

Hans-Joachim Niemann (Poxdorf)

Karl Popper, die Mühle bei Hunstanton und die Anfänge der Molekularbiologie

Bemerkungen zu Karl Poppers Medawar-Vorlesung, Teil II

Die Sonderstellung des Menschen in der Natur und die Frage nach dem Ursprung des Lebens sind Fragen, die oft schon von Kindern gestellt werden. Solange die Wissenschaft nichts dazu zu sagen hatte oder der kindliche Verstand deren Antworten nicht begreifen konnte, lieferten die Religionen, unbeschwert von jedem Zweifel, die Erklärung, Gott habe alles Leben geschaffen und den Menschen als Krone der Schöpfung über Pflanzen und Tiere gestellt. Dann hatte die Wissenschaft etwas zu sagen, und mit wachsendem Wissen akzeptierte man Darwins ›Variation und Selektion‹ als Ursache für die Entstehung und Vielfalt der Arten. Dieser geistlos ablaufende Mechanismus füllt seitdem die Stelle in unserem Hirn, die zuvor die Religion besetzt hatte. Eine neue Ideologie ersetzte die alte und erhob die Vernichtung des schlechter Angepassten zur Leitidee für Nationalismus, Rassismus und Wirtschaft.

Dann kamen aber doch wieder Fragen auf: Warum arbeitet die Evolution mit zufälligen und meist zerstörerischen Mutationen des Erbguts, wenn doch gezielte Variationen schneller zu einer besseren Anpassung führen würden? Wozu die hübschen und doch schlecht angepassten, ja geradezu lebensgefährlichen Pfauenfedern? Sollte da etwa der Geschmack der Pfauenhennen evolutionär eine Rolle gespielt haben? Warum bekamen kurzhalssige Paarhufer wunschgemäß lange Hälsen und wurden Giraffen, nachdem sie Millionen Jahre ihrer Vorliebe für hochhängende Blätter ge-

frönt hatten? Wieso brauchte andererseits der Birkenspanner nur wenige Generationen und nicht Millionen Jahre, um sein Aussehen an die industrielle Schwärzung seines Lebensraumes anzupassen?

Der ›Baldwin-Effekt‹ als Selektionsdruck in der selbstgewählten Nische und die ›Populationsgenetik‹ mit dem Genpool als Lösungsvorrat für Lebens- und Umweltprobleme retteten die Darwinsche Theorie und das Weismann-Dogma ›Es gibt keine Rückwirkung vom Individuum auf die Gene‹. Aber schon mit dem Baldwin-Effekt kommt, wie Popper bemerkte, der Geist zurück in die Evolution und bestimmt ihre Richtung: als Suche der Lebewesen nach einer besseren Welt und als ständiger Versuch, Probleme zu lösen.

Je mehr man mit ›Darwin‹ glaubte, alles durch ›Mutation und Selektion‹ erklären zu können, desto stärker wurde jede Form von Lamarckismus als Aberglaube abgestempelt: Dass *erworbene* Eigenschaften oder *erworbenes* Verhalten vererbbar seien, galt bis fast in unser Jahrhundert hinein als Zeichen von geistiger Rückständigkeit und als Sünde wider die neue, der Physik nun ebenbürtige Wissenschaft der Biologie¹.

Die Anfänge eines drastischen Umschlags des Denkens wurden deshalb gar nicht wahrgenommen oder heftig bekämpft: Conrad Waddingtons ›Epigenetik‹ (1942), Barbara McClintocks genetische Kontrollmechanismen (1944), Lynn Margulis' kooperierende Einverleibung fremder Gene (1967) und Histone als Genregulatoren

(1980er Jahre). Allmählich aber wurden erworbene Eigenschaften als vererbbar akzeptiert. Das Zusammenspiel von Zufall und Selektion hörte auf, als einziger Mechanismus betrachtet zu werden, der die Lebewesen gestaltet und den Gang der Evolution bestimmt. Gedankenblitz und Presse-donner lagen aber Jahrzehnte auseinander, und erst in letzter Zeit berichten auch populärwissenschaftliche Bücher darüber, ›Wie Erfahrungen vererbt werden‹, ›Wie der Lebensstil unsere Gene steuert‹, ›Wie die Umwelt unsere Gene verändert‹².

Doch auch die neue Biologie lässt Fragen offen. Je mehr man weiß, wie die Zelle mit dem Genom umgeht, wie sie es als riesiges Notizbuch verwendet, um dort das Wann und Wo und Wie der Proteinsynthese zu speichern, wie sie Texte herausliest, unpassenden Text seitenweise unlesbar macht, besonders wichtige Texte markiert oder gar verdoppelt, wie sie einen beschädigten Text mit Hilfe der Kopie wiederherstellt, wie sie lange Passagen vor Veränderung schützt, um sie einige Hundertmillionen Jahre verwenden zu können; je mehr man über all das weiß, desto drängender stellen sich neue Fragen: Woher nimmt die Zelle diese Aktivität? Woher hat sie ihr Wissen? Ist alles reine Chemie? Fragen, die die Biologen meist nicht interessieren, zu denen sie aber die Antworten liefern.

Hier nun endlich kommt Karl Popper mit seiner Medawar-Vorlesung ins Spiel. Auch 27 Jahre danach sind diese bio-philosophischen Fragen immer noch unbeantwortet. Es geht um die neuen Geheimnisse des Lebens: Woher kommen die auf Ziele, Zwecke und Problemlösungen gerichteten Aktivitäten der Organismen? Woher kommt das Wachstum des Wissens, das

sich im Laufe der Zeit in der Zelle ›angesammelt‹ hat? Und bloß reines Sammeln kann es nicht sein. Denn nach Popper gibt es nur das aktive Ausprobieren und Festhalten dessen, was der Prüfung anhand der Wirklichkeit standgehalten hat. Weil das logisch so ist, kann es in der Biologie nicht anders sein³. Auch in der Zelle wird man daher Methoden finden, die dazu dienen, neues Wissen auszuprobieren und bewährtes Wissen zu bewahren. Wenn Wissen, Zwecke und Aktivität eine so große Rolle spielen, hat Popper dann nicht mit Recht bestritten, dass Biologie auf reine Chemie reduzierbar sei? Die Diskussion mit Max Perutz um die ›reine Chemie‹ ist nicht beendet⁴. Die neuen Rätsel des Lebens sind nicht gelöst.

Max Perutz (1904-2002) hatte seine Ansicht dazu 1986 im *New Scientist* unter dem Titel ›Eine neue Sichtweise des Darwinismus‹ ausführlich dargestellt⁵. Nach Poppers Tod veröffentlichte er diesen Artikel erneut⁶. Er erwähnte nicht, dass Popper seine Einwendungen noch einmal genau erklärt und ihn inständig gebeten hatte, darauf einzugehen⁷. Stattdessen gab Perutz seinem Diskussionsbeitrag 2002 den neuen Titel: ›Darwin hatte Recht‹. Er wiederholte darin seine These: die DNA sei die Partitur einer Musik, die die Zelle abspiele; einen Dirigenten gäbe es nicht. Alles sei reine Chemie.

Doch schon zu Perutz' Lebzeiten hatte sich das Weltbild der Biologie in Richtung Popper verschoben: Die Zelle hat viele Möglichkeiten, die ›Partitur‹ unterschiedlich zu lesen; und die DNA ist nicht die einzige Partitur. Die Zelle ›weiß‹, welche Musik aus welcher der Partituren erklingen soll, wann sie erklingen soll, und welche Teile daraus niemals erklingen sollen. Ob mit oder ohne Dirigent: Sie, die Zelle,

und nicht die DNA, ist der aktive Teil des Ganzen. Poppers Forschungsprogramm, über Darwin hinauszukommen, scheint mir heute so aktuell zu sein wie nie zuvor. Das Besondere, das Popper im biochemischen Leben sah, nämlich aktiv zu sein, Ziele zu verfolgen, Probleme zu lösen und Wissen über die Wirklichkeit zu erwerben, das alles sind Dinge, die nicht nur im menschlichen Leben, sondern auch im Kosmos der Zelle realisiert sind.

Auf der Suche nach einer besseren Welt: Popper 1935/1936 in England

Wie kam nun Popper zur Biologie und dazu, in seiner Medawar-Vorlesung eine Zwischenbilanz seiner Philosophie der Biologie zu ziehen? Woher stammte sein Interesse an Darwin, an der Evolution und an der Entstehung des Lebens, Dinge, mit denen er sich schon vor seiner *Logik der Forschung* (1934) befasst hatte⁸ und zu denen er bis an sein Lebensende Beiträge geliefert hat?

Die Geschichte dazu ist lang; sie beginnt in den 1920er Jahren und endet erst mit Poppers Tod 1994. Statt vieles nur anzudeuten, möchte ich hier den Teil herausgreifen, der in Vergessenheit geraten könnte und der gleichermaßen für Poppers späteres Leben wie auch für die Entwicklung der ›molekularen Biologie‹, als zuständige Disziplin für die Chemie der Zelle, bedeutsam war, das Treffen mit der biologischen Avantgarde Englands im Juni 1936 an jenem Ort, den Popper genau fünfzig Jahre später in seiner Medawar-Vorlesung erwähnte: in der ›Windmühle bei Hunstanton‹. Dieses Treffen im *Theoretical Biology Club* war für Popper der Abschluss seiner beiden ersten Englandaufenthalte in den Jahren 1935 und 1936. Es entsprach ganz seinen Vorstellungen von einem in-

telektuellen Austausch mit Leuten, die seine Wissenschaftstheorie auf die Biologie anwenden wollten, die selber bereits Großes in der Biologie geleistet hatten und später berühmt werden würden, einer von ihnen (Conrad Waddington) erst in unseren Tagen. Zu Poppers Entsetzen waren diese bewundernswert klugen Leute fast durchweg politische Utopisten, die engagiert auf Stalin und den Marxismus setzten. Von solcher Art radikalem Sozialismus hatte sich Popper längst verabschiedet, 1919 schon. Er arbeitete bereits an einer großen Abrechnung mit dem linken wie dem rechten Totalitarismus. Von daher kann man sich die lebhaften Diskussionen vorstellen. Ein Teilnehmer des Treffens (Berthold Wiesner) regte ihn dazu an, seine politischen Ideen zu einem Buch zu verarbeiten. Es wurde *Die Offene Gesellschaft und ihre Feinde*⁹.

Wie kam Popper 1935 überhaupt nach England? Hier scheint es mir doch nötig, noch etwas weiter auszuholen. In jenen Jahren ahnten viele jüdische Künstler und Wissenschaftler das bevorstehende Unheil. Antisemitismus und Straßenterror waren bereits Jahre vor Hitlers Machergriffung und seinem Einmarsch in Österreich nicht mehr zu übersehen: 1927 wurden Popper und seine zukünftige Frau Augenzeugen, als mitten in Wien, auf der Straße, friedliche Demonstranten und Unbeteiligte von der Polizei niedergeschossen wurden¹⁰. Im Juli 1936 wurde Moritz Schlick ermordet, der Prüfer von Poppers Doktorarbeit, der Herausgeber seiner *Logik der Forschung* und das Haupt des ›Wiener Kreises‹. Rückblickend schreibt Popper: »Ich verließ Österreich, weil ich voraussah, dass Hitler es an sich reißen würde«¹¹. Ihm war klar, dass er dort nicht

sicher war und keine Aussicht auf eine Anstellung an der Universität hatte.

Popper wollte emigrieren, nach England oder in die USA. Das war nicht nur eine Flucht vor den Nazis, es war auch ein langgehegter Traum. Deshalb reiste er in den Jahren 1935 bis 1936 zweimal nach England, fest entschlossen, dort Fuß zu fassen und Universitätslehrer zu werden. Seine im Dezember 1934 erschienene *Logik der Forschung* verfehlte ihre Wirkung nicht und öffnete ihm viele Türen. Er wurde eingeladen, Vorträge an den Elite-Universitäten Cambridge, Oxford und London zu halten¹². Er lernte viele Größen aus Philosophie und Wissenschaft kennen wie Bertrand Russell, Erwin Schrödinger, George Edward Moore, Gilbert Ryle, Alfred Ayer, Isaiah Berlin, Susan Stebbing, Lionel Robbins, Ernst Gombrich, Friedrich von Hayek; und dazu noch in jener Windmühle bei Hunstanton die Avantgarde der Biologie: Desmond Bernal, J.B.S. Haldane, Joseph Woodger, Joseph Needham, Dorothy Crowfoot-Hodgkin und andere, auf die ich unten zu sprechen kommen werde.

Im September 1935 fuhr Popper also, 33 Jahre alt und einigen schon als Wissenschaftstheoretiker bekannt, zuerst nach Paris, um dort zwei Vorträge über Probleme der Erkenntnistheorie zu halten¹³. Er lernte Alfred Ayer kennen, der sich später in England rührend um ihn kümmern würde und ihn bereits in Paris mit Ryle, Berlin und Stebbing bekannt machte¹⁴. In London hielt Popper ebenfalls zwei Vorträge: bei Susan Stebbing am *Bedford College* über Tarskis Wahrheitsdefinition und Wahrheitsbegriff¹⁵. Dort trifft er Joseph Woodger wieder, den er auf der Pariser Konferenz kennengelernt hatte. Woodger ist brennend an Tarski interessiert; Popper und Woodger werden Freunde.

Im November 1935 lernte Popper dann den von ihm bewunderten Bertrand Russell in der *Aristotelian Society* in London kennen¹⁶. Trotz seines noch holprigen Englisch beteiligte er sich an der Diskussion und erläuterte den Unterschied zwischen subjektivem und objektivem Wissen, eine Unterscheidung, die in seinem Denken ein Leben lang eine Rolle spielen würde¹⁷. Damals hielten die Zuhörer objektives Wissen für einen Scherz; sie lachten und applaudierten höflich¹⁸. Über Weihnachten 1935 kehrte Popper zu seiner Frau nach Wien zurück.

Schon im Januar 1936 brach er erneut nach England auf. Unterwegs machte er am 8. und 9. Januar bei Freunden in Brüssel Station und hielt im Haus von Alfred Braunthal zwei Privatvorträge über seine Sozialphilosophie, die später unter dem Titel *Das Elend des Historizismus* veröffentlicht wurde¹⁹. Bald erhielt er auch eine Einladung an die *London School of Economics*, wo er in Friedrich von Hayeks Seminar ebenfalls über seine Sozialphilosophie sprechen durfte²⁰. Das wiederum verschaffte ihm am Jahresende das Angebot, im Jahr 1937 an der *Faculty of Moral Sciences* in Cambridge als ›Senior Lecturer‹ Gastvorlesungen zu halten.

