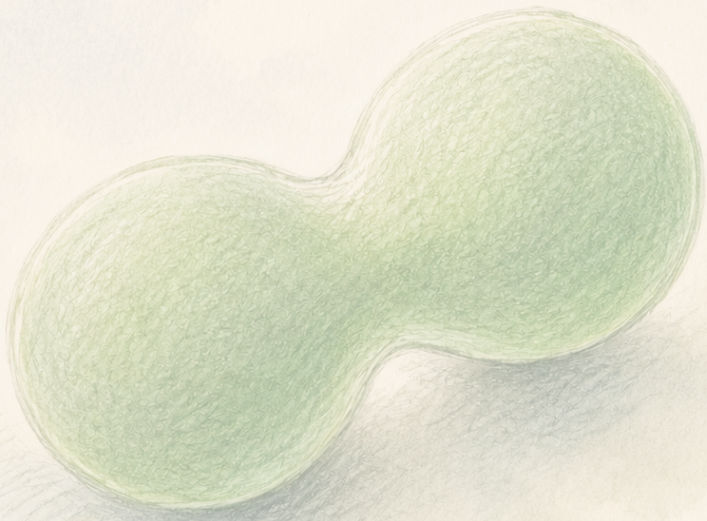


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Eine synthetische Zelle, die sich ernährt, wächst und teilt — ein ernstzunehmender Schritt, aber kein Leben aus dem Nichts

Ein Team der University of Minnesota berichtet über ein Fetttröpfchen mit einem etwa 90.000 Basen langen Genom, das sich ernährt, seine DNA kopiert, wächst und sich über fünf Generationen teilt; eine eingeführte vorteilhafte Mutation breitet sich dabei durch Selektion aus. Das ist ein echter Fortschritt beim Aufbau von Zellen aus definierten, gereinigten Bestandteilen. Doch die Arbeit wurde noch nicht peer-reviewed; das System kann weder seine eigene Proteinmaschinerie herstellen noch einen eigenen Stoffwechsel betreiben; seine Bestandteile sind gereinigte biologische Moleküle, keine einfachen Chemikalien, die von Grund auf zusammengesetzt wurden; und — in den Worten der Autoren — die Selektion ist keine spontane darwinistische Evolution. Die saubere Version lautet nicht: „die erste lebende Zelle aus unbelebter Materie."

