

Willkommen in der Zukunft?

Warum wir Optimierung mit Fortschritt verwechseln

Eine Einführung in die Arbeit des
Center for Applied Complexity & Intelligence

Januar 2026

WELCOME TO 2025: THE FUTURE IS NOW!

Experience the Freedom of Flight and the Wonders of Mars



Abbildung 1: Die Zukunft des 20. Jahrhunderts: Fliegende Autos, Mars-Tourismus. Das Bild zeigt 2025. Es kam anders.

Die versprochene Zukunft

Das Bild auf dieser Seite entstammt einer Vorstellung, die das gesamte 20. Jahrhundert prägte. Es zeigt fliegende Autos, die elegant zwischen Wolkenkratzern schweben, Werbetafeln, die für Urlaubsreisen zu Marskolonien werben, und Menschen in silbernen Anzügen, die in eine strahlende Zukunft blicken. Diese Vision war keine Randerscheinung, sondern der Mainstream des technologischen Optimismus. Von den Weltausstellungen der 1930er Jahre über die Science Fiction der 1950er bis zu den Zukunftsvisionen der 1970er Jahre war man sich einig: Das Jahr 2025 würde eine völlig andere Welt sein.

Wir schreiben jetzt 2026. Die fliegenden Autos sind nicht gekommen. Die Marskolonien existieren nicht. Die U-Bahnen, mit denen wir zur Arbeit fahren, stammen aus dem 19. Jahrhundert, wie Peter Thiel einmal bemerkte, während wir auf unseren Smartphones Bilder von Katzen verschicken. Das ist keine Übertreibung, sondern eine nüchterne Bestandsaufnahme. Die Frage, die sich aufdrängt, ist nicht, warum einzelne Technologien gescheitert sind. Die Frage ist grundlegender: Warum haben wir aufgehört, wirklich Neues zu denken?

Die Antwort, die das Center for Applied Complexity & Intelligence vorschlägt, ist unbequem, aber notwendig. Wir haben nicht aufgehört zu arbeiten. Wir haben nicht aufgehört zu optimieren. Wir haben nicht aufgehört, Geld in Forschung und Entwicklung zu stecken. Was wir aufgehört haben, ist, die grundlegenden Architekturen zu hinterfragen, auf denen unsere Technologien, unsere Organisationen und unsere Gesellschaften aufgebaut sind. Stattdessen haben wir Optimierung mit Fortschritt verwechselt.

Die Illusion des Fortschritts

Auf den ersten Blick scheint die Diagnose der Stagnation absurd. Wir haben Smartphones mit mehr Rechenleistung als die Apollo-Missionen. Wir haben künstliche Intelligenz, die Texte schreibt und Bilder generiert. Wir haben Elektroautos und Solarpaneele. Jeden Tag erscheinen neue Produkte, neue Apps, neue Dienste. Wie kann man da von Stillstand sprechen?

Die Antwort liegt in der Unterscheidung zwischen zwei fundamental verschiedenen Arten von Veränderung. Die erste Art ist die Optimierung innerhalb eines bestehenden Paradigmas. Man nimmt eine existierende Architektur und macht sie schneller, kleiner, billiger, effizienter. Die zweite Art ist der Paradigmenwechsel, die Einführung einer grundlegend neuen Architektur, die alte Probleme auf völlig neue Weise löst oder Möglichkeiten eröffnet, die vorher undenkbar waren. Das 20. Jahrhundert war reich an Paradigmenwechseln. Das 21. Jahrhundert bisher nicht.

Die Zahlen sprechen eine deutliche Sprache

Der Ökonom Tyler Cowen hat diese Beobachtung in seinem einflussreichen Buch „The Great Stagnation“ aus dem Jahr 2011 systematisch aufgearbeitet. Seine These ist, dass die amerikanische Wirtschaft, und mit ihr die westliche Welt insgesamt, seit etwa 1973 die „niedrig hängenden Früchte“ des technologischen Fortschritts abgeerntet hat. Die großen Durchbrüche, die das Leben zwischen 1870 und 1970 radikal veränderten, seien weitgehend ausgeblieben.

Cowen illustriert dies mit einem einfachen Gedankenexperiment. Wenn man das Leben im Jahr 1870 mit dem Leben im Jahr 1920 vergleicht, sind die Unterschiede revolutionär. Eisenbahnen und Automobile veränderten fundamental, was Entfernung bedeutet. Telegrafen und Telefone veränderten fundamental, was Kommunikation bedeutet. Elektrisches Licht veränderte unsere Beziehung zur Nacht. Indoor-Sanitäranlagen veränderten Hygiene und Lebenserwartung. Vergleicht man dagegen das Leben im Jahr 1970 mit dem Leben im Jahr 2020, so Cowen, sind die Unterschiede oberflächlicher. Wir haben bessere Fernseher und interaktive Bildschirme. Aber die grundlegenden Strukturen des Alltags, wie wir wohnen, wie wir uns fortbewegen, wie wir arbeiten, haben sich weit weniger verändert.

Das Bureau of Labor Statistics der Vereinigten Staaten hat versucht, diese Intuition in Zahlen zu fassen. Die Produktivitätsverlangsamung seit 2005 hat demnach zu einem kumulativen Verlust von 10,9 Billionen Dollar an Wirtschaftsleistung im amerikanischen Unternehmenssektor geführt. Das entspricht einem Verlust von 95.000 Dollar pro Arbeitnehmer. Diese Zahlen sind abstrakt, aber sie deuten auf ein reales Phänomen hin.

Paradigmen, die nicht sterben wollen

Die Stagnation wird besonders sichtbar, wenn man das Alter der grundlegenden Technologien betrachtet, die unsere digitale Infrastruktur tragen. Die Von-Neumann-Architektur, nach der praktisch alle Computer arbeiten, wurde 1945 entwickelt. Sie ist damit 80 Jahre alt. Das Unix-Betriebssystemmodell, auf dem Linux, macOS, Android und große Teile des Internets basieren, stammt aus dem Jahr 1969 und ist damit 56 Jahre alt. Die Programmiersprache C, in der Betriebssysteme und kritische Infrastruktur geschrieben sind, wurde 1972 entwickelt. SQL, die Sprache für Datenbankabfragen, stammt aus dem Jahr 1974. Das TCP/IP-Protokoll, das Fundament des Internets, ebenfalls aus 1974.

Diese Technologien sind nicht nur alt. Sie sind dominant. COBOL, eine Programmiersprache aus dem Jahr 1959, verarbeitet nach Schätzungen noch immer den Großteil aller Finanztransaktionen weltweit. Banken, Versicherungen und Behörden laufen auf Code, der älter ist als die meisten ihrer Mitarbeiter. Das wird oft als Zeichen von Qualität und Stabilität gefeiert. Man argumentiert, dass diese Technologien sich bewährt haben, dass sie robust sind, dass sie funktionieren.

Doch diese Interpretation übersieht einen entscheidenden Punkt. Diese Technologien überleben nicht, weil sie optimal sind. Sie überleben, weil die Wechselkosten astronomisch geworden sind. Milliarden Zeilen Code, Billionen Dollar an Infrastrukturinvestitionen, Jahrzehnte an akkumuliertem Wissen und Gewohnheit haben ein System geschaffen, in dem echte Alternativen kaum noch denkbar sind. Das ist kein Zeichen von Stärke. Das ist Lock-in, ein Gefangensein in Pfadabhängigkeiten, das Innovation nicht fördert, sondern verhindert.

Peter Thiel, der Investor und Technologiekritiker, hat diese Situation pointiert zusammengefasst: „Wir wollten fliegende Autos, stattdessen bekamen wir 140 Zeichen.“ Der Satz bezog sich auf Twitter und war als Kritik an der Oberflächlichkeit des Silicon Valley gemeint. Aber er trifft einen tieferen Punkt. Die Rechenleistung eines modernen Smartphones übertrifft alles, was bei den Apollo-Missionen zur Verfügung stand. Doch wofür wird sie genutzt? Für soziale Medien, für Spiele, für das Versenden von Fotos. Die Hardware ist revolutionär. Die Anwendungen sind es nicht.

Stagnation jenseits der Informatik

Die Kritik an der technologischen Stagnation wird oft als Problem der Informatik oder des Silicon Valley verstanden. Doch die Muster, die das Center for Applied Complexity & Intelligence beobachtet, zeigen sich in praktisch allen Bereichen moderner Gesellschaften. Die Stagnation ist nicht auf Software beschränkt. Sie durchzieht Energiesysteme, Mobilität, Medizin, Bauwesen und Bildung. Überall finden sich dieselben Strukturen: Grundlegende Architekturen, die seit Jahrzehnten unverändert sind, während an der Oberfläche optimiert wird.

Energienetze: Eine Architektur aus dem 19. Jahrhundert

Die elektrischen Netze, die moderne Gesellschaften mit Strom versorgen, basieren auf einer Architektur, die sich seit ihrer Entstehung kaum verändert hat. Das Grundprinzip ist einfach: Große, zentrale Kraftwerke erzeugen Strom, der über Hochspannungsleitungen zu den Verbrauchern transportiert wird. Dieses Modell wurde für eine Welt entworfen, in der Kohle- und später Atomkraftwerke konstant Strom produzierten und der Verbrauch vorhersehbar war.

Die Internationale Energieagentur hat in ihrem Bericht „Electricity Grids and Secure Energy Transitions“ festgestellt, dass 70 Prozent aller Stromleitungen und Transformatoren in den USA älter als 25 Jahre sind. Große Teile der Infrastruktur wurden in den 1960er und 1970er Jahren gebaut und nähern sich dem Ende ihrer 50- bis 80-jährigen Lebensdauer. Das Council on Foreign Relations fasst es so zusammen: Die grundlegende Struktur des Netzes ist seit Jahrzehnten weitgehend unverändert geblieben, auch wenn es von Edisons ursprünglich 59 Kunden auf Hunderte Millionen Nutzer angewachsen ist.

