

*Werner Arber*

## **Universitäten und evolutive Prozesse**

Im Laufe der letzten Jahrhunderte sind Universitäten zu Bannerträgern der kulturellen Evolution der Menschheit geworden. In der Tat gehört es zum Leistungsauftrag der Universitäten, die Früchte geistiger Tätigkeiten der Menschen zu wahren, in wissenschaftlicher Forschung zu mehren und in ihrer Wirkung zu analysieren sowie in akademischer Lehre an kommende Generationen weiterzugeben.

Die Wurzeln unserer heutigen Zivilisation liegen Tausende von Jahren zurück, schätzungsweise vielleicht 500 menschliche Generationen. Das mag uns aus unserem persönlichen Blickwinkel als enorme Strecke stetiger Evolution erscheinen, doch zeigt uns unser Wissen, wie relativ solche Empfindungen sein können. So schätzen die Astronomen das Alter unseres Sonnensystems mit dem Planeten Erde auf etwa 4,5 Milliarden Jahre, und die Evolutionsbiologen postulieren, dass Leben auf dem Planeten Erde vor etwa 3,8 Milliarden Jahren seinen Ursprung nahm. Andererseits lehren uns die Mikrobiologen, dass 500 Generationen von Bakterien bei reichhaltiger Nahrung in nur 10 Tagen durchlaufen werden. Allerdings sind Bakterien nicht fähig, im Laufe ihres kurzen Lebens von einer Generation zur nächsten bewusst kulturelle Beiträge zu leisten und an ihre Mitbakterien weiterzugeben. Diese intellektuelle Fähigkeit ist in ihrer höchst entwickelten Form dem Menschen vorbehalten. Gehört zu diesem ausgesprochenen Privileg nicht auch die Verantwortung der Schöpfung gegenüber und die Pflicht des schonenden Umgangs mit unserer Umwelt?

In diesem Zusammenhang kann man den alttestamentlichen Auftrag «Macht euch die Erde untertan» hinterfragen. Dabei ist es allerdings wichtig, auch den Kontext zu bedenken, in welchem den Menschen vor Jahrtausenden dieser Auftrag erteilt wurde. Liegt in dieser Aufforderung nicht der Impuls zu Wissenschaft und der auf Wissenschaft basierenden Technologie? Handwerkliche Geschicklichkeit und intellektuell fundiertes Talent haben es dem Menschen seither ermöglicht, den auf ihn einwirkenden Zwang der natürlichen Selektion massgeblich zu verringern. Darauf beruhen weite Bereiche unserer Zivilisation und auch unser heutiger

Lebensstil. Nun gilt es aber zu bedenken, dass der Fortbestand einer gegebenen Art von Lebewesen nur bei schonendem Umgang in seiner Wechselwirkung mit anderen Arten von Lebewesen gesichert zu sein scheint. Keine einzige Art von Lebewesen könnte in vollkommener Isolation langfristig weiterbestehen, gerade wegen den bestehenden vielfältigen Abhängigkeiten der Lebewesen voneinander. In dieser Aussage mag eine Art von Naturethik verborgen sein, die es gelten würde, auch wissenschaftlich näher zu erkunden und zu ergründen. Was bedeutet in diesem Lichte die schon angesprochene Anweisung des Untertan-Machens? Sind dabei nicht all jene Komponenten gemeint, die dem Menschen zu seinem angenehmen Wohlbefinden verhelfen? Will er aber diesen Zustand des Wohlergehens bewahren, so gilt es auch, darauf zu achten, dass die dem Menschen untertane Umwelt in ihrer reichen Vielfalt bewahrt bleibt.

