

Wozu sind Männer gut?

Computersimulationen

sexueller Reproduktion in

Alterungsmodellen

Stauffer D

Blickpunkt der Mann 2003; 1 (3)

43-45

Homepage:

www.kup.at/dermann

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

**Krause & Pachernegg GmbH
Verlag für Medizin und Wirtschaft
A-3003 Gablitz**

Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf
Erscheinungsort: 3003 Gablitz

Wozu sind Männer gut? Computersimulationen sexueller Reproduktion in Alterungsmodellen

D. Stauffer

Neuere Literatur, in der sexuelle Reproduktion mit asexueller verglichen wird, wird durch Computer-Simulationen von Alterungsmodellen zusammengefaßt. Je nach Modell ist manchmal die sexuelle und manchmal die asexuelle Reproduktion besser, wie es ja auch in der Natur von Bakterien bis zu Menschen realisiert ist.

*Recent literature is reviewed where sexual reproduction is compared with asexual one, using computer simulation of ageing models. Depending on the model, sometimes sexual and sometimes asexual reproduction is better, in agreement with nature from bacteria to humans. **Blickpunkt DER MANN 2003; 1 (3): 43–5.***

Wenn Männer das Wegwerf-Geschlecht [1] sind und den frühen Tod des starken Geschlechts erdulden [2], warum gibt es uns dann überhaupt? Kann sich die Natur nicht nur auf die offensichtlich verlässlicher gebauten Frauen verlassen? Bakterien kommen ohne Trennung in Männer und Frauen aus; warum blieb die Natur nicht dabei? Warum entstand vor hunderterten von Millionen Jahren die sexuelle Art der Fortpflanzung?

Offensichtlich kann diese Frage nicht beantwortet werden, wenn wir uns nur das jetzige Leben ansehen und das noch vom einseitigen menschlichen Standpunkt, wie es das Nachrichtenmagazin Spiegel in seiner Titelgeschichte „Sex und Evolution“ vom 17.04.2000 tat. Vielleicht waren es mikroskopische Lebewesen, die erstmals sexuelle Fortpflanzung ausprobierten und damit die große Vielfalt von Bauplänen im Kambrium ermöglichten. Oder umgekehrt ermöglichte vielleicht erst diese genetische Explosion im Kambrium danach die Entstehung von Sex.

Versteinerungen konnten diese Fragen bisher nicht beantworten – wir waren damals nicht dabei und so bleiben uns nur Theorien. Davon gibt es viele und diese Übersicht konzentriert sich auf solche, die auch das Altern des Individuums berücksichtigen, also die verschiedenen Lebensabschnitte vor und nach dem Erreichen der Geschlechtsreife. Und hierbei betonen wir Computer-Simulationen der letzten Jahre, um mathematisch exakt lösbare, aber wenig realistische Modelle zu vermeiden. Ein Verständnis des Entstehens sexueller Fortpflanzung könnte auf lange Sicht der modernen Medizin helfen, Probleme besser zu beurteilen, wie z. B. das asexuelle Klonen unter Umgehung der von der Natur vorgesehenen sexuellen Reproduktion. Vielleicht sind Männer doch noch zu was anderem brauchbar, „als zum Anschieben von Autos“ (Suzana Moss de Oliveira, Computational Physics Sommer Schule, Bad Honnef 2001).

Parasex der Bakterien

Bakterien haben nur einen Chromosomensatz (sind haploid) und pflanzen sich seit Milliarden von Jahren durch Zellteilung fort, ohne sich in Männchen und

Weibchen zu trennen. Bevor wir diskutieren, warum Menschen und andere es anders machen, sollte geklärt werden, ob reine Zellteilung für Bakterien optimal ist. In Wirklichkeit tauschen die Bakterien nämlich manchmal auch Teile ihres Genoms (DNA, Erbanlagen) aus, was als „Parasex“ bezeichnet wird. Computersimulationen zeigten klar, daß dieser Parasex günstiger für die darwinistische Auslese ist als reines Klonen [3]. Simulation und Realität stimmen also gut überein.

Nahrung und Platz sind in der Natur begrenzt und keine Population kann beliebig lange exponentiell mit der Zeit anwachsen. Daher wird die Zahl $N(t)$ der Lebewesen zum Zeitpunkt t begrenzt durch eine Sterbewahrscheinlichkeit $N(t)/N_{max}$, wobei N_{max} die Kapazität des Ökosystems ist. Wenn zwei Arten, also hier eine mit Genom-Austausch und eine ohne, miteinander um gemeinsame Nahrungsquellen (also ein gemeinsames endliches N_{max}) konkurrieren, dann verdrängt die geeignetere schließlich ganz die weniger geeignete Art. Auf Computern ist es praktischer, die beiden Arten getrennt bei sonst gleichen Parametern, insbesondere bei gleichem N_{max} , zu simulieren. Als geeigneter wird die Art definiert, die im Gleichgewicht die größere Population aufweist, also Nahrung und Platz besser ausnutzt.