Das Problem ist nicht, dass die Netze nicht funktionieren. Das Problem ist, dass sie für eine Welt gebaut wurden, die nicht mehr existiert. Sie wurden für einen einseitigen Stromfluss von zentralen Kraftwerken zu passiven Verbrauchern konzipiert. Heute müssten sie bidirektionale Flüsse bewältigen, variable Erzeugung aus Solar- und Windanlagen integrieren und Millionen dezentraler Ressourcen koordinieren. Die Architektur passt nicht mehr zur Aufgabe. Aber die Wechselkosten sind so hoch, dass wir weiter optimieren, anstatt neu zu bauen.

Die Zahlen sind beeindruckend. Bis 2040 müssten weltweit mehr als 80 Millionen Kilometer elektrischer Leitungen hinzugefügt oder modernisiert werden. Das entspricht ungefähr der Länge des gesamten bestehenden Netzes. Gleichzeitig warten mehr als 3.000 Gigawatt an erneuerbaren Projekten auf Netzanschlüsse, weil die Infrastruktur nicht schnell genug wächst. Die Investitionen in die Netze haben nach mehr als einem Jahrzehnt der Stagnation auf globaler Ebene erst kürzlich wieder zugenommen, aber sie müssten sich bis 2030 auf über 600 Milliarden Dollar pro Jahr verdoppeln, um die Klimaziele zu erreichen.

Luftfahrt: Langsamer als vor 50 Jahren

Ein besonders anschauliches Beispiel für Stagnation bietet die kommerzielle Luftfahrt. Es mag überraschend klingen, aber moderne Passagierflugzeuge fliegen tatsächlich langsamer als ihre Vorgänger in den 1960er und 1970er Jahren. Ein Flug von New York nach Los Angeles, der 1967 fünf Stunden und 43 Minuten dauerte, dauert heute 40 Minuten länger. Die angegebenen Reisegeschwindigkeiten moderner Verkehrsflugzeuge liegen zwischen etwa 480 und 510 Knoten, verglichen mit 525 Knoten für die Boeing 707, einem Standardflugzeug der 1960er Jahre.

Die Gründe dafür sind nachvollziehbar. Der aerodynamische Widerstand steigt stark an, wenn man sich der Schallgeschwindigkeit nähert. Schnelleres Fliegen verbraucht erheblich mehr Treibstoff pro Passagiermeile. Nach der Ölkrise der 1970er Jahre, als die Treibstoffpreise explodierten, begannen die Fluggesellschaften, die Reisegeschwindigkeiten systematisch zu reduzieren, um Kosten zu sparen. Das war eine rationale Entscheidung unter den gegebenen Umständen.

Doch das Ergebnis ist bemerkenswert. In einem halben Jahrhundert technologischen Fortschritts sind wir nicht schneller geworden, sondern langsamer. Die Concorde, die zwischen 1969 und 2003 mit zweifacher Schallgeschwindigkeit flog, wurde eingestellt und hat keinen Nachfolger gefunden. Seit 2003 gibt es keinen kommerziellen Überschallflugverkehr mehr. Die Flugzeuge sind sicherer geworden, komfortabler, effizienter. Aber die grundlegende Erfahrung des Fliegens hat sich nicht verbessert. Die Paradigmen sind dieselben geblieben.

Die Erklärung liegt nicht in den Grenzen der Physik. Sie liegt in den Grenzen unserer Bereitschaft, neue Architekturen zu entwickeln. Boom Supersonic und andere Unternehmen arbeiten an neuen Überschallflugzeugen. Aber die Tatsache, dass wir 20 Jahre nach dem Ende der Concorde immer noch darauf warten, zeigt, wie langsam echter Fortschritt geworden ist. Die Industrie konzentriert sich auf Effizienzverbesserungen innerhalb des bestehenden Paradigmas. Die nächste Boeing 777X wird bei Mach 0,85 reisen, genau wie ihre Vorgänger.

Bauwesen: Die produktivitätsresistente Industrie

Wenn es einen Sektor gibt, der die Stagnation besonders deutlich verkörpert, dann ist es das Bauwesen. Während die Produktivität in der amerikanischen Wirtschaft seit 1948 auf das Dreifache gestiegen ist und dieser positive Trend in fast allen Sektoren sichtbar ist, bildet das Bauwesen eine bemerkenswerte Ausnahme. Die Arbeitsproduktivität im Bausektor ist nicht gestiegen. Sie ist gesunken.

Eine Studie der Harvard Business School aus dem Jahr 2025 analysiert dieses Phänomen unter dem Titel „Why Has Construction Productivity Stagnated?“ Die Autoren stellen fest, dass große Gebäude heute mehr oder weniger genauso errichtet werden wie vor 100 Jahren: von Hand zusammengebaut von einer Armee von Arbeitern aus Stahl, Beton und Mauerwerk. Die Branche hat praktisch nichts von den Fortschritten in der Fertigung oder Logistik profitiert, die es ermöglichen, etwas so Komplexes wie ein iPhone zu einem erschwinglichen Preis herzustellen.

McKinsey & Company hat berechnet, dass die globale Arbeitsproduktivität im Bauwesen über zwei Jahrzehnte nur um etwa ein Prozent pro Jahr gewachsen ist. Im Vergleich dazu lag das Wachstum in der Fertigung bei 3,6 Prozent. Während Fabriken sich in hochproduktive Maschinen verwandelten, die Automatisierung, Robotik und digitale Zwillinge einsetzen, blieb das Bauwesen bei Methoden stehen, die Materialien auf schlammige Baustellen transportieren und jedes Mal von vorne beginnen.

Das Interessante an diesem Fall ist, dass die Stagnation nicht auf die USA beschränkt ist. Die jüngste Entwicklung der Arbeitsproduktivität in den USA, die weitgehend stagniert, ist ziemlich konsistent mit den Trends in anderen großen, wohlhabenden Ländern. Schweden zum Beispiel wird oft für seinen hohen Anteil an vorgefertigtem Bauen gelobt, hat aber seit den 1990er Jahren ebenfalls eine weitgehend flache Produktivitätsentwicklung. Japan macht ebenfalls mehr Gebrauch von Vorfertigung als die USA und hat sogar mit automatisiertem Hochhausbau experimentiert, konnte aber seit den 1970er Jahren praktisch keine Verbesserung der Bauproduktivität verzeichnen.

Die Ursachen sind vielfältig. Zunehmende Landnutzungsregulierungen könnten ein plausibler Grund sein, da strengere Vorschriften Bauunternehmen davon abhalten, größere Projekte zu verfolgen, was sie relativ klein hält und Anreize für technologische Innovation und Größenvorteile reduziert. Daten zur Patentaktivität in der Bauindustrie deuten ebenfalls darauf hin, dass mit schrumpfenden Unternehmen und Projekten auch die Innovation abnimmt.

Pharmaforschung: Die vergessene Krise der Antibiotika

Im Jahr 1987 wurde die letzte neue Klasse von Antibiotika entdeckt, die es auf den Markt schaffte. Seitdem herrscht, was Wissenschaftler eine „40-jährige Innovationslücke“ nennen. Diese Stagnation ist keine Nebensache. Antibiotika gehören zu den wichtigsten medizinischen Errungenschaften des 20. Jahrhunderts. Sie haben unzählige Leben gerettet und moderne Chirurgie, Krebstherapie und Intensivmedizin überhaupt erst möglich gemacht. Ohne wirksame Antibiotika werden Routineoperationen zu lebensgefährlichen Eingriffen.

Die Wellcome Trust Foundation hat untersucht, warum die Entwicklung neuer Antibiotika so schwierig geworden ist. Ein Teil der Erklärung liegt in der Wissenschaft selbst. Die „niedrig hängenden Früchte“ wurden zwischen den 1960er und 1980er Jahren geerntet, als systematische Screening-Programme natürlicher Verbindungen aus Bodenproben eine Fülle neuer Wirkstoffe entdeckten. Vielversprechende Verbindungen sind heute schwerer zu finden.

Doch die wissenschaftlichen Schwierigkeiten erklären nur einen Teil der Geschichte. Als die Pharmaindustrie mit Fortschritten in der Medizinalchemie, Molekularbiologie und genomischen Werkzeugen besser ausgestattet war als je zuvor, stiegen die Erwartungen an die Produktivität. Die Industrie wandte sich von der mühsamen Suche nach natürlich vorkommenden Verbindungen ab und setzte stattdessen auf zielbasiertes Hochdurchsatz-Screening synthetischer Verbindungen. Doch diese Hightech-Plattformen lieferten nur enttäuschende Ergebnisse.

Der tiefere Grund für die Stagnation ist wirtschaftlicher Natur. Die Entwicklung neuer Antibiotika ist teuer, mit Forschungs- und Entwicklungskosten von oft über einer Milliarde Dollar. Anders als Medikamente für chronische Erkrankungen werden Antibiotika typischerweise nur für kurze Behandlungen verschrieben, was sie weniger profitabel macht. Infolgedessen haben viele Pharmaunternehmen ihren Fokus auf lukrativere Therapiegebiete wie Onkologie verlagert. Zwischen 2010 und 2014 genehmigte die FDA nur sechs neue Antibiotika, ein starker Kontrast zu den 19 Genehmigungen zwischen 1980 und 1984.

Die Kombination aus schlechten finanziellen Anreizen und den technischen Herausforderungen hat dazu geführt, dass viele große Pharmaunternehmen ihre Antibiotika-Entwicklung reduziert oder ganz aufgegeben haben. Im Jahr 2019 dominierten kleine und mittlere Unternehmen den Bereich, sie machten etwa 90 Prozent der neuen Antibiotika in der Entwicklung aus. Doch diese Unternehmen haben nicht die Ressourcen für die langwierigen und teuren klinischen Studien, die für eine Zulassung erforderlich sind. Das Ergebnis ist eine Pipeline, die nicht annähernd ausreicht, um die wachsende Bedrohung durch antibiotikaresistente Erreger zu bewältigen.

Kernenergie: Generation II für immer?