Vom 15. Januar bis zum 19. Juni 1936 folgte nun sein zweiter und längster Englandaufenthalt. Berti Wiesner, der Freund aus den Wiener Tagen, stellte ihn Hyman Levy vor²¹. Dieser lud ihn ein, am *Imperial College* in London drei Vorlesungen über Wahrscheinlichkeit zu halten²². Es folgten zwei Vorlesungen in Cambridge und eine in Oxford²³. Anfang Juni trafen sich Wiesner, Levy und Popper wieder bei den Treffen des *Theoretical Biology Club* in der Windmühle bei Hunstanton²⁴.

Danach verließ Popper England. Auf der Rückreise besuchte er noch den ›Internationalen Kongress für die Einheit der Wissenschaft‹ in Kopenhagen²⁵, um dort einen Vortrag über ›Das Kausalproblem – mit besonderer Berücksichtigung der Physik und der Biologie‹ zu halten²⁶. Offenbar war sein wissenschaftstheoretischer Blick nun auch auf die Biologie gerichtet. Der berühmte Niels Bohr zeigte sich sehr angetan von diesem noch unbekanntem Karl Popper und lud ihn ein, noch ein paar Tage zu bleiben, um ausgiebig mit ihm diskutieren zu können. Dann fuhr Popper zurück nach Wien.

Die Reise war großartig; doch Popper ist verzweifelt. Für seine weitere Zukunft hat er nichts erreichen können. Woodger hatte ihm den Rat gegeben, sich in Neuseeland zu bewerben. Auch eine Menge Empfehlungsschreiben hatte er bekommen: von Niels Bohr, Alfred Tarski, Karl Bühler, Rudolf Carnap und anderen²⁷, sogar eines von Albert Einstein. Allerdings schrieb Einstein eher resigniert, dass er nichts tun könne: Zu viele hochbegabte Flüchtlinge seien in die USA gekommen. Auch der *Academic Assistant Council* (AAC), damals geleitet von Lord Rutherford, setzte sich für Popper ein²⁸. Medawars Ehefrau Jean schrieb später ein Buch darüber (›*Hitlers Geschenk*‹), wie der AAC zweieinhalb Tausend deutschen und österreichischen Wissenschaftlern im Vereinigten Königreich eine neue Existenz verschaffte²⁹.

Es vergehen quälende Monate. Auch Poppers Freunde in Amerika, Rudolf Carnap und Gustaf Hempel, haben nichts erreichen können. Im Dezember endlich bekommt er jenes Angebot, in Cambridge 1937 Gastvorlesungen zu halten. Der AAC will ihm dafür ein Stipendium gewähren³⁰. Aber wie würde es danach weitergehen?

Zurück nach Österreich? Popper zögert, und am Weihnachtsabend 1936 erreicht ihn eine Depesche aus Neuseeland: Am anderen Ende der Welt, am Canterbury College in Christchurch, bietet man ihm eine Dozentur an³¹.

Popper entschied sich für Neuseeland. Innerhalb eines Monats wurde gepackt, und Ende Januar 1937 erreichten er und seine Frau Hennie London. Das war Poppers dritter Englandaufenthalt. Er dauerte nur fünf Tage. Am 4. Februar 1937 schiffte sich das Ehepaar ein, und es begann die große Reise in eine unbekannte Zukunft. Zurück blieben ihre Mütter und Poppers Schwester Annie, die später nach abenteuerlicher Flucht in die Schweiz entkam. Sechzehn Onkel, Tanten, Cousins und Cousinen gerieten in die Fänge der Nazis und wurden ermordet.

Die alte Windmühle bei Hunstanton und Poppers Weg zur Biologie

In Poppers Medawar-Vorlesung und in vielen seiner Briefe und Vortragsentwürfe taucht sie immer wieder auf: Die alte Windmühle bei Hunstanton³². Als meine Frau und ich letztes Jahr in Norfolk Urlaub machten, wollten wir sie uns einmal anschauen. Wir fragten herum, aber in dem kleinen Seebad Hunstanton wusste niemand etwas von einer Mühle, nicht einmal im Touristenbüro. Nur ›google‹ konnte noch weiterhelfen: Die nächstgelegene Windmühle war nicht weit entfernt. Wir fanden sie kurz vor dem Nachbarort Ringstead: grau und wenig beeindruckend aus einem Gebüsch aufragend, mit abgerissenen Flügeln und einem Baugerüst. War das Poppers Mühle, in der 1936 die biologische Avantgarde Englands getagt hatte, um der molekularen Biologie eine neue Richtung zu geben?

Die Aufklärung der Mühlengeschichte muss ich hier abkürzen. Sie führte uns von einem Antiquitätengeschäft zum Green Grocer und schließlich in den Pub, wo ein handgefertigtes Buch über Ringsteads Geschichte einsehbar war. Tatsächlich fand sich darin etwas über die Mühle: Sie hatte zwei Brandbombenabwürfe im letzten Weltkrieg überlebt. Ihr Besitzer in den 30er Jahren war ein Professor Francis Cornford gewesen. Das war ein Hinweis! Francis Cornford war mir als Platonforscher aus Poppers *Offener Gesellschaft* bekannt. Weitere Recherchen in Archiven und im Internet ergaben, dass Cornford mit dem Biologen Needham befreundet gewesen war, dem er damals die Mühle als Ferienwohnung vermietet hatte. Needham wiederum war mit den Biologen Wrinch, Bernal, Woodger und Waddington einer der Mitbegründer des *Theoretical Biology Club*, dessen Mitglieder Popper des Öfteren im Zusammenhang mit der Mühle erwähnt hatte. Und Needham war es, der die fünfstöckige Windmühle mit den Ferienwohnungen in zwei kleinen Nebengebäuden 1936 und 1937 dem *Theoretical Biology Club* als Tagungsort zur Verfügung stellte.

So gibt es keinen Zweifel mehr: Diese Tagung fand in der heutigen ›Ringstead Towermill‹ statt »...in einer der schönsten Gegenden, an die ich mich erinnern kann. ...in einer alten Windmühle bei Hunstanton, wo ich in eine Runde sehr interessanter Wissenschaftler eingeladen war«³³. Heute gehört diese Mühle zu Ringstead, aber wir benennen sie, Poppers Erinnerung folgend, nach Hunstanton, auch deshalb, weil dieser Ferienort an Norfolks Nordküste größer und bekannter ist als Ringstead.

Nach und nach kam eine beinahe untergegangene Geschichte ans Licht, die es wert ist, festgehalten zu werden. Es ist die Geschichte einer Mühle, die die Anfänge der heute so überaus fruchtbaren Molekularbiologie erlebt hat. Haldane, Hodgkin, Bernal, Waddington und Woodger haben Wesentliches zum Aufstieg dieser neuen Wissenschaft geleistet, deren methodische Strenge und Aufsehen erregende Ergebnisse sich heute mit der Physik des frühen 20. Jahrhunderts messen können. Und was Popper betrifft: Hier wurde er in hitzigen Diskussionen nicht nur zum Niederschreiben seiner *Offenen Gesellschaft* inspiriert, sondern auch zum lebenslangen Nachdenken über biologische Probleme. Dieses Nachdenken führte ihn zu seiner ›Neuinterpretation des Darwinismus‹, zu Überlegungen über den Ursprung des Lebens und zu seiner Interaktionstheorie des Geistes.

Der *Theoretical Biology Club* und das Treffen 1936

Das Treffen in der Mühle fand Anfang Juni 1936 statt, dauerte mehrere Tage und war die größte Zusammenkunft, zu der der *Theoretical Biology Club* (im Folgenden kurz der *Club* genannt) Biologen, Mathematiker und Philosophen eingeladen hatte. Gegründet hatten ihn 1932 Poppers späterer Freund Joseph Woodger zusammen mit Joseph Needham, Dorothy Wrinch, John Desmond Bernal und Conrad Waddington³⁴. Sein ungeschriebenes Manifest waren drei damals noch sehr revolutionäre Ideen: (1) Die Biologie sollte auf eine mathematische Basis gestellt und von ihren experimentellen Methoden her wie die Physik eine exakte Wissenschaft werden. (2) Dabei sollte aber ihr ›organischer‹ Charakter, das heißt das Besondere des

Lebens, nicht in einem mechanistischen Forschungsprogramm untergehen. (3) Das eigentliche Arbeitsprogramm war: »Das Geheimnis des Lebens liegt in der Struktur der Proteine, und das Rätsel kann nur mit der Röntgenkristallographie gelöst werden«³⁵.

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden diese Ideen in Forschung und großartige Ergebnisse umgesetzt. Die Biologie hat die Physik als Grundlagenwissenschaft eingeholt. Eingeholt, nicht abgelöst; denn ihre Gebiete sind zu verschieden. Der Hunger nach immer leistungsfähigeren Computern ist bei den Biologen längst größer als bei den Physikern³⁶. Aber, wie der große Biologe Ernst Mayer lapidar feststellte: »Die Biologie ist keine zweite Physik«³⁷. Popper scheint in Bezug auf die Unreduzierbarkeit der Biochemie auf Chemie und Physik Recht zu behalten. Selbstverständlich darf man versuchen, physikalische oder chemische Gesetze zu finden, die alles Leben erklären. Nur dürfen dabei keine offensichtlichen Tatsachen philosophisch ›wegerklärt‹ werden³⁸.

Was das ›Geheimnis des Lebens‹ betrifft: Eine Zeitlang sah es so aus, als hätte der *Club* sich geirrt. Schließlich ist die DNA kein Protein, und doch ist sie der Schlüssel zum Leben, den man mit Bernals Methoden gefunden hat. Aber inzwischen weiß man, dass der Schlüssel ohne Schloss sinnlos ist, und dass das Schloss die Zelle ist mit ihren vielen submikroskopischen Zentren für Produktion, Analyse, Informationsverarbeitung, Energieversorgung, Logistik und vor allem mit ihrer Aktivität, die der DNA so gut wie völlig fehlt.

Allmählich wurde der *Club* so etwas wie eine wissenschaftliche ›Bloomsbury Group‹³⁹. Man blieb miteinander in Verbindung, auch privat. Bis 1938 gab es je-

des Jahr informelle Treffen. Diese Treffen wurden nach dem Krieg bis 1952 fortgesetzt⁴⁰. Popper, der seit 1945 an der *London School of Economics* unterrichtete, trat dem *Club* beim ersten Nachkriegstreffen 1946 offiziell bei. Dort lernte er Peter Medawar kennen, der in diesem Jahr den Tagungsort zur Verfügung gestellt hatte. Erwähnenswert für uns Heutige ist der Hinweis in der Einladung, doch bitte die Lebensmittelkarten nicht zu vergessen. Auf der Tagesordnung standen auch Themen, die Popper in seiner Medawar-Vorlesung 1986 erneut diskutieren wird: den Unterschied zwischen lebenden und nicht-lebenden Systemen, die Homologie und die Rolle der Umwelt⁴¹. In seinen *Memoiren eines denkenden Rettichs* beschreibt Medawar, wie sehr sich Popper im *Club* immer bemüht hat, die Ergebnisse und Meinungen der Vortragenden herauszuarbeiten⁴².

Im Folgenden will ich die Biologen des 1936er Treffens in der Windmühle in Erinnerung bringen und zeigen, in welcher Weise sie die Molekularbiologie geprägt und Popper beeinflusst haben.

Joseph Woodger (1894-1981) hatte ich als Gründer des *Clubs* bereits genannt. Er war Biologe und Wissenschaftstheoretiker. Von Popper mit der Logik von Alfred Tarski (1901-1983) bekannt gemacht, wendete er diese auf die Biologie an. Woodger befreundete sich mit Tarski und half ihm, der jüdischer Abstammung war, aus Polen in die USA zu entkommen⁴³. Auch für Popper hatte Woodger einen Plan: Er machte ihn auf eine freie Stelle in Neuseeland aufmerksam und riet ihm dringend, sich zu bewerben⁴⁴. Popper tat das Ende Oktober 1936 mit Referenzen von Edward Moore und Woodger. 1937 konn-

te er diese Stelle antreten und Österreich vor dem Einmarsch der Nazis verlassen. Das rettete ihm wahrscheinlich das Leben.

John Desmond Bernal (1901-1971) war ein erfindungsreicher Pionier der Anwendung der Röntgenspektroskopie (auch ›Röntgenkristallographie‹ genannt) und mit seinen Methoden der Begründer der experimentellen molekularen Biologie⁴⁵. Die ›Röntgenkristallographie‹ hatte Bernal bei den beiden Braggs⁴⁶ im berühmten Faraday Labor in London studiert und methodisch so weiterentwickelt, dass sie sich als Königsweg zur Aufklärung vieler großer Rätsel des Lebens erwies.

William Lawrence Bragg war aber nicht, wie Max Perutz später behaupten wird, der Erfinder dieser Methode. Popper erinnerte daran, dass es Max von Laue war, der schon 1912 die Idee hatte, wie man aus den Reflexionen, die ein Röntgenstrahl beim Durchqueren eines Kristalls erfährt, die genaue Struktur dieses Kristalls aufklären kann⁴⁷. Für die Entwicklung dieser Methode erhielt von Laue 1914 den Nobelpreis für Physik. Die Forschungen der beiden Braggs schlossen daran an und wurden 1915 ebenfalls mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Es dauerte aber noch fast zwei Jahrzehnte, bis man in England darauf kam, mit dieser Methode ein Protein zu analysieren, nämlich das Keratin, den Eiweißstoff der für das Land so wichtigen Wolle. Bei dieser Gelegenheit beobachtete Bernals Kollege William Astbury, dass die Röntgenspektren in wässriger Lösung klarer werden, weil sich die geknäulte Protein-alpha-Form in die lineare beta-Form umlagert. Der Erfolg bei der Strukturklärung des Keratins führte Bernal zu einer Methode, die ihm selbst und vielen anderen endlich Einblicke in lebenswichtige

Stoffe ermöglichte: in Vitamine, Hormone, Proteine und schließlich in die DNA. Die Strukturaufklärung ist wichtig, denn sie ist die Voraussetzung für die eventuelle Synthese solcher Moleküle.