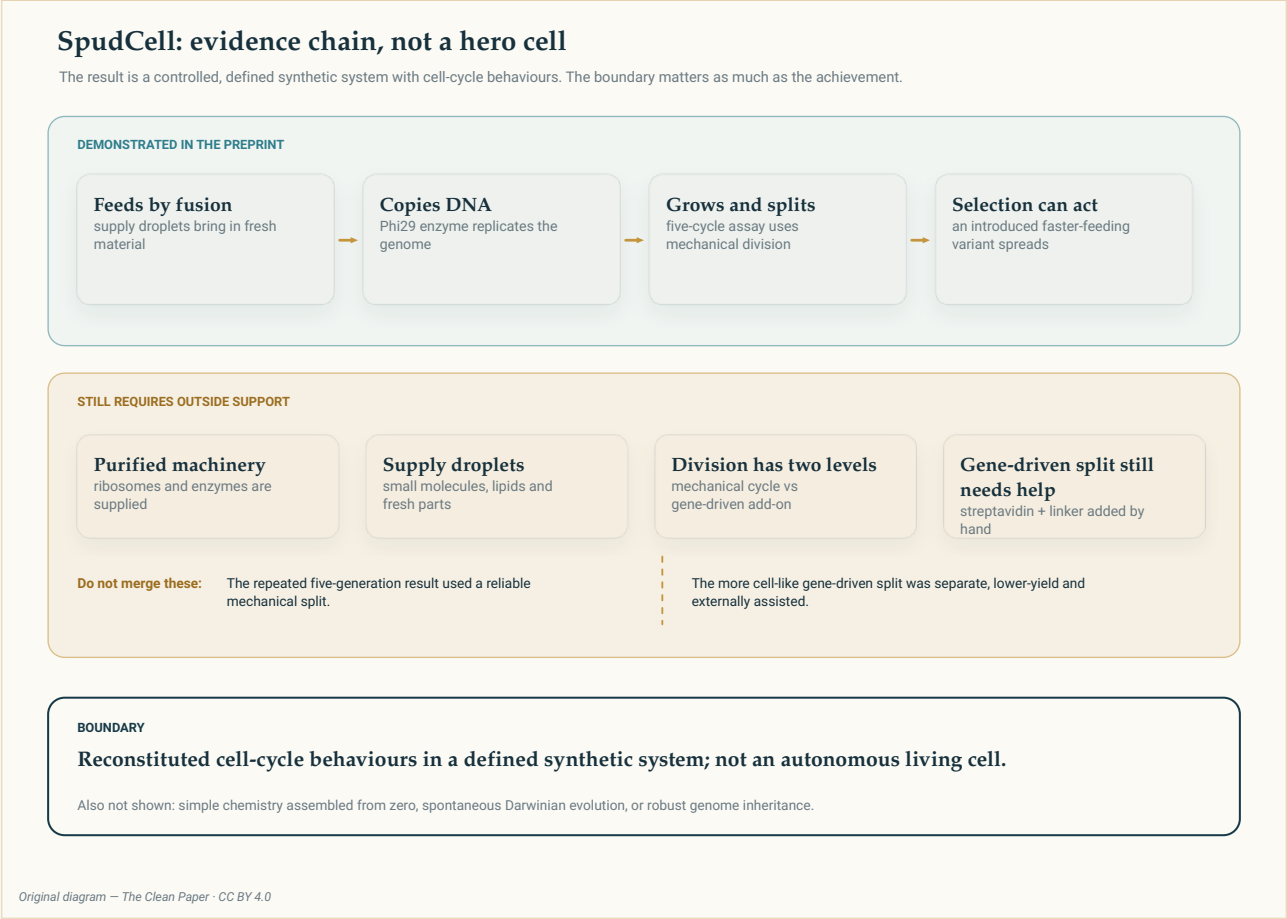
Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication*, Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) — University of Minnesota

Die Geschichte von der „ersten synthetischen Zelle“ — auf Tröpfchen zurückgeführt

Die Schlagzeilen sind gewaltig: die weltweit erste synthetische Zelle mit vollständigem Lebenszyklus, Leben aus unbelebter Materie, ein „Sputnik-Moment“ für die Biologie. Die Arbeit darunter ist zurückhaltender — und, ehrlich gesagt, interessanter als die Slogans. Ein Team der University of Minnesota berichtet über ein mikroskopisch kleines Fetttröpfchen — eine solche fettige Blase bildet auch die Grundlage von Zellmembranen —, das genetische Anweisungen trägt und sich ernähren kann, indem es mit kleineren Versorgungströpfchen verschmilzt, diese Anweisungen kopiert, wächst und sich über mehrere Runden in Tochtertröpfchen teilt. In einem Experiment breitet sich eine vorteilhafte Veränderung der Anweisungen in der Population aus, weil sich die Tröpfchen mit dieser Veränderung schneller vermehren.

Das ist ein echter Fortschritt, in einem bestimmten und nüchternen Sinn: ein zellähnliches System von unten nach oben aus bekannten Bauteilen aufzubauen und die grundlegenden Schritte eines Zellzyklus an einem Ort zusammen ablaufen zu lassen. Es handelt sich aber auch um einen Preprint, der noch kein Peer Review durchlaufen hat, und — in den eigenen Worten der Autoren — weder um einen selbstversorgenden Organismus noch um spontane darwinistische Evolution. Die saubere Kurzfassung lautet nicht: „Leben wurde von Grund auf erschaffen.“ Sondern: Zum ersten Mal ließen Forschende einen vollständigen Ablauf des Zellzyklus in einem vollständig definierten synthetischen Tröpfchen laufen, unter Verwendung gereinigter biologischer Bestandteile.