Bakterien altern nach heutigem Wissen nicht, aber schon Hefezellen tun es. Vielleicht gab es mal als Zwischenstufe alternde haploide Bakterien. Auch hier ergaben Simulationen – mit dem Penna-Alterungsmodell des nächsten Abschnittes – daß Parasex diese Art geeigneter macht als reine Zellteilung [3, 4].

Alterungsmodelle

Alternde Lebewesen werden geboren, werden erwachsen, fangen an sich fortzupflanzen, entwickeln danach eine ansteigende Wahrscheinlichkeit, im nächsten Zeitintervall zu sterben und schließlich sterben sie auch dann, wenn sie nicht von anderen gefressen oder durch Unglücksfälle getötet werden. Alterungsmodelle der Biologen [5, 6] sind bisher meines Wissens nicht mit sexueller Fortpflanzung simuliert worden.

Das Penna-Modell [7] ist die derzeit am weitesten verbreitete Simulationsmethode des Alterns. Es beruht auf der Jahrzehnte alten Mutations-Akkumulations-Hypothese, wonach schädliche vererbliche Mutationen (gefährliche Erbkrankheiten) sich in einer Bevöl-

Korrespondenzadresse: Univ.-Prof. Dr. Dietrich Stauffer, Institut für Theoretische Physik, Universität Köln, D-50923 Köln, E-mail: stauffer@thp.uni-koeln.de

kerung kaum ausbreiten können, wenn sie schon vor der Geschlechtsreife wirksam werden. Treten sie aber erst im höheren Alter auf, so sind sie schon vorher an die Nachkommen weitergegeben worden und breiten sich somit weiter aus. Daher wächst nach Überwindung der Kinderkrankheiten unsere Sterblichkeitsrate zwischen 15 und 110 Jahren immer weiter mit dem Alter an. Das Penna-Modell simuliert dies durch eine Kette von altersabhängigen binären Variablen oder Bits, die nur Null oder Eins sein können: Null heißt gesund; Eins heißt gefährliche Erbanlage. Diese Erbkrankheit ist wirksam von dem Alter, das der Position des Bits in der Kette entspricht, bis zum Tod des Individuums. Drei solcher Erbkrankheiten wirken tödlich. Wenn also von 32 Bits das dritte, siebte, zehnte und zwanzigste Bit auf Eins gesetzt werden, dann wirkt die erste Mutation ab dem Alter 3, die zweite ab dem Alter 7, die dritte tötet im Alter 10 und die vierte macht sich daher gar nicht bemerkbar. Ob das Alter in Tagen oder Jahrzehnten gemessen wird, hängt von den Lebewesen ab, die simuliert werden. Die simulierte Sterblichkeitsrate steigt ab dem Alter 3 etwa exponentiell mit dem Alter an, in Übereinstimmung mit dem in der Natur beobachteten Gompertz-Gesetz des 19. Jahrhunderts [8] (eine Version des Penna-Modells mit größerer genetischer Diversität [9] ist bisher nicht auf sexuelle Fortpflanzung angewandt worden).

Obige Details sind für das Verständnis des folgenden Abschnitts gar nicht alle nötig und sollen nur zeigen, daß das Modell wohl definiert ist. Wichtig ist, daß sich in diesem Modell ganz von selbst die gefährlichen Erbanlagen mehr im Alter als in der Jugend ansammeln und somit den Anstieg der Sterblichkeit mit dem Alter erzeugen.

Die Modelle der Physiker Dasgupta [10–14] und Stauffer [14–16] sind weniger häufig angewandt worden.

Sex im Penna-Modell

In der Verallgemeinerung auf sexuelle Fortpflanzung bekommt jedes Individuum zwei Bit-Ketten von Vater und Mutter, statt nur eine (diploid statt haploid, zwei Chromosomensätze statt einem). Rezessive Erbkrankheiten werden nur wirksam, wenn sie in beiden Ketten an der gleichen Position (= Alter) auftreten; dominante Erbkrankheiten tun es schon, wenn sie in einer der beiden Bit-Ketten vorkommen. Die Hälfte der Bevölkerung ist weiblich und kann Nachkommen gebären, die andere ist männlich und kann es nicht, aber beide brauchen Nahrung und Platz, gehen also gleich stark in die Verhulst-Begrenzung $N(t)/N_{max}$ ein.