Umweltwissenschaften werden zunehmend auch an unseren Universitäten in Lehre und Forschung gepflegt. Erhöhte Beachtung sollte dabei dem besseren Verständnis komplexer Systeme und evolutiver Prozesse geschenkt werden. Was wissen wir schon über die spezifischen Mechanismen von evolutiven Prozessen, wie sie etwa die biologische und die kulturelle Evolution mitbestimmen? Hier liegt ein dringender Handlungsbedarf für die Forschung. Das schon jetzt verfügbare Wissen und die neu anfallenden Erkenntnisse auf diesem Gebiet bilden allerdings nicht eine zusätzliche, neue Disziplin im Elfenbeinturm der wissenschaftlichen Akademien, sondern sie sollten möglichst breit in bestehende Disziplinen hineinwirken. Diese postulierte Endogenisierung verlangt in vielen Fällen einen transdisziplinären Prozess, nämlich die Bereitschaft von Studierenden und Spezialisten der etablierten Disziplinen, sich auch mit grundsätzlichen Strategien und Hauptinhalten anderer Disziplinen bekanntzumachen. Diese Art von transdisziplinärer Aus- und Weiterbildung ist eine wesentliche Vorbedingung zu interdisziplinärer Arbeit, in der sich Spezialisten verschiedener Disziplinen zusammenfinden, um gemeinsam komplexe Probleme zu bearbeiten. Leider wird in der akademischen Ausbildung noch stets vernachlässigt, diese für jede Berufstätigkeit äusserst wichtige Fähigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit in kompetenter Weise zu vermitteln. Dazu bestehen zwar auch an unseren Universitäten mannigfaltige Ansätze, aber zu oft fallen prospektive Initiativen der disziplinären Prioritätensetzung und der gescheuten, durch zusätzliche Anstrengungen verursachten Mühe zum Opfer.

Viele der hier angesprochenen und der Bearbeitung harrenden Fragestellungen berühren in direkter Weise das Tagesgeschehen und damit die Politik und die Gesellschaft ganz allgemein. Nehmen wir das Beispiel der Gen- und Biotechnologie. Immer wieder hört man die Klage, die Wissenschaftler würden sich im Elfenbeinturm verschanzen und nähmen ihre Aufgabe nicht wahr, ihr Wissen transdisziplinär an breite Schichten der Bevölkerung zu vermitteln, über mögliche Konsequenzen von Anwendungen des Wissens nachzudenken und diese Evaluation in ihre transdisziplinären Diskussionen einzubeziehen. Dabei finden die vielen Initiativen aus Kreisen der Wissenschaftler zur Informationsvermittlung und zum interdisziplinären Dialog kaum die nötige Anerkennung. In der Tat ist es eher so, dass die Wissenschaftler grosse Mühe haben, Leute zu finden, mit denen sie ihre erlangten Kenntnisse und die damit zusammenhängenden Überlegungen über allfällige Folgeerscheinungen trans- und interdisziplinär diskutieren könnten. So fand etwa die breite Ausschreibung eines 8-tägigen Blockkurses am Institut Kurt Bösch (IKB) in Sion im Frühjahr 1996 über «Gen- und Biotechnologie, transdisziplinäre Einführung und interdisziplinäre Bezüge», für dessen Programm sich zehn angesehene Wissenschaftler verpflichtet hatten, praktisch keine Beachtung. Der Kurs wurde nicht nur im Programm des IKB angekündigt, sondern auch im Verzeichnis der Lehrveranstaltungen der Universität Basel, im Programm der Weiterbildungsveranstaltungen der ETH Zürich, im Versand der Weiterbildungszentrale für Gymnasiallehrer der Schweiz und in einem Bulletin an Kreise von Interessenten für Biotechnologie. Trotz dieser breiten Streuung gingen auf die Ankündigung nur zehn verbindliche Anmeldungen ein und der Kurs musste mangels Interesse abgesagt werden. Dies wirft die Frage auf, ob die Universitäten der Pflege der Trans- und Interdisziplinarität zu geringe Beachtung schenken. Angesichts der grossen Bedeutung, welche gerade auch Arbeitgeber der Fähigkeit disziplinübergreifender Zusammenarbeit bei der Lösung anstehender komplexer Fragestellungen beimessen, besteht hier bei den Universitäten ein echter Handlungsbedarf. Eine Endogenisierung von trans- und interdisziplinärem Vorgehen in disziplinäre Studiengänge, vor allem auf dem Niveau des Fortgeschrittenenunterrichts, sowie eine gebührende Anerkennung von trans- und interdisziplinären Studienleistungen könnte sicher die geschilderte Situation massgeblich verbessern.