Original diagram — The Clean Paper · CC BY 4.0

Eine Beweiskette, keine Heldinnen-Zelle. Die obere Reihe zeigt, was die Arbeit **demonstriert**: ein definiertes Tröpfchen, das sich ernährt, sein Genom kopiert, wächst und sich über fünf Generationen teilt, wobei sich eine eingeführte vorteilhafte Veränderung durch Selektion ausbreitet. Die mittlere Reihe zeigt, was es weiterhin **von außen benötigt**: gereinigte Ribosomen und Enzyme, Versorgungströpfchen und — für die gengetriebene Teilung — zusätzliche, von Hand zugegebene Komponenten. Die untere Reihe markiert die **Grenze**: Hier wurden Zellzyklus-Verhaltensweisen in einem definierten synthetischen System rekonstituiert; es handelt sich nicht um eine autonome lebende Zelle und nicht um spontane Evolution.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Was die Autoren gemacht haben

Beginnen wir mit dem Behälter. Die synthetische Zelle ist ein **Liposom** — ein Tröpfchen, das von derselben Art von Fettfilm umgeben ist wie echte Zellen. Darin platzierte das Team zwei Dinge: einen Satz genetischer Anweisungen und ein kleines System, das diese Anweisungen lesen und daraus Proteine herstellen kann.

Die Anweisungen bestehen aus einem Genom mit etwa **90.000 DNA-Buchstaben** (90 kbp), verteilt auf sieben kleine Ringe (Plasmide). Das Proteinbau-System wurde nicht aus dem Nichts erfunden. Es ist eine definierte Mischung aus *gereinigten, funktionsfähigen biologischen Bestandteilen* — Ribosomen, Enzymen und der übrigen Maschinerie der Proteinsynthese — in bekannten Mengen. (In diesem Forschungsfeld heißt diese rekonstituierte, vollständig spezifizierte Mischung PURE. „Chemisch definiert“ bedeutet hier, dass jeder Bestandteil bekannt und mengenmäßig bestimmt ist, nicht dass alles aus einfachen Chemikalien aufgebaut wurde.)

Mit diesem Tröpfchen zeigten die Autoren, dass es die grundlegenden Schritte eines Zellzyklus ausführen kann. Vier miteinander verknüpfte Dinge wurden demonstriert.

Erstens brachten sie es dazu, **sich selbst zu versorgen**. Ein Tröpfchen nimmt frisches Material auf, indem es mit kleineren Versorgungströpfchen („Feeder“-Liposomen) verschmilzt. Das Signal für diese Fusion ist ein Membranprotein, das die Zelle anhand ihres eigenen Genoms herstellt — die Nahrungsaufnahme wird also von den eigenen Genen der Zelle eingeschaltet und nicht in jeder Runde von Hand ausgelöst.

Zweitens ließen sie die Zelle **ihre DNA kopieren**, mithilfe eines übernommenen viralen Replikationsenzyms (Phi29), dessen Bauanleitung im Genom liegt.

Drittens brachten sie sie zum **Wachsen und Teilen** — und verwendeten dafür zwei unterschiedliche Teilungswege, was sich als wichtig erweist (siehe unten).

Viertens zeigten sie **Selektion**. Sie führten eine Veränderung in das Genom ein, durch die eine Zelle schneller Nahrung aufnimmt und wächst, und zeigten, dass diese schnelleren Zellen mehr Nachkommen hinterlassen und die Population übernehmen — besonders bei knappen Ressourcen.

Was sie herausfanden

Der vollständige Zyklus läuft zusammen ab. Über fünf „Generationen“ hinweg nahmen die Tröpfchen Material auf, replizierten ihre DNA, wuchsen und teilten sich als wiederkehrender Ablauf, statt nur in voneinander getrennten Einzelexperimenten. Dass diese Schritte im selben definierten System funktionieren und mit der eigenen Genexpression der Zelle gekoppelt sind, ist das zentrale Ergebnis der Arbeit.

