geeigneter Variation ‚Maschinen‘ von beliebiger Komplexität entstehen (1991, bes. Kap. 3). (Dabei darf die Selektion sogar ‚blind‘, d. h. ohne einen selektierenden Verstand, sein und die Variation zufällig, d. h. ohne einen kreativen Verstand dahinter.)

Solcher Fortschritt in der funktionalen Komplexität muss allerdings nicht in jeder Population auftreten; Populationen können komplexitätsmäßig stagnieren. Eine Möglichkeit ist, dass sie insgesamt stagnieren, weil die vorkommenden Typen ein-

fach schon optimal an ihre Umweltbedingungen angepasst sind, in dem Sinne, dass jede einigermaßen wahrscheinliche Mutation weniger fit als die herrschenden Typen ist. Eine andere Möglichkeit ist, dass eine Population zwar nicht ‚stillsteht‘, aber sozusagen ‚im Kreis läuft‘, indem sich verschiedene Typen reihum in der Vorherrschaft ablösen. Dies kann passieren, wenn die Vorherrschaft des einen Typs jeweils die Umweltbedingungen so verändert, dass der nächste ihm an Fitness überlegen wird und ihn ablöst (und wenn keine Neuankömmlinge auftreten, die den Kreislauf unterbrechen).

6 Selektion nach Kooperationsfähigkeit

Wir haben gesehen, dass ein Replikator-Typ X einem anderen, Y, ‚schaden‘ oder ‚nützen‘ kann. „Schaden“ heißt, dass die Gegenwart von X-Tokens die Verdrängungsfähigkeit von Y vermindert; „nützen“ heißt, dass sie sie erhöht. Wir sind also hier noch nicht *gezwungen*, vom funktionalen auf den intentionalen Standpunkt überzuwechseln. Allerdings erleichtert die Verwendung dieser intentionalen Termini ungemein die Verständigung, deswegen werde ich sie im Folgenden ohne Anführungsstriche benutzen. Das einem Replikator-Typ dabei unterstellte Interesse ist, andere Typen möglichst weit aus der Population zu verdrängen.

Wenn nun zwei (oder mehrere) Replikator-Typen aufeinandertreffen, die einander *gegenseitig* nützen, dann wird die ‚Evolution‘ noch ein Stück interessanter. Ein Replikator-Typ X, der zusammen mit einem anderen, Y, ein solches kooperierendes Paar bildet, wird im Vergleich zu ‚einzelläufigen‘ Replikatoren von gleicher ‚Solo-Fitness‘ (d.h. Fitness in Abwesenheit von Tokens des Kooperationspartners Y) deutlich erfolgreicher sein – sobald einmal Tokens von X und Y aufeinandergetroffen sind.

Nehmen wir vorerst an, dass X und Y jeweils die *konstruktive* Fitness des anderen erhöhen. Indem nun X seinen Partner Y bei dessen Vermehrung unterstützt, unterstützt er indirekt sich selbst bei seiner Vermehrung. Da nämlich Y wiederum X unterstützt, bedeutet eine Vermehrung von Y *mehr* Unterstützung für X, d.h. die Umweltbedingungen ändern sich zu X's Vorteil, d.h. seine (konstruktive) Fitness wird noch gesteigert. Dies produziert nicht mehr einfaches exponentielles Wachstum, sondern eines mit *wachsendem* Exponenten.^m Der Typ X wirkt indirekt sozusagen potenzsteigernd auf sich selbst. (Nach dem, was wir uns im vorigen Abschnitt bezüglich exponentiellen Wachstums überlegt haben, kann dieser Prozess natürlich erst recht nicht lange so weiter laufen.)

‚Konstruktive Kooperation‘ unter Replikator-Typen ist also eine besonders effektive Methode bei deren Selbstreplikation. Insbesondere werden Mitglieder kooperierender Gruppen besonders schnell andere Typen aus der Population verdrängen – ausgenommen ihre Kooperationspartner. Das ist der Nachteil der Kooperation: Man muss seinen Partnern etwas von dem abgeben, was man eigentlich am liebsten ganz für sich allein hätte. Nicht-intentional ausgedrückt: Mitglieder kooperierender Gruppen verdrängen zwar *Außenseiter* äußerst effizient, aber ihre *Partner* äußerst ineffizient (einen anderen Typ zu unterstützen ist der schlechtestmögliche Weg, ihn zu verdrängen).

Wie steht es nun, wenn X und Y jeweils die *destruktive* Fitness des anderen erhöhen? Vorausgesetzt, dass sie jeweils die destruktive Fitness des anderen nur in Bezug auf *Außenseiter* erhöhen (dass also eine Vermehrung der X-Tokens nicht die Fähigkeit von Y erhöht, die Vermehrung von X selbst einzudämmen, und umgekehrt),

^mDas ist evtl. zu simpel. X vermehrt sich ja *mit*; es erhöht sich also nicht die Y-Konzentration für X, und auch nicht umgekehrt. Also doch nur exponentielles Wachstum, aber mit höherem Exponenten als ohne einander.

ist das Resultat, was Verdrängung angeht, ähnlichⁿ wie vorher: Die Tokens von X und Y vervielfachen sich im (evtl. gemächlichen) üblichen Tempo, aber je mehr X-Tokens es gibt, desto mehr hemmt Y Außenseiter, und umgekehrt. Je mehr die relative Häufigkeit der beiden Partner wächst, desto stärker werden Außenseiter an der Vermehrung gehindert. Vermutlich geht die Rechnung so, dass wir X und Y gemeinsam als *einen* Replikator-Typ auffassen, der (wie im vorigen Abschnitt) einfach eine gewisse destruktive Fitness in der Beziehung zu seinen Konkurrenten hat; das Resultat wäre also wie im vorigen Abschnitt (nicht unbedingt immer schnellere Verdrängung der Außenseiter).

"ja?

Wenn sie schließlich die destruktive Fitness ihres Partners auch in Bezug auf sich selbst erhöhen, dann, so vermute ich, erreichen sie schnell einen Punkt, wo sie sich gegenseitig auf Nullwachstum heruntergebremst haben.^o

"ja?

Wenn zu den Effekten der kooperierenden Replikator-Typen auch noch eine Verbesserung des Paar- bzw. Gruppen*zusammenhalts* (soll heißen, des Zusammenhalts von *Tokens* der Kooperationspartner) gehört, dann wird die effizienzsteigernde Wirkung der Kooperation besonders stark sein. In diesem Fall wird nämlich die Wahrscheinlichkeit verringert, dass die Tokens der Partner auseinandergerissen werden und der Synergieeffekt verlorengeht. Unter den Replikator-Typen, die in einer Gruppe mit anderen kooperieren, werden also *ceteris paribus* diejenigen deutlich erfolgreicher sein, deren Token-Gruppen sich fester zusammenschließen.