Die Nuklearindustrie bietet ein weiteres aufschlussreiches Beispiel. Die überwiegende Mehrheit der heute weltweit betriebenen Kernreaktoren gehört zur sogenannten Generation II. Diese Reaktoren wurden ab den späten 1960er Jahren in Betrieb genommen und basieren auf Leichtwasserreaktor-Technologie, die in dieser Zeit entwickelt wurde. Die in den 1980er und frühen 1990er Jahren gebauten Reaktoren sind im Wesentlichen vom selben Typ und bilden den Großteil der weltweit über 400 kommerziellen Reaktoren.

Generation III Reaktoren existieren als Konzept seit Jahrzehnten. Sie werden als „fortgeschrittene Leichtwasserreaktoren“ bezeichnet und bieten Verbesserungen in den Bereichen Brennstofftechnologie, thermischer Effizienz, modularer Konstruktion und Sicherheitssysteme, insbesondere durch den Einsatz passiver statt aktiver Sicherheitssysteme. Doch aufgrund der langen Stagnationsperiode bei der Errichtung neuer Reaktoren und der anhaltenden Popularität von Generation-II-Designs bei Neubauten wurden relativ wenige Reaktoren der dritten Generation tatsächlich gebaut.

Die Situation ist noch bemerkenswerter, wenn man bedenkt, dass viele „neue“ Reaktordesigns auf Konzepten basieren, die ebenfalls Jahrzehnte alt sind. Die meisten Designs für Flüssigsalzreaktoren leiten sich vom Molten-Salt Reactor Experiment der 1960er Jahre ab. Die Kernenergie wird von manchen als reife Technologie betrachtet, die seit vielen Jahren in einem Zustand der Stagnation verharret. Sie könnte die erste zeitgenössische, etablierte Energieerzeugungstechnologie sein, die einem globalen Niedergang entgegenblickt, wenn nicht neue Ansätze gefunden werden.

Bildung: Der Klassenraum von 1920

Wenn die Großeltern der heutigen Studierenden in einen typischen Hörsaal von 2026 treten würden, wüssten sie sofort, was zu tun ist: sich hinsetzen, still sein und dem Dozenten zuhören. Die grundlegende Struktur des Unterrichts hat sich in 100 Jahren kaum verändert.

Eine Umfrage unter 275 Wirtschaftsprofessoren ergab, dass sie 70 Prozent der Unterrichtszeit mit Vorlesungen verbringen, 20 Prozent mit Diskussionen und 10 Prozent mit studentischen Aktivitäten. Studien aus den 1990er Jahren berichten ähnliche Zahlen. Die Vorlesung bleibt die häufigste Form des Unterrichts in der Hochschulbildung und macht den größten Anteil der genutzten Unterrichtszeit aus.

Die 1920er Jahre legten die Grundlage für viele Bildungspraktiken, und unser heutiges System verlässt sich immer noch stark auf Ideen aus dieser Ära. Die Struktur des traditionellen Schultags, die Betonung standardisierter Tests und sogar die physische Anordnung der Klassenzimmer lassen sich auf eine Zeit zurückführen, als Bildung für eine industrialisierte Gesellschaft konzipiert wurde. Die Technologie hat sich verändert, Overhead-Projektoren wurden durch PowerPoint ersetzt, und Bücher durch PDFs. Aber die grundlegende Architektur des Lernens, ein Experte überträgt Wissen an passive Empfänger, ist dieselbe geblieben.

Warum stagnieren wir?

Die Beispiele aus verschiedenen Sektoren zeigen ein gemeinsames Muster. Es geht nicht um einzelne Technologien, die an ihre Grenzen stoßen. Es geht um ein systematisches Phänomen, das praktisch alle Bereiche moderner Gesellschaften betrifft. Die Frage ist: Warum? Warum optimieren wir endlos innerhalb bestehender Paradigmen, anstatt neue zu schaffen?

Die Logik des Lock-in

Der Ökonom Brian Arthur hat das Phänomen der Pfadabhängigkeit und des technologischen Lock-in ausführlich untersucht. Sobald sich eine Technologie etabliert hat, entstehen Netzwerkeffekte und Wechselkosten, die ihre Position verfestigen. Jede neue Installation, jede Ausbildung, jede Regulierung, die auf der bestehenden Technologie basiert, erhöht die Kosten eines Wechsels. Irgendwann wird der Wechsel so teuer, dass er praktisch unmöglich wird, selbst wenn bessere Alternativen theoretisch verfügbar wären.

Das erklärt, warum COBOL noch immer Finanztransaktionen verarbeitet. Es erklärt, warum Stromnetze auf einer Architektur aus dem 19. Jahrhundert basieren. Es erklärt, warum wir Gebäude genauso bauen wie vor 100 Jahren. Die Wechselkosten sind astronomisch. Aber das erklärt noch nicht, warum wir aufgehört haben, nach Alternativen zu suchen. Lock-in ist ein Hindernis, aber kein absolutes.

Warnsignale erkennen

Eine berechtigte Kritik an Analysen wie dieser betrifft ihre Retrospektivität. Im Rückblick ist immer klar, was Optimierung war und was echter Fortschritt. Die Concorde war ein Irrweg, das Internet ein Durchbruch. COBOL ist Lock-in, Unix ist Fundament. Aber niemand erkennt Paradigmenwechsel zuverlässig, während sie entstehen. Wie unterscheidet man in Echtzeit zwischen einer vielversprechenden Innovation und einer Sackgasse?

Das Center behauptet nicht, diese Frage definitiv beantworten zu können. Es gibt keine sichere Methode, echten Fortschritt im Voraus zu erkennen. Was es gibt, sind Heuristiken, Warnsignale, die auf potenzielle Sackgassen hindeuten. Diese Signale garantieren nichts, aber sie erhöhen die Wahrscheinlichkeit, Fehlrichtungen früher zu erkennen.

Das erste Warnsignal ist extreme Zentralisierung. Wenn eine Technologie nur von einer Handvoll Akteuren entwickelt werden kann, weil die Ressourcenanforderungen alle anderen ausschließen, entsteht eine Monokultur. Alternativen werden nicht widerlegt, sondern erstickt. Im Energiesektor zeigt sich dieses Muster in der Dominanz zentraler Großkraftwerke, die dezentrale Ansätze strukturell benachteiligen. In der Halbleiterindustrie kontrollieren wenige Unternehmen die gesamte Fertigungskette.

In der KI-Forschung sind die Kosten für das Training großer Modelle so hoch, dass nur wenige Unternehmen an der Spitze mitspielen können.

Das zweite Warnsignal sind explodierende Wechselkosten. Wenn jede neue Investition die Abhängigkeit von der bestehenden Architektur vertieft, entsteht ein System, das sich selbst verstärkt, unabhängig davon, ob es auf dem richtigen Weg ist. COBOL-basierte Banksysteme werden nicht ersetzt, weil jede neue Schnittstelle die Abhängigkeit vertieft. Verbrennungsmotor-Infrastruktur hat über Jahrzehnte ein Ökosystem geschaffen, das Alternativen systematisch verteuert. Jede neue Investition in bestehende Paradigmen macht den Wechsel teurer, nicht billiger.

Das dritte Warnsignal ist die Unterdrückung von Kritik durch Erfolg. Wenn eine Technologie beeindruckende Ergebnisse liefert, verstummen die Stimmen, die nach fundamentalen Limitierungen fragen. Der Erfolg des Verbrennungsmotors hat über ein Jahrhundert lang verhindert, dass seine systemischen Kosten ernsthaft bilanziert wurden. Die Effizienzgewinne industrieller Landwirtschaft haben lange die Frage nach Bodengesundheit und Biodiversität überdeckt. Und die Tatsache, dass große Sprachmodelle beeindruckende Texte produzieren, sagt nichts darüber aus, ob sie auf dem Weg zu echter Intelligenz sind oder in einer Sackgasse stecken.

Das vierte Warnsignal ist die selbstverstärkende Aufmerksamkeitsspirale. Sobald ein Paradigma an Sichtbarkeit gewinnt, setzt eine Dynamik ein, die sich zunehmend von der technischen Substanz löst. Investitionen fließen, Lehrstühle werden eingerichtet, Unternehmen entstehen, deren Geschäftsmodelle oft mehr auf dem Versprechen als auf der Substanz beruhen. Nachwuchskräfte orientieren ihre Ausbildung an dem, was gefragt ist, nicht an dem, was möglicherweise richtig wäre. Medien verstärken die Aufmerksamkeit, Regulierungsbehörden passen Gesetze an, Bildungsprogramme werden umgestellt, Konferenzen und Fachzeitschriften spezialisieren sich. Jeder dieser Schritte erhöht die Legitimität des dominanten Ansatzes und entzieht Alternativen weitere Ressourcen. Technologien, die valide Alternativen bieten könnten, fristen ein Schattendasein, nicht weil sie widerlegt wurden, sondern weil niemand mehr über sie spricht. Die Konzentration verstärkt sich, bis das Lock-in praktisch vollständig ist.

Keines dieser Warnsignale ist für sich genommen pathologisch. Entscheidend ist ihre Kumulation und ihre zeitliche Verstärkung. Wenn mehrere dieser Signale gleichzeitig auftreten und sich gegenseitig verstärken, ist Vorsicht geboten. Diese Heuristiken ersetzen keine Gewissheit. Aber sie verschieben den Anspruch von der Frage „Was ist richtig?“ zu der Frage „Wo ist Vorsicht geboten?“ Das ist wissenschaftlich bescheidener und praktisch nützlicher.

Die institutionelle Dimension

Peter Thiel und andere Vertreter der „sozialen Theorie“ der Stagnation argumentieren, dass es keine physikalischen oder wissenschaftlichen Gründe gibt, warum wir das Tempo der Innovation nicht erhöhen könnten. Die Stagnation sei letztlich ein soziales Problem. Gesellschaften hätten Sicherheit, Regulierung und Risikovermeidung über die potenziellen Belohnungen bahnbrechender Innovationen gestellt.

Diese Kritik hat einen wahren Kern. Die Regulierungsdichte hat in vielen Bereichen zugenommen. Genehmigungsverfahren für neue Technologien sind langwieriger und teurer geworden. Das Haftungsrisiko für Unternehmen, die wirklich Neues versuchen,

ist gestiegen. Die institutionellen Anreize begünstigen inkrementelle Verbesserungen gegenüber radikalen Innovationen.