Nahrungsaufnahme und Teilung können von den Genen gesteuert werden. Die Zelle kann das Protein herstellen, das ihre eigene Nahrungsaufnahme antreibt, und — in einem separaten Versuch mit geringerer Ausbeute, der weiterhin zusätzliche von Hand zugegebene Komponenten benötigt — auch das Protein für ihre eigene Teilung. Das ist ein Schritt hin zu einem System, das eher nach seinen eigenen Anweisungen als durch die Handgriffe der Experimentierenden arbeitet.

Eine vorteilhafte Veränderung breitet sich durch Selektion aus. Eine Variante mit einem stärkeren „Einschalter“ für das Fusionsprotein (einem aktiveren Promotor) wächst schneller, erzeugt mehr Nachkommen und verdrängt unter Nahrungsmangel die ursprüngliche Variante. Damit besteht in einem synthetischen System eine echte Verbindung zwischen genetischer Veränderung und Fortpflanzungserfolg.

Die Vererbung ist noch unvollkommen. Nach fünf Generationen trug nur noch eine Minderheit der analysierten Zellen den vollständigen Satz aller sieben DNA-Ringe. Das Genom zuverlässig auf Tochtertröpfchen zu verteilen funktioniert noch nicht sicher.

Was von selbst läuft — und was nicht

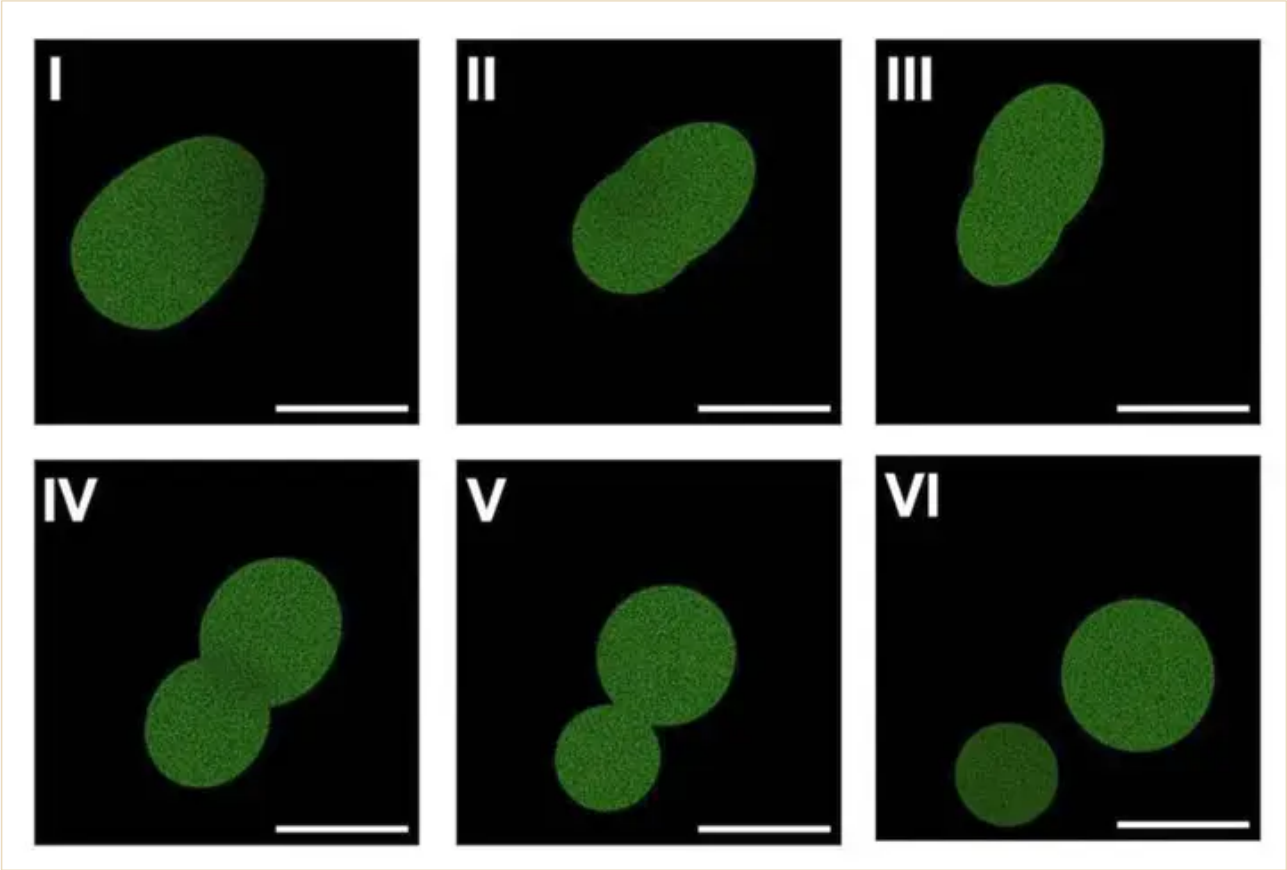
Das Wort, das in den Schlagzeilen am meisten Gewicht trägt, ist *vollständig*. In der Arbeit bedeutet ein „vollständiger Zellzyklus“, dass die operativen Schritte — aufnehmen, replizieren, wachsen, teilen — gemeinsam rekonstituiert und gemessen wurden. Es bedeutet nicht, dass die Zelle selbstversorgend ist. Zwei Grenzen sind entscheidend, und die Autoren benennen beide.