7 Selektion von Replikator-Gruppen

7.1 Gruppen-Populationen

Wenn Gruppen von Replikatoren mit relativ festem inneren Zusammenhalt auftreten, beginnt wieder eine neue Phase der ‚Evolution‘. Ab hier fährt die ‚Evolution‘ gewissermaßen zweigleisig. Zum einen setzt sich der Verdrängungswettbewerb zwischen einzelnen Replikator-Typen, den wir in den vorigen beiden Abschnitten betrachtet haben, weiter fort, und die Kooperation in Gruppen ist sozusagen nur eine neue Technik, deren sich einige dabei bedienen. Zum anderen kann man aber, wenn der Zusammenhalt einer Gruppe so stark ist, dass sie sich i. a. *als Gruppe* repliziert, von der Individualität ihrer Mitglieder absehen und die Gruppe als Ganzes als einen neuen Replikator betrachten.

Tokens von Replikator-Gruppen bringen wie Tokens einzelner Replikatoren Populationen von Kopien ihrer selbst hervor. (Hier ist wohl leichter als im Falle von Einzelreplikatoren vorstellbar, dass Tokens desselben (Gruppen-)Typs unabhängig voneinander spontan entstehen, dass also der ‚Stammbaum‘ eines Gruppen-Typs mehrere Wurzeln hat.) In Gruppen-Populationen kann auf unterschiedliche Weise Variation entstehen. Ein Mitgliedstoken kann im Laufe der Gruppenreplikation eine Fehlkopie erleiden, d. h. die Gruppe mutiert, indem ein Mitglied mutiert. Die andere Möglichkeit ist, dass Mitgliedstokens verloren gehen oder Tokens neuer Einzelreplikatoren in die Gruppe eintreten. Ein Spezialfall davon wäre es, wenn sich zwei oder mehr Gruppen zu einer größeren zusammenschließen.

Wenn in einer solchen Gruppen-Population immer wieder *vorteilhafte* Variation auftritt, dann kann erneut der Verdrängungswettbewerb zwischen verschiedenen Typen ablaufen, nur diesmal auf Gruppenebene. Weil Gruppen komplexere Objekte als Einzelreplikatoren sind, ist damit auch das Potenzial für komplexere Mechanismen und Effekte geschaffen.

7.2 Funktionale Rollen in Gruppen: Gene

Ein einzelner Replikator-*Token* steckt in einem Gruppen-Token aus *physikalischen* Gründen: weil er in diese Konfiguration hineingeraten ist oder hinein, geboren' wurde. Ein einzelner Replikator-*Typ* hingegen steckt in einem Gruppen-Typ (wenn er sich schon längere Zeit darin gehalten hat) aus *funktionalen* Gründen: weil die Gruppe mit ihm fitter ist als ohne ihn oder weil er schwer loszuwerden ist. Wenn ein Gruppenmitglied X also kein Trittbrettfahrer ist, dann ist es deswegen in der Gruppe, weil es den anderen Mitgliedern etwas zu bieten hat, was diese nicht oder nur schlechter selbst leisten können. (Das heißt, die Variante des Gruppentyps, die X nicht enthält, ist unfitter als die mit X.) Dass X in der Gruppe diese Leistung erbringt, diesen Effekt hat, ist der *Grund* dafür, dass X in der Gruppe ist, anstatt nicht darin zu sein (genauer: dafür, dass die Gruppe *mit* X so zahlreich ist im Verhältnis zur Gruppe *ohne* X). Man kann auch sagen, X hat eine bestimmte *Funktion* oder funktionale Rolle in der Gruppe. Die Funktion von X in der Gruppe ist derjenige Effekt von X in der Gruppe, der die Gruppe *mit* X erfolgreicher als die Gruppe *ohne* X gemacht hat. (Der Typ X muss solo nicht dieselben Effekte haben wie in der Gruppe. Es wäre also nicht ganz korrekt, einfach von „demjenigen Effekt von X“ zu reden, „wegen dem X in der Gruppe ist“.)

Je komplexer die Gruppenleistung ist, desto stärker werden die Mitglieder aufeinander abgestimmt und eingespielt sein, desto abhängiger ist die Gruppe von einzelnen Mitgliedern und desto starrer ist die funktionale Rollenverteilung. Das heißt, wenn ein Mitglied einen Gruppen-Token ‚verlässt‘ (indem es mutiert oder anderweitig verlorenght), dann ist es für die Gruppe wichtig, dass ein anderer Replikator-Token an seine Stelle tritt (der Mutant oder ein Quereinsteiger oder natürlich ein anderer Token desselben Typs) und die Arbeit des Aussteigers übernimmt. Wenn Variation dieser Art entsteht, resultiert eine Konkurrenz zwischen verschiedenen ‚Bewerbern‘ für denselben ‚Job‘. Den Job (die funktionale Rolle) in Gruppen dieses (nichtdefiniten) Typs kann man ein *Gen* im Gruppen-Typ nennen, und die Bewerber sind verschiedene *Allele* dieses Gens.

Wenn in einem (sehr indefiniten) Gruppen-Typ viele verschiedene Plätze gleichzeitig umkämpft werden, dann setzen sich nicht unbedingt einfach an jeder Stelle diejenigen Allele durch, die den betreffenden Job ‚am besten‘ erledigen. Die Nützlichkeit eines Allels an einem bestimmten Platz in der Gruppe kann nämlich davon abhängen, welche Allele gerade an bestimmten *anderen* Plätzen in der Gruppe sitzen. Wenn jedoch viele verschiedene Kombinationen durchgespielt werden (also Tokens für viele verschiedene Gruppenzusammenstellungen auftauchen), dann werden sich im Lauf der Zeit diejenigen *Kombinationen* von Allelen durchsetzen, die am besten zusammenarbeiten.⁸

7.3 Egoistische Replikatoren

Die Mitglieder einer Gruppe werden bei der Replikation der Gruppe quasi mitgeschleppt: Der replikative bzw. Verdrängungserfolg der Gruppe ist auch der Erfolg jedes einzelnen Mitglieds – jedenfalls solange bei der Gruppenreplikation alle Mitglieder gleich behandelt werden, d. h. solange von allen Mitgliedern immer gleich viele und gleich gute Kopien angefertigt werden. Unter diesen Umständen kann man erwarten, dass sich in der Nachkommenschaft eines Mitgliedstyps diejenigen neuen Typen durchsetzen werden, die besser als andere der Replikation der Gruppe dienen: Wenn ein Mitglied für seine eigene Verbreitung auf die Verbreitung der Gruppe

⁸Vgl. Dawkins' Analogie von der Rudermannschaft (1976, S. 40 f., 91 f.).

angewiesen ist, dann wird es eben deren Verbreitung (und damit die seiner Partner) nach Kräften unterstützen. Funktional gesprochen: Solange in der Nachkommenschaft eines Mitglieds kein Typ auftaucht, der sich noch besser *auf Kosten* der anderen Gruppenmitglieder verbreiten kann als in Kooperation mit ihnen, werden diejenigen Typen sich am stärksten ausbreiten, die die Gruppenreplikation (und damit die ihrer Partner) am günstigsten beeinflussen.