Doch die institutionelle Erklärung greift ebenfalls zu kurz. Sie erklärt nicht, warum die Stagnation in so verschiedenen Bereichen gleichzeitig auftritt, in privaten und öffentlichen Sektoren, in stark und schwach regulierten Branchen, in verschiedenen Ländern mit unterschiedlichen institutionellen Arrangements. Es muss etwas Tieferes geben.

Die Grenzen des mechanistischen Denkens

Die These des Center for Applied Complexity & Intelligence ist, dass die Stagnation ihre tiefste Ursache in einem Denkmodell hat, das seine Grenzen erreicht hat. Dieses Modell behandelt Systeme wie Maschinen: als Ansammlungen von Komponenten, die nach festen Regeln interagieren und deren Verhalten durch Analyse der Teile verstanden werden kann. Es ist das Modell, das die industrielle Revolution ermöglicht hat und das die Naturwissenschaften so erfolgreich gemacht hat.

Doch komplexe Systeme funktionieren nicht wie Maschinen. Energienetze, Städte, Ökosysteme, Organisationen, Gehirne, sie alle zeigen Eigenschaften, die sich nicht aus den Eigenschaften ihrer Teile ableiten lassen. Sie zeigen Emergenz, das Auftreten von Verhaltensweisen auf Systemebene, die auf der Ebene der Komponenten nicht vorhanden sind. Ein Vogelschwarm wird nicht choreografiert. Er entsteht aus einfachen lokalen Regeln, denen jeder einzelne Vogel folgt. Ein Ökosystem ist resilient, ohne dass es einen Designer gibt. Ein Gehirn denkt, obwohl kein einzelnes Neuron weiß, was Denken ist.

Das mechanistische Modell kann Emergenz nicht erfassen. Es kann Systeme nicht verstehen, deren Verhalten aus Interaktion entsteht, nicht aus Instruktion. Es kann keine Architekturen entwickeln, die sich selbst organisieren, die lernen, die sich anpassen. Und deshalb optimieren wir endlos innerhalb der alten Paradigmen. Wir wissen nicht, wie wir anders denken sollen.

Diese Gegenüberstellung darf nicht als saubere Dichotomie missverstanden werden. Moderne Ingenieurwissenschaften integrieren längst Elemente des Komplexitätsdenkens. Regelungstheorie, Kybernetik, verteilte Systeme, Site Reliability Engineering, all diese Disziplinen arbeiten mit Feedback, Emergenz und Nichtlinearität. Viele vermeintlich mechanistische Systeme sind in der Praxis längst komplexe adaptive Systeme. Das Problem liegt nicht darin, dass Komplexitätsdenken unbekannt wäre. Das Problem liegt darin, wo mechanistische Annahmen über ihre Gültigkeitsdomäne hinaus angewendet werden, wo Systeme wie Maschinen behandelt werden, obwohl sie längst die Eigenschaften lebender Netzwerke zeigen. Die Kritik richtet sich nicht gegen mechanistisches Denken als solches, sondern gegen seine unreflektierte Universalisierung.

Wenn ein Paradigma an seine Grenzen stößt, hilft schnelleres Optimieren nicht. Man braucht neue Architekturen. Und neue Architekturen erfordern ein neues Verständnis davon, wie Systeme funktionieren.

— Unser Grundsatz

Was hier tatsächlich neu ist

Ein skeptischer Leser könnte an dieser Stelle einwenden, dass nichts von dem, was hier beschrieben wird, wirklich neu ist. Emergenz, Pfadabhängigkeit, Lock-in, Komplexität, diese Begriffe sind seit Jahrzehnten im wissenschaftlichen Diskurs präsent. Das Santa Fe Institute erforscht komplexe adaptive Systeme seit den 1980er Jahren. Donella Meadows hat über Systeme und Leverage Points geschrieben. Stafford Beer hat kybernetische Modelle für Organisationen entwickelt. W. Ross Ashby hat die

Grundlagen der Kybernetik formuliert, bevor die meisten heutigen Forscher geboren wurden.

Dieser Einwand ist berechtigt, und es wäre intellektuell unredlich, ihn zu übergehen. Das Center for Applied Complexity & Intelligence behauptet nicht, eine neue Theorie erfunden zu haben. Was wir behaupten, ist etwas anderes: Wir wenden bestehendes systemisches Denken konsequent auf Bereiche an, in denen es bisher ignoriert wurde. Die Theorien existieren seit Jahrzehnten, aber sie werden nicht angewendet, wo sie am dringendsten gebraucht werden.

Betrachten wir die Realität. Die Komplexitätswissenschaft ist eine anerkannte Disziplin mit Lehrstühlen, Konferenzen und Fachzeitschriften. Gleichzeitig laufen Energienetze auf Architekturen aus dem 19. Jahrhundert. Gleichzeitig verarbeiten Banken ihre Transaktionen mit COBOL aus dem Jahr 1959. Gleichzeitig investiert die KI-Forschung Milliarden in eine einzelne Architektur, ohne ernsthaft nach Alternativen zu suchen. Das Wissen existiert, aber es erreicht die Systeme nicht, die es transformieren könnte.

Wir sind nicht die Ersten, die diese Übertragung versuchen. Aber wir gehören zu den wenigen, die sie systematisch, domänenübergreifend und mit Blick auf reale Architekturen verfolgen. Unsere Leistung liegt daher nicht in der Erfindung neuer Theorien. Sie liegt in der systematischen Übertragung bekannter Komplexitätsprinzipien auf festgefahrene reale Architekturen. Wir entwickeln keine neue Mathematik und entdecken keine neuen Naturgesetze. Was wir entwickeln, sind neue Architekturperspektiven auf bestehende Systeme und eine neue Interventionslogik für den Umgang mit stagnierenden Paradigmen.

Das Spannungsfeld: Wenn Fortschritt rückwärts geht

Die bisherige Analyse könnte den Eindruck erwecken, dass mehr Innovation immer besser wäre, dass Stagnation das einzige Problem sei und dass wir nur schneller voranschreiten müssten. Doch diese Sichtweise wäre eine gefährliche Vereinfachung. Die Realität ist komplexer, und das Center for Applied Complexity & Intelligence ist sich dieser Komplexität bewusst.

Es gibt Bereiche, in denen wir möglicherweise bereits ein Optimum erreicht haben. Weitere Veränderungen verschlechtern die Situation, anstatt sie zu verbessern. In manchen Fällen erleben wir nicht Stagnation, sondern aktiven Rückschritt, getarnt als Innovation. Die Beispiele sind zahlreich und ernüchternd.

Das Auto, das seinen Besitzer nicht mehr kennt

Moderne Automobile sind rollende Computer geworden. Sie sind vernetzt, softwaregesteuert, ständig aktualisiert. Das klingt nach Fortschritt. Doch die Realität sieht oft anders aus.

Im Jahr 2022 begann BMW, Sitzheizung als monatliches Abonnement anzubieten. Die Hardware war bereits im Fahrzeug verbaut, doch um sie zu nutzen, sollten Kunden 18 Dollar pro Monat zahlen, oder 415 Dollar für dauerhafte Freischaltung. Die Empörung war gewaltig. Menschen empfanden es als unzumutbar, für eine Funktion zu bezahlen, die physisch bereits in ihrem Eigentum existierte. Im September 2023 zog BMW das Modell zurück. Der Vorstand erklärte: „Die Nutzerakzeptanz war nicht hoch. Die Menschen fühlten sich, als würden sie doppelt bezahlen. Das war zwar faktisch nicht der Fall, aber Wahrnehmung ist Realität.“

Das Abonnementmodell für Sitzheizung ist verschwunden, aber die Tendenz bleibt. Andere Hersteller wie Audi, Hyundai und Volvo haben ähnliche Modelle eingeführt. Der Bundesstaat New Jersey hat einen Gesetzentwurf vorgelegt, der es illegal machen würde, Abonnements für Funktionen anzubieten, deren Hardware bereits im Fahrzeug verbaut ist. Das Pendel schwingt zurück.

Noch problematischer ist die wachsende Fragilität softwaregesteuerter Fahrzeuge. Im Dezember 2024 berichteten Tesla Cybertruck Besitzer, dass ein Software Update ihre Fahrzeuge vollständig lahmgelegt hatte. Die Firmware war während der Installation beschädigt worden, das Fahrzeug ließ sich nicht mehr starten. In einem dokumentierten Fall entlud sich sogar die 48 Volt Batterie, sodass die Besitzer nicht einmal das Ladekabel entfernen konnten.

Ein Jahr zuvor hatte Tesla ein Update an über zwei Millionen Fahrzeuge verschickt, um strengere Fahrerüberwachung einzuführen. Doch das Update verlief nicht reibungslos. Besitzer berichteten von Fahrzeugen, die tagelang versuchten, das Update herunterzuladen, dabei die Batterie entluden und sich auch nach dem Deaktivieren

des WLAN über interne Mobilfunkverbindungen weiter versuchten zu aktualisieren. Ein Fahrzeug, das seinen Besitzer nicht mehr gehorcht.

Der Traktor, der dem Bauern nicht mehr gehört

Das Problem geht weit über Luxusautos hinaus. Im Januar 2025 reichte die Federal Trade Commission der Vereinigten Staaten zusammen mit den Bundesstaaten Illinois und Minnesota eine Klage gegen John Deere ein. Der Vorwurf: Der Traktorenhersteller verhindere illegal, dass Landwirte ihre eigenen Maschinen reparieren können.

Moderne Landmaschinen sind hochgradig softwareabhängig. Viele Ersatzteile müssen elektronisch mit dem Traktor „gepaart“ werden, ähnlich wie ein Druckertreiber mit einem Computer. Diese Paardateien, von Deere „Payload Files“ genannt, können nur durch spezielle Software installiert werden, die ausschließlich autorisierten Händlern zur Verfügung steht. Landwirte, die eine Reparatur durchführen, müssen einen Händlertechniker rufen und bezahlen, nur um einen digitalen Code einzugeben, der die mechanische Reparatur autorisiert.