Bernal war nicht nur Wissenschaftler. Sein Biograph nennt ihn einen der führenden Intellektuellen des 20. Jahrhunderts⁴⁸. Seine Freunde nannten ihn *The Sage*, den Weisen. Bernal war Kommunist, aber er war auch Patriot: Bei der Planung der D-Day-Landung in der Normandie spielte er eine so wichtige Rolle, dass das Unternehmen ohne ihn möglicherweise einen anderen Ausgang genommen hätte⁴⁹. Desmond Bernal war auch Friedensforscher: Er war es, der den Begriff ›Massenvernichtungswaffen‹ prägte und sich für deren Ächtung einsetzte. »Seine Kontakte mit Chruschtschow könnten es gewesen sein, die den Sowjetführer 1962 hinderten, in der Kubakrise den Schritt in den Abgrund zu tun«⁵⁰. Als Kommunist hatte er interessante Freunde. Zu ihnen zählte auch Pablo Picasso, der in Bernals Londoner Wohnung, 22 Torrington Square, eine der Wände bemalte. Das Wandgemälde wurde 2012 in der *Tate Britain* ausgestellt⁵¹.

Vor allem aber hat Bernal mit seiner Röntgenkristallographie Großes geleistet⁵². Erklärte die räumliche Struktur der Wassermoleküle auf und analysierte die Wasserstoffbrückenbindungen, die, wie man später lernte, in der DNA eine besondere Rolle spielen. Seit 1934 gelang es ihm, die Kristallstrukturen von Proteinen darzustellen. In den ›Protein‹ genannten Riesenmolekülen vermutete man damals den Kern des Lebens.

Es war also zunächst nicht die schon 1869 von Friedrich Miescher entdeckte Nukleinsäure (später ›DNA‹), in der man die

Gene vermutete. Die Nukleinsäure wurde von J.B.S. Haldane, ebenfalls *Club*-Mitglied, 1937 sogar ausdrücklich als Träger der Erbsubstanz verworfen⁵³. Die Grobstruktur der DNA als Zucker-Phosphat-Basen-Kette hatte Bernals Kollege William Astbury ebenfalls 1937 mittels Röntgenspektroskopie aufgeklärt. Erst 1944, als Oswald Avery und seine Mitarbeiter die Chemie der Übertragung ererbter Eigenschaften genauer untersuchten, wurde klar, dass das Geheimnis des Lebens nicht in einem Protein, sondern in der Nukleinsäure lag. Einige Jahrzehnte lang glaubte man das. Aber das Geheimnis des Lebens ist wie ein flinker Hase, der, aufgestöbert, wegläuft und sich anderswo versteckt. Seit die Nukleinsäure als DNA samt ihrem Code enträtselt worden ist (1953, Crick und Watson), scheint sich das Geheimnis des Lebens im Zytoplasma der Zelle versteckt zu haben. Es gibt heute den Forschern das Rätsel auf, wie in diesem einst so uninteressanten Zellschleim so viele lebenswichtige Programme enthalten sein können, die die vielen epigenetischen Schalter bedienen und aus embryonalen Stammzellen zum Beispiel Nervenzellen oder Haarzellen machen. Dabei richtet sich der Blick erneut auf bestimmte Proteine⁵⁴.

Für die damaligen Röntgenkristallographen lag die Herausforderung darin, dass beide Substanzen, die DNA und viele Proteine, Riesenmoleküle sind. Sie haben beide primär eine Kettenstruktur, die sekundär verknäult und tertiär verpackt ist und über Bernals Wasserstoffbrückenbindungen in Form gehalten wird. Solche Strukturen sind schwer zu identifizieren, und ohne Strukturaufklärung ist es nicht möglich, sie künstlich herzustellen. Was die künstliche Herstellung bedeutet, wird beispielsweise klar, wenn man an das In-

sulin denkt, das Millionen Menschen hilft, ihr Leben zu normalisieren und zu verlängern.

Bernal hat viele große Wissenschaftler inspiriert. Zur Zeit des Mührentreffens arbeitete die Biochemikerin *Dorothy Hodgkin* (1910-1994), geb. Crowfoot, bereits seit zwei Jahren bei ihrem Doktorvater Bernal an der Strukturaufklärung des Insulins, eine Arbeit, die noch 35 Jahre in Anspruch nehmen würde. Parallel dazu klärte sie die Struktur anderer lebenswichtiger Stoffe wie Penicillin und Vitamin B₁₂ auf und erhielt dafür 1964 den Nobelpreis für Medizin. Später, als sie beide schon berühmt waren, erinnerte Popper sie daran, dass sie sich 1936 in der Windmühle bei Hunstanton kennengelernt hatten: »...aus der Ferne habe ich Ihre Karriere mit Bewunderung verfolgt«⁵⁵.

Ein anderer von Bernals Schülern, Max Perutz, klärte die Proteinstruktur des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin auf. Dafür wurde er 1962 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Seit 1953 arbeitete auch Rosalind Franklin bei Bernal am Birkbeck College in London. Sie hatte in den Jahren zuvor mit Bernals Methoden wesentliche Beiträge zur Strukturaufklärung der DNA geleistet. Sie verstarb, bevor ihr der Nobelpreis zuerkannt werden konnte.

Von Bernal stammt auch die frühe biologische Theorie, dass alles Leben aus Protein entstanden sei. Diese Idee hatte der lebenslang überzeugte Kommunist Bernal von Friedrich Engels (1820-1895) übernommen⁵⁶, den er nicht nur als politischen Denker, sondern auch als Wissenschaftler schätzte. Engels hatte Albumin-ähnliche Substanzen vermutet, die man zu den Proteinen zählt. Die Proteine entzogen sich bis dahin der chemischen Strukturanalyse. Man wusste nur, dass es sich um Riesen-

moleküle aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel und Phosphor handelt und dass sie überall dort auftauchen, wo Leben ist.

Auch wenn Proteine nicht die Baupläne des Lebens enthalten, sondern Ketten von Aminosäuren sind, die nach Maßgabe des DNA-Bauplans hergestellt werden, blieb bis in unsere Tage die Idee lebendig, nach Aminosäuren als ›Lebensstoff‹ zu suchen. Sie in einer ›Ursuppe‹ zu finden, war damals die gängige Auffassung, die 1924 Alexander Oparin⁵⁷ und 1929, unabhängig von ihm, der Hunstanton-Teilnehmer J.B.S. Haldane⁵⁸ vorgeschlagen hatten. Bernal widersprach schon 1949 der gängigen ›Ursuppentheorie‹, deren Name von Haldane stammt (engl. ›primordial soup‹), und er schlug katalytische Reaktionen an anorganischen Oberflächen vor⁵⁹. Eine ähnliche Idee hatte dann in den 1980er Jahren Poppers Freund Günter Wächtershäuser⁶⁰. Er zitierte Bernals Oberflächentheorie, verwarf sie aber wegen einiger Fehlschläge bei deren Nachprüfung. Popper, der Wächtershäusers Text korrigierte, schlug ihm vor zu schreiben: »Meine Theorie hat keine Ähnlichkeit mit Bernals Vorschlag«⁶¹. In einer weiteren Korrektur verwischte Popper den Unterschied zwischen Bernals Theorie und früheren Theorien und schlug vor zu schreiben: »...meine Hypothese steht in schärfstem Kontrast zu der großen und inspirierenden Theorie von Darwin, Oparin, Haldane, Bernal und anderen und bietet eine Alternative«⁶².

Dorothy Wrinch (1894-1976), eine Schülerin und Assistentin von Bertrand Russell, war Mathematikerin und Mitbegründerin der molekularen Biologie von der theoretischen Seite her. Sie war ebenfalls Grün-

dungsmitglied des *Theoretical Biology Club*. An dem Treffen 1936 hat sie nicht teilgenommen. Ob Popper sie 1935 im *Club* kennengelernt hat, ist unsicher; denn an dessen Mai-Treffen kann, anders als die Historikerin Pnina Abir-Am schreibt, Popper nicht teilgenommen haben: Er kam erst im September 1935 nach England⁶³. Möglicherweise aber hat Woodger 1935 ein weiteres informelles Treffen veranstaltet und Popper im Herbst in sein Anwesen ›Tanhurst‹ in Epsom Downs eingeladen. Popper erinnerte sich jedenfalls in seiner Medawar-Vorlesung, in Epsom Downs gewesen zu sein. Wenn er Wrinch dort getroffen hat, dürfte es in ihren Gesprächen mehr um Wissenschaftstheorie als um Biologie gegangen sein; denn es waren ihre mathematischen Arbeiten, die Popper beeindruckten und die er später in den Ergänzungen zu seiner *Logik der Forschung* berücksichtigt hat⁶⁴.

Dorothy Wrinch gehörte zu den führenden Köpfen des *Theoretical Biology Club*. Ihre Arbeiten gelten als großer Beitrag zur Theorie der gerade entstehenden molekularen Biologie⁶⁵. Von Bernal zu entsprechenden Berechnungen angeregt⁶⁶, vermutete sie, dass die in der Chemie bekannte Cyclol-Reaktion eine wesentliche Rolle beim räumlichen Aufbau der bis dahin gänzlich unverstandenen Proteine spielt. Mit dieser, Ende der 30er Jahre viel diskutierten ›Cyclol-Theory‹ lieferte sie das erste Modell für die Struktur der Proteine. Wrinch wurde in der Presse als »Woman-Einstein gefeiert«⁶⁷, zumal damals die Proteine noch als Kern des Lebens galten. Ihr Modell war falsch, aber als erstes gut durchdachtes theoretisches Konzept der Proteine war es so weiterführend, dass es die Proteinforschung und die spätere DNA-Forschung inspirierte und beschleunigte.

Der Fall ›Cyclol‹ wird heute als Paradebeispiel für Poppers damals sehr neue Falsifikationsmethode angeführt: Allein das gezielte und wiederholte Lernen aus Fehlern ermöglicht es, möglichst schnell Neues in Erfahrung zu bringen⁶⁸. Poppers *Logik der Forschung* war im Dezember 1934 erschienen, und bei seinem Englandaufenthalt hatte er jede Gelegenheit genutzt, sie vorzustellen und zu diskutieren.

John B.S. Haldane (1892-1964) ist mit Ronald Fisher und Sewall Wright einer der drei großen Populationsgenetiker, die die Mathematik in die Genetik und in die Evolutionstheorie einführten⁶⁹. Die Populationsgenetik erklärt, warum die Evolution für drastische Änderungen oftmals nicht Millionen, sondern nur einige Jahre braucht. Im Genpool des Birkenspanners beispielsweise gibt es Gene für eine dunklere und eine hellere Art. Verdunkelt sich der Lebensraum des Birkenspanners durch industrielle Rauchgase, dann fallen die hellen Exemplare ihren Feinden schneller auf. Sie verschwinden, und die dunklere Variante setzt sich durch. Da in der Populationsgenetik nicht das Überleben der Individuen, sondern das der Gene im Zentrum der Berechnungen steht, hat Haldane in diesem Punkt Richard Dawkins und dessen Buch ›Das egoistische Gen‹ (1976) vorweg genommen.

Mit Alexander Oparin zählt Haldane zu den Erfindern der ›Ursuppentheorie‹, die die Entstehung des Lebens mit einem urtümlichen Chemikaliengemisch zu erklären versuchten⁷⁰. Popper bestritt diese Theorie in seiner Medawar-Vorlesung. Später setzte er sich für Günter Wächtershäusers Alternative ein: die katalytische Synthese organischer Substanzen an Pyrit-Oberflächen⁷¹.

Haldanes Buch *The Cause of Evolution* (1932) gilt als der erste große Beitrag zu der von Julian Huxley 1942 so genannten ›modernen Synthese‹⁷². Darunter versteht man die Bewährung von Darwins Theorie der natürlichen Auslese durch (a) die genetische Deutung der Mendelschen Gesetze, durch (b) Haldanes Populationsgenetik, durch (c) neue Ergebnisse über die Zelle und ihren Kern sowie durch (d) paläontologische Evolutionsforschung. Die moderne Synthese lieferte von 1932 bis in die 50er Jahre eine Art Standardmodell, das viele der damaligen Rätsel der Darwinischen Evolution erklären konnte. Die Zeit davor (1900-1932) wird oft als ›Neo-Darwinismus‹ bezeichnet, der konsequent alle evolutionären Vorgänge mit dem Schema ›Variation und Selektion‹ erklären möchte und schon 1883 mit der ›Weismann-Barriere‹⁷³ seine stärkste Formulierung fand: Eine Übertragung erworbener Eigenschaften auf Gene ist unmöglich. Die ›stärkste Formulierung‹ nennt Popper die am leichtesten kritisierbare und prüfbar; sie ist die beste wissenschaftliche Formulierung. Viele andere Formulierungen des Darwinismus waren dagegen fast unwiderlegbar wie beispielsweise der Satz vom Überleben der Überlebensfähigsten.

Seit Ende der 40er Jahre hörte die ›moderne Synthese‹ auf, modern zu sein. Die springenden Gene (›transposons‹) von Barbara McClintock läuteten 1948 ein neues Zeitalter der Evolutionstheorien ein; auch wenn das Läuten nicht gehört wurde und McClintock erst spät Anerkennung fand. Verzögerte Rezeption ist in der Evolutionsbiologie nicht selten, weil die jeweils neueste Variante wie eine Ersatzreligion behandelt wird, was sie ja im 19. Jahrhundert auch tatsächlich war. 1984 erhielt McClintock den Nobelpreis. Gegen blinde und zufäl-

lige Mutationen der alten Theorie sprach, dass einige Gene nie mutieren, zum Beispiel einige Gene nicht, die Wirbeltiere seit hunderten Millionen Jahren gemeinsam haben; andere dagegen mutieren ziemlich schnell: die, die auf sinnvolle Weise den Organen Spielraum verschaffen. Offenbar gibt es eine steuernde Rückwirkung von der Zelle auf die Gene. Eine weitere gravierende Einsicht war, dass nicht nur der Bauplan vererbt wird, sondern auch die wohlorganisierte Zelle mit Tausenden komplexer Maschinnen, die ›wissen‹, was man mit dem Bauplan anfängt und wie man ihn je nach Zeit und Ort in Proteine umsetzt. Der Hunstanton-Teilnehmer Conrad Waddington gründete dann sogar einen ganz neuen Zweig der Evolutions- und Entwicklungstheorie, die Epigenetik, deren große Bedeutung erst in den letzten zwanzig Jahren erkannt worden ist. Sie liefert immer tiefere Einblicke in das An- und Ausschalten von Geninformationen. Auch die Entdeckung der Histone führt weg von der alten Theorie. Zuerst als Stützgewebe der Chromosomen missdeutet, entpuppten sie sich als zuständig für die Steuerung der Gene während der embryonalen und späteren Entwicklung⁷⁴. Dass sich die Zelle nicht durch tödlichen Konkurrenzkampf entwickelt hat, sondern großenteils durch Kooperation mit einverleibten anderen Zellen, geht ebenfalls über die ›moderne Synthese‹ weit hinaus⁷⁵.