Erstens kann die Zelle **ihre eigene Proteinbau-Maschinerie nicht herstellen**. Ribosomen und die meisten Enzyme werden bereitgestellt — vorher gereinigt und zugeführt — und nicht von der Zelle selbst produziert. Nach Darstellung der Autoren besitzt das System nur einen sehr begrenzten Stoffwechsel und kann keine Ribosomen herstellen; echte metabolische Unabhängigkeit würde ein wesentlich größeres Genom erfordern. Das Tröpfchen durchläuft also einen Zellzyklus, betreibt seine Biochemie aber nicht von Grund auf selbst.

Zweitens ist die reguläre Teilung **mechanisch**. In den Fünf-Generationen-Experimenten werden die Tröpfchen geteilt, indem man sie durch einen feinen Filter drückt — eine Methode, die gewählt wurde, weil sie zuverlässig Tochtertröpfchen erzeugt. Die zellähnlichere, *gengetriebene* Teilung, bei der ein von der Zelle hergestelltes Protein die Teilung antreibt, wird separat gezeigt, benötigt zusätzliche von außen zugegebene Bestandteile (ein Brückensystem aus Streptavidin und einem Linker) und funktioniert mit geringerer Ausbeute. Die Autoren sagen ausdrücklich, dass eine robustere, ef-

fizientere und kontrollierbare Teilung noch Entwicklungsarbeit erfordert — vermutlich ein synthetisches inneres Zellskelett, das dem System bislang fehlt.

Deshalb hält die Abbildung die beiden Teilungsarten auseinander: Der hervorgehobene Fünf-Generationen-Zyklus verwendet die mechanische Teilung; die gengetriebene Teilung ist eine vielversprechende, aber noch fragile Ergänzung.



Fluoreszenzmikroskopische Sequenz aus dem von den Autoren bereitgestellten Preprint, die zeigt, wie sich eine synthetische Zelle in der Demonstration der gengetriebenen Teilung verlängert und in zwei Tröpfchen trennt. Das Bild wird für die Kommentierung des Teilungsergebnisses in reduzierter Auflösung im Rahmen des Fair Use wiedergegeben; die zentrale Beweisketten-Grafik dieses Artikels unterscheidet diese Demonstration ausdrücklich von der mechanischen Teilung im Fünf-Generationen-Versuch.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

Selektion, nicht spontane Evolution

Das Selektionsresultat ist elegant und sollte präzise formuliert werden. Eine vorteilhafte Veränderung — der stärkere „Einschalter“ für die Nahrungsaufnahme — lässt Zellen schneller wachsen; dadurch hinterlassen sie mehr Nachkommen, und die Veränderung breitet sich aus. Das ist echte Selektion auf eine vererbbare Differenz.