Die Konsequenzen sind gravierend. Ein Bericht der U.S. Public Interest Research Group schätzt, dass amerikanische Landwirte jährlich drei Milliarden Dollar durch Ausfallzeiten von Traktoren verlieren und 1,2 Milliarden Dollar mehr für Reparaturen bezahlen, weil sie auf Händler angewiesen sind. Ein einzelner Landwirt berichtete, dass eine Instanz von Ausfallzeit, während er auf einen Händler wartete, ihn zwischen 30.000 und 60.000 Dollar kostete.

Besonders bemerkenswert ist die rechtliche Position, die John Deere seit 2015 vertritt. Die Anwälte des Unternehmens argumentieren, dass Landwirte ihre Traktoren nicht wirklich besitzen, da die Maschinen auf Software laufen. Sie hätten lediglich eine „implizite Lizenz für die Lebensdauer des Fahrzeugs, um das Fahrzeug zu betreiben“. Die Maschine auf dem Feld gehört dem Bauern. Die Software, ohne die sie nicht funktioniert, gehört dem Unternehmen.

Colorado hat 2023 das erste „Right to Repair“ Gesetz für Landmaschinen verabschiedet. Kanada hat Gesetze erlassen, die es Landwirten erlauben, die digitalen Sperren zu umgehen. Das Pendel schwingt zurück, aber langsam.

Der Drucker, der sein eigenes DRM sabotiert

Die Druckerindustrie bietet ein fast schon absurdes Beispiel für technologischen Rückschritt im Gewand des Fortschritts. Moderne Druckerpatronen enthalten Chips, die mit dem Drucker kommunizieren und festlegen, wann eine Patrone „leer“ ist. In der Praxis bedeutet das oft, dass Drucker den Dienst verweigern, obwohl noch 20, 40 oder in extremen Fällen 80 Prozent der Tinte vorhanden sind. Die EU Verbraucherorganisation BEUC fand bei Tests, dass 42 Prozent der getesteten Patronen noch erhebliche Tintenreste enthielten, als der Drucker sie für leer erklärte.

Hersteller wie HP haben Firmware Updates verschickt, die ohne Warnung die Kommunikationsprotokolle änderten, sodass nur noch herstellereigene Patronen akzeptiert wurden. Kunden, die bereits Drittanbieterpatronen gekauft hatten, fanden ihre Drucker plötzlich unbrauchbar. Klagen häufen sich. HP hat 2018 einen Vergleich über 1,5 Millionen Dollar geschlossen. Canon wurde 2021 wegen einer besonders dreisten Praxis verklagt: Der Hersteller hatte die Scannerfunktion von Multifunktio-

onsgeräten deaktiviert, wenn keine autorisierte Tintenpatrone eingelegt war, obwohl ein Scanner keine Tinte benötigt.

Der absurdeste Moment kam 2022, als ein globaler Chipmangel Canon daran hinderte, genügend Patronen mit den erforderlichen DRM Chips zu produzieren. Die Lösung? Canon veröffentlichte offizielle Anleitungen, die Kunden erklärten, wie sie das firmeneigene DRM umgehen konnten. Das Unternehmen gab dabei im Wesentlichen zu, dass die Chips für die Druckqualität völlig irrelevant sind. Sie dienten einzig dazu, Kunden an teurere Originalpatronen zu binden.

Geräte, die kürzer leben als ihre Vorgänger

Eine norwegische Langzeitstudie hat die Lebensdauer von Haushaltsgeräten über mehrere Jahrzehnte untersucht. Die Ergebnisse sind aufschlussreich. In den 1990er und frühen 2000er Jahren brach die Lebensdauer von Waschmaschinen ein, von durchschnittlich 19,2 Jahren auf 10,6 Jahre, ein Rückgang um 45 Prozent. Backöfen fielen von 23,6 Jahren auf 14,3 Jahre, ein Rückgang um 39 Prozent.

Die Ursachen sind komplex. Ein Teil liegt an veränderten Nutzungsgewohnheiten. Eine durchschnittliche norwegische Familie mit vier Personen wusch 1960 zwei Ladungen pro Woche, im Jahr 2000 waren es acht. Ein Teil liegt an den Materialien. Vintage Geräte aus der Zeit vor den 1960er Jahren wurden aus massivem Messing, Gusseisen und Stahl gefertigt. Moderne Geräte verwenden mehr Plastik und Aluminium. Ein Teil liegt an der zunehmenden Komplexität. Mehr elektronische Komponenten bedeuten mehr potenzielle Fehlerquellen.

Interessanterweise zeigt die Studie, dass nicht alle Geräte kürzer leben. Kühlschränke, Gefrierschränke und Geschirrspüler haben ihre Lebensdauer weitgehend beibehalten. Wenn geplante Obsoleszenz oder ein einzelner Faktor verantwortlich wäre, würde man einen allgemeinen Abwärtstrend erwarten. Das Bild ist differenzierter.

Das Pendel und die Grenzen des Urteils

Diese Beispiele zeigen ein Muster, das über einzelne Fehlentwicklungen hinausgeht. Technologische und wirtschaftliche Systeme scheinen sich in Wellen zu bewegen. Sie überschreiten Grenzen, provozieren Widerstand, und werden dann durch Regulierung, Konsumentenboykotte oder schlicht durch Marktversagen korrigiert. BMW zieht die Sitzheizungsabonnements zurück. Die FTC verklagt John Deere. Canon erklärt seinen Kunden, wie sie das eigene DRM umgehen können. Das Pendel schwingt.

Cory Doctorow hat für dieses Phänomen den Begriff „Enshittification“ geprägt, der 2023 zum Wort des Jahres gewählt wurde. Er beschreibt einen Zyklus, in dem Plattformen zunächst hochwertige Dienste anbieten, um Nutzer anzuziehen, dann die Qualität verschlechtern, um Geschäftskunden zu bedienen, und schließlich beide Seiten auspressen, um kurzfristige Gewinne zu maximieren. Google Suche ist sein Paradebeispiel. Der Dienst wurde groß durch relevante Suchergebnisse und minimale Werbung. Heute ist er übersät mit Anzeigen, manipuliert durch Suchmaschinenoptimierung, und oft weniger nützlich als vor einem Jahrzehnt.

Diese Beobachtungen führen zu einer tiefgreifenden epistemischen Bescheidenheit. Wer kann in Echtzeit beurteilen, was echter Fortschritt ist und was nicht? Die Stagnationsthese, die dieses Papier entwickelt, ist selbst nicht immun gegen diese Frage. Vielleicht ist die Stabilität mancher Paradigmen kein Zeichen von Lock-in, sondern ein Zeichen dafür, dass ein Optimum erreicht wurde. Vielleicht ist die Waschmaschine von 1990 wirklich besser gewesen als die von 2020, und vielleicht wird die von 2030 wieder besser sein, wenn das Pendel zurückschwingt.

Was wir mit Sicherheit sagen können: Fortschritt ist keine gerade Linie. Er ist nicht einmal eine aufsteigende Kurve. Er ist ein komplexes, oft chaotisches Phänomen, das sich in Wellen bewegt, Grenzen überschreitet, korrigiert wird und neue Richtungen einschlägt. Die Forderung nach „mehr Innovation“ ohne Richtung ist ebenso naiv wie die Annahme, dass alles Bestehende bewahrt werden sollte.

Das Center for Applied Complexity & Intelligence versteht sich nicht als Verfechter von Fortschritt um jeden Preis. Es versteht sich als Ort, an dem die Muster untersucht werden, nach denen komplexe Systeme funktionieren, stagnieren, sich verschlechtern oder verbessern. Die Antwort auf die Frage, ob eine bestimmte Veränderung ein Fortschritt ist, lässt sich oft erst im Rückblick geben. Was wir in der Gegenwart tun können, ist, die Strukturen zu verstehen, die Veränderung ermöglichen oder verhindern, und auf dieser Grundlage klügere Entscheidungen zu treffen.

Echter Fortschritt und seine Fallen

Trotz aller Kritik wäre es falsch, in Pessimismus zu verfallen — die letzten Jahre haben durchaus bemerkenswerte Durchbrüche gebracht. Die mRNA Impfstoffe, die während der Covid Pandemie entwickelt wurden, basieren auf Jahrzehnten grundlegender Forschung und haben ein völlig neues Paradigma der Impfstoffentwicklung eröffnet. Wiederverwendbare Raketen haben die Kosten für den Zugang zum Weltraum dramatisch gesenkt.

Auch Tyler Cowen, dessen „Great Stagnation“ These dieses Papier aufgreift, hat seine Position inzwischen nuanciert. Er sieht Anzeichen dafür, dass wir „wahrscheinlich jetzt aus der großen Stagnation herauskommen“, und verweist auf mRNA Impfstoffe, generative KI und Fortschritte bei grüner Energie. Die Frage ist nicht, ob Fortschritt möglich ist. Die Frage ist, ob wir die Strukturen erkennen, die echten Fortschritt von selbstverstärkenden Sackgassen unterscheiden.

Die Falle der selbstverstärkenden Schleifen

Die beschriebenen Warnsignale verbinden sich in der Praxis zu einem Mechanismus, der schwer zu durchbrechen ist: der selbstverstärkenden Schleife. Das Muster ist immer dasselbe. Sobald ein Paradigma genügend Momentum gewinnt, beginnt es, die Bedingungen zu schaffen, die seine eigene Dominanz zementieren, unabhängig davon, ob es der beste Ansatz ist.

Der Mechanismus funktioniert in mehreren Stufen. Erste Erfolge ziehen Investitionen an. Investitionen finanzieren Infrastruktur, die auf das dominante Paradigma zugeschnitten ist. Diese Infrastruktur macht es billiger, innerhalb des Paradigmas zu arbeiten, und teurer, Alternativen zu verfolgen. Ausbildungsprogramme spezialisieren sich, Karrierewege verengen sich, Regulierungen werden angepasst. Jeder dieser Schritte erhöht die Legitimität des Bestehenden und entzieht Alternativen Ressourcen. Am Ende ist das Paradigma nicht deshalb dominant, weil es das beste ist, sondern weil es das einzige ist, das sich noch jemand leisten kann.