An Ideen zur Evolution unserer Hochschulen fehlt es nicht. Die oben gemachten Anregungen sind nur ein kleiner Teil des Ideenflusses aus der

Basis des Universitätsgeschehens hinauf zur Leitung der Hochschulen. Auch die Organisationsstrukturen der Universitäten sind gerade in letzter Zeit in einen evolutiven Wandel gekommen, insbesondere in Richtung erhöhter Autonomie, was aber auch Eigenverantwortung bedeutet. Gerade in diesem Lichte sollte neben der stets primäre Bedeutung verdienenden Gründlichkeit in der disziplinierten Ausbildung und Forschung auch in vermehrtem Masse Trans- und Interdisziplinarität gefördert werden.

Eine Betrachtung über evolutive Prozesse verdient eine Vertiefung in Aspekte der biologischen Evolution. Die landläufige Meinung, der Mensch sei die Krone der Schöpfung, mag zwar auch vom biologischen Komplexitätsgrad her nicht falsch sein, aber sie ist doch zugegebenermaßen stark anthropozentrisch geprägt. Viele Mikroorganismen haben heute ausgesprochen erstaunliche Fähigkeiten, sich auch in sogenannt lebensfeindlicher Umgebung zurechtzufinden. So betrachtet besitzt jede Art von Lebewesen ihre eigenen Stärken, aber auch Schwächen, was auch für den Menschen Geltung hat, wie wir es ja oben bereits diskutiert haben. Die enorme Vielfalt an Lebensformen auf unserem Planeten ist beeindruckend, und man schätzt die Anwesenheit von etwa 10 Millionen verschiedenen Arten, ohne dass diese schon alle einzeln identifiziert worden wären. Mit der erst kürzlich von der katholischen Kirche offiziell anerkannten Evolutionstheorie hat Charles Darwin im letzten Jahrhundert diese grosse Vielfalt dadurch erklärt, dass die Lebensgrundlagen nicht, wie es uns bei flüchtiger Betrachtung erscheinen könnte, stabil, sondern in einem langsamen, aber steten Wandel begriffen sind. In unserem Jahrhundert wurde dann erkannt, dass die in Genen enthaltene Erbinformation wesentlich zur Bestimmung der Lebensformen beiträgt. Seit 50 Jahren wissen wir, dass die Erbinformation in einer fadenförmigen Nukleinsäure, der DNA, enthalten ist, wobei die lineare Erbschrift in der Abfolge der Bausteine der DNA verankert ist. Eine eintretende Veränderung in der Abfolge der Bausteine, von denen es vier verschiedene Arten gibt, wird Mutation genannt. Die biologische Evolution beruht darauf, dass spontan von Zeit zu Zeit irgendwo in den DNA-Molekülen eine Mutation erfolgt, was manchmal zu einer Veränderung, im Extremfall auch zum Verlust eines für das Leben bedeutsamen Prozesses führt. So bilden sich allmählich Mischpopulationen von Lebewesen mit verschiedenen Kapazitäten. Unter dem Druck natürlicher Selektion, im Klartext der angetroffenen Lebensbedingungen, werden dann einzelne Mutanten selektiv bevorzugt, andere benachteiligt, so dass im Laufe der Zeit immer wieder leicht verän-

derte Formen überhand nehmen. Die heute vorgefundene Biodiversität ist sozusagen das statische Bild des heutigen Standes im steten Prozess der biologischen Evolution.