Aber die Veränderung ist nicht *von selbst entstanden*. Die Autoren haben sie eingebracht. In ihren

eigenen Worten trat die vorteilhafte Mutation nicht spontan in der Population auf, sondern wurde künstlich eingeführt; das unterscheidet sich von natürlicher darwinistischer Evolution. Mutationen spontan entstehen zu lassen, nennen sie als künftiges Ziel. Also: Selektion und Konkurrenz um Ressourcen — ja. Offene, spontane Evolution — noch nicht.

Was dies *nicht* beweist

- Es zeigt **keine** Zelle, die aus unbelebter Chemie erschaffen wurde. Die Bestandteile sind *gereinigte biologische* Komponenten — Ribosomen und Enzyme aus lebenden Organismen sowie ein virales Replikationsenzym —, die zu einem definierten Tröpfchen zusammengesetzt wurden. „Chemisch definiert“ bedeutet vollständig spezifiziert, nicht von Grund auf synthetisiert; die eigene Abbildung 1 der Arbeit beschreibt die Zellen als aus einzeln gereinigten natürlichen Komponenten aufgebaut.
- Es zeigt **keinen** selbstversorgenden Organismus. Die Zelle kann weder ihre eigenen Ribosomen herstellen noch ihren eigenen Stoffwechsel betreiben; sie hängt von zugeführter Maschinerie und den Versorgungströpfchen ab.
- Es zeigt **keine** spontane Evolution. Die vorteilhafte Mutation wurde von den Forschenden eingeführt und nicht vom System selbst erzeugt.
- Es zeigt **keine** robuste Vererbung. Nach fünf Generationen behielt nur eine Minderheit der Zellen das vollständige Genom.
- Es zeigt **keine** zelleigene Teilung als Standardmechanismus. Der wiederholte Fünf-Generationen-Zyklus beruht auf mechanischem Teilen; die gengetriebene Teilung hat eine geringere Ausbeute und benötigt externe Unterstützung.
- Die Arbeit ist **nicht** peer-reviewed. Es handelt sich um einen Preprint; laut Berichterstattung von Science wurde das Manuskript von Cell abgelehnt, und ein Peer Review soll andernorts laufen. Die konkreten Zahlen sind daher als vorläufig zu behandeln.

Wie belastbar sind die Belege?

Für die zentrale technische Aussage sind die Belege direkt und substanziell. Die Autoren berichten, dass die operativen Schritte eines Zellzyklus gemeinsam in einem definierten synthetischen Tröpfchen ablaufen, mit der eigenen Genexpression des Systems gekoppelt und über mehrere Zyklen wiederholt. Diese Aussage ist klar begrenzt, überprüfbar und durch quantifizierte Demonstrationen gestützt, auch wenn die Arbeit derzeit nur als Preprint vorliegt.

Dass dem System metabolische Unabhängigkeit und spontane Evolution fehlen, sollte nicht als gescheiterte oder unsichere Behauptung verstanden werden. Die Autoren behaupten diese Fähigkeiten nicht: Sie beschreiben sie ausdrücklich als nicht vorhanden beziehungsweise als Ziele künftiger Arbeit. Das sind wichtige Grenzen dessen, was „vollständiger Zellzyklus“ hier bedeutet — keine Gegenbelege zum tatsächlich berichteten Ergebnis.