Ein Gruppenmitglied hat aber an der Replikation seiner Partner eben nur so lange und insofern ‚Interesse‘, als es zur Maximierung seines eigenen Erfolges auf sie angewiesen ist. Wenn in der Nachkommenschaft eines Mitglieds ein Typ auftaucht, der bewirkt, dass seine Partner z. B. bei der Gruppenreplikation für *ihn* eine besondere Schutzhülle herstellen, die seine Langlebigkeit (auf Kosten der Gruppenfruchtbarkeit) erhöht, so könnte dieser sich u. U. gegenüber seinen weniger ‚egoistischen‘ Varianten (Allelen) durchsetzen.

Könnte ein Gruppenmitglied X sich in einer Einzeltypen-Population durchsetzen, das seine ‚Geschwister‘ außerhalb der Gruppe unterstützt (X-Tokens, die als Einzelgänger oder in Gruppen ganz anderen Typs unterwegs sind), dabei aber seine Gruppe schädigt? Der Typ X könnte etwa seine Gruppe dazu bringen, bei jeder Gruppenreplikation einen zusätzlichen X-Token herzustellen, der dann solo in die Welt hinausgeschickt wird, während Gruppen desselben (indefiniten) Typs, die an X's Stelle dessen Konkurrenten Y enthalten, von diesem keine Zusatzkopie anfertigen und sich deshalb effektiver vermehren.

Dies scheint eine plausible Möglichkeit zu sein. Als Einzeltyp betrachtet kann X so erfolgreicher als Y sein, d. h. X kann Y in der gemeinsamen Population abdrängen. Als Gruppenmitglied betrachtet wird X aber umgekehrt von Y verdrängt werden. Wenn wir die Population des betreffenden Gruppen-Typs betrachten, dann ist der Y-Subtyp erfolgreicher als der X-Subtyp, denn Y-Gruppen verschwenden keine Energie darauf, zusätzliche Einzeltokens herzustellen, die für die Gruppe gar keinen Nutzen haben.

Wer ist nun erfolgreicher, X oder Y? – Im herkömmlichen Sinn ist natürlich X erfolgreicher, aber wenn wir unsere Betrachtung auf die Entwicklung innerhalb der Gruppe beschränken, dann ist Y erfolgreicher. Es bietet sich an, hier statt von *zwei* Replikator-Typen (X und Y) eher von *viere*n zu sprechen: X-solo, X-in-der-Gruppe, Y-solo und Y-in-der-Gruppe. Der Typ X-solo fährt besser als Y-solo, weil er die Replikation seiner Gruppenvariante zu seinem eigenen Vorteil ‚ausbeutet‘, was Y-solo nicht tut. Eben deswegen ist aber Y-in-der-Gruppe fitter als X-in-der-Gruppe, weil es sich sozusagen auf seine eigene Replikation konzentriert. Die Solo-Typen haben zwar intern dieselbe Konfiguration wie ihre Gruppen-Varianten, aber weil sich ihre replikativen Wege trennen (Erfolg für X-solo ist nicht Erfolg für X-in-der-Gruppe), muss man Solo- und Gruppen-Variante als *verschiedene* Konfigurationen und Replikator-Typen auffassen.

Jetzt werden sozusagen vier Rennen gleichzeitig gefahren; es laufen parallel vier Sorten von Konkurrenzkämpfen ab, in denen jeweils andere Paare (bzw. ganze ‚Familien‘ oder Tupel) von Replikator-Typen einander zu verdrängen versuchen:

- *Einzelne* Replikator-Typen konkurrieren in Populationen ‚solistischer‘ Replikatoren,
- *Gruppen* von Replikator-Typen (insb. ‚Gruppen‘ mit nur einem Mitglied, d. h. Einzelgänger) konkurrieren in (etwas diffuseren) Populationen,
- einzelne Replikator-Typen konkurrieren in Begleitung unterschiedlicher Gruppen (oder solo) mit *sich selbst*

- und verschiedene Replikator-Typen (Allele) konkurrieren um *denselben Platz* (denselben ‚Gen-Locus‘) in einem (nichtdefiniten) Gruppen-Typ.

(Den Fall, dass X ‚mit sich selbst‘ konkurriert, müsste man – s. o. – eigentlich so darstellen, dass *verschiedene* X-Typen miteinander konkurrieren: X-solo, X-in-Gruppe-A, X-in-Gruppe-B, etc. Wenn man nun X selbst als eine sehr kleine *Gruppe* auffasst, dann ergibt sich wieder die Situation der Konkurrenz von Allelen – die ‚leere Gruppe‘, Gruppe-A-als-Replikator, Gruppe-B-als-Replikator, usw. – um einen Job in der ‚Gruppe‘ X: den des *Begleiters* von X.)

8 Selektion nach Vehikeffizienz

8.1 Komplexe Effekte von Replikator-Gruppen

Gruppen kooperierender Replikatoren mit festem inneren Zusammenhalt können komplexere Effekte haben (bzw. komplexere Mechanismen hervorbringen) als einzelne Replikatoren, und größere Gruppen können komplexere Effekte haben als kleinere. „Komplex“ soll dabei nicht „kompliziert“ oder „umständlich“ heißen, sondern „ausgefeilt“, „raffiniert“: Replikatoren haben nichts von Rube-Goldberg-Maschinen, aber von High-Tech können sie u. U. profitieren. Es geht um Komplexität im Dienste der Replikation, um funktionale Komplexität, nicht einfach um strukturelle.

Treten *zwangsläufig* Replikator-Gruppen mit immer komplexeren Effekten auf? Man könnte denken, raffiniertere Mittel sind einfacheren immer überlegen, so dass High-Tech-Replikatoren notwendigerweise ihre Low-Tech-Konkurrenz verdrängen. Aber Komplexität hat i. a. auch Nachteile:

- komplexe Effekte sind zeitaufwendiger herzustellen,
- sie erfordern mehr oder ‚teurere‘ Ressourcen,
- sie setzen komplexere ‚Werkzeuge‘ voraus,
- sie sind fehleranfälliger,
- sie sind in gewissem Sinne unflexibler, weil sie auf einen engeren Bereich von Umweltbedingungen und Anwendungen (Replikationsmethoden) spezialisiert sind.