Prozesse der biologischen Evolution lassen sich am besten mit Mikroorganismen erforschen, insbesondere mit einzelligen, zu schneller Vermehrung fähigen Bakterien, deren gesamtes Erbgut etwa 1000 mal weniger umfangreich ist als jenes von hochentwickelten Lebewesen, etwa des Menschen. Zudem sind Bakterien haploid, das heisst, sie tragen nur einen Satz von Erbinformation, was eine schnellere Manifestation eingetretener Mutationen bewirkt als bei den höheren, diploiden Lebewesen mit zwei Sätzen von Erbinformation.

Weitgehend wegen des Fehlens von Evidenz, dass biologische Evolution auf ein oder mehrere Ziele hin gerichtet wäre, wurde bisher allgemein angenommen, dass spontane Mutationen einzig aus Fehlern und Unfällen resultieren und daher unmöglich genetisch determiniert sein könnten. Betrachtet man aber das aus der mikrobiellen Genetik akkumulierte Wissen über Rekombinationsprozesse, über Reparatur von unharmonischen Paarungen der Bausteine der DNA und über die «horizontale» Übertragung von DNA-Segmenten von einem Lebewesen auf andere, so kann man zu einer anderen Auffassung über den Evolutionsprozess kommen. Dies führt zum Postulat der Theorie der molekularen Evolution, dass die spontane Veränderung in der Abfolge der Bausteine in der DNA massgeblich durch die Aktivitäten von Genprodukten, spezifischen Enzymen, mitbestimmt wird. Dabei kann man unterscheiden zwischen zwei Arten von Wirkungen dieser Enzyme: einerseits gibt es Genprodukte, welche als Generatoren von genetischen Varianten wirken und ihre Wechselwirkung mit DNA fallweise immer wieder an anderen Stellen der DNA ausüben, und dies zudem auch ineffizient und wenig häufig. In der Tat darf genetische Veränderung nicht häufig auftreten, sonst wäre eine gewisse, für den Fortbestand des Lebens notwendige genetische Stabilität ernsthaft in Frage gestellt. Gerade zu diesem Zwecke dient eine zweite Kategorie von evolutiven Genen, deren Produkte Reparaturfunktionen für eingetretene Schäden auf der DNA übernehmen.

Das hier skizzierte Konzept der Existenz evolutiv wirksamer Gene ist sowohl für die Genetik als auch für die Biochemie und Molekularbiologie vollkommen unerwartet, und dieses Konzept hat bisher auch nicht eine breite Beachtung aus Kreisen der zuständigen Wissenschaftler erhalten. Dies liegt wohl daran, dass dieses Konzept gegen das Dogma verstösst,

dass Funktionen von genetischen Determinanten vollumfänglich determiniert seien. Verallgemeinernd wird oft angenommen, dass das Produkt einer von einem Enzym geleiteten Reaktion immer reproduzierbar sei. In manchen Fällen stimmt dies aber nicht, und darin liegt auch häufig der Freiraum, durch den mannigfaltige Umwelteinflüsse auf Lebensprozesse einwirken. So ist auch die biologische Evolution nach unserer Auffassung das Resultat von vielfältigen Wirkungen, sowohl von Genproduktion als auch von Umwelteinflüssen und des statistisch bedingten Eintretens eines Prozesses zu einer gegebenen Zeit an einem gegebenen Ort. Molekulargenetische Untersuchungen mit Mikroorganismen lassen den Schluss zu, dass dabei die mutagenen Beiträge von Genprodukten für das evolutive Geschehen von wesentlicher Bedeutung sind. Im Moment kann man allerdings nur spekulieren, dass diese Folgerungen für alle Lebewesen gültig sein könnten. Unabhängig davon darf man sich aber schon jetzt darüber Gedanken machen, was diese Erkenntnis für unser Weltbild bedeutet.