Haldane selbst war, nach Poppers Erinnerung, nur am letzten Tag des Treffens in der Mühle dabei⁷⁶. Zu Windmühlen aber hatte ›J. B. S.‹, wie er genannt wurde, ein besonderes Verhältnis: Schon im Februar 1923 hatte Haldane in Cambridge einen Vortrag gehalten, in dem er vorschlug, ein Heer von Windmühlen zur Stromerzeugung zu errichten, weil Kohle nicht mehr

allzu lange verfügbar sein würde: »Das Land wird übersät sein mit ganzen Reihen metallener Windmühlen...«⁷⁷. Überschüssige Windenergie sollte als elektrolytisch hergestellter, flüssiger Wasserstoff gespeichert werden, der in Zeiten großen Strombedarfs mittels Brennstoffzellen wieder in elektrischen Strom zurückverwandelt werden könne. Licht mit Glühlampen zu erzeugen, fuhr er fort, sei zu 95% Energieverschwendung. Ebenso gut könne man sein Haus abbrennen, um mit der entstehenden Wärme eine Wurst zu braten. In fünfzig Jahren würde man das alles besser machen⁷⁸. Seine Zukunftsvisionen waren, wie wir heute wissen, nicht unrealistisch.

Popper kannte ›J.B.S.‹ sehr gut. Er hat mit ihm über Politik diskutiert, über geometrische Probleme und den Materialismus korrespondiert⁷⁹ und ihn in seinen Werken oft zitiert. Er war stolz darauf, ihn viele Jahre nach dem Mühlentreffen endlich zum Austritt aus der kommunistischen Partei bewegt zu haben⁸⁰. Es ist gut möglich, dass beide auch über die Teleologie in der Biologie gesprochen haben, also über die Frage, ob Biologie und Biochemie bei ihren Erklärungen auf Zwecke zurückgreifen müssen, zum Beispiel auf den Zweck eines Organs. Popper bejahte das in seiner Medawar-Vorlesung: »Die Furcht davor, teleologische Ausdrücke zu benutzen, erinnert mich an die Scheu der Menschen der viktorianischen Zeit, über Sex zu sprechen«. Von Haldane ist das Bonmot überliefert: »Die Teleologie ist für den Biologen so etwas wie eine heimliche Geliebte, mit der er nicht gerne in der Öffentlichkeit gesehen wird«⁸¹.

Berthold (Berti) Wiesner (1901-1972)
Poppers Freund aus seiner Wiener Zeit,

war Biologe und Physiologe. 1926 ging er nach Edinburgh, später nach London und 1934 wurde er britischer Staatsbürger. Dadurch war er für Popper eine wertvolle Hilfe bei dessen Veröffentlichungsversuchen und Englandreisen 1935 und 1936. Schon als Einundzwanzigjähriger hatte Wiesner mit Organ-Transplantationen Aufsehen erregt: 1922 schreibt der Biologe Hans Przibram⁸² über den jungen Kollegen: »Auf meine Anregung hin hat Berthold Wiesner die Methode der autophorischen Transplantation [Przibrams Methode] auf die Linsen von Fischen und Amphibien angewendet. Seine Ergebnisse zeigen, dass transplantierte Linsen wieder klar werden und normale Sehfähigkeit erlauben...«⁸³.

Berthold Wiesner interessierte sich besonders für die Biologie der Fortpflanzung, schrieb in jungen Jahren das Buch *Das Problem der Verjüngung*⁸⁴ und 1936 das Buch *Sex*⁸⁵. Er erforschte die Wirkung östrogenen Substanzen auf Kaninchen und gründete mit seiner zweiten Frau Mary Barton in London eine Klinik für künstliche Befruchtung. 1945 brachten sie einen Zeitungsartikel über ihre Klinik heraus und lösten damit einen Sturm der Empörung aus. Geoffrey Fisher, der Erzbischof von Canterbury, forderte die Schließung der Klinik. Allerdings vergeblich: Von 1940 bis 1960 wurden in Dr. Wiesners Klinik rund 1500 Babys künstlich gezeugt. Wiesner konnte nicht ahnen, dass vierzig Jahre nach seinem Tod mit präzisen DNA-Tests festgestellt werden konnte, dass in vielen Fällen er selber der Samenspender war. Man rechnet, dass etwa 600 der in seiner Klinik gezeugten Babies von ihm selbst stammen. Das macht Berthold Wiesner, soweit man weiß, zum kinderreichsten Vater der Welt⁸⁶.

Seit ihren Jugendtagen waren Karl und ›Berti‹ miteinander befreundet. Beide waren 1919 Mitglieder in der *Freien Vereinigung sozialistischer Mittelschüler*⁸⁷ und verbrachten zusammen mit dreißig kommunistischen Jugendlichen ihren Sommer in der Ferienkolonie der Frauenrechtlerin Dr. Eugenie Schwarzwald in Bad Ischl⁸⁸. Dort lernte Popper auch Rudolf Serkin kennen, dessen steile Pianistenkarriere ein Jahr später in Berlin begann. 1933 wurde Serkin aus Deutschland vertrieben, konnte aber nach einigen schwierigen Jahren seine Karriere in den USA fortsetzen. Popper und Serkin blieben bis zu Serkins Tod 1991 befreundet⁸⁹.

Am 22. Mai 1932 schrieb Popper an Berti Wiesner in England: »Das Buch [Poppers *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie*] ist wirklich gut geworden.«... »Es könnte, wenn es Glück hat, Epoche machen«⁹⁰. Doch weder J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, noch Springer, Wien, wollten es drucken. Moritz Schlick, der die in Frage kommende Springer-Reihe herausgab, war »verschnupft«, weil Popper darin mehrfach Wittgenstein angegriffen hatte⁹¹. Popper kündigte Berti eine Kopie des Buches an, falls dieser tatsächlich einen Verleger an der Hand habe. Er ermahnte seinen Freund aber: »Bitte, Berti (sei nicht böse, aber Du warst mal ein großer Schlampsack!) schau, dass es nicht verschlampt wird und es bestimmt nicht in *unrechte* Hände gerät!«. Er schickte ihm vorerst nur das Exposé⁹², später aber offenbar dann doch das ganze Manuskript; denn schon Anfang 1933 bat Popper Berti dringend um Rückgabe, falls keine Aussicht auf Druck bestehe, weil er selber kein Exemplar mehr habe⁹³. Das Manuskript gelangte 1932 auch in die Hände von Joseph Needham, den Popper später in der

Mühle kennenlernen wird und von dort zu Susan Stebbing, die sehr angetan davon war. Sie las danach auch Poppers 1934 erschienene *Logik der Forschung* und lud, wie oben gesagt, Popper daraufhin ein, bei ihr in London Vorlesungen zu halten⁹⁴.

Conrad Hal Waddington (1905-1975) war Entwicklungsbiologe, Paläontologe, Genetiker und studierter Philosoph. Seit 1933 arbeitete er mit Joseph Needham zusammen an einem Forschungsprojekt ›Organizer Research‹⁹⁵. ›Organisator‹ ist ein embryonales Gewebe, dessen Eigenart von dem deutschen Biologen Hans Spemann (1898-1941) untersucht worden war: Es kann, in andere Embryonen verpflanzt, dort die Weiterentwicklung triggern. Spemann erhielt für seine Arbeiten 1935 den Nobelpreis für Medizin/Physiologie. Der genaue Mechanismus wurde erst Ende des 20. Jh. aufgeklärt⁹⁶.

Waddingtons Arbeitsgebiet war die ›Embryologie‹. So wurde in jener Zeit die Entwicklungsbiologie genannt. Sie ist in den letzten Jahrzehnten in den Mittelpunkt der molekularen Biologie gerückt, seit man entdeckt hat, dass die DNA nicht nur der Bauplan, sondern auch der zeitliche Entwicklungsplan eines Lebewesens ist. Dieser Plan wäre nichts ohne den komplizierten ›Computer‹ und die ›Werkstatt‹, die wir ›Zelle‹ nennen, weil sie es ist, die aus dem Plan ein fertiges Individuum macht. Zu diesem Prozess hat Waddington zwei bedeutende experimentelle und theoretische Beiträge geleistet.

Sein erster großer Beitrag ist seine theoretische ›Epigenetik‹ (seit 1942) mit den späteren Experimenten, ausgeführt an der *Drosophila*, der Frucht- oder Obstfliege. Ein Hitzeschock an Eiern der Fruchtfliege

bewirkt vererbare Veränderungen an den Flügeln des ausgewachsenen Insekts. Diese Experimente erschütterten erstmals die ›Weismann-Barriere‹, jenes Dogma, wonach individuell erworbene Eigenschaften niemals direkt auf die Erbanlagen übertragen werden. Ursächlich für diese Vererbung waren, wie Waddington vermutete, nicht die Gene selbst, sondern etwas ›neben‹ (griech. ›epi‹) den Genen: epigenetische Faktoren. Waddingtons Forschung war der Beginn einer neuen Wissenschaft: der Epigenetik. Aber erst knapp zwei Jahrzehnte nach seinem Tod 1972 begann diese zu florieren; nach und nach kam die ganze Tragweite der Waddingtonschen Vorarbeit ans Licht. Die heutige Epigenetik wird von Nessa Carey⁹⁷ so charakterisiert: »Jedes Mal, wenn wir zwei genetisch identische Dinge sehen, die aber nicht identisch sind, sehen wir Epigenetik am Werk«⁹⁸.

Waddingtons zweiter großer Beitrag besteht darin, dass er den Prozess der Entwicklung vom Embryo zum erwachsenen Individuum neu interpretiert hat: Oft enden verschiedene Ausgangspunkte an demselben Ziel; und oft führen die gleichen Ausgangspunkte zu verschiedenen Individuen. Die bisherige Geschichte des Individuums und seine Umwelt haben entscheidenden Einfluss darauf, wie sich das Individuum, gesteuert vom genetischen und epigenetischen Erbgut, weiterentwickelt. Hinter dieser Entwicklung steckt die Veränderung der Zelle von einer Zellteilung zur nächsten. Je weiter die Zelle sich zeitlich und örtlich von der Zygote (der befruchteten Eizelle) fortentwickelt hat, desto spezialisierter wird ihre Funktion. Nach heutigem Wissen bedeutet das: Aus der totipotenten Stammzelle werden hochspezialisierte Körperzellen, und im Laufe der weiteren Entwicklung werden immer

mehr Lesezeichen (epigenetische Schalter) in das ›Buch‹ des Genoms gesteckt, so dass nur bestimmte kleine Teile des Bauplans gelesen und zur Proteinsynthese herangezogen werden können.

Fast so wie Feynman in der Physik lieferte Waddington in der Entwicklungsbiologie anschauliche Diagramme, die das Verstehen erleichtern. Für den Entwicklungsweg der Zelle erfand er das Bild einer vom Berg herabrollenden Kugel, die sich durch eine hügelige Landschaft bewegt, hin und wieder auch einmal einen Seitenhügel überwindet oder durch einen neugebildeten Kanal in ein Nebental gelangt, von wo aus die Entwicklungsreise je nach Umwelt- und Lebensbedingungen verschiedene weitere Routen nimmt⁹⁹. Komplexe epigenetische Vorgänge können auf diese Weise relativ einfach dargestellt werden. Zum Beispiel wird die Umwandlung normaler Körperzellen in polypotente Zellen (Shin'ya Yamanaka, Nobelpreis 2012) als das Zurückbringen der ›Kugel‹ an eine höhere Stelle des Tals beschrieben, von wo aus ihr dann wieder viele dreidimensionale Pfade offenstehen¹⁰⁰. Wie beliebt diese Bildsprache geworden ist, unterstreicht die Molekularbiologin Nessa Carey: »Auf Konferenzen mit dem Wort ›Epigenetik‹ im Titel wird der Sprecher alsbald auf etwas zu sprechen kommen, was er ›Waddingtons epigenetische Landschaft‹ nennt«¹⁰¹. Waddington war einer der vielen ›Lefties‹ des *Clubs* und seine marxistische Einstellung dürfte Popper schon bei ihrem ersten Treffen in der alten Mühle zum Widerspruch gereizt haben. In seinem Buch *Das Elend des Historizismus*, das 1935 schon in Arbeit war¹⁰², kritisierte Popper jedenfalls Waddingtons Auffassung, man müsse die Richtung der Evolution anerkennen, einfach »weil sie gut ist«¹⁰³. Diesen

Glauben an die Entfaltung der Geschichte nach den ihr innenwohnenden Gesetzen konnte Popper auch für die Darwinsche Evolution nicht gelten lassen. Die Evolution hat keine Richtung zum ›Höheren‹ oder ›Besseren‹. Der falsche Glaube an eine Höherentwicklung verführte viele hervorragende Biologen wie Ronald Fischer und Julian Huxley dazu, sich aktiv für Eugenik einzusetzen. Popper lehnte eine Züchtung in Richtung auf biologisch bessere Menschen ab, weil dann wohl kaum die Evolution, sondern in Wirklichkeit die Eugeniker die Richtung vorgeben würden¹⁰⁴. Auch Waddingtons Vorstellung, die Wissenschaft könne zur Ethik beitragen, indem sie die Richtung der Evolution herausfindet und in die Ethik übernimmt, lehnte Popper ab¹⁰⁵.

Waddingtons biologische Theorien hingegen zitierte er zustimmend: Die Zweifel am Darwinismus waren berechtigt. Die Zielgerichtetheit der Evolution wird bei Waddington besser erklärt als bei Darwin¹⁰⁶. Die individuelle Anpassung an eine neue Umwelt kann durch den selbstgewählten Selektionsdruck genetisch fixiert werden¹⁰⁷.