Die wichtigste Unsicherheit ist deshalb nicht, ob die Studie autonomes Leben erschaffen hat,

sondern wie robust und reproduzierbar sich die berichtete technische Leistung erweisen wird. Bis Peer Review und unabhängige Replikation vorliegen, sollten die genaue Zahl der Generationen, der Anteil der Zellen mit vollständig erhaltenem Genom und die Teilungsausbeute als vorläufig gelten. Angemessen ist ein hohes Vertrauen in die demonstrierte Integration der Zellzyklus-Operationen, geringeres Vertrauen in die exakten Leistungswerte und keine Einordnung von Aussagen über Leben, Selbstversorgung oder spontane Evolution, weil diese außerhalb des Anspruchs der Arbeit liegen.

Was die öffentliche Geschichte hinzufügt — und warum das wichtig ist

Die interessante Lücke verläuft hier nicht zwischen der Arbeit und der Realität. Sie verläuft zwischen dem **Paper** und dem **Kommunikationspaket, das darum gebaut wurde**. Das Manuskript selbst ist bei dieser Grenze vorsichtig; das Risiko der Übertreibung entsteht, wenn das Ergebnis zu „lebender Zelle“, „selbstversorgender Zelle“ oder „Leben aus dem Nichts“ verdichtet wird. Solche überzogenen Schlagzeilen zu korrigieren ist etwas anderes, als die Arbeit für Behauptungen abzuwerten, die sie selbst gar nicht macht.

Die Sprache des Manuskripts ist zurückhaltend. Es bezeichnet die Arbeit als einen Schritt hin zu den minimalen Komponenten, die für Leben nötig sind, als mögliches „Chassis“ für künftige Systeme und als „Grundlage für vollständig künstliche Organismen“ — und versieht die großen Anwendungsaussichten mit Formulierungen wie *letztlich* oder *könnte*. Die Pressemitteilung der University of Minnesota eröffnet dagegen mit „der weltweit ersten synthetischen Zelle mit vollständigem Lebenszyklus“, die die Biologie „revolutionieren könnte“, beschreibt die Zelle als aus nicht lebenden Komponenten aufgebaut und nennt Anwendungen in Medizin, Materialien und Industrie. Die Einschränkungen sind vorhanden — aber sie kommen nach dem Durchbruch-Frame, wenn sie kaum noch als Bremse wirken können.

Dafür muss man keine böse Absicht unterstellen. Ergebnisse schon vor dem Peer Review zu teilen kann eine legitime, sogar großzügige Entscheidung sein: Andere Labore können Methoden früher prüfen und versuchen, die Resultate zu reproduzieren — genau das führen die Autoren als Grund an. Eine Ablehnung durch ein renommiertes Journal bedeutet nicht, dass die Arbeit schwach ist; ambitionierte Ergebnisse mit potenziell hohem Rückzugsrisiko sind tatsächlich schwer zu platzieren, und die Sorge, überholt zu werden, ist real. Diese Zwänge sind menschlich und nachvollziehbar.

Aber gerade weil die Kommunikation so laut war und *vor* dem Peer Review erfolgte, steigt die Pflicht zur Präzision, statt zu sinken. Die Reihenfolge ist entscheidend. Eine Pressemitteilung setzt zuerst die maximalistische Lesart und fügt die Grenzen später hinzu. Die saubere Version macht es umgekehrt: zuerst Belege und Status, dann die Ambition. Diese Gewohnheit — Evidenz und Status vor Anspruch — kann ein Leser auf den nächsten „Durchbruch“ übertragen, nicht nur auf diesen.