Simulationen ergaben, daß sexuelle Fortpflanzung schlechter ist als asexuelles Klonen [18–20]. Erst wenn noch angenommen wird, daß Erbkrankheiten, die ab einem bestimmten Alter wirksam werden, zusätzlich unabhängig vom Alter die Überlebensrate pro Zeitschritt leicht erniedrigen, wird je nach Parameterwahl Sex klar bevorzugt oder benachteiligt [21].

Auch diverse Zwischenstufen zwischen sexueller und asexueller Fortpflanzung wurden simuliert [18–20] und ergaben keinen klaren Vorteil gegenüber reinem

Klonen. Erstaunlicherweise galt das auch für Hermaphroditen, wo alle Individuen Nachkommen produzieren.

Obige Simulationen suchten mit mäßigem Erfolg nach intrinsischen Rechtfertigungen der Entstehung von Sex. Viel positiver waren extrinsische Simulationen, die Sex als Schutz vor Katastrophen [22] oder Parasiten [23, 24] rechtfertigen. Beide beruhen darauf, daß bei sexueller Reproduktion das Genom der Nachkommen sich sowohl von dem des Vaters als dem der Mutter unterscheidet; die Diversität ist also stärker als beim asexuellen Klonen. Katastrophen (wie etwa der Einschlag des Meteors, der die Dinosaurier zum Aussterben brachte) werden simuliert, indem eine bis dahin als nachteilig betrachtete Mutation plötzlich von Vorteil wird. Z. B. kann sich mangelnde Anpassung an das vorhandene Klima als gut erweisen, wenn das Klima sich plötzlich in die passende Richtung verändert. Die größere Diversität sexueller Lebewesen gestattet eine schnellere Anpassung an die Katastrophe und kann so das Aussterben verhindern, wie durch Simulation bestätigt wird [22]. Parasiten wiederum müssen sich gut an die Eigenschaften der von ihnen befallenen Lebewesen anpassen und wenn letztere wegen sexueller Reproduktion stärker voneinander verschieden sind, so ist diese Anpassung bei der größeren Diversität der sexuellen Gast-Art schwerer als bei asexuellen Gästen. Auch dies bestätigten Simulationen [23, 24].

Diese extrinsischen Rechtfertigungen aber haben Probleme: Sollen Mikroben Sex erfinden, damit hunderte von Millionen Jahre später nach dem Aussterben der Dinosaurier die Säugetiere schneller diese Lücken schließen können? So lange im voraus „denkt“ die darwinistische Evolution nicht: Eine Mutation darf für die betroffenen Lebewesen keine deutlichen Nachteile mit sich bringen, wenn sie nicht schon nach wenigen Generationen wieder aus der Bevölkerung verschwinden soll. Die Katastrophentheorie braucht also plötzliche Änderungen alle paar Generationen, nicht nur alle Millionen Jahre. Gab es die so oft? Und was für Parasiten gab es bei der Erfindung von Sex? Viren sind plausible Kandidaten, aber ich weiß nicht, ob es die damals schon gab. Die heutige Situation kann man nicht unbedingt als Vorbild nehmen.

Wenn schon zwei Geschlechter nicht unbedingt besser sind als eines, sind dann drei Geschlechter mit triploidem Genom (drei Chromosomensätze) besser? Computer-Simulationen sagen Nein [25]; waren die EhepartnerInnen der AutorInnen dagegen?

Sex in anderen Modellen

Im Dasgupta-Modell, verallgemeinert auf mehrere Altersstufen und modifiziert zu Sex, fand Sousa kürzlich sexuelle Fortpflanzung deutlich besser gegenüber asexuellem Klonen [12–14]. Bei Stauffers Methode [15–17] dagegen war Sex nicht klar bevorzugt.

Sex hat klare Vorteile in einem Bit-Ketten-Modell ohne Altern [26] und klare Nachteile im Redfield-Modell [27, 28], auch ohne Altern. Folgen aber die weiblichen Tiere dem Vorschlag von Redfield, nur junge männliche Partner auszuwählen und wird jung als „we-

nig Mutationen“ definiert, dann wird Sex vorteilhaft [29]. Mehr Literatur, allerdings nur bis etwa 1998, ist in [30] behandelt.

Schlußfolgerungen

Was lernen wir daraus? Je nach Modell und Parametern kann man Sex rechtfertigen, oder auch nicht. Dem entspricht auch die Wirklichkeit: Säugetiere pflanzen sich nur sexuell fort, Bakterien nur asexuell (mit Parasex), manche Lebewesen kombinieren beides. Man(n) möge sich also vor Vereinfachungen hüten, in der heutigen Diskussion zum Klonen oder bei zukünftigen anderen Fragen zur Rechtfertigung der Männer.