In der Mühle könnte auch die Nichtreduzierbarkeit der Biologie auf die Physik diskutiert worden sein. Dieses Thema war nämlich ein Anliegen der damaligen ›Organizismus-Bewegung‹, und der Organizismus war ein wesentlicher Punkt im Forschungsprogramm des *Clubs*. Über die Nichtreduzierbarkeit hat Popper viel geschrieben und oft Vorträge gehalten¹⁰⁸. In der Medawar-Vorlesung verschärfte er sie und behauptete die Nichtreduzierbarkeit der Biochemie auf die Biologie und die Nichtreduzierbarkeit der angewandten Wissenschaften auf die Grundlagenwissenschaften. Anders als Popper beruft sich der Organizismus auf den Ganzheits-

charakter des Organischen, demzufolge man die Teile nicht ohne das Ganze verstehen könne. Popper dagegen sieht den Unterschied des Organischen zu rein chemischen Vorgängen darin, dass man keine vollständige Erklärung geben kann, wenn man nicht auf den Zweck der Organe, Organellen und Biomoleküle zu sprechen kommt.

Lancelot L. Whyte (1896-1972) war ein reicher schottischer Finanzier. Als Vertreter der Biophilosophie ist er wenig bekannt, dafür umso mehr als Förderer des genialen Frank Whittle, der den Düsenantrieb von Flugzeugen erfand. Whyte unterstützte Whittle viele Jahre finanziell, lange bevor im Zweiten Weltkrieg das Luftwaffenministerium zur Entwicklung von Düsenjägern bereit war. Der Vorsprung der Deutschen konnte auf neun Monate verkürzt werden. Die buchstäblich ›weltbewegende‹ Bedeutung dieser Erfindung für die Luftfahrt muss nicht erläutert werden. Auch für Whyte dürfte das Treffen in der Mühle der entscheidende Anstoß zu evolutionsbiologischen Gedanken gewesen sein. 1965 publizierte er ein selten zitiertes, aber originelles und mutiges Buch mit dem Titel *Interne Faktoren in der Evolution*¹⁰⁹. Es wurde sofort abgelehnt. Die einen sagten ›neu, aber falsch‹, die anderen warfen ihm vor, offene Türen einzu rennen¹¹⁰. Doch die Türen für Whytes nicht-darwinistische Mechanismen sind noch gar nicht so lange weit geöffnet: Das Schema ›zufällige Mutationen plus natürliche Selektion‹ schien für viele noch bis 1990 ausreichend zu sein, um die gesamte Evolution zu erklären. Whyte hatte ganz andere Ideen, und die hören sich heute nicht mehr weit hergeholt an: Im Apparat der Zelle sollten von ihm postulierte Ordnungskräfte

›kontrollierte Mutationen‹ und eine ›innere Selektion‹ möglich machen. So könnte man endlich die Tatsache einer *gerichteten Evolution* erklären und auch die andere Tatsache, dass bewährte Gene über Hunderte von Millionen Jahren vor zufälligen Mutationen geschützt werden, wie beispielsweise bei allen Wirbeltieren die Gene für die Wirbelsäule. So könnte man auch die unterschiedlichen individuellen Entwicklungen besser verstehen. Whyte stützte sich in seinem Buch auf die Arbeiten von Conrad Waddington und John Haldane, die er beide 1936 in der Mühle kennengelernt hatte und mit denen er in Verbindung geblieben war.

Mit der Epigenetik begann die Abkehr vom reinen Zufallsdarwinismus. Seit dem Ergebnisbericht über das Encode-Projekt¹¹¹ in *Nature* vom 5. September 2012 kann man Whyte kaum noch als Träumer bezeichnen und übergehen. Allzu offensichtlich entpuppten sich nun die ›non-coding DNA‹ (früher als ›junk-DNA‹ abgetan) und die zirka vier Millionen epigenetischen Schalter als Teil der von Whyte vermuteten genetischen Steuerungsprozesse, die zusammen mit den ›Ordnungskräften‹ der Zelle (die immer noch rätselhaft sind) für die adäquate Verwendung zufälliger Mutationen und für die zweckvolle Verwendung bestimmter Gene sorgen.

Lancelot Whyte hatte die großen organisatorischen Fähigkeiten der Zelle und ein entsprechendes Forschungsprogramm vorgewonnen. Dass er selber nicht experimentell geforscht hat, ist kein Zeichen der Unwissenschaftlichkeit: Auch Darwin hatte Vieles nur vermutet, viele Wege nur vorbereitet, aber nicht alles selber erforscht. Whyte ist heute vergessen; dass die Wissenschaft andere Wege gegangen wäre, kann niemand behaupten.

Auch *Joseph Needham* (1900-1995) war wie Haldane, Bernal, Waddington und Levy ein engagierter Kommunist, allerdings mehr nach China als zur Sowjetunion hin ausgerichtet. Er wurde nicht nur als Biologe, sondern auch als großer Sinologe bekannt. Nach ihm ist die viel diskutierte ›Needham-Frage‹ benannt: Wie kam es, dass China trotz seines gewaltigen Vorsprungs in den Wissenschaften später so weit hinter Europa zurückblieb? Die politischen Diskussionen in der Mühle dürften ziemlich heftig gewesen sein. Poppers Biograph Malachi Hacohean meint, dass sie »entscheidend für ›Das Elend des Historizismus‹« waren: »die Biologie lieferte in der Windmühle das Modell für Geschichtsgesetze«¹¹².

Aber in der Mühle ging es nicht nur um Politik, es ging auch um »Probleme der Wissenschaftstheorie und besonders natürlich der Biologie«, erinnerte sich Popper viele Jahre später¹¹³. Wie Haldane, Bernal und viel später Karl Popper lieferte auch Needham Beiträge zur Evolutionstheorie. George Bernard Shaw schrieb in seinem Vorwort zu *Zurück zu Methusalem*: »Unser Zeitgenosse Joseph Needham wird gewiss nicht der letzte gewesen sein«, der seit Empedokles Evolutionstheorien entwickelt¹¹⁴.

Needham gehörte 1932 zu den Gründern des *Theoretical Biology Club*. Er war es, der für die beiden Treffen des *Clubs* 1936 und 1937 die ›Windmühle bei Hunstanton‹ vorschlug. Needham hatte sie von den damaligen Besitzern, den Cornfords, als Ferienwohnung gemietet¹¹⁵. Besitzer der Mühle war seit 1927 der bekannte Platonforscher Francis Cornford, der mehrfach in Poppers *Offener Gesellschaft* zitiert wird. Seine Frau Frances war eine Enkelin von Charles Darwin; auch das gibt der

Mühle, unabhängig vom *Club*, einen biologischen Akzent.

Nachspiel 1956: Myer Head Salaman

Hier hätte die Geschichte von Hunstantons ›biologischer Windmühle‹ enden können. Aber die Darwin-Enkelin Frances Cornford hatte noch eine zweite Beziehung zur Biologie, und die führte zu einem interessanten Nachspiel. Nach dem Tod ihres Mannes verkaufte Frances die Mühle 1956 an den Krebsforscher Myer Head Salaman, der später Poppers Wissenschaftstheorie auf die Biologie erweitern und darüber mit Popper korrespondieren wird. Frances kannte Myer Salaman gut, denn sie war mit Myers Frau Esther befreundet. Sie hatten zusammen einen Gedichtband mit russischen Gedichten veröffentlicht. Esther war in jungen Jahren aus der Ukraine vertrieben worden, hatte bei Einstein in Berlin studiert, war dann, abermals vertrieben, nach England gegangen. Sie arbeitete am berühmten *Cavendish-Labor* und schrieb später ein Buch über die dort in den Jahren 1925-1942 forschenden Größen der Physik¹¹⁶. Mit Einstein blieb sie befreundet. Auch den Physiker und Nobelpreisträger Paul Dirac kannten die Salamans sehr gut, und »Dirac hat mehrmals mit meinen Eltern seine Ferien in der Windmühle verbracht«, schrieb mir Myers Tochter Thalia¹¹⁷.

Der neue Mühlenbesitzer *Myer Head Salaman* (1902-1994) war Direktor am *Hospital Medical College* in London. Er leitete dort die Krebsforschung. Schon 1970, zehn Jahre vor dem ersten Auftreten von AIDS, hatte Salaman vor Viren gewarnt, die durch Immunsuppression schwere Krankheiten auslösen können¹¹⁸. »Warum, werden Sie fragen, sind meine Leser nicht sofort in ihre Labors gegangen, warum ha-

ben sie nicht alles andere liegen lassen und mit allen Kräften versucht, die kommende Katastrophe abzuwenden? Und warum habe ich selber das nicht getan?«¹¹⁹

Es existiert ein kurzer Briefwechsel zwischen Salaman und Popper. Da Salaman Poppers Wissenschaftstheorie erweitern möchte, fragte er nach dem Manuskript des noch immer unveröffentlichten ›Postskripts zur Logik der Forschung‹. Popper konnte nicht helfen, da Teile des Postskripts nach dem Tod von Imre Lakatos¹²⁰ verschwunden waren. Fünf Jahre später schrieb Popper wegen der Krebserkrankung seiner Frau an Salaman und bat um Rat¹²¹.

In seinem Buch *Experiment and Interpretation* setzte sich Salaman mit Poppers Wissenschaftstheorie auseinander¹²². Wie Popper sah er die Parallele zwischen den beiden evolutionären Erkenntnistheorien, der biologischen und der Popperschen. Er hielt sie für »methodologisch identisch«. Allerdings sah er nicht, und da ging es ihm wie vielen anderen Biologen, dass diese Parallelität zwingend ist, weil es aus logischen Gründen keinen Erkenntnisprozess geben kann, der besser ist als die Methode von Versuch und Irrtum¹²³.

Salaman dagegen plädierte für Induktion. Er hielt es für ganz klar, dass in der biologisch-evolutionären Erkenntnistheorie die Lebewesen von vornherein Wissen über die Welt haben müssen, weil sonst gar kein Leben möglich wäre. Zumindest müssen sie schon immer das Wissen gehabt haben, dass es in der Welt Regelmäßigkeiten gibt¹²⁴. Er schließt sich dem an, was Christopher Wills *Weisheit der Gene*¹²⁵ nennt: In der Zelle steckt Wissen.

Hier möchte ich erläutern: Die Frage, ob es solch eine biologische Induktion gibt, also induktiv erworbenes Wissen, ist wich-

tig für das erste der beiden neuen Rätsel des Lebens, nämlich für das Rätsel, wie objektives Wissen in die Lebewesen hingelangt, lange bevor sie ein Gehirn haben. Ist es einfach nur durch Zufall da und passt zufällig? Diese Frage ist für Poppers Diskussion des aktiven Darwinismus wichtig und damit auch für das zweite neue Rätsel des Lebens: Wie kommen Ziele, Absichten, Zwecke, wie kommt das Wollen in die Welt? In den Formeln der Physik und Chemie kommen diese teleologischen Größen nicht vor. Obgleich alles Geschehen in der Welt, soweit wir wissen, auf Physik und Chemie *beruht*, kann nicht alles Geschehen physikalisch oder chemisch *erklärt* werden.

Salaman fragte weiter: Ist alles Leben aus *zufälligen* Mutationen und natürlicher Selektion entstanden? Nein, es haben sich innerhalb der Zelle auch Faktoren entwickelt, die Mutationen bewirken, die für das betreffende Lebewesen von Vorteil sind. Auch kann die Zelle sich Organismen nutzbar machen, die ursprünglich als ›Parasiten‹ in sie eingedrungen sind. Diese beiden Dinge zeigen, dass »die Interaktion zwischen Faktoren, die Mutationen bewirken, und dem Genom ebenfalls der Evolution unterworfen ist«¹²⁶.

Dass das keine Darwinsche Evolution mehr ist, wurde 1967 von Lynn Margulis (1938-2011) gezeigt. Ihre ›endosymbiotische Theorie‹ verstieß aber so sehr gegen das herrschende Dogma, dass Margulis' Veröffentlichung erst nach fünfzehn vergeblichen Versuchen angenommen wurde¹²⁷. In den nachfolgenden Jahren hat sie ›die andere Evolution‹¹²⁸ propagiert, die nicht auf Überlebenskampf, sondern auf Netzwerken und Kooperation beruht. Erst seit Ende der 1990er Jahre finden ihre Beiträge Anerkennung.

Wie Salaman und Margulis hatte auch Popper das Besondere dieser Kooperation erkannt. In Punkt (9) seiner Medawar-Vorlesung erwähnte er kurz Parasiten, die in Symbiose mit der Zelle zusammenarbeiten und dadurch offensichtlich erworbene Eigenschaften werden, die vererbbar sind. Er spielte damit beispielsweise auf Mitochondrien an (in der Zelle für die Energieerzeugung zuständig), die ursprünglich in die Zelle eingedrungene parasitäre Bakterien waren und immer noch über eine eigene DNA verfügen. Margulis' und damit auch Poppers Beispiele für erworbene und vererbare Eigenschaften stellen eine Lamarcksche Vererbung dar. Große Biologen wie Ernst Mayr wollten das nicht so sehen¹²⁹. Aber diese Beispiele zeigen, und die Forschung unserer Tage bestätigt es immer wieder, dass die Evolution nicht nur über zufällige Variation (Mutation und sexuelle Mischung) und Selektion abläuft, sondern dass zellinterne Faktoren eine Rolle spielen¹³⁰. Ein entsprechendes Forschungsprogramm hatte *Club*-Mitglied Lancelot L. Whyte schon 1965 mit seinem Buch *Interne Faktoren in der Evolution* anstoßen wollen.

War Poppers Biologie auf der Höhe ihrer Zeit?

Zu Salamans Forschungsgebiet gehörten damals auch die Krebs erzeugenden Onkoviren. Soweit diese so genannte Retroviren sind, können sie in die Wirtszelle nicht nur eindringen, sondern mit Hilfe von Enzymen dort auch ihre eigene RNA in eine DNA umwandeln lassen, die dann in das Genom der Wirtszelle eingebaut und bei der Zellteilung weitervererbt wird¹³¹. Diesen Gedanken hat Popper aufgegriffen, allerdings ohne einen Hinweis darauf, ob er Salamans Artikel von 1970 gelesen

hat. Für Popper sind Retroviren und die sie unterstützenden Enzyme ein Hinweis dafür, dass Lamarcksche Vererbung nicht ausgeschlossen werden darf, auch wenn sie vielleicht keine große Rolle spielt. Das Verbot der Lamarckschen Vererbung drückte sich bis Anfang der 70er Jahre in dem molekularbiologischen Dogma aus, dass es keine Wirkung der RNA auf die DNA gibt¹³². Wenn dieses Dogma für somatische Zellen (normale Körperzellen) aufgehoben werden muss, dann muss es auch nicht mehr für Keimzellen gelten, wodurch sich eine realistische Möglichkeit für die Lamarcksche Vererbung erworbener Eigenschaften eröffnet.