Bisher nahm man an, dass alle für eine Art von Lebewesen wesentlichen Gene ihre Funktionen zum Nutzen von jedem einzelnen Individuum zum Ausdruck bringen. Im Gegensatz dazu wirken evolutionäre Gene auf dem Niveau von Populationen. Variationsgeneratoren erzeugen genetische Veränderungen sozusagen ohne vorgefasste Meinung. Oft führen Spontanmutationen in eine Sackgasse. Aber einzelne seltene Individuen können aus einem Mutationsprozess als Gewinner hervorgehen und die Evolution der betroffenen Art weiterführen. Deren längerfristige Erhaltung kann dadurch auch bei eintretenden Veränderungen von Lebensbedingungen gesichert sein, weil die Wahrscheinlichkeit besteht, dass in grossen Populationen einzelne Mutanten vorhanden sind, welche gerade unter den veränderten Lebensbedingungen sich besser zurechtfinden, ganz nach den Regeln der Wirkung der natürlichen Selektion. Evolutiv wirksame Gene sind also in ihrer Wirkung auf Individuen häufiger schädlich als nützlich, sie verbessern aber in entscheidender Weise die Chancen der evolutionären Weiterentwicklung der betroffenen Art und damit auch des Fortbestandes von Leben auf unserem Planeten auch bei sich verändernden Lebensbedingungen. In Anbetracht der Vielfältigkeit der Lebensformen wie auch der Komplexität der Umwelteinflüsse gibt es aber im evolutiven Prozess kaum optimale Zustände. Trotzdem kann man im Lichte der hier beschriebenen Interpretation den Prozess der biologischen Evolution als kostbares Wunderwerk ansehen, das sich im Spannungsfeld der permanenten Wechselwirkung zwischen genetisch mitbestimmten Lebensprozessen

und der in ihren Eigenschaften räumlich und zeitlich variablen unbelebten Natur entfaltet. Dabei kann die natürliche Selektion als sinngebendes Element angesehen werden mit Wirkung durch die temporär variable Bevorzugung spezifischer Genkombinationen.

Wenden wir abschliessend unsere Aufmerksamkeit nochmals dem Alten Testament zu, wo uns Gott im 5. Gebot anweist: «Ehre deinen Vater und deine Mutter, auf dass du lange lebest in dem Lande, das der Herr, dein Gott, dir geben will». Der erste Teil nimmt Bezug auf die Vorfahren. Deren Achtung kann auch eine Wertschätzung des in einer langen Folge von Generationen evoluierten Erbgutes beinhalten. Warum soll aber die Einhaltung des Gebotes speziell mit einem langen Leben in einem versprochenen Land belohnt werden?

Wäre es allenfalls möglich, aus heutiger Sicht hier eine Anweisung zur Ehrfurcht vor dem Prozess der biologischen Evolution zu sehen? Danach würde im ersten Teil des Gebotes der Wert des beigebrachten Evolutionspotentials angesprochen, dank dem wir überhaupt existieren. Der zweite Teil des Gebotes könnte dann als Bezugnahme auf die prospektive Wirkung evolutiver Gene interpretiert werden, mit deren Potential das Leben in zukünftigen Generationen sich weiter zu entwickeln verspricht und dies auch in einem neuen Lande, also auch unter sich wandelnden Lebensbedingungen. Jedes einzelne Individuum ist ein Glied in einer langen Reihe aufeinanderfolgender Generationen. Im Individuum kommt das Leben zu seiner vollen Entfaltung. Auch evolutive Gene wirken in Individuen, und die natürliche Selektion wirkt auf Individuen ein. Es ist dank genetischer Variation, die, wie wir hier postuliert haben, oft genetisch mitverursacht wird, dass evolutionärer Fortschritt überhaupt möglich ist. Dabei wird die Richtung der Evolution stetig durch die natürliche Selektion neu überprüft und an die sich verändernden Lebensbedingungen angepasst. Die stete Folge von Geburt, Lebensentfaltung und Tod findet in diesem übergeordneten Rahmen der biologischen Evolution ihren wahren Sinn zum Zwecke der langfristigen Lebensentwicklung und Lebenserhaltung auf unserem Planeten.