

Digitalgespräch Folge 31

Biochemie trifft Informatik: Wie man digitale Daten in DNA speichern kann

Mit Robert Grass von der ETH Zürich, 20. Dezember 2022

<https://zevedi.de/digitalgespraech-031-robert-grass/>

[Der Vorspann mit Musik und Ausschnitten aus dem Gespräch beginnt.]

Marlene Görger [mg]: Herr Grass, Sie forschen und lehren an der ETH Zürich, am Departement Chemie und angewandte Biowissenschaften. Einer der Schwerpunkte Ihrer Arbeit ist die Entwicklung von Methoden, DNA zu einem einsatzfähigen Speichermedium zu machen.

Robert Grass [Grass]: Die Idee, die Werkzeuge, die die Biologie verwendet, Daten aufzubewahren oder weiterzureichen, auszuleihen, um digitale Daten zu speichern. Diese Idee ist so alt wie die Feststellung, wie DNA funktioniert. Einer der großen Vorzüge, die DNA als Speichermedien hat, ist die Kompaktheit als Datenträger. 500 Millionen Terabyte Daten in einem Gramm. Wir wollen uns aber auch damit beschäftigen: Was kann denn DNA noch? Wir stehen als Speichermedium anders als alle andere Speichermedien.

Petra Gehring [pgg]: Ist das auch noch eine mögliche Variante der Nutzung der DNA? Also im lebenden Organismus zu konservieren und zu speichern?

[Grass]: Wenn wir nur digitale Sachen haben, können wir nichts damit anfangen. Wir brauchen analogen Zugang dazu.

[Der Vorspann endet, das Gespräch beginnt.]

[mg]: Wir wissen viel mehr über die Geschichte unserer Kulturen, über das Leben, Denken und Handeln früherer Menschen, als die mündliche Überlieferung enthält. Das verdanken wir Artefakten, in denen Fragmente der Vergangenheit bewahrt sind. Und auch Rechtsprechung, Bürokratie, Wissenschaft oder Kunst bauen auf die verlässliche Integrität archivierter Bestände. Ganze Berufszweige dienen dem systematischen Aufbewahren und der Pflege solcher wert- und informationshaltiger Dinge. Dabei ist auch Papier ein sehr haltbarer Datenträger. Die Digitalität aber kennt bisher keine Medien der Langzeitspeicherung. Dinge, die nur im Digitalen vorliegen, seien es Dokumente, Emails oder Kunstwerke, sind, wenn sie nicht regelmäßig von Speichermedium zu Speichermedium umgezogen werden, früher oder später einfach aus der Welt verschwunden. Offensichtlich ist das ein Problem für die Informationsgesellschaft, in der immer mehr Prozesse rein digital ablaufen. Es fehlt Archivierung und so werden verschiedene Ansätze verfolgt, dieses Problem mit neuen Speichermedien zu lösen, die der Steinplatte oder dem Pergament in Sachen Langlebigkeit um nichts nachstehen. Einer dieser Ansätze dreht sich um eine Substanz, die die meisten von uns wohl eher mit dem Biologieunterricht oder Krimis verbinden als mit der Informatik. Der Desoxyribonukleinsäure. Gut, dass im Alltag das kurze DNS oder die englische Abkürzung DNA ausreicht. Wir alle wissen, dass sie in der Forensik oder bei medizinischer Diagnostik eine wichtige Rolle spielt, und kennen ihre Bedeutung für Fortpflanzungsprozesse in der Natur. In archäologischen Funden ist DNA über viele Jahrtausende stabil. Expertinnen können sie auch sehr lange nach dem Tod eines Lebewesens noch aus fossilen Überresten extrahieren und analysieren.

Kurzum: Wir kennen DNA als stabile Trägerin von Erbinformationen. In der Sprache der Informatik, die in der digitalen Gesellschaft ein Stück weit zur Alltagssprache geworden ist, würden wir vielleicht auch sagen: DNA enthält Daten wie ein Speichermedium, die wir auslesen und interpretieren können. Können wir diese Daten dann nicht nur aus DNA auslesen, sondern auch in DNA schreiben? Wie geht das technisch? Und was müssten wir tun, damit unsere in DNA festgehaltenen Informationen auch lange Zeit nutzbar und verstehbar bleiben? Darüber wollen wir heute im Digitalgespräch reden. Wir, das bin zum einen ich, Marlene Görger. Ich bin Physikerin und Technikphilosophin und arbeite am Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung.