Darüber hat Popper 1973 einen Artikel geschrieben: »Lamarckism and DNA«¹³³, der allerdings nie veröffentlicht wurde. Bei erhöhtem Proteinbedarf nach Verletzungen oder intensivem Sport vermutet Popper: »Der vermehrte Bedarf an einem bestimmten Protein könnte zu einer enzymkontrollierten Rückmeldung der RNA an die DNA führen«. Die RNA könnte von einem speziellen Hormon in ein Stück DNA verwandelt und diese dann der zelleigenen DNA einverleibt werden. Zum Beispiel würde die Verdoppelung des Gens für ein bestimmtes Protein zu der vom Körper gewünschten vermehrten Proteinsynthese führen.

Inzwischen sind solche nicht-zufälligen Veränderungen der DNA und anderer Erbanlagen tatsächlich gefunden worden¹³⁴. Die neuen Errungenschaften der Molekularbiologie müssen aber immer noch gegen die alte Garde des Darwinismus, des Neo-Darwinismus und der »Modernen Synthese« verteidigt werden. Darauf weist 2008 Joachim Bauer in seinem Buch *Evolution als kreativer Prozess* hin. Er erläutert darin: Die von Umweltreizen stimu-

lierte Zelle kann durch Umwandlung von RNA in DNA ›Transpositionselemente‹ herstellen und sie dem Genom hinzufügen. Diese sorgen dafür, dass Gene im Bedarfsfall verdoppelt werden oder Kopien von ihnen an anderen Stellen in die DNA eingesetzt werden¹³⁵. Der Vergleich mit Poppers Artikel von 1973 beantwortet die Frage, die sich manch einer stellen könnte, ob Popper als Philosoph überhaupt in der Lage war, die Ergebnisse der neuesten Molekularbiologie zu verstehen und aus ihnen die richtigen Schlüsse zu ziehen.

Popper sah schon sehr früh, dass die individuelle Lebensweise auf das Genom wirken kann, einerseits als direkte Einwirkung auf die Erbanlagen, andererseits, bei Wahl einer neuen Umwelt, über den Baldwin-Effekt. Und er sah voraus, dass diese Abkehr vom reinen Darwinismus im Laufe der Zeit unser Weltbild verändern wird. Die »brutal logic of natural selection«¹³⁶, von Darwin sicher nicht gewollt, war allzu lange die Leitidee für Wirtschaft, Kriegspolitik und individuellen Egoismus. Die neue Molekularbiologie könnte den Boden vorbereiten für ein mehr an Kooperation als an tödlichen Wettkämpfen orientiertes Sozialdenken, falls die neuen Sozialdenker Poppers Faden aufgreifen; denn die Wissenschaft selber liefert keine Moral.

Dank der Arbeiten von Forschern wie Barbara McClintock (mit ihren ›Transposonen‹) kam immer stärker ans Licht, dass das Leben in der Zelle nicht von blinden Zufällen beherrscht wird. Eine RNA, die einen Teil aus der DNA kopiert hat, kann gezielt in DNA umgewandelt und dem Genom einverleibt werden. Die Zelle entscheidet, ob ein Umwelteinfluss genetische oder epigenetische Wirkung haben soll. Sie sorgt auch dafür, dass wichtige Teile des Ge-

noms von derartigen Eingriffen verschont bleiben¹³⁷. In vielen empirisch belegten Fällen wirkt eindeutig die Umwelt auf die Gene, verbunden mit anderen Formen der Genregulation und der epigenetischen Vererbung¹³⁸. Die »Beweise für den außerordentlich bedeutsamen Einfluss der Umwelt sind... erdrückend«, schreibt Bernhard Kegel und erläutert es an vielen Beispielen¹³⁹. Sein Resümee: 2009 hätte man Grund gehabt, nicht nur Darwins 150 Jahre altes Meisterwerk zu feiern, sondern auch Lamarcks 200 Jahr alte *Philosophie Zoologique*¹⁴⁰.

Es macht Popper nicht zum großen Biologen, dass die Entwicklung der Molekularbiologie ihm Recht gegeben hat. Letzteres hebe ich nur hervor, um zu zeigen, dass er sich als Philosoph der Biologie auf der Höhe der biologischen Forschung bewegt hat. So wird man vielleicht auch seine weiteren Thesen zur Biophilosophie ernst nehmen, die er in der Medawar-Vorlesung und in vielen anderen Veröffentlichungen vorgestellt hat, Thesen wie: Biochemie ist nicht auf Chemie reduzierbar; DNA ist nicht der Kern Lebens¹⁴¹; zum Kern des Lebens gehört vor allem die Zelle; die Zelle ist das Zentrum einer rätselhaften Aktivität, denn *Alles Leben ist Problemlösen* – Poppers Buchtitel. Es ist die Aktivität der Lebewesen selbst, die die Richtung der Evolution bestimmt. Der indirekte Einfluss der ›Umwelt‹ auf die Vererbung via Baldwin-Effekt ist von vielen Biologen erkannt worden; aber die Tragweite dieses Gedankens hat erst Popper gesehen, denn Anfang der 80er Jahre war sein ›Darwinscher Lamarckismus‹ noch weitgehend unbekannt¹⁴². Die ständige *Suche nach einer besseren Welt* – ebenfalls ein Buchtitel Poppers – hat uns evolutionär zu dem gemacht, was wir sind. Durch

die neue Biologie werden nun das Wollen, die Lebensweise und die Aktivitäten aller Lebewesen noch direkter mit der Vererbbarkeit verknüpft.

Emergenz: mehr herausbekommen als hineingeben

Die Erbanlagen bestehen nicht nur aus der DNA, sondern dazu gehören auch Millionen epigenetischer Schalter und die von Generation zu Generation weitervererbte Eizelle mit ihrem ›Wissen‹ und ihrer Aktivität. Alle Teile der Erbanlagen wirken auf das Lebewesen ein, und das Lebewesen wirkt in Maßen auch auf seine Erbanlagen zurück. Durch solche Rückkopplungen entstehen gewöhnlich die komplexesten Entwicklungslinien. Kein Computer kann sie im Voraus berechnen¹⁴³, und es können Eigenschaften entstehen, die es zuvor im Universum nie gegeben hat, wie zum Beispiel: echte Aktivität, das heißt Ziele verfolgen, Wollen, Wünschen und Neugier; die Sprache, die Gefühle ausdrückt; die Sprache, die beschreibt; die Sprache, die argumentiert; die Objektivierung von Wissen, zuerst in der lebenden Zelle und später in dem, was Popper ›Welt 3‹ nennt: Bücher, Mathematik, Wissenschaft und Kunst.

In der Medawar-Vorlesung hatte Popper den Abschnitt ›Emergenz‹ aus Zeitgründen nicht mehr vortragen können. Es spricht einiges dafür, dass er diesen Abschnitt gar nicht ausgearbeitet hatte und an dieser Stelle improvisieren wollte¹⁴⁴. Das wenige, was er gesagt hat, ist durchaus weiterführend: Manchmal taucht in der Welt völlig Neues dann auf, wenn ein bestehender Apparat umfunktioniert wurde¹⁴⁵. Beispiele kann man leicht selber finden: etwa die Flossen der Fische, die zum Laufen umfunktioniert wurden und in emer-

genter Weise die Freuden des Landlebens in die Welt brachten. Vielleicht lassen sich auch bisher unerklärbare Dinge auf diese Weise erklären, etwa die Entstehung der RNA. Vielleicht hatte auch sie anfangs eine ganz andere Funktion. Mit ein wenig Fantasie könnte Poppers Hinweis auf die ›Emergenz durch Umfunktionieren‹ zur Emergenz neuer Ideen beitragen.

Ganz aus der Luft gegriffen ist das RNA-Beispiel nicht. In seinem Briefwechsel mit dem amerikanischen Evolutionsbiologen Carl Woese (1928-2012) schreibt Popper: »Ich habe eine allgemeine Theorie der ›Emergenz‹: Irgendeine Struktur (z.B. eine chemische Struktur) ohne eine Funktion (ein Nebenprodukt) oder mit einer Funktion (vielleicht einer unbedeutenden) übernimmt eine wichtige Funktion. Ich denke, das ist etwas erstaunlich Typisches in der Evolution. Und ich glaube, so muss es mit der Translation gewesen sein [›Translation‹ ist die Proteinsynthese gemäß einer Kopie, die sich die mRNA von der DNA geholt hat]. Wir können uns *viele* Paare von Funktionen vorstellen: die eines prä-enzymatischen Proteins und die neu übernommene enzymatische Funktion. Meine Betonung liegt auf ›viele‹: Es gibt viele mehr oder weniger plausible Funktionen. Am Anfang könnte sich das aber auch bei einem weniger plausiblen Paar von Funktionen ereignet haben«¹⁴⁶.

Was er unter ›Emergenz‹ versteht, hat Popper ausführlich an vielen Stellen seines Buches *Wissen und das Leib-Seele-Problem* gesagt¹⁴⁷. Eine konkrete Definition findet sich in der Kenan-Vorlesung von 1969, wo er anhand des tetradischen Problemlösungsschemas $P1 \rightarrow VT \rightarrow FE \rightarrow P2$ die Emergenz in der organischen Welt der Problemlöser erklärt¹⁴⁸: Problem $P2$ ist emergent, weil die Lösung von Problem

PI nicht im Voraus gegeben ist, sondern etwas wirklich Neues sein kann. In dem Buch *Das Offene Universum* wird die Tatsache des Indeterminismus als notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für Emergenz und Offenheit der Zukunft genannt¹⁴⁹. Wäre alles determiniert, gäbe es keine Freiheit und keine Emergenz. Als große kosmologische Emergenzen nennt er dort das Auftreten von Leben im Universum, dann das von subjektivem Geist (Denken, Fühlen, Wollen), dann das von objektivem Geist (Sprache und Geschriebenes).

Es gibt handschriftliche Notizen zur Medawar-Vorlesung, in denen Popper notiert und mit Beispielen belegt hat, was er unter Emergenz versteht¹⁵⁰. Sie sind kursschriftlich und damals nicht zur Veröffentlichung bestimmt gewesen: »Theorie der Emergenz: Mehr kommt heraus als man hineingetan hat«. Zum Beispiel die natürlichen Zahlen erfinden und darin die Primzahlen entdecken. Es gibt Dinge, die man erst erklären kann, wenn sie da sind, also im Nachhinein. Den Anfang des Lebens zum Beispiel. Am Anfang haben chemische Verbindungen eine Tendenz (Propensität) zur Synthese und dann eine zur Vermehrung. Die Möglichkeiten vergrößern sich damit, und so kommen schließlich Aktivität und Freiheit in die Welt. Popper führt ein konkretes Beispiel seines Freundes Günter Wächtershäuser an: die Emergenz der Sinneswahrnehmung [gemeint sind die Augen] aus der Kombination von aktiver Bewegung und Nahrungsaufnahme [gemeint ist die Bewegung zum Licht zwecks Energieaufnahme]. Und ein weiteres biologisches Beispiel: »Von einer Struktur kann sich unter bestimmten Umständen oder Gesichtspunkten herausstellen, dass sie unvorhersagbare Eigenschaften und Konsequenzen

hat. Zum Beispiel: Endosymbiose«. Gemeint ist die oben genannte Kooperation von Bakterien mit der Wirtszelle, mit der Lynn Margulis erklärt, wie die Eindringlinge in den heutigen Zellen als »Mitochondrien« wichtige Arbeiten verrichten und nun die Kraftwerke der Zelle sind.

Die Biologie und unser Weltbild

Soweit mein Nachtrag zu Karl Poppers Medawar-Vorlesung. Zur »Neuinterpretation des Darwinismus« durch die Biologen konnte ich nur wenige Stichwörter liefern, denn, biologisch betrachtet, war das ganze 20. Jahrhundert eine ständige Neuinterpretation des Darwinismus. Zweifellos stehen uns in diesem biologischen 21. Jahrhundert noch viele neue Interpretationen bevor. Der reine Darwinismus als »Variation plus Selektion« wird sicher seine große Erklärungskraft behalten, wahrscheinlich aber nicht mehr in Form der »brutal logic of natural selection«, wie der *Scientific American* ihn noch im Darwin-Jahr 2009 charakterisierte¹⁵¹. Diese Art des »Neo-Darwinismus in der Politik hat eine europäische Katastrophe von schrecklichem Ausmaß angerichtet, und wenn ich diese Zeilen jetzt 1921 schreibe, ist noch nicht sicher vorhersagbar, ob die Zivilisation ihn überleben wird«¹⁵², schrieb George Bernard Shaw in seinem weitsichtigen und evolutionsbiologisch sehr lesenswerten »Metabiologischen Pentateuch«¹⁵³. Das Überleben als Beweis der Überlebenstüchtigkeit, sagt Shaw, war nicht Wissenschaft, sondern Ideologie. Shaw erlebte auch noch den nächsten Konkurrenzkampf der Überlebensfähigsten, den 55 Millionen Kriegsgeschehen und 6 Millionen ermordete Juden nicht überlebten.

Liegt das alles lange hinter uns? Oder hat der Wolf sich nur den Schafspelz reini-

gen lassen? Der alte Darwinismus reicht nicht mehr aus, die Evolution zu erklären. Aber er kann die fatale Ideologie erklären, die sich heute im Wirtschaftsleben breit macht und als »Ethik der Zukunft« auf unsere Lebensweise übergreift¹⁵⁴. Bis zur nächsten Katastrophe. Manche haben die ›brutal logic of natural selection‹ in der Wirtschaft früh bemerkt: »Der durch unsere Wirtschaftsordnung künstlich geschaffene Kampf um Arbeitsplätze erzeugt jede menschliche Gemeinheit«, schrieb Albert Einstein 1936 in seiner Beurteilung von Poppers Chancen, in den USA eine Stelle zu finden¹⁵⁵.