Komplexere Mechanismen wiegen aber manchmal ihre Nachteile dadurch auf, dass sie eine neuartige Leistung erbringen, die es einer Replikator-Gruppe ermöglicht, eine neue ökologische Nische zu besetzen. Das kann ein neuer Ort sein, wie z. B., als die ersten Tiere vom Meer aus das Land ‚eroberten‘, es kann aber auch ein neuer ‚Lebensstil‘ an einem bereits besiedelten Ort sein, z. B. sich als erster von Pflanzen, also von anderen Lebewesen, zu ernähren statt von toter Materie, oder als erster Fleischfresser von anderen Tieren statt von Pflanzen.

Es gibt sicher keinen allgemeinen Selektionsdruck in Richtung von höherer Komplexität; Komplexität an sich ist Replikatoren nicht von Nutzen (macht sie nicht erfolgreicher). Wenn aber immer wieder die Situation eintritt, dass alle herkömmlichen Techniken und Strategien ausgereizt sind und Variation von *gleicher* (oder niedrigerer) Komplexität auch nicht von Nutzen ist, aber nützliche Variation von *höherer* Komplexität auftaucht, dann erhalten wir im Lauf der Zeit Replikator-Effekte von immer höherer Komplexität.

8.2 Vehikel und ihre Populationen

Eine mögliche Sorte von komplexen Effekten, die Replikator-Gruppen zum Zwecke ihrer Ausbreitung hervorbringen können, besteht in der Konstruktion von *Überlebensmaschinen*, von ‚Artefakten‘, die der Gruppe nützliche Dienstleistungen erbringen. Z.B. sind Zellen, Zellaggregate und Organismen solche Überlebensmaschinen für ihr jeweiliges Genom. (Die Replikator-Tokens selbst könnte man als die einfachstmöglichen Überlebensmaschinen für ihren jeweiligen Typ auffassen.)

Dawkins (1999, S. 82) hat für solche Überlebensmaschinen den Begriff *Vehikel* eingeführt: „[...] I am using the word ‘vehicle’ for an integrated and coherent ‘instrument of replicator preservation’. A vehicle is any unit, discrete enough to seem worth naming, which houses a collection of replicators and which works as a unit for the preservation and propagation of these replicators“ (a. a. O., S. 114). Man kann auch Gruppen von Organismen, ganze Spezies oder noch größere taxonomische Einheiten als Vehikel für ihren jeweiligen Genpool betrachten, aber Gruppen- oder Speziesselektion spielen jedenfalls in der Evolution des irdischen Lebens keine sehr wichtige Rolle (a. a. O., Kap. 6; s. auch Dawkins 1994). Ich verwende hier die Worte „Vehikel“ und „Überlebensmaschine“ synonym und denke dabei vor allem an Organismen und deren Effekte.

Die Vehikel verschiedener Replikator-Gruppen (Genome) müssen nicht klar voneinander getrennt sein; Replikator-Gruppen können die von anderen Gruppen konstruierten Vehikel für ihre eigenen Zwecke nutzen und sie so ganz oder teilweise zu Vehikeln für sich selbst umfunktionieren (Dawkins 1999, Kap. 12 f.). Die Gesamtheit der Effekte eines Gens (oder Genoms) in der Welt nennt Dawkins (a. a. O., Kap. 11–13) den *erweiterten Phänotyp* (*extended phenotype*) des Gens (Genoms). (Genauer müsste man über die Effekte eines *Allels* für ein bestimmtes Gen in einem bestimmten Genom, verglichen mit denen *anderer* Allele für dieses Gen, reden.)

Vereinfacht gesagt, bringen verschiedene Typen von Replikator-Gruppen verschiedene Typen von Vehikeln hervor. Genau genommen ist das falsch, weil Unterschiede bei den Umweltbedingungen während der Entwicklung des Organismus, der Ontogenese (insbesondere bei den Bedingungen etwa im Mutterleib), zu Unterschieden zwischen Organismen führen können, die von Tokens desselben Gruppen-Typs hergestellt wurden; und weil ein Unterschied zwischen Gruppen-Typen nicht immer einen Unterschied zwischen den resultierenden Vehikeln nach sich zieht (außer natürlich auf der Ebene der Gene). Diese Feinheiten sind hier aber vernachlässigbar.

Wenn nun Gruppen von Replikatoren Vehikel hervorbringen, die Kopien dieser Gruppen anfertigen, welche wiederum Vehikel für sich herstellen, dann erhalten wir *Populationen* von Vehikeln; und wenn bei den Replikator-Gruppen Variation auftritt, dann haben wir verschiedene Typen von Vehikeln in der jeweiligen Population. *Welche Vehikel-Typen werden im Lauf der Zeit in der Population häufiger werden bzw. die größte Verdrängungswirkung haben?* Werden es wie bei den Replikatoren diejenigen sein, die am besten darin sind, sich in ihrer Population auszubreiten? diejenigen also, die am effizientesten darin sind, viele ‚Maschinen‘ herzustellen, die möglichst genau so sind wie sie selbst? – Nur (soll heißen: höchstens) dann, wenn sie *selbst* Replikatoren werden.

8.3 Organismen als Replikatoren?

Einige werden jetzt vielleicht fragen: *Sind* denn Vehikel, z.B. Organismen, keine Replikatoren? Wenn man Vehikel als Werkzeuge von Replikatoren zur Herstellung

weiterer Replikator-Tokens auffassen kann, kann man dann nicht genauso gut Replikator-Tokens wie z. B. DNS-Stränge als Werkzeuge von Organismen zur Herstellung weiterer Organismen auffassen? – Man kann natürlich, aber man wird durch diese Betrachtungsweise in die Irre geführt.

Funktional betrachtet ist durchaus das Ei zuerst da, nicht das Huhn. Vehikel stellen i. a. nur in einem schwachen Sinne Kopien von sich selbst her, der für die Evolution irrelevant ist. Denn welche Eigenschaften eines Vehikels erben seine Tochter-Vehikel normalerweise? Erben die Kinder des Schmiedes seine kräftigen Arme, sein Wissen über Metallverarbeitung, seine Narben und Schwielen? Höchstens dann, wenn sie dieselbe Laufbahn einschlagen wie er, wenn sie genauso ernährt und ausgebildet werden und sich an denselben Stellen mit dem Hammer auf die Finger schlagen. – Aber seine Kinder werden ihm doch ähneln? Nicht nur, dass sie wieder Menschen sind und keine Eichhörnchen oder Pustebumen, sie werden auch eine gewisse Familienähnlichkeit mit ihm aufweisen! Und im Falle von Lebewesen, die sich asexuell reproduzieren, werden die Kinder sogar identische Kopien sein! – Das ist wieder nur in einem irrelevanten schwachen Sinne richtig: Was Tochter-Vehikel an *nichtzufälligen* Gemeinsamkeiten (soll heißen: Gemeinsamkeiten, die über hinreichend viele Generationen hinweg erhalten bleiben, dass sie Einfluss auf den Lauf der Evolution haben^{P??}) mit ihren Erzeuger-Vehikeln haben, ist nur Ausdruck der ihnen gemeinsamen *Gene*, also ein Zeichen des Selbstreplikationserfolges der verantwortlichen *Replikatoren*, nicht der Vehikel. Keine Kraft wirkt darauf hin, erworbene Eigenschaften von Vehikeln weiterzuerben.