Kurz zusammengefasst

Ein Team der University of Minnesota berichtet über eine vollständig definierte synthetische Zelle: ein Fetttröpfchen mit einem Genom von rund 90.000 Basen und einem gereinigten Proteinbau-System, das sich durch Fusion mit Versorgungströpfchen ernährt, seine DNA kopiert, wächst und sich über fünf Generationen teilt. Die Forschenden zeigen, dass sich eine von ihnen eingeführte vorteilhafte genetische Veränderung durch Selektion in der Population ausbreitet und dass sowohl Nahrungsaufnahme als auch Teilung von zelleigenen Genen gesteuert werden können. Die Bestandteile sind gereinigte biologische Komponenten, die zu einem definierten System zusammengesetzt wurden, keine von Grund auf aufgebaute Chemie; die Zelle kann weder eigene Ribosomen herstellen noch einen eigenen Stoffwechsel betreiben; die reguläre Teilung über fünf Generationen erfolgt mechanisch, während die gengetriebene Teilung weniger effizient ist und externe Unterstützung benötigt; die vorteilhafte Mutation wurde eingebracht, statt spontan zu entstehen; und die Vererbung des vollständigen Genoms ist unvollkommen. Die Arbeit ist ein Preprint und wurde noch nicht peer-reviewed.

Nüchtern geprüft

Was die Arbeit zeigt: Ein definiertes synthetisches Tröpfchen, das sich ernährt (über genetisch codierte Fusion mit Versorgungströpfchen), sein etwa 90-kbp-Genom repliziert, wächst und sich über fünf Generationen teilt; eine separate Demonstration gengetriebener Teilung; sowie die Selektion einer eingeführten vorteilhaften Mutation, einschließlich Konkurrenz unter knappen Ressourcen.

Was bis zum Peer Review vorläufig bleibt: die genaue Zahl der Generationen, die Teilungsausbeuten und der Anteil der Zellen, die das vollständige Genom behalten; außerdem Robustheit und Reproduzierbarkeit des Gesamtzyklus zwischen verschiedenen Laboren.

Was sie nicht zeigt: eine aus unbelebter Chemie aufgebaute Zelle; einen selbstversorgenden Organismus; spontane Mutation oder offene darwinistische Evolution; robuste Vererbung des Genoms; zelleigene Teilung als Standardmechanismus; oder Einsatzreife der in den Pressematerialien genannten medizinischen, materialwissenschaftlichen oder industriellen Anwendungen.

Wichtigste Einschränkungen: noch kein Peer Review; keine metabolische Unabhängigkeit (Ribosomen und Enzyme werden zugeführt); der hervorgehobene Zyklus nutzt mechanische Teilung; die gengetriebene Teilung ist weniger effizient und benötigt zusätzliche Komponenten; unvollkommene Genomvererbung.

Wie viel Vertrauen sollte ein allgemeiner Leser haben? Ziemlich hohes Vertrauen in das zentrale technische Ergebnis: Die Autoren ließen die operativen Schritte eines Zellzyklus gemeinsam in einem definierten synthetischen Tröpfchen ablaufen, auch wenn die Arbeit noch auf Peer Review wartet. Mittleres bis geringeres Vertrauen in die exakte Zahl der Generationen, Teilungsausbeuten und Vererbungsraten bis zum Peer Review und zur unabhängigen Replikation. Die Arbeit behauptet nicht, dass das System lebt, selbstversorgend ist oder sich selbst evolviert; das sind Grenzen des

Untersuchungsrahmens, keine Ergebnisse mit geringer Sicherheit. Angemessene Einordnung: ein beeindruckender Schritt beim Aufbau von Zellen aus bekannten Bestandteilen, nicht die Erschaffung von Leben.

Aktualisierungen nach der Veröffentlichung

- **Klarstellung · 2026-07-23**

  Die Einordnung der Sicherheit wurde präzisiert: Lebende, selbstversorgende und sich selbst evolvierende Zellen liegen außerhalb der Behauptungen der Arbeit und sind keine Ergebnisse mit geringer Sicherheit. Die Bewertung des zentralen technischen Resultats bleibt unverändert.

Quellen

Gaut, Deich, Cash, Hoog, Engelhart & Adamala — 'A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication', author-hosted preprint (not peer-reviewed), 2026
https://biotic.org

Science — news coverage of the synthetic-cell preprint (2026)
https://doi.org/10.1126/science.zwa8dvz

University of Minnesota — press release
https://twin-cities.umn.edu/news-events/worlds-first-synthetic-cell-complete-life-cycle-could-revolu