Dieses Muster zeigt sich in der KI-Forschung, wo eine einzige Architektur praktisch alle Ressourcen absorbiert, während Alternativen mangels Finanzierung verkümmern. Es zeigt sich in Energiesystemen, wo die Infrastruktur zentraler Kraftwerke dezentrale Ansätze strukturell benachteiligt. Es zeigt sich in der Pharmaforschung, wo das Zulassungssystem große Moleküle gegenüber neuen Therapieformen bevorzugt. Es zeigt sich im Bauwesen, wo Normen und Ausbildung auf Beton und Stahl ausgerichtet sind, obwohl andere Materialien ökologisch sinnvoller wären.

Die Gefahr liegt nicht darin, dass das dominante Paradigma schlecht wäre. Vielleicht ist es sogar gut. Die Gefahr liegt darin, dass das System keine Möglichkeit hat, das herauszufinden. Alternativen werden nicht widerlegt, sondern erstickt. Die Frage, ob der eingeschlagene Weg der richtige ist, wird nicht beantwortet, sie wird gar nicht erst gestellt, weil niemand mehr die Ressourcen hat, sie ernsthaft zu verfolgen.

Den Ausbruch ermöglichen

Das Center for Applied Complexity & Intelligence beobachtet diese Dynamiken nicht aus akademischer Distanz. Es versteht sich als Katalysator für Veränderung, als Ort, an dem die selbstverstärkenden Schleifen unterbrochen werden können.

Dabei geht es auch um eine grundlegende Handlungsfrage. Wir haben uns angewöhnt, die Systeme, in denen wir leben, als gegeben zu betrachten, als wären sie Naturgesetze oder Schicksal. Der Markt funktioniert eben so. Die Technologie entwickelt sich eben in diese Richtung. Die Institutionen sind eben so gewachsen. Diese Haltung ist bequem, aber sie ist auch falsch. Die Systeme, die uns umgeben, sind menschengemacht. Sie wurden von Menschen entworfen, von Menschen aufgebaut, von Menschen aufrechterhalten. Und sie können von Menschen verändert werden.

Das alte Sprichwort sagt: Jeder ist seines Glückes Schmied. Das klingt nach Individualismus, aber es enthält eine tiefere Wahrheit. Wir sind nicht Passagiere auf einem Schiff, dessen Kurs wir nicht beeinflussen können. Wir sind die Schiffbauer, die Kapitäne, die Navigatoren. Wenn das Schiff in die falsche Richtung fährt, können wir den Kurs ändern. Wenn das Schiff schlecht gebaut ist, können wir ein besseres bauen. Die Frage ist nicht, ob Veränderung möglich ist. Die Frage ist, ob wir den Mut haben, sie zu versuchen.

Die Strategie des Centers ist nicht, das bestehende System frontal anzugreifen. Solche Angriffe prallen an etablierten Strukturen ab. Die Strategie ist, Irritationen zu erzeugen, kleine Störungen, die das System zum Schwingen bringen. Wenn ein System lange genug erschüttert wird, entstehen Risse. Durch diese Risse können neue Möglichkeiten eindringen.

Konkret bedeutet das: Das Center verbindet Menschen, die ähnlich denken, aber isoliert arbeiten. Es gibt überall Forscherinnen und Forscher, Ingenieure, Unternehmer, die die Grenzen der bestehenden Paradigmen sehen, aber keine Gemeinschaft haben, die ihre Perspektive teilt. Es gibt Institutionen und Unternehmen, die erkannt haben, dass der Status quo nicht nachhaltig ist, aber nicht wissen, wie sie ihn in Frage stellen können, ohne ihre Position zu gefährden. Diese Akteure zu finden, zu vernetzen und zu unterstützen, ist eine zentrale Aufgabe des Centers.

Es geht nicht darum, fertige Antworten zu liefern. Es geht darum, den Raum zu schaffen, in dem bessere Fragen gestellt werden können. Warum muss ein neuronales Netz so aufgebaut sein, wie es aufgebaut ist? Warum muss ein Energienetz zentral gesteuert sein? Warum muss eine Organisation hierarchisch strukturiert sein? Diese Fragen klingen naiv, aber sie sind es nicht. Sie sind radikal, im ursprünglichen Sinne des Wortes: Sie gehen an die Wurzel.

Eine andere Perspektive

Das Center for Applied Complexity & Intelligence entstand aus einer Beobachtung, die sich über mehr als 20 Jahre Praxis in verschiedenen Bereichen verdichtete. Die Beobachtung war: Technische Systeme spiegeln immer die Strukturen der Organisation, in der sie entstehen. Wenn die Kommunikation im Unternehmen stockt, stockt sie auch im System. Wenn Teams fragmentiert sind, fragmentieren sich Anwendungslandschaften. Wenn Entscheidungswege komplex sind, entstehen komplexe Integrationsmuster.

Diese Beobachtung war zunächst ein praktisches Werkzeug. Doch mit der Zeit wurde deutlich, dass dieselben Muster überall auftauchen, in Energienetzen, in Mobilitätskonzepten, in wissenschaftlichen Paradigmen, in gesellschaftlichen Strukturen. Die Frage wurde größer: Warum wiederholen sich die gleichen Probleme in völlig unterschiedlichen Bereichen? Warum entstehen dieselben Muster unabhängig vom Kontext?

Die Antwort führte zu einem Perspektivwechsel. Die Probleme in verschiedenen Bereichen sind nicht verschieden. Sie sind Ausdruck derselben Grundstruktur. Sie alle folgen mechanistischen Modellen, die Systeme wie Maschinen behandeln, nicht wie lebende Netzwerke. Und sie alle stoßen an dieselben Grenzen.

Intelligenz als emergentes Phänomen

Die Kernidee, die das Center entwickelt, ist einfach zu formulieren, aber weitreichend in ihren Konsequenzen. Intelligenz ist kein Algorithmus. Sie ist kein Programm, das man schreibt, keine Funktion, die man optimiert, kein Mechanismus, den man konstruiert. Intelligenz ist ein emergentes Phänomen komplexer Systeme.

Was bedeutet das? Es bedeutet, dass Intelligenz eine Systemeigenschaft ist, die aus Interaktion entsteht, nicht aus den Eigenschaften einzelner Komponenten. Ein neuronales Netzwerk zeigt Verhaltensweisen, die kein einzelnes Neuron zeigt. Eine Organisation kann Probleme lösen, die kein einzelnes Mitglied lösen könnte. Ein Markt aggregiert Information, die kein einzelner Teilnehmer besitzt. In all diesen Fällen entsteht etwas Neues auf der Systemebene, das auf der Komponentenebene nicht vorhanden ist.

Intelligenz ist die Fähigkeit eines Systems, kontextabhängig zu handeln, sich anzupassen und aus Interaktion zu lernen, ohne dass dieses Verhalten explizit programmiert wurde. Sie emergiert aus Komplexität, oder sie entsteht gar nicht.

Diese Perspektive hat unmittelbare praktische Konsequenzen. Wenn Intelligenz emergiert, dann kann man sie nicht konstruieren. Man kann nur die Bedingungen schaffen, unter denen sie entstehen kann. Das erfordert ein völlig anderes Vorgehen als das

Programmieren von Algorithmen oder das Optimieren von Parametern. Es erfordert das Gestalten von Architekturen.

Die Grenzen der Selbstorganisation

Diese Perspektive darf nicht missverstanden werden. Emergenz ist kein Wert an sich. Selbstorganisierte Systeme können resilient sein, aber sie können ebenso gut ineffizient, ungerecht und instabil sein. Märkte, soziale Netzwerke und Organisationen zeigen regelmäßig, dass emergentes Verhalten ebenso leicht zu Monopolen, Koordinationsversagen oder Machtkonzentration führen kann wie zu Innovation und Anpassungsfähigkeit.

Die Geschichte ist voll von Beispielen für emergente Dynamiken, die niemand gewollt hat. Finanzkrisen entstehen aus der Interaktion rationaler Einzelentscheidungen. Städte entwickeln Verkehrsinfarkte, obwohl jeder Fahrer den schnellsten Weg wählt. Plattformen, die als offene Marktplätze begannen, verwandeln sich in Monopole, die ihre eigenen Nutzer ausbeuten. Emergenz produziert Ordnung, aber sie garantiert weder Gerechtigkeit noch Effizienz noch Stabilität.

Die Alternative zum mechanistischen Denken ist daher nicht der Verzicht auf Steuerung, sondern eine andere Form von Steuerung. Diese Steuerung ist kontextsensitiv statt universell, adaptiv statt starr, und bewusst begrenzt statt allumfassend. Sie greift nicht in jede Interaktion ein, sondern gestaltet die Rahmenbedingungen, unter denen Interaktionen stattfinden. Sie versucht nicht, Ergebnisse zu determinieren, sondern Dynamiken zu kanalisieren.

Das Center for Applied Complexity & Intelligence vertritt keine naive Position, nach der Systeme sich selbst überlassen werden sollten. Die zentrale Frage ist nicht, ob Systeme gesteuert werden, sondern wie, wo und auf welcher Ebene. Die Antwort auf mechanistische Übersteuerung ist nicht Laissez-faire, sondern intelligente Architektur.

Vier Prinzipien

Die Arbeit des Centers basiert auf vier epistemischen Prinzipien, die als Leitlinien für Forschung und Praxis dienen. Diese Prinzipien sind nicht willkürlich gewählt. Sie ergeben sich aus der Einsicht, dass komplexe Systeme anders funktionieren als Maschinen und daher auch anders verstanden werden müssen.

PRINZIP 01

Muster vor Mechanismen

Das erste Prinzip besagt, dass wir nach wiederkehrenden Strukturen suchen, bevor wir Lösungen formulieren. Der Fokus liegt auf Formen des Verhaltens, nicht auf deren Implementierung. Strukturen sind stabil, Mechanismen sind austauschbar. Dasselbe Muster kann in völlig verschiedenen Bereichen auftreten. Wer die Muster versteht, versteht etwas Tieferes.