Literatur

- Eickenberg H-U. Männergesundheit: Warum sterben Männer früher? *Blickpunkt DER MANN* 2003; 1: 7–13.
- Klotz T. Der frühe Tod des starken Geschlechts. *Cuvillier, Göttingen* 1998.
- Moss de Oliveira S, de Oliveira PMC, Stauffer D. Bit-String Models for Parasex. *Physica A* 2003; 322: 521–30.
- Ackermann M, Stearns SC, Jenal U. Senescence in a bacterium with asymmetric division. *Science* 2003; 300: 1920–2.
- Mueller LD, Rose MR. Evolutionary theory predicts predicts late-life mortality plateaus. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996; 93: 15249–53.
- Charlesworth B. Patterns of age-specific means and genetic variances of mortality rates predicted by the mutation-accumulation theory of ageing. *J Theor Biol* 2001; 210: 47–65.
- Penna TJP A bit-string model for biological aging. *J Statistical Physics* 1995; 78: 1629–33.
- Vaupel JW et al. *Biodemography of longevity*. *Science* 1998; 280, 855–60.
- Pletcher SD, Neuhauser D. Biological aging – Criteria for modeling and a new mechanistic model. *Int J Modern Physics C* 2000; 11: 525–46.
- Dasgupta S. A computer simulation for biological ageing. *J Physique (France)* 1994; 4: 1563–70.
- Partridge L, Barton NH. Optimality, mutation and the evolution of ageing. *Nature* 1993; 362: 305–11.
- Heumann M, Hötzel M. Generalization of an aging model. *J Statistical Physics* 1995; 79: 483–90.
- de Medeiros NGF, Onody RN. Heumann-Hotzel model for aging revisited. *Physical Review E* 2001; 64: 041915.
- Sousa AO. Sex and recombination in the Hoetzel ageing model. *Theory in Biosciences* 2003; im Druck.
- Stauffer D, Radomski JP. Social Effects in Simple Computer Model of Ageing. *Exp Gerontol* 2001; 37: 175–80.
- Stauffer D. Review of biological ageing on the computer. In: Laessig M, Valleriani A (eds). *Biological Evolution and Statistical Physics*. Springer Verlag, Heidelberg 2002.
- Sousa AO, Moss de Oliveira S, Stauffer D. Applications and sexual version of a simple model for biological aging. *Int J Modern Physics C* 2001; 12: 1477–83.
- Bernardes AT. Can males contribute to the genetic improvement of the species? *J Statistical Physics* 1997; 86: 431–9.
- Stauffer D, Sá Martins JS, Moss de Oliveira. On the uselessness of men – Comparison of sexual and asexual reproduction. *Int J Modern Physics C* 2000; 11: 1305–12.
- Stauffer D, de Oliveira PMC, Moss de Oliveira S, Penna TJP, Sá Martins JS. Computer simulations for biological ageing and sexual reproduction. *Anais Braz Acad Cienc* 2001; 73: 15–26.
- Sá Martins JS, Stauffer D. Justification of sexual reproduction by modified Penna model of ageing. *Physica A* 2001; 294: 191–4.
- Sá Martins JS, Moss de Oliveira S. Why sex? Monte Carlo simulations of survival after catastrophes. *Int J Modern Physics C* 1998; 9: 421–2.
- Sá Martins JS. Simulated coevolution in a mutating ecology. *Physical Review E* 2001; 61: 2212–5.
- Howard RS, Lively CM. Parasitism, mutation accumulation and the maintenance of sex. *Nature* 1994; 367: 554–7 (Erratum: 368: 358).
- Sousa AO, Moss de Oliveira S, Sá Martins JS. Evolutionary advantage of diploidal over polyploidal sexual reproduction. *Physical Review E* 2003; 67: 032903.
- Tüzel E, Sevim V, Erzan A. Evolutionary route to diploidy and sex. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001; 98, 13774–7.
- Redfield RJ. Male mutations and the cost of sex for females. *Nature* 1994; 369: 145–7.
- Siller S. Sexual selection and the maintenance of sex. *Nature* 2001; 411: 689–92.
- Stauffer D, de Oliveira PMC, Moss de Oliveira S, Zorzenon dos Santos RM. Monte Carlo simulations of sexual reproduction. *Physica A* 1996; 231: 504–14.
- Moss de Oliveira S, de Oliveira PMC, Stauffer D. *Evolution, Money, War and Computers*. Teubner, Leipzig, 1999.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

[Bilddatenbank](#)

[Artikeldatenbank](#)

[Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

[Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)