Erworbene Eigenschaften (Mutationen) von Replikator-Tokens hingegen werden weitervererbt (sofern nicht Mechanismen im Vehikel den ‚Schaden‘ vor der Konstruktion des neuen Vehikels beheben können). So entsteht evolutionär relevante Variation in der Vehikel-Population; nicht durch die sonstigen Einflüsse, denen Vehikel ausgesetzt sind.

Die ‚lamarckistische‘ Vererbung erworbener Eigenschaften von Vehikeln ist allerdings nicht prinzipiell ausgeschlossen. Es ist denkbar, dass ein Vehikel-Typ selbst zum Replikator wird, nämlich wenn er einen Weg findet, ‚echte‘ Kopien von seinen Tokens herzustellen. Eine Möglichkeit dazu ist, die Replikator-Gruppen-Tokens, die das Vehikel zur Fortpflanzung benutzt (bzw. von denen es zur Replikation benutzt wird), so zu verändern, dass sie möglichst getreulich seine spezifische Gestalt widerspiegeln. D. h. ein Organismus müsste seine Gameten (Eizellen, Spermien oder dergleichen) mit solcher DNS ausstatten, die im Laufe der Embryonalentwicklung einen Organismus hervorbringt, der ihm möglichst stark ähnelt – mit allen erworbenen Eigenschaften: Schäden wie Anpassungsleistungen. Das ist aber aus embryologischen Gründen für irdisches Leben so gut wie ausgeschlossen: Das Genom eines Organismus ist kein ‚Bauplan‘ für diesen, sondern eher ein ‚Rezept‘ zu seiner Herstellung (s. Dawkins 1991, Kap. 11, bes. S. 361–368); und es ist praktisch nicht machbar, einer Veränderung am Organismus abzulesen, welche Veränderung am Genom diesen phänotypischen Effekt reproduzieren könnte – für den unwahrscheinlichen Fall, dass der Effekt überhaupt genetisch reproduzierbar ist. Es ist ein wenig, als wollte man einem durcheinandergebrachten Zauberwürfel ablesen, mit welcher Folge einfacher Verdrehungen man seinen Zustand bei unverdrehten Würfeln reproduzieren kann – am besten mit allen Schrammen und Dellen.

Eine andere Möglichkeit zur Selbstreplikation für Vehikel besteht darin, auf anderem Wege als dem der Fortpflanzung Kopien von sich herzustellen. Man könnte sich ein Science-Fiction-Szenario vorstellen, in dem ein verrückter Wissenschaftler eine Methode erfindet, materielle Gegenstände zu duplizieren (‚Beamen‘ unter Erhalt

des Originals sozusagen). Wenn der Wissenschaftler gewillt ist, *sich selbst* auf diesem Wege zu replizieren, und seine Kopien ihm so sehr ähneln, dass sie sich ebenfalls replizieren wollen, und auch jeweils ihren eigenen ‚Duplikator‘ erhalten, dann wäre dieser Wissenschaftler (dieses Vehikel) ein Replikator.

Es ist also im Prinzip denkbar, dass Vehikel selbst zu Replikatoren werden, aber irdisches Leben ist auf jeden Fall kein Beispiel dafür. Wenn diese Möglichkeit bei einem Replikationssubstrat eintritt, dann haben wir zwei verschiedene Replikator-Typen, die um die Leistungen eines Vehikel-Typs konkurrieren: den Replikator-Gruppen-Typ, der das Vehikel hervorgebracht hat, und den Vehikel-Typ selbst, aufgefasst als neuer Replikator-Typ.

8.4 Selektionskriterien für Vehikel

Wir hatten gefragt, welche Vehikel-Typen sich im Lauf der Zeit in einer Vehikel-Population am stärksten ausbreiten werden. Im vorigen Unterabschnitt hatten wir uns klar gemacht, dass das Erfolgskriterium nicht die Effizienz bei der *Selbstreplikation* ist (jedenfalls nicht, solange Vehikel-Typen nicht selbst Replikationsfähigkeit erlangen – wovon ich ausgehen werde). Die Ausbreitung eines Vehikel-Typs in der Vehikel-Population spiegelt vielmehr nur die Ausbreitung der zugrundeliegenden Replikator-Gruppe(n) in der Gruppen-Population wider.

Man könnte also (nicht sehr informativ) sagen, dass sich Vehikel-Typen in Abhängigkeit von der Verdrängungsfitness der zugrundeliegenden Replikator-Gruppen ausbreiten. Aber der Verdrängungserfolg der Replikator-Gruppen beruht wiederum nur auf der desbezüglichen Effizienz ihrer Vehikel, egal ob dies nun ‚nackte‘ Gruppen-Tokens, Einzeller oder komplexe Organismen sind. Replikator-Gruppen bauen und ‚programmieren‘ Vehikel für sich; unterschiedliche Vehikel-Typen dienen unterschiedlich gut der Verbreitung ihrer jeweiligen Replikator-Gruppen; diejenigen Replikator-Gruppen, deren Vehikel besser für ihre Verbreitung sorgen, werden sich i. a. besser verbreiten; und entsprechend werden sich auch ihre Vehikel besser in der Vehikel-Population verbreiten als diejenigen, deren Replikator-Gruppen schlechtere ‚Vehikelkonstrukteure‘ sind. Eigentlich werden also zwar *Replikator-Gruppen* nach der Effizienz ihrer Vehikel ‚ausgelesen‘, aber die Ausbreitung der Replikator-Gruppen spiegelt sich in der Vehikel-Population getreulich wider, so dass man auch sagen kann, dass die Ausbreitung von *Vehikeln* ein Effekt ihrer Effizienz bei der Verbreitung der zugehörigen Replikator-Gruppen ist. Kurz: Den Löwenanteil einer (reifen) Vehikel-Population werden solche Vehikel-Typen ausmachen, die *gut darin sind, ihre Replikator-Typen in der Replikator-Population zu verbreiten*. (Dies gilt wieder nur unter der Voraussetzung, dass immer wieder vorteilhafte Variation in der Replikator-(Gruppen-)Population auftritt.)