Die alte Biologie hat viel zur Verwirrung der Geister beigetragen; vielleicht kann die neue Biologie uns helfen, über ein besseres Weltbild nachzudenken.

Dank. Für Hinweise und Vorarbeiten danke ich Troels Eggers Hansen und Arne Petersen (für ›Poppers Biologie vor 1936‹, die hier zu kurz gekommen ist), Melitta Mew (Erinnerungen und Manuskripte), Thalia und Louisa Polak (Details über ihre Mühle bei Hunstanton); dem *National Archive* der Cambridge University Library und den *Royal Society Archives*, London (für Materialien). Besonders danken möchte ich Manfred Lube und Nicole Sager von der *Karl-Popper-Sammlung*, Klagenfurt, für die Erlaubnis, aus Poppers Nachlass zitieren zu dürfen, und für die Hilfe beim Beschaffen des Archivmaterials.

Anmerkungen:

Poppers Medawar-Vorlesung ist abgedruckt in *Aufklärung und Kritik* 1/2013, S. 7-20. In den folgenden Fußnoten steht ›KPS‹ für *Karl-Popper-Sammlung*, Universität Klagenfurt. Die Zahlen A-B/Bl. C hinter KPS bedeuten: ›A‹ die Box; ›B‹ der Folder; ›Bl. C‹ das Blatt im Folder; ohne ›Bl.‹ die Seite in Poppers Manuskript. Soweit Übersetzungen

aus Büchern oder dem Archivmaterial nötig waren, stammen sie vom Autor H.J.N.

¹ Bernhard Kegel, *Epigenetik. Wie Erfahrungen vererbt werden*, Dumont 2009, Einleitung.

² Eine Auswahl: s.o. Anm. 1: Kegel (2009). Peter Spork, *Der zweite Code. Wie wir unser Erbgut steuern können*, Hamburg (Rowohlt) 2009. Joachim Bauer, *Das Gedächtnis des Körpers. Wie Beziehungen und Lebensstil unsere Gene steuern*, München (Piper) 2013. Richard Francis, *Epigenetics: How Environment Shapes Our Genes*, New York (W. W. Norton) 2012.

³ Es gibt keine gehaltserweiternden induktiven Schlüsse. Auch eine beliebige Maschine kann nicht aus Tatsachen richtige Theorien über die Wirklichkeit ableiten. Siehe Poppers *Logik der Forschung* und spätere Arbeiten zum Wachstum des Wissens.

⁴ Max Perutz (1904-2002), ›Darwin hatte Recht‹ in: M. Perutz (2003), *I Wish I'd Made You Angry Earlier*, New York (DSH Press) posthum 2003, S. 217-224; zuvor: *ders.*, ›A new view of Darwinism‹, *New Scientist*, 2. Okt. 1986, S. 37-38.

⁵ H.J. Niemann, ›Alle Lebewesen steuern ihre eigene Evolution‹, *Aufklärung und Kritik* 1/2013, S. 21-39.

⁶ Perutz (2003), s.o. Anm. 4.

⁷ Popper an Perutz, 14. Aug. 1990: KPS 556-15/Bl. 30.

⁸ Arne F. Petersen, ›On Popper's Contributions to Psychology as Part of Biology‹, *Cambridge Companion to Karl Popper*, Cambridge (CUP), eingereicht. Troels E. Hansen machte mich auf Poppers frühe biologische Interessen aufmerksam in: Popper (1933/2010), *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 2, *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2010, S. 29-38, sowie Abschnitt 33, auf den Popper den Biologen Berti Wiesner hingewiesen habe, weil er für Biologen besonders interessant sei (KPS 362-8, 7.1.1933, dort fälschlich ›1932‹).

⁹ M.H. Hacohe (2000), *Karl Popper – The Formative Years*, Cambridge (CUP) 2000, S. 315, Anm. 88 und dort KPS 300-2 (Popper an Gombrich).

¹⁰ K.R. Popper (1974/2012), *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 15, *Ausgangspunkte*, übers. v. Friedrich Griese, hrsg. von Manfred Lube, Tübingen (Mohr Siebeck) 2012, S. 150.

¹¹ KPS 570-5/Bl. 32; Popper (1974/2012), s.o.

Anm. 10, Kap. 21 ›Die drohende Judenfrage‹.

¹² Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22, S. 151-152; KPS 570-5/32.

¹³ ›1. Internationaler Kongress für die Einheit der Wissenschaft‹, Wien 16. bis 21. September 1935, siehe T. E. Hansen (Hrsg.), *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 1, ›Frühe Schriften‹, Tübingen (Mohr Siebeck) 2006, Anhang ›Zeittafel‹, S. 547-551. Der Band enthält den ersten Vortrag in Kap. V, Abschnitt 15, den zweiten in Kap. V, 16-18.

¹⁴ Hacoheh (2000), s.o. Anm. 9, S. 311.

¹⁵ Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22, S. 151.

¹⁶ *Ibid*, S. 153. Das Datum ist nicht geklärt. Popper gibt 1936 an: Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, S. 153. Zwanzig Jahre früher hatte er aber den Herbst 1935 angegeben in: *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 7, *Realismus und das Ziel der Wissenschaft*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2003, Kap. I, Abschnitt 1.

¹⁷ Zu Poppers Unterscheidung zwischen subjektivem und objektivem Denken, von 1920 bis 1994: H.J. Niemann, ›Nachwort des Hrsg.‹ in: *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 12, *Wissen und das Leib-Seele-Problem*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2012, S. 510-546.

¹⁸ Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22, S. 153-154

¹⁹ H. Kiesewetter, ›Nachwort des Hrsg.‹ in: Popper (1957/2013), *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 4, *Das Elend des Historizismus*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2003, S. 151. Das *Elend* war als Artikel bereits 1935 im Wesentlichen skizziert, siehe Popper (1945/2003), ›Einleitung‹, in: *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 5 und 6, *Die Offene Gesellschaft und ihre Feinde*, hrsg. v. H. Kiesewetter, Tübingen (Mohr Siebeck) 2003, S. IX.

²⁰ Popper (1957/2003), s.o. Anm. 19, IX; und im gleichen Band H. Kiesewetter S. 152.

²¹ Hacoheh (2000), s.o. Anm. 9, S. 311, lässt die Begegnung Ende 1935 stattfinden. Popper schreibt, sie fand 1936 statt: KPS 300-2/Bl. 41.

²² Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, S. 151-152. Der Briefwechsel Levy-Popper lief 1943 über Gombrich und ist daher dort archiviert: KPS 300-2/Bl. 41.

²³ Woodger und Popper in Paris: Hacoheh (2000), s.o. Anm. 9, S. 311: Anm. 68. Vorlesungen in Ox-

ford und Cambridge: Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22, S. 151-152; KPS 570-5/32.

²⁴ Die ausführlichsten Berichte über den weitgehend vergessenen *Theoretical Biology Club* finden sich bei: (1) Pnina G. Abir-Am (1987a), ›The Bio-theoretical Gathering‹, *Hist. Sci.* XXV (1987), S. 1-70 (Teil aus ihrer Dissertation). (2) Erik L. Peterson (2010), *Finding Mind, Form, Organism, and Person in a Reductionist Age: The Challenge of Gregory Bateson and C. H. Waddington to Biological and Anthropological Orthodoxy 1924-1980*, Dissertation, Univ. of Notre Dame, Indiana, 2010. Das Zitat aus Poppers Brief an Levy: KPS 300-2/Bl. 41.

²⁵ Popper schreibt in seiner Autobiographie (Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, S. 155), England im Juli 1936 für die Konferenz in Kopenhagen verlassen zu haben. Die Konferenz fand aber vom 21. bis 26. Juni statt. Andere Hinweise, die für Juni sprechen, finden sich in seinem offiziellen Naturalisierungsantrag für Neuseeland (KPS 570-5/43).

²⁶ Hansen (2006), s.o. Anm. 13, S. 553.

²⁷ KPS 573-1.

²⁸ KPS 570-5/Bl. 32.

²⁹ Jean Medawar, David Pyke, *Hitler's Gift*, New York (Arcade Publishing) 2000, S. xiii.

³⁰ KPS 570-5/Bl. 43; KPS 300-2/Bl. 41; KPS 363-17/Bl. 68.

³¹ Hacoheh (2000), s.o. Anm. 9, S. 323-324; Hansen (2006), s.o. Anm. 13, S. 553.

³² Erwähnung der Hunstanton-Mühle in: (1) Poppers Medawar-Vorlesung 1986, *Aufklärung und Kritik* 1/2013, S. 7-20. (2) In einem Entwurf dazu erinnert sich Popper an Bernal, Crowfoot, Floyd, Haldane, die beiden Needhams, Waddington, Wiesner und Woodger. Haldane sei nur am letzten Tag dabei gewesen. (KPS 583-21, S. 1). Nur das Treffen des *Clubs* und mehrere Teilnehmer werden erwähnt, nicht aber die Windmühle selbst in einem Vortrag in Heidelberg 1989 (KPS 510-10/Blatt 116; s. u. Anm. 71). (3) Brief an Gombrich 1943 (KPS 300-2; Hacoheh (2000), s.o. Anm. 9, S. 315). (4) Brief an Hyman Levy (via Gombrich) am 22. Juli 1943 (KPS 300-2/Bl. 41). (5) Levy antwortet am 15.9.43. darauf und erinnert sich ebenfalls an die Mühle und an jenes Treffen (KPS 319-3). (6) In Poppers Nachruf auf Woodger: Popper (1981), siehe unten in Anm. 40. (7) 1983 in einem Brief an Dorothy Hodgkin (KPS 307-23).

³³ ›Ringstead Towermill‹ ist ihr offizieller Name

(www.norfolk Mills.co.uk). Poppers Erinnerung: 1943 in einem Brief an H. Levy: KPS-300-2/Bl. 41.

³⁴ Zur Gründung des *Clubs* siehe Abir-Am (1987a), s.o. Anm. 24, und Abir-Am (1987b), ›Synergy or Clash: Disciplinary and Marital Strategies in the Career of Mathematical Biologist Dorothy Wrinch, in Pnina Abir-Am, Dorinda Outram (Hrsg.), *Uneasy Careers and intimate Lives. Women in Science 1798-1979*, New Brunswick/London (Rutgers) 1987, Kap. II/12, S. 239-280; hier S. 253f. Der Name ›Theoretical Biology Club‹ stammt von J. Needham, *Order and Life* (1936), Widmung.

³⁵ Perutz zitiert Bernal im Jahr 1936 in: Perutz (2003), s.o. Anm. 4, S. 245.

³⁶ *TIME* Magazine, 20. Mai 2013, S. 40-42.

³⁷ Interview Madeleine Amberger mit Ernst Mayr (1904-2005) in: *Die WELT*, 3. Juli 2004.

³⁸ Popper (2001) in: *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 8, *Das offene Universum*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2001, Anhang II (1972).

³⁹ Abir-Am (1987a), s. o. Anm. 24, S. 1 und 9.

⁴⁰ Nachruf auf Woodger: Popper (1981), ›Joseph Henry Woodger‹, *British Journal for the Philosophy of Science* 32 (3), 1981, S. 328-329.

⁴¹ KPS 363-17/Bl. 87-92.

⁴² Peter Medawar, *Memoirs of a Thinking Radish*, Oxford (OUP), S. 85.

⁴³ KPS 363-17.

⁴⁴ Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22, S. 161; David Miller, *Out of Error*, Aldershot (Ashgate) 2006, S. 10.

⁴⁵ Andrew Brown (2005), *J. D. Bernal – The Sage of Science*, Oxford (OUP) 2005, e-book loc. 58.

⁴⁶ William Henry Bragg (1862-1942) und sein Sohn William Lawrence Bragg (1890-1971): gemeinsamer Nobelpreis 1915 für Physik auf Grund ihrer Arbeiten zur Röntgenkristallographie.

⁴⁷ Popper 16. Aug. 1973: KPS 549-13. Max Perutz ›How W.L. Bragg invented X-ray Analysis‹ (1990) in: Perutz (2003), s. o. Anm. 4, S. 339-354.

⁴⁸ Brown (2005), s.o. Anm. 45, e-book loc. 10699.

⁴⁹ *Ibid.*, Postscript.

⁵⁰ *Ibid.* loc. 10786.

⁵¹ en.wikipedia.org, ›John D. Bernal‹.

⁵² Brown (2005), s.o. Anm. 45, e-book loc. 7585, 7604 und 8188.

⁵³ Perutz (2003), s.o. Anm. 4, S. 219.

⁵⁴ Histone als Teil der Erbfaktoren, siehe Carey (2012), s.u. Anm. 74, und Kegel (2009), s.o. Anm. 1.

⁵⁵ KPS 307-23.

⁵⁶ J. D. Bernal (1935), ›Engels and Science‹, *Labour Monthly* Nr. 6 (1935), in: *Marxist Internet Archive* (2008), Abschnitt ›Origin of Life‹.

⁵⁷ Alexander I. Oparin (1894-1980), sowjetischer Biochemiker. A. I. Oparin (1924), *The Origin of Life on Earth* (russ. 1924, engl. 1957).

⁵⁸ J.B.S. Haldane, ›The Origin of Life‹, *The Rationalist Annual* (1929), S. 148-169; wg. der Unabhängigkeit von Oparin siehe: en.wikipedia.org: ›List of multiple discoveries‹.

⁵⁹ J.D. Bernal, ›The physical basis of life‹, *Proc. Phys. Soc. (London)*, Sect. A, 62 (1949), S. 537-558 und J.D. Bernal, *The Physical Basis of Life*, London (Routledge and Kegan Paul) 1951. Wächtershäuser diskutiert einen diesbezüglichen Artikel mit Popper in: KPS 580-7. Vgl. Brown (2005), s.o. Anm. 45, e-book loc. 8215.

⁶⁰ G. Wächtershäuser, ›The origin of life and its methodological challenge‹, *J. Theoret. Biol.* 187 (1997), S. 483-494. *Ders.*, ›From chemical invariance to genetic variability‹, 2013, in Vorbereitung.

⁶¹ KPS 581-1/Bl. 5.

⁶² KPS 580-9/Bl. 5.

⁶³ Poppers angebliche Teilnahme im Mai: Abir-Am (1987a), s.o. Anm. 24, S. 2. Popper schreibt, dass er in Epsom Downs Woodger und dessen Frau Eden besucht habe: Popper (1981), s.o. Anm. 40.