PRINZIP 02

Systeme vor Komponenten

Das zweite Prinzip besagt, dass ein Element bedeutungslos ist ohne seine Umgebung. Wir betrachten Systeme auf mehreren Ebenen gleichzeitig: Mikroebene der Agenten, Me-soebene der Subsysteme, Makroebene der Gesamtorganisation. Intelligenz entsteht aus den Beziehungen zwischen diesen Ebenen, nicht aus den Eigenschaften einer einzelnen Ebene.

PRINZIP 03

Emergenz vor Instruktion

Das dritte Prinzip betrifft das Systemdesign: Intelligentes Verhalten lässt sich nicht von oben verordnen. Man schafft Bedingungen, unter denen es entstehen kann. Rahmen statt Vorschriften, Strukturen statt Befehle. Systeme werden befähigt, nicht programmiert.

PRINZIP 04

Kontext vor Inhalt

Das vierte Prinzip besagt, dass Bedeutung nicht aus Daten entsteht, sondern aus ihrer Einbettung. Dieselbe Information hat in verschiedenen Kontexten verschiedene Wirkung. Das Center modelliert Kontext explizit, als strukturierenden Faktor, der die Bedeutung von Information konstituiert.

Was wir tun

Das Center for Applied Complexity & Intelligence ist kein klassisches Forschungsinstitut. Es hat kein festes Team, keine Hierarchie, keine zentralen Labore. Es ist selbst ein Beispiel für das, was es erforscht: ein emergentes Netzwerk aus Menschen, Unternehmen, Vereinen und Initiativen, die sich gegenseitig unterstützen und gemeinsam an der Überwindung stagnierender Paradigmen arbeiten.

Die Arbeit gliedert sich in mehrere Bereiche. Auf der theoretischen Ebene erforscht das Center, wie Komplexität Intelligenz hervorbringt. Es identifiziert universelle Muster, die in verschiedenen Bereichen auftreten, abstrahiert sie und formalisiert sie, um sie übertragbar zu machen. Auf der praktischen Ebene unterstützt das Center Projekte, die diese Muster in konkreten Anwendungen validieren. Es vernetzt Gleichgesinnte über Disziplinen hinweg und transferiert Wissen zwischen Forschung und Praxis.

Das Netzwerk lebt nach den Prinzipien, die es erforscht. Es gibt keine zentrale Steuerung, die festlegt, woran gearbeitet wird. Es gibt keine feste Hierarchie, die Entscheidungen trifft. Die Koordination entsteht aus den Verbindungen zwischen den Beteiligten, genau wie in den Systemen, die das Center untersucht. Das ist keine organisatorische Schwäche. Es ist ein bewusstes Experiment: die Frage, ob ein Netzwerk, das nach den Prinzipien emergenter Intelligenz organisiert ist, tatsächlich intelligenter sein kann als traditionelle Strukturen.

Was wir konkret tun

Die abstrakte Beschreibung als „Netzwerk“ und „Denkschule“ wirft eine berechtigte Frage auf: Was bedeutet das in der Praxis? Wofür könnte jemand das Center unterstützen oder mit ihm zusammenarbeiten? Die Antwort liegt nicht in einer Roadmap mit Meilensteinen und Deliverables, sondern in einer Reihe von Interventionstypen, die sich aus dem beschriebenen Ansatz ergeben.

Die erste Interventionsform ist die Architekturanalyse stagnierender Systeme. Das Center untersucht konkrete Bereiche, in denen Optimierung an ihre Grenzen gestoßen ist, identifiziert die zugrundeliegenden architektonischen Annahmen und fragt, welche Alternativen systematisch nicht verfolgt werden. Solche Analysen können für Unternehmen, Behörden oder Forschungseinrichtungen durchgeführt werden, die das Gefühl haben, dass ihre Systeme trotz kontinuierlicher Investitionen nicht besser werden.

Die zweite Interventionsform ist die Entwicklung experimenteller Parallelarchitekturen. Das bedeutet nicht, bestehende Systeme zu ersetzen, sondern kleine, abgegrenzte Experimente zu konzipieren, die alternative Ansätze unter realen Bedingungen testen. Die Projekte FLUID, AionCore und Cognex sind Beispiele für solche Parallelarchitekturen im Bereich Rechenmodelle und kognitiver Systeme.

Die dritte Interventionsform ist die Kontextmodellierung. Viele Systeme scheitern nicht an fehlender Funktionalität, sondern daran, dass sie Kontext nicht verstehen.

Das Center entwickelt Methoden, um Kontext explizit zu modellieren, statt ihn als Hintergrundrauschen zu behandeln. Das betrifft Software ebenso wie Organisationen.

Die vierte Interventionsform ist die Vernetzung von Gleichgesinnten. Es gibt überall Menschen, die an den Grenzen bestehender Paradigmen arbeiten, aber isoliert sind. Forscherinnen an Universitäten, die alternative KI-Architekturen verfolgen. Ingenieure in Unternehmen, die wissen, dass ihre Systeme an strukturelle Grenzen stoßen. Gründer, die etwas versuchen, das in keine bestehende Kategorie passt. Diese Menschen zu finden, zu verbinden und zu unterstützen, ist eine zentrale Aufgabe.

Das Center verspricht keine fertigen Lösungen. Es bietet einen Rahmen für systematisches Nachdenken über Probleme, die mit den üblichen Mitteln nicht lösbar sind.

Woran wir bessere Architekturen erkennen

Die Forderung nach „neuen Architekturen“ bleibt abstrakt, solange nicht klar ist, was eine bessere Architektur von einer schlechteren unterscheidet. Das Center arbeitet mit einer Reihe von Orientierungskriterien, die keine Garantien bieten, aber die Richtung weisen.

Das erste Kriterium ist reduzierte Wechselkosten. Eine Architektur, die den Ausstieg erschwert, ist verdächtig. Gute Architekturen ermöglichen Evolution, sie erzwingen keine lebenslange Bindung. Das bedeutet nicht, dass Stabilität unwichtig wäre, aber Stabilität sollte aus Qualität entstehen, nicht aus Abhängigkeit.

Das zweite Kriterium ist Dezentralisierbarkeit. Systeme, die nur funktionieren, wenn eine zentrale Instanz alles koordiniert, sind fragil und anfällig für Machtkonzentration. Das bedeutet nicht, dass Dezentralisierung immer besser ist, aber eine Architektur, die Dezentralisierung prinzipiell ausschließt, hat ein strukturelles Problem.

Das dritte Kriterium ist Kontextsensitivität. Architekturen, die Kontext ignorieren und überall dieselbe Lösung anwenden, stoßen regelmäßig an Grenzen. Gute Architekturen passen sich an ihre Umgebung an, statt ihre Umgebung an sich anzupassen.

Das vierte Kriterium ist Lernfähigkeit. Systeme, die nach ihrer Fertigstellung statisch bleiben, veralten. Gute Architekturen haben eingebaute Mechanismen für Anpassung und Evolution, ohne dass jede Änderung einen Neubau erfordert.

Diese Kriterien sind keine Checkliste für garantierten Erfolg. Sie sind Heuristiken, die helfen, vielversprechende Richtungen von wahrscheinlichen Sackgassen zu unterscheiden.

Warum dieses Center

Eine berechtigte Frage lautet, warum es das Center for Applied Complexity & Intelligence braucht, wenn es bereits etablierte Institutionen gibt, die sich mit Komplexität befassen. Das Santa Fe Institute erforscht komplexe Systeme seit Jahrzehnten. Das IIASA arbeitet an systemischen Fragen auf globaler Ebene. Universitäten haben Lehrstühle für Systemtheorie und Kybernetik.

Der Unterschied liegt im Fokus. Bestehende Institutionen produzieren überwiegend Grundlagenforschung und Publikationen. Sie analysieren Komplexität, aber sie intervenieren selten in stagnierende Systeme. Das Center versteht sich nicht als Alternative zu diesen Institutionen, sondern als Brücke zwischen Theorie und Praxis.

Die Frage ist nicht, ob Komplexitätswissenschaft existiert. Die Frage ist, warum sie die Systeme nicht erreicht, die sie transformieren könnte.

Für Unternehmen, die das Gefühl haben, dass ihre Systeme trotz kontinuierlicher Investitionen nicht besser werden, bietet das Center eine Perspektive jenseits der üblichen Optimierungslogik. Für Forschende, die an den Grenzen bestehender Paradigmen arbeiten und Resonanz suchen, bietet es ein Netzwerk von Gleichgesinnten. Für Institutionen, die wissen, dass der Status quo nicht nachhaltig ist, aber nicht wissen, wie sie ihn hinterfragen können, bietet es einen geschützten Raum für unkonventionelle Fragen.

Alle Wahrheit durchläuft drei Stufen: Zuerst wird sie lächerlich gemacht. Dann wird sie bekämpft. Und schließlich wird sie als selbstverständlich angenommen.

— Arthur Schopenhauer

Wenn wir falsch liegen

Es ist möglich, dass diese Analyse falsch ist. Das Center for Applied Complexity & Intelligence beansprucht keine Unfehlbarkeit, und es wäre intellektuell unredlich, die eigene Position als unangreifbar darzustellen.

Vielleicht sind manche der Paradigmen, die hier als stagnierend beschrieben werden, tatsächlich nahe an einem Optimum. Vielleicht ist die Von-Neumann-Architektur nicht deshalb dominant, weil die Wechselkosten zu hoch sind, sondern weil sie für die meisten Anwendungen schlicht die beste Lösung ist. Vielleicht sind zentrale Architekturen in vielen Bereichen unvermeidlich, weil Koordination ohne Hierarchie nicht skaliert. Vielleicht sind die Grenzen der Transformer keine architektonischen Sackgassen, sondern temporäre Hürden, die mit mehr Daten, mehr Rechenleistung und cleveren Engineering-Lösungen überwunden werden.

Das Center versteht diese Möglichkeiten nicht als Bedrohung, sondern als notwendigen Bestandteil ernsthafter Forschung. Unsere Arbeit zielt nicht darauf ab, recht zu behalten. Sie zielt darauf ab, systematische Blindstellen sichtbar zu machen, die der aktuelle Konsens übersieht oder verdrängt. Wenn sich bestehende Paradigmen als langfristig tragfähig erweisen, dann sollte diese Tragfähigkeit das Ergebnis kritischer Prüfung sein, nicht stillschweigender Akzeptanz.