In den Abschnitten 5.2 und 6 haben wir gesehen, dass Replikatoren anderen nützen oder schaden und auch mit ihnen kooperieren können in dem Sinne, dass die physikalischen Effekte der einen die Ausbreitung der anderen begünstigen oder hemmen. In gewissem Sinne waren dies schon Überlegungen über Wechselwirkungen von *Vehikeln*, denn wenn ein Replikator-Typ irgendetwas ‚bewirkt‘, dann nur über die physikalischen Effekte seiner *Vehikel* (nackte Tokens eingeschlossen). Dass ein Replikator-(Gruppen-)Typ X einem anderen, Y, ‚nützt‘, heißt also, dass die physikalischen Effekte der *Vehikel* von X die Vehikel von Y in ihrer Y-Verbreitungsfunktion unterstützen.

Verkürzt kann man auch so reden, dass man die Interessen, die man zuvor den Replikatoren untergeschoben hat, nun ihren Vehikeln unterschiebt; dann würde

man sagen, dass ein Vehikel-Typ einem anderen nützt oder schadet oder mit ihm kooperiert. Im Alltag benutzen wir tatsächlich meist diese verkürzende Sprechweise und sagen etwa, dass der Parasitenorganismus den Wirtsorganismus ‚ausnützt‘, wo wir etwas präziser sagen müssten, dass die *Gene* des Parasiten mittels des von ihnen gebauten Organismus die *Gene* des Wirtes ausnützen, indem sie den von diesen gebauten Organismus für ihre eigenen Ziele missbrauchen. Und *ganz* präzise müssten wir sagen, dass bestimmte Effekte der Parasitengene gewisse Effekte der Wirtsgene so modifizieren, dass sich die Parasitengene besser und die Wirtsgene schlechter ausbreiten, als sie es jeweils in Abwesenheit des anderen getan hätten.

Während sich die Rede von Nutzen, Schaden und Kooperation ohne allzu große Verfälschung auf die Ebene von Vehikeln übertragen lässt, geht dies bei den Selektionskriterien für Replikatoren (Langlebigkeit, Fruchtbarkeit, Kopiertreue; s. S. 10) nur eingeschränkt. Bei Replikatoren verbessern Langlebigkeit etc. *per se* deren Effizienz, bei Vehikeln nicht. Die Gene könnten z. B. ein längeres Leben für ihr Vehikel ‚erkaufen‘, indem sie ihm die Mühen und Gefahren der Fortpflanzung ersparen; aber solche Gene würden aussterben. Größere Fruchtbarkeit kann erreicht werden, indem sich ein Vehikel weniger Mühe mit seinen ‚Kindern‘ macht, sie z. B. schlecht mit Ressourcen versorgt (vor oder nach der ‚Geburt‘); dann reichen dieselben Ressourcen für mehr ‚Kinder‘. Dafür wird aber ein höherer Prozentsatz der ‚Kinder‘ sterben, ohne zum Reproduzieren gekommen zu sein. Und höhere Kopiertreue für die *Vehikel* ist den Genen ebenfalls nicht von Nutzen, wie wir in Abschnitt 8.3 gesehen haben: Sie ‚wollen‘ nicht möglichst *gleichartige* Vehikel, sondern solche, die möglichst viele möglichst exakte Kopien der Gene selbst produzieren.

Auf der anderen Seite *kann* natürlich höhere Langlebigkeit ihrer Vehikel den Replikatoren nützen, wenn sie eine eventuell diese begleitende Verringerung der Reproduktionsrate mehr als aufwiegt. Und größere Fruchtbarkeit der Vehikel kann den Replikatoren dann nützen, wenn sie eine eventuell diese begleitende Verringerung des Fortpflanzungserfolges der ‚Kinder‘ mehr als aufwiegt.

9 Selektion von Verhaltensoptionen durch Vehikel

9.1 „Selektion“, „Wahl“, „Entscheidung“

^aalles noch mal neu!?

^a Wir haben jetzt die Selektionsprozesse, auf denen die Evolution beruht, einmal sehr abstrakt, oberflächlich und unvollständig abgehandelt. Dies waren lauter Prozesse, die wir normalerweise höchstens in übertragenem Sinne als „Wahlen“ oder „Entscheidungen“ bezeichnen würden. (Wir werden später noch sehen, inwiefern das jeweils vernünftig ist.) Wenn aber ein *Lebewesen* in Reaktion auf bestimmte Ereignisse in der Welt bestimmte Verhaltensweisen zeigt, dann werden wir schon eher bereit sein, dies eine Wahl oder Entscheidung zu nennen. Dies gilt besonders, wenn es sich um ein Tier handelt, und umso mehr, je ‚höher entwickelt‘ dieses Tier ist.

Bestimmte Reiz–Reaktion–Übergänge bei *Menschen* schließlich bilden für uns die paradigmatischen Beispiele für Wahlen und Entscheidungen. Bestimmte, aber nicht alle: Wenn Anna eine Gänsehaut kriegt, weil ihr kalt ist, dann würde man natürlich nicht sagen, dass sie sich *entschieden* hätte, eine Gänsehaut zu kriegen. Ich rechne aber Gänsehaut-Kriegen und sogar beliebige andere körperliche Reaktionen auf Umwelteinflüsse (oder vehikelinterne Ereignisse) unter „Verhalten“, auch wenn sie keinerlei Funktion für irgendwen oder irgendetwas haben.

Von wegen „Reiz–Reaktion“: Ich rede hier so behavioristisch, um mich *allge-*

mein ausdrücken zu können, egal ob das betreffende Vehikel eine Person oder ein Replikator-Token ist. Ich will nicht leugnen, dass bei Personen die Reaktionen auf viele Reize durch bewusste Überlegungen und Abwägungen vermittelt sind.

9.2 Genetisch bedingtes Verhalten

Was auch immer ein Vehikel tut und lässt, entweder *dient* das Verhalten^r der Verbreitung seines Genoms oder es *schadet* ihr oder es lässt sie *unbeeinflusst*. (Man könnte wohl genauer nachfragen. Ob ein Verhalten nützt oder schadet, kann mit davon abhängen, was das Vehikel ansonsten disponiert ist zu tun, und eventuell davon, was die Alternativen gewesen wären.) Unterschiedliche Replikator-Gruppen-Typen bauen unterschiedliche Typen von Vehikeln, und unterschiedliche Vehikel-Typen können unterschiedliche Verhaltensdispositionen haben. Sind A und B Gruppen-Typen, die sich nur in wenigen Gruppenmitgliedern (Genen) unterscheiden, und bewirkt dieser Unterschied bei den zwei resultierenden Vehikel-Typen unter den gegebenen Umweltbedingungen unterschiedliche Verhaltensdispositionen, und ist weiter die Disposition der A-Vehikel der A-Verbreitung dienlicher als die Disposition der B-Vehikel der B-Verbreitung, dann wird sich A im Lauf der Zeit tendenziell mehr verbreiten als B. Wenn sich die (übrigen) Umweltbedingungen nicht ändern,^s so wird B nach einiger Zeit durch A verdrängt werden.