⁶⁴ *Karl R. Popper – Gesammelte Werke*, Band 3, *Logik der Forschung*, hrsg. v. Herbert Keuth, Tübingen (Mohr Siebeck) 2005.

⁶⁵ Abir-Am (1987b), s.o. Anm. 34, S. 263.

⁶⁶ en.wikipedia.org: ›cyclol‹/›historical context‹.

⁶⁷ *The New York Post*, 3. Juni 1941; Kopie des Artikels in Abir-Am (1987b), s.o. Anm. 34, S. 265.

⁶⁸ en.wikipedia.org: ›cyclol‹.

⁶⁹ Ronald Clark (1984), *J.B.S. - The Life and Work of J.B.S. Haldane*, Bloomsbury Reader (1984).

⁷⁰ Haldane (1929), s.o. Anm. 58.

⁷¹ K.R. Popper (1989), ›The all-important role of theory, with application to the theory of biochemical evolution‹, Vortrag am Institut für Molekularbiologie, Heidelberg, am 12.4.1989; unveröffentlicht: KPS 500-10.

⁷² Julian Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis*, London (Allen&Unwin) 1942.

⁷³ August Weismann (1834-1914), deutscher Biologe und Evolutionstheoretiker; arbeitete schon vor Popper bewusst mit einer Falsifikationsmethode (de.wikipedia.org).

⁷⁴ Nessa Carey, *Epigenetic Revolution: How Mo-*

dern *Biology is Rewriting Our Understanding of Genetics, Disease and Inheritance*, Icon Books, 2012.

⁷⁵ Lynn Margulis, Dorion Sagan (2002), *Acquiring Genoms. A Theory of the Origin of Species*, Perseus 2012.

⁷⁶ Popper in einem Entwurf der Medawar-Vorlesung, KPS 583-21.

⁷⁷ J.B.S. Haldane, *Daedalus, or, Science and the Future*, London (Kegan Paul) 1924; dt. *Daedalus oder Wissenschaft und Zukunft*, München (Drei Masken) 1925, S. 21.

⁷⁸ *Ibid.*

⁷⁹ KPS 302-13, KPS 428-6.

⁸⁰ Popper 23.12.1989 (KPS 502-12/Bl. 10). K.R. Popper, *Alles Leben ist Problemlösen*, München (Piper) 1994, S. 271.

⁸¹ So zitiert ihn Ernst Mayr in: *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. XIV, S. 91-117.

⁸² Hans Leo Przibram (1874-1944), Biologe, 1943 mit seiner Ehefrau Elisabeth nach Theresienstadt deportiert, starb dort an Entkräftung; seine Ehefrau beging Suizid.

⁸³ H.L. Przibram, ›Autophoric Transplantation, Its Theory and Practise‹, *The American Naturalist*, Vol. 56, Nr. 647 (Nov./Dez. 1922), S. 548-559.

⁸⁴ B. Wiesner, *Das Problem der Verjüngung*, Berlin (Ullstein) 1927.

⁸⁵ B. Wiesner, *Sex*, London 1936.

⁸⁶ Aufgedeckt wurde diese Geschichte durch Barry Stevens (kanadischer Dokumentarfilmmacher) und David Gollancz (Rechtsanwalt). Sie recherchierten über Wiesner und entdeckten, dass sie Halbbrüder sind. Siehe Ch. Kensche, ›Ein Vater und 600 Kinder. Brüder suchen 'Bio-Dad'‹, *Die WELT* 10.4.2012; zuvor am 8.4.2012 in: *The Daily Mirror*, *Sunday Times*, *The Guardian* und *The Telegraph*.

⁸⁷ Hacohe (2000), s.o. Anm. 9, S. 78-79.

⁸⁸ Eugenie Schwarzwald führte an ihrem Gymnasium erstmals die Matura für Mädchen ein. Ihre ›Schwarzwald-Schule‹ in Wien hatte hervorragende Lehrer: Oskar Kokoschka, Adolf Loos, Arnold Schönberg, Hans Kelsen. Popper soll auch ihren Salon in Wien besucht haben: de.wikipedia.org.

⁸⁹ Rudolf Serkin (1903-1991). »Ich habe Rudi geliebt und verehrt« schreibt Popper am 31. Mai 1991 an Serkins Witwe Irene (KPS 562-21/Bl.4).

⁹⁰ Popper an Wiesner (22. 5. 1932): KPS 362-8; Hacohe (2000), s.o. Anm. 9, S. 207.

⁹¹ KPS 362-8/Bl. 3. Schlick akzeptierte die neu

geschriebene Fassung *Logik der Forschung*.

⁹² KPS 362-8/Bl. 1.

⁹³ Undatierter Brief, der das wenig zurückliegende Weihnachten 1932 erwähnt und deshalb von Anfang 1933 sein dürfte: KPS 362-8/Bl. 2.

⁹⁴ Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 22; Hacohe (2000), s.o. Anm. 9, S. 215, Anm. 7.

⁹⁵ Pnina Abir-Am, ›The Discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930s‹, *Social Studies of Science*, vol. 12(3) 1982, S. 341-382.

⁹⁶ en.wikipedia.org: ›Hans Spemann‹.

⁹⁷ Carey (2012), s.o. Anm. 74.

⁹⁸ N. C. auf ihrer Homepage: www.nessacarey.co.uk.

⁹⁹ C. H. Waddington, *Tools for Thought*, St. Albans (Paladin) 1977.

¹⁰⁰ Carey (2012), s.o. Anm. 74, Kap. 2, e-book loc. 646.

¹⁰¹ *Ibid.*, loc. 404.

¹⁰² Popper (1957/2003), s.o. Anm. 19, S. IX.

¹⁰³ *Ibid.*, S. 95, Anm. 62.

¹⁰⁴ Popper (2012), s.o. Anm. 17, Teil I, 3. Vorlesung, S. 71.

¹⁰⁵ Popper (1957/2003), s.o. Anm. 19, S. 102, Anm. 72.

¹⁰⁶ Popper (1974/2012), s.o. Anm. 10, Kap. 37, S. 263.

¹⁰⁷ Popper, *Auf der Suche nach einer besseren Welt*, München (Piper) 1984, S. 76.

¹⁰⁸ Zum Beispiel in Popper (2001), s.o. Anm. 38, Anhang II (1972).

¹⁰⁹ L.L. Whyte, *Internal Factors in Evolution*, New York (George Braziller) 1965.

¹¹⁰ Susan Goldhor, Rezension von ›L.L. Whyte: Internal Factors in Evolution‹, in: *Yale Journal of Biology and Medicine*, vol. 38 (1965), S. 50-51.

¹¹¹ Projekt-Konsortium von 594 Autoren, ›An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome‹, *Nature* 489, 57-74 (6. Sept. 2012, online 5. Sept. 2012)

¹¹² Hacohe (2000), s.o. Anm. 9, S. 315.

¹¹³ Popper (1981), s.o. Anm. 40, S. 329.

¹¹⁴ G.B.S. Shaw, ›Back to Methusaleh‹ (1921), dt. *Zurück zu Methusalem*, Einleitung. ›Joseph Needham‹ taucht erst in Ausgaben der 1940er Jahre auf, e-book loc. 314.

¹¹⁵ *National Archives*, Cambridge, NUACS 81.2.99/A1176.

¹¹⁶ Salaman an Popper (28.7.1982): KPS 346-6. Esther Polianowsky-Salaman arbeitete von 1925-

1928 am *Cavendish Labor*; ihre Autobiographie, hrsg. v. Thalia Polak, Privatdruck 2012, in: *Newnham Library* (675.SAL), Cambridge (UK).

¹¹⁷ Louisa Polak (Enkelin von Myer Salaman) an H. J. N. (10.11.2012) und Thalia Polak (Tochter von Myer S.) an H.J.N. (4.2.2013).

¹¹⁸ M.H. Salaman, *Proc R Soc Med*, Jan. 1970, 63(1), S. 11-15.

¹¹⁹ M.H. Salaman, *Experiment and Interpretation. A Pathologist Reflects on Thirty Years of Cancer Research*, London (Athlone), posthum 1995, S. 63.

¹²⁰ Imre Lakatos (1922-1974), Mathematiker, Schüler und später Kollege von Popper. Popper (1. Jan. 1978) an Salaman: *Royal Society Archive*, London, repository GB 117, Ref. No. MM/24/12.

¹²¹ Popper an Salaman (12. Juli 1982): *Royal Society Archive*, London, repository GB 117, Ref. No. MM/24/13.

¹²² Salaman (1995), s.o. Anm. 119. Im Folgenden beziehe ich mich, wenn nicht anders angegeben, auf Kap. 32.

¹²³ *Ibid.* S. 229. Der Irrtum rührt daher, dass man den *Informationszuwachs* bei Datenflüssen, Kommunikation oder Signalen mit *Wissenszuwachs* verwechselt. Wenn das zu entschlüsselnde Wissen noch nicht vorhanden ist, sind Daten sinnlose Zeichen, Schlüssel ohne Schlösser: siehe Poppers ›Kübeltheorie der Erkenntnis‹ in K.R. Popper, *Objektive Erkenntnis* (1972/dt. 1973), Hamburg (Hoffmann und Campe), Anhang I.

¹²⁴ Salaman (1995), s.o. Anm. 119, S. 151, 226f.

¹²⁵ Christopher Wills, *Wisdom of the Genes: New Pathways in Evolution*, Oxford 1991.

¹²⁶ Salaman (1995), s.o. Anm. 119, S. 229-230.

¹²⁷ Lynn Sagan (später Lynn Margulis), ›The Origin of Mitosing Cells‹, *J. Theor. Biol.* 14(3), S. 255-274. Zur anfänglichen Zurückweisung siehe: en.wikipedia.org: ›Lynn Margulis‹.

¹²⁸ Lynn Margulis, *Die andere Evolution*, Spektrum Verlag 1999; Lynn Margulis, Dorion Sagan, *Acquiring Genomes – A Theory of the Origin of Species*, Basic Books 2003.

¹²⁹ Ernst Mayr (2002) in seinem Vorwort zu Margulis (2003), s.o. Anm. 128.

¹³⁰ Kegel (2009), s.o. Anm. 1.

¹³¹ *Ibid.* S. 67.

¹³² Michel Morange, *A History of Molecular Biology*, Cambridge/Mass. (Harvard Univ. Press) 1998, S. 170 f.

¹³³ Popper: KPS 128-4; Salaman Artikel: s.o. Anm. 119; siehe auch die ausführliche Diskussion ›Karl Popper und der Lamarckismus‹ von Elena Aronova, in *Biological Theory* 2(1) 2007, S. 37-51.

¹³⁴ Eva Jablonka, Marion Lamb, *Evolution in Four Dimensions*, Cambridge/Mass. (MIT Press) 2005, Kap. 3.

¹³⁵ Joachim Bauer, *Das kooperative Gen. Evolution als kreativer Prozess*, München (Heyne) 2008, S. 83.

¹³⁶ *Scientific American*, Special Report 2009, S. 31.

¹³⁷ Bauer (2008), s.o. Anm. 135, S. 183.

¹³⁸ Jablonka (2005), s.o. Anm. 134; sowie Eva Jablonka, *Epigenetische Vererbung und Evolution: Die Lamarcksche Dimension*, Oxford (OUP) 1999.

¹³⁹ Kegel (2009), s.o. Anm. 1, e-book loc. 4071.

¹⁴⁰ *Ibid.*, loc. 4151.

¹⁴¹ Den ›DNA-Essentialismus‹ kritisiert Popper in einer Vorlesung, Juli 1991, Univ. Santander: KPS 504-11/Blatt ›Sp. 7‹.

¹⁴² H.J. Niemann, ›Darwinscher Lamarckismus‹, *Umschau* 82 (1982), S. 308.

¹⁴³ Mathematisch lassen sie sich als Systeme von nicht-linearen Differentialgleichungen beschreiben, die oft zu unvorhersagbaren Entwicklungen führen.

¹⁴⁴ Mehrere neu aufgetauchte Manuskripte entpuppten sich als Tonbandabschriften. Die beiden vor dem Vortrag geschriebenen Manuskripte enthalten nur die erste Hälfte der Vorlesung: KPS 583-20 (handschriftlich) und KPS 523-21 (maschinengeschrieben).

¹⁴⁵ Eva Jablonka zählt eine Reihe solcher Funktionsänderungen auf in: Jablonka (2005), s.o. Anm. 134, Abschnitt ›The Origin of Interpretative Mutations‹.

¹⁴⁶ Poppers Antwort (ohne Datum) auf einen Brief von Carl Woese (vom 17. Sept. 1987), eckige Klammern v. H.J.N.: KPS 567-27/Bl. 32.

¹⁴⁷ Popper (2012), s.o. Anm. 17, Register, Eintrag und Untereinträge zu ›Emergenz‹.

¹⁴⁸ P1: Anfangsproblem; VT: versuchsweise Theorie; FE: Fehlereliminierung; P2: Lösung des Problems P1, verbunden mit neuen Problemen; siehe K.R. Popper, *Objektive Erkenntnis*, Hamburg (Hoffmann und Campe) 1973 und später.

¹⁴⁹ Popper (2001), s.o. Anm. 38, Anhang I (1973).

¹⁵⁰ KPS 583-19-A.

¹⁵¹ Siehe oben Anm. 136.

¹⁵² Shaw (1921), s.o. Anm. 114, e-book loc. 200.

¹⁵³ Im Vorwort von Shaw (1921), s.o. Anm. 114, fand Popper die Formulierung seiner Philosophie und Wissenschaftstheorie als die ›Methode von Versuch und Irrtum‹, siehe Popper (1933/2010), s.o. Anm. 8, S. 31-33 und Anm. 17.

¹⁵⁴ K. Homann, ›Sinn und Grenze der ökonomischen Methode in der Wirtschaftsethik‹ (1997), in: *ders., Vorteile und Anreize. Zur Grundlegung einer Ethik der Zukunft*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2002, S. 107-186, Zitat S. 131; Die Übertragung der ökonomischen Methode in die Ethik wird kritisiert in: H.J. Niemann, *Die Nutzenmaximierer*, Tübingen (Mohr Siebeck) 2011.

¹⁵⁵ Albert Einstein 15. Juni 1936 an Adolf Busch: KPS 573-1.