Was wir mit Sicherheit sagen können, ist, dass die Fragen, die wir stellen, gestellt werden sollten. Ob die Antworten bestätigen, was wir vermuten, oder uns eines Besseren belehren, ist offen. Beide Ergebnisse wären Erkenntnisgewinn. Das Schlimmste wäre, die Fragen gar nicht erst zu stellen.

Die eigentliche Zukunft

Das Bild am Anfang dieses Papiers zeigt eine Zukunft, die nie kam. Fliegende Autos, Marskolonien, eine Welt voller technologischer Wunder. Man könnte das als Versagen deuten, als Scheitern an zu großen Versprechungen. Doch vielleicht ist das nicht der richtige Rahmen.

Die Visionen des 20. Jahrhunderts waren Extrapolationen des Bestehenden. Fliegende Autos sind optimierte Autos. Marskolonien sind optimierte Kolonien. Größere Raketen, schnellere Flugzeuge, leistungsfähigere Computer, das alles bewegt sich innerhalb der bestehenden Paradigmen. Die Vorstellung war, dass die Zukunft so sein würde wie die Gegenwart, nur mehr davon. Schneller, größer, weiter.

Vielleicht war das die falsche Vorstellung. Vielleicht liegt die eigentliche Zukunft nicht in optimierten Versionen des Bestehenden, sondern in fundamental anderen Architekturen. Nicht in Autos, die fliegen, sondern in Mobilitätssystemen, die sich selbst organisieren. Nicht in Kraftwerken, die größer sind, sondern in Energienetzen, die dezentral balancieren. Nicht in KI-Modellen, die mehr Parameter haben, sondern in Systemen, die tatsächlich lernen.

Das Center for Applied Complexity & Intelligence arbeitet an dieser anderen Zukunft. Nicht durch das Entwerfen utopischer Visionen, sondern durch das Verstehen der Prinzipien, die solche Systeme ermöglichen. Die Arbeit ist langsam, weil echte Paradigmenwechsel langsam sind. Sie erfordert Geduld, weil neue Architekturen nicht über Nacht entstehen. Aber sie ist notwendig, weil die Optimierung innerhalb der bestehenden Paradigmen an ihre Grenzen gestoßen ist.

Wir arbeiten dort, wo Fortschritt seit Jahrzehnten stehengeblieben ist,
und entwickeln neue Prinzipien für echte Durchbrüche.

complexity-intelligence.org · contact@complexity-intelligence.org

Quellen und weiterführende Literatur

Die in diesem Papier präsentierten Argumente und Daten stützen sich auf eine Reihe von Quellen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Journalismus. Die folgende Zusammenstellung bietet Hinweise für vertiefende Lektüre.

Zur These der technologischen Stagnation

Tyler Cowen entwickelte die These der „Great Stagnation“ in seinem gleichnamigen Buch aus dem Jahr 2011. Das Werk argumentiert, dass die amerikanische Wirtschaft seit etwa 1973 die leicht erreichbaren Früchte technologischen Fortschritts weitgehend abgeerntet hat. Das Buch ist erhältlich über den Mercatus Center der George Mason University.

Peter Thiel formulierte seine Kritik an der technologischen Entwicklung unter anderem in Vorträgen an der Yale School of Management und in dem Manifest „What Happened to the Future?“ des Founders Fund. Der oft zitierte Satz über fliegende Autos und 140 Zeichen stammt aus diesem Kontext.

Das American Enterprise Institute hat die Debatte über technologische Stagnation in mehreren Artikeln aufgegriffen, darunter „Social and Physical Theories of Technological Stagnation“ und Interviews mit Tyler Cowen über den aktuellen Stand der Diskussion.

Zu Energienetzen und Infrastruktur

Die Internationale Energieagentur veröffentlicht regelmäßig Berichte zur globalen Energieinfrastruktur. Der Bericht „Electricity Grids and Secure Energy Transitions“ enthält detaillierte Analysen zum Alter und Zustand der globalen Netzinfrastuktur sowie zu den notwendigen Investitionen.

Das Council on Foreign Relations bietet mit dem Backgrounder „How Does the U.S. Power Grid Work?“ eine zugängliche Einführung in die Struktur und Geschichte des amerikanischen Stromnetzes.

Das World Economic Forum veröffentlicht jährlich den Bericht „Fostering Effective Energy Transition“, der den Stand der globalen Energiewende und die Rolle der Netzinfrastuktur analysiert.

Zur Stagnation in der Luftfahrt

Simple Flying und andere Luftfahrtpublikationen haben mehrere Artikel zur Frage veröffentlicht, warum kommerzielle Flugzeuge heute langsamer fliegen als in den 1960er Jahren. Die MIT-Fakultät für Aeronautik und Astronautik hat technische Erklärungen zu den Zusammenhängen zwischen Geschwindigkeit, Widerstand und Treibstoffverbrauch bereitgestellt.

Zur Produktivität im Bauwesen

Das National Bureau of Economic Research hat mehrere Arbeitspapiere zur Stagnation der Bauproduktivität veröffentlicht, darunter „The Strange and Awful Path of Productivity in the U.S. Construction Sector“. Die Harvard Business School hat mit „Why Has Construction Productivity Stagnated?“ (Working Paper 25-027) eine aktuelle Analyse vorgelegt.

Die Federal Reserve Bank of Richmond bietet mit „Five Decades of Decline: U.S. Construction Sector Productivity“ (Economic Brief 25-31) eine wirtschaftshistorische Perspektive.

Zur Antibiotika-Krise

Die Wellcome Trust Foundation hat umfangreiche Materialien zur Frage veröffentlicht, warum die Entwicklung neuer Antibiotika so schwierig geworden ist. Die ReAct Group, ein internationales Netzwerk zur Bekämpfung von Antibiotikaresistenzen, bietet ebenfalls detaillierte Analysen.

Die American Medical Association hat im Journal of Ethics einen Artikel zur Sozialgeschichte der Antibiotika-Ära veröffentlicht, der die „goldene Ära“ der Antibiotika-Entdeckung historisch einordnet.

Zur Kernenergie

Die Wikipedia-Artikel zu Generation II, III und IV Reaktoren bieten einen Überblick über die technologische Entwicklung der Nuklearindustrie. Das Generation IV International Forum veröffentlicht Informationen zu zukünftigen Reaktorkonzepten.

Eine akademische Analyse der Stagnation in der Nuklearindustrie findet sich in dem Artikel „Destined for decline? Examining nuclear energy from a technological innovation systems perspective“ in der Zeitschrift Science Direct.

Zur Stagnation im Bildungswesen

Der Blog Education Rickshaw hat mit „After 100 Years of the Same Teaching Model It's Time to Throw Out the Playbook“ eine pointierte Kritik an der Persistenz traditioneller Unterrichtsformen veröffentlicht.

Kappan Online bietet mit „Educating students for an outdated world“ eine Analyse der strukturellen Trägheit im Bildungssystem.

Zum Rückschritt im Gewand des Fortschritts

Die Berichterstattung über BMWs Abonnementmodell für Sitzheizung ist umfangreich dokumentiert. Edmunds, The Drive und Carbuzz haben die Kontroverse und BMWs spätere Kehrtwende ausführlich analysiert. Der Consumer Rights Wiki führt eine Zusammenfassung der Ereignisse.

Die Probleme mit Tesla Software Updates wurden von The Drive und dem Tesla Motors Club dokumentiert. Die Berichte über „gebrückte“ Cybertrucks stammen aus

dem Dezember 2024 und wurden von Top Speed und anderen Automobilpublikationen aufgegriffen.

Die Klage der Federal Trade Commission gegen John Deere wurde im Januar 2025 eingereicht. Die FTC hat eine Pressemitteilung veröffentlicht, die die Vorwürfe zusammenfasst. Die U.S. Public Interest Research Group führt eine chronologische Dokumentation des „Right to Repair“ Konflikts mit John Deere seit 2015. NPR und NBC News haben über die Klage und ihre Hintergründe berichtet.

Zur Druckerindustrie und DRM hat Techdirt, Vice und The Register ausführlich berichtet. Die Geschichte von Canons DRM Umgehungsanleitung während des Chipmangels 2022 wurde von Gizmodo und anderen dokumentiert. Die Cool Products Initiative der EU hat einen Bericht über die Umweltauswirkungen der DRM Praktiken in der Druckerindustrie veröffentlicht.

Die norwegische Langzeitstudie zur Lebensdauer von Haushaltsgeräten wurde 2025 von Norwegian SciTech News vorgestellt. Das Original erschien in einer akademischen Publikation und unterscheidet zwischen verschiedenen Gerätetypen, was die undifferenzierte These der „geplanten Obsoleszenz“ nuanciert.

Cory Doctorows Konzept der „Enshittification“ wurde in seinem gleichnamigen Buch entwickelt, das 2025 bei Verso Books erschienen ist. Die American Dialect Society wählte den Begriff zum Wort des Jahres 2023. Washington Monthly, Current Affairs und andere Publikationen haben Doctorows Thesen ausführlich besprochen.

Zu den theoretischen Grundlagen

Donella Meadows' „Thinking in Systems“ bietet eine Einführung in systemisches Denken und das Konzept der Leverage Points. Stafford Beer entwickelte in „Brain of the Firm“ die Idee der Organisation als kybernetisches System. Nassim Talebs „Antifragile“ analysiert Systeme, die unter Stress stärker werden. W. Ross Ashbys „Introduction to Cybernetics“ legt die theoretischen Grundlagen für das Verständnis von Varietät, Regulation und Adaptivität.

Urheberrecht und Lizenz

© 2026 Center for Applied Complexity & Intelligence

Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Namensnennung, Nicht kommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0).

Sie dürfen das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten sowie das Material remixen, verändern und darauf aufbauen, solange Sie folgende Bedingungen einhalten: Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen. Wenn Sie das Material remixen, verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

Vollständiger Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>