^r „Verhaltensprogramm“!

Das ist so weit nur ein Spezialfall der Selektion nach Vehikeffizienz aus dem vorigen Abschnitt. Für Verhaltensdispositionen, die ein Vehikel-Typ seinen zugrundeliegenden Replikator-Gruppen verdankt, gilt, dass sich i. a. diejenigen in der Vehikel- bzw. Phänotypen-Population durchsetzen werden, die den jeweils zugrundeliegenden Replikatoren dienlicher sind. Wenn immer wieder nützliche Variation auftaucht, werden die typischen Verhaltensmuster in der Vehikel-Population im Lauf der Zeit also immer effizienter sein.

^sbzw. nicht so verändern, dass sich die Nützlichkeit der Verhaltensweisen verändert

Es gilt allerdings wieder kein ‚Fortschrittszwang‘ (vgl. Abschn. 5.4, 8.1): Nützliche Verhaltensdispositionen werden nicht in jedem Fall ihre ‚Kosten‘ aufwiegen. Wir können uns z. B. vorstellen, dass in einer Tierart Mutanten mit einem größeren Nervensystem auftauchen, die sich etwas ‚intelligenter‘ verhalten als ihre Artgenossen. Um ein größeres Nervensystem aufzubauen und zu betreiben, werden aber mehr Ressourcen gebraucht als für ein normales Nervensystem, und so *kann* die Mutation alles in allem nachteilig für den Rest der zugrundeliegenden Replikator-Gruppe(n) sein. (Das lässt darauf schließen, dass für unsere Vorfahren – bzw. für die verantwortlichen Gene – ein größeres Gehirn i. a. einen sehr großen Nutzen gehabt haben muss, denn unser großes Gehirn ist mit enormen anatomischen und energetischen Kosten verbunden, s. Blackmore 1999, Kap. 6.)

Noch eine Warnung: Viele Leute glauben, genetisch bedingtes Verhalten sei zwangsläufig unflexibel und unveränderlich. Aber kein Tier verbringt sein Leben unter dauernder Verrichtung ein und derselben Tätigkeit; es hat ein Repertoire von Verhaltensweisen, unter denen es je nach den Umständen unterschiedliche einsetzt. Vielleicht stellen sie sich vor, dass ein Tier, wenn es einmal auf die Welt gekommen oder ausgewachsen ist, ein völlig starres Verhaltensrepertoire hat – jedenfalls soweit die Gene zuständig sind. Aber natürlich reagieren viele Tiere *nicht* ihr ganzes Leben lang gleich auf einen gegebenen Reiz. Sie mögen z. B. unterschiedliche Verhaltensdispositionen haben in Abhängigkeit davon, ob Tag oder Nacht ist, ob sie allein sind oder in einer Gruppe, ob sie geschlechtsreif sind oder nicht, ob sie groß sind oder klein, usw. Ihre Dispositionen sind also auch nicht fix, sondern ändern sich je nach den Umständen. – Na gut, werden die Gen-Verächter sagen, aber diese Dispositionen *zu*

bestimmten Verhaltensdispositionen sind doch fix! – Jedoch, es ist noch komplizierter: Viele Tiere entwickeln unterschiedliche solcher Meta-Dispositionen, je nachdem, was für Umweltbedingungen sie im Laufe ihres Lebens ausgesetzt sind. Sie passen sich an, sie lernen – weil ihre Gene sie mit nützlichen Meta-Meta-Dispositionen ausgerüstet haben. Womöglich ist es noch komplizierter mit dem genetisch bedingten Verhalten; jedenfalls ist es nicht notwendigerweise starr in einem einfachen Sinne.

Wenn Gene Verhalten beeinflussen, dann müssen sie das auch nicht unbedingt durch *Zwang* tun (wie z. B. im Falle angeborener Reflexe). Unsere Gene beeinflussen uns andauernd über die Gelüste, Neigungen, Dränge und Hemmungen, die sie in uns verankert haben. Wenn wir Hunger haben, dann ‚schiebt‘ uns dieser dahin, dass wir etwas essen; wenn wir Schmerzen haben, dann ‚schieben‘ uns diese dahin, die Ursache zu finden und zu beseitigen – aber wir können diesen Neigungen i. a. *widerstehen*, wenn nötig (s. dazu von Bülow 2001).

Dies soll nicht implizieren, dass alle unsere Neigungen und Hemmungen von vornherein und für immer genetisch festgelegt sind. Genetisch festgelegt sind wahrscheinlich nur die Mechanismen, die festlegen, welche Verhaltenstendenzen (Neigungen, Dränge, Hemmungen etc.) wir unter welchen ‚Umweltbedingungen‘ entwickeln. Diese Mechanismen sorgen dafür, dass sich das Spektrum an Verhaltenstendenzen, mit dem Kinder auf die Welt kommen, i. a. weitestgehend gleicht: Schmerzvermeidung, Streben nach Nahrung und Kontakt mit den Eltern und vieles mehr. Weiter sorgen sie dafür, dass (spätestens) von da an dazu- und umgelernt wird: Wenn p zuverlässig zu angenehmen, d. h. erstrebenswerten, Ereignissen führt, dann wird mit der Zeit auch p selbst als angenehm/erstrebenswert verbucht, d. h. es wird eine Neigung zu p eingerichtet; und entsprechend für unangenehme, zu meidende Ereignisse und Hemmungen. Allerdings sind die ‚Heuristiken‘, die die Gene dem Körper in Form dieser Mechanismen mit auf den Weg gegeben haben, nicht so ausgeklügelt, dass sie narrensicher wären: Nicht alle Verhaltenstendenzen, die ein Mensch dank ihnen entwickelt, dienen der optimalen Verbreitung seiner Gene. Manche Mechanismen, die vor 100 000 Jahren noch recht treffsicher Verhaltenstendenzen hervorbrachten, die unter den jeweiligen Umweltbedingungen bestmöglich den Genen nützten, erfüllen unter den heutigen Umständen ihre Funktion nicht mehr;[†] und es ist noch nicht genug Zeit verstrichen,[‡] dass passende genetische Variation hätte entstehen und sich ausbreiten können.

[†]z. B. unser ‚sweet tooth‘

[‡]bzw. ein zu geringer Selektionsdruck vorhanden

9.3 Techniken der Verhaltenssteuerung

Welche Mittel haben Replikator-Gruppen, das Verhalten ihrer Vehikel zu bestimmen? Stellen wir uns vor, wir seien Ingenieure, die im Auftrag der Gene^v einen gewissen Typ von Lebewesen mit einem gewissen ‚Lebensstil‘ für ein gewisses Habitat gestalten sollen. Die Aufgabe ist, dafür zu sorgen, dass das Vehikel möglichst tut, was in der jeweiligen Situation (voraussichtlich) am besten der Verbreitung seiner Gene dient. Wir müssen das Lebewesen also so konstruieren, dass das Vorliegen einer relevanten Sorte von Situation jeweils die Ausführung eines dazu passenden Verhaltens auslöst: eine Frage der Informationsverarbeitung. Nehmen wir weiter an, wir wüssten, welche Verhaltensdispositionen (von Meta- und Meta-Meta-Dispositionen usw. ganz zu schweigen) für ein solches Lebewesen geeignet wären. Wie könnten wir diese Dispositionen implementieren?

Eine Möglichkeit ist, unterschiedliche Situationen durch unterschiedliche Gene (Gruppenmitglieder) zu ‚repräsentieren‘: Interne und Umweltreize werden so verarbeitet, dass sie bestimmte Gene an- bzw. ausschalten, und die von den aktivierten

^vnaja...

Genen produzierten Proteine ziehen dann eine geeignete Reaktion des Körpers nach sich. Das könnte man als *genetische* Informationsverarbeitung charakterisieren. Solche Prozesse finden auch in uns dauernd statt (Ridley 1999), scheinen aber als Mechanismus zur Informationsverarbeitung bzw. zur Verhaltenssteuerung ihre Grenzen zu haben. Vermutlich sind sie relativ langsam, und vermutlich kommt im Genpool auch nicht schnell genug geeignete Variation auf, dass auf diesem Wege komplexe Repräsentation erzielt werden könnte.⁹

Eine andere Möglichkeit ist, im Körper des Lebewesens Organe (Drüsen?) einzurichten, die auf bestimmte Reize hin Stoffe (Hormone?) ausschütten, die dann geeignete Reaktionen im Körper auslösen. Das könnte man *chemische* Informationsverarbeitung nennen. Auch diese findet in uns statt; man denke etwa daran, wie in Gefahrensituationen Adrenalin ausgeschüttet wird, das den Körper in Kampf- oder Fluchtbereitschaft versetzt (auch was sich im Inneren des Körpers abspielt, rechne ich unter „Verhalten“!). Ich vermute, die Informationsverarbeitung bei Pflanzen ist chemisch, soweit sie nicht, wie oben skizziert, auf genetischem Wege abläuft. Aber auch diese Methode hat ihre Nachteile: Chemische Signale werden wohl primär durch Diffusion übermittelt; also ist es schwierig, gezielt bestimmte Körperteile anzusteuern, wenn man nicht für jedes Hormon^w einen eigenen Blutkreislauf einrichten will.

^wund jeden Anlass, jede Situation?

Eine weitere Möglichkeit besteht in was auch immer unser Immunsystem leistet. Es scheint eine Art andauernder ‚Evolutionsprozess‘ im Körperinneren zu sein: Der Körper produziert zufällige Variation in Gestalt vieler verschiedener Antikörper, aus der dann die gerade benötigten Varianten ausgelesen und vervielfältigt werden. Dies kann man vielleicht als *biochemische* Informationsverarbeitung bezeichnen. Diese Technik hat vermutlich ähnliche Beschränkungen wie die chemische Informationsverarbeitung. Außerdem ist sie nur da nützlich, wo die spezifische Gestalt der Antikörper einen Unterschied machen kann, wo sie ‚erkannt‘ werden kann. Antigene ‚erkennen‘ einen auf sie passenden Antikörper, indem sie von ihm lahmgelegt werden; aber es ist schwer vorstellbar, wie z. B. die Muskulatur eines Tieres auf diesem Wege zu koordinierten Bewegungen gebracht werden könnte.

Die letzte Möglichkeit, die mir einfällt, ist die, an die wir beim Stichwort „Informationsverarbeitung“ am ehesten denken: Nervensysteme, die auf *elektrochemischem* Wege Informationsverarbeitung betreiben.^x

^xIst aber in gewissem Sinne unrealistische Erörterung: definite R.-Gruppen haben nicht die Wahl und starten nicht von 0.

Literatur

Blackmore, Susan. 1999. *The Meme Machine*. Oxford: Oxford University Press.

von Bülow, Christopher. 2001, September. „Kopf und Bauch: Wollen und die Ursachen des Verhaltens“. www.uni.kn/FuF/Philo/Philosophie/philosophie/files/wollen.pdf.

Dawkins, Richard. 1976. *The Selfish Gene*. New York/Oxford: Oxford University Press.

———. 1982. *The Extended Phenotype: The Gene as the Unit of Selection*. Oxford/San Francisco: Freeman.

⁹Dies ist *nicht* dasselbe, was ich in von Bülow 2001 „Darwinian-Verhaltenssteuerung“ genannt habe. Zum einen könnte das hier betrachtete System im Prinzip während der Lebenszeit des Organismus dazulernen; zum anderen gibt es ‚fest verdrahtete‘ (d.h. Darwinian) Verhaltensmechanismen, die auf nichtgenetischer Informationsverarbeitung beruhen.

- . 1989. *The Selfish Gene*. Second edition. Oxford: Oxford University Press. With two new chapters and additional endnotes.
- . 1991. *The Blind Watchmaker*. London/New York/Ringwood/Toronto/Auckland: Penguin. Original edition 1986, Penguin edition 1988, reprinted with an Appendix 1991, reissued 2000.
- . 1994. „Burying the vehicle“. *Behavioral and Brain Sciences* 17 (4): 616–617.
- . 1999. *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*. Revised edition. Oxford/New York: Oxford University Press. With new Afterword by Daniel C. Dennett and Further Reading.
- Dennett, Daniel C. 1981. *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*. Cambridge, Mass./London: MIT Press. Original edition 1978; sixth printing 1993.
- . 1984. *Elbow Room: The Varieties of Free Will Worth Wanting*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- . 1987. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass./London: MIT Press.
- . 1991. „Real Patterns.“ *The Journal of Philosophy* 88:27–51.
- . 1993. „Evolution, teleology, intentionality.“ *Behavioral and Brain Sciences* 16 (2): 389–391.
- . 1995. *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. New York: Simon & Schuster.
- Ridley, Matt. 1994. *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*. London/New York/Ringwood/Toronto/Auckland: Penguin. Reissued 2000.
- . 1999. *Genome: The autobiography of a species in 23 chapters*. London: Fourth Estate.