[pgg]: Und mein Name ist Petra Gehring. Ich bin Professorin für Philosophie an der TU Darmstadt. Bei uns im Digitalgespräch ist heute Professor Dr. Robert Grass aus Zürich. Willkommen, Herr Grass! Schön, dass Sie heute im ZEVEDI-Podcast dabei sind.

[Grass]: Ja, Grüß Gott. Besten Dank für die Einladung.

[mg]: Herr Grass, Sie forschen und lehren an der ETH Zürich, am Departement Chemie und angewandte Biowissenschaften. Einer der Schwerpunkte Ihrer Arbeit ist die Entwicklung von Methoden, DNA zu einem einsatzfähigen Speichermedium zu machen. Gemeinsam mit Ihrem Kollegen Wendelin Stark haben Sie ein Verfahren entwickelt, DNA dauerhaft in Glaskügelchen aufzubewahren. Dafür erhielten Sie beide 2021 den Europäischen Erfinderpreis. Sie müssen uns heute ganz genau erklären, wie das funktioniert und warum der Schritt mit dem Glas so wichtig war. Aber zunächst würde ich gern ganz von vorn anfangen. Warum ist es so schwierig, digitale Daten lange aufzubewahren?

[Grass]: Ja, eine schwierige Frage am Anfang. Die Werkzeuge, die wir haben, um Daten zu speichern, sind nie gemacht oder angedacht worden für Langzeitspeicherung. Sie haben am Anfang schon das Beispiel mit dem Papier gebracht, das so lange haltbar ist. Es ist auch dort wahrscheinlich so, dass das eher zufällig ist, dass die Haltbarkeit so lange ist, und dass wir sozusagen Glück haben, so Informationen zu haben aus unserer Vergangenheit. Und in digitalen Daten ist der Bedarf in der Vergangenheit gar nicht so groß gewesen. Es ist mehr darum gegangen: Wie kann ich mein Worddokument, das ich heute schreibe, nächste Woche oder in einem Jahr wieder aufrufen? Dadurch, dass sich alles mehr und mehr aufs Digitale verschoben hat, muss man sich erst mit der Zeit, wenn man gar kein Papier mehr hat, damit auseinandersetzen: Ja, wie ist das jetzt eigentlich, einen direkten Bezug zu haben über eigene Fotos, die man hat? Oder man hat von den Großeltern oder vielleicht Urgroßeltern, schwarz-weiß Fotos, die sehr, sehr, sehr lang haltbar sind. Aber nehmen wir das eigene, was weiß ich, Hochzeitsfoto, das irgendwo vielleicht nur digital vorliegt. Oder wir speichern das für uns und sind uns sicher in unserem Gebrauch über die nächsten Jahre, dass das da sein wird. Irgendwie haben wir Vertrauen in diese digitalen Medien, aber wenn wir uns genauer überlegen, ist das wahrscheinlich gar nicht so. Viele haben schon Daten verloren und es ist sehr unsicher, wie wir garantieren können, dass das sozusagen am Ende unseres Lebens nur da ist, und geschweige denn zwei, drei Generationen weiter zur Verfügung steht, um das anschauen zu können. Und es ist wie dieser Transfer von immer mehr digital, dass man sich jetzt wirklich mehr und mehr damit beschäftigen will und muss: Wie speichern wir die Sachen überhaupt?

[mg]: Wie dringend ist das denn? Wie dringend brauchen wir denn digitale Langzeitmedien?

[Grass]: Es hat verschiedene Aspekte von dem. Es hat sozusagen einen echten Bedarf, einen technischen, wirtschaftlichen Bedarf, den es gibt. Alle Firmen gehen mehr und mehr digital, es gibt Rezepte, Kundenkarteien, die wichtig sind und die im Wert von Unternehmen drin sind. Es gibt für pharmazeutische Produzenten zum Beispiel die Verpflichtung, Daten lang aufzubewahren. Und dort gibt es sozusagen den ersten Bedarf. Diese Geschichte vom Coca-Cola-Rezept zum Beispiel ist eigentlich ganz schön. Die ist auf Papier irgendwo aufgeschrieben und in einem Safe. Und wenn wir jetzt ins Digitale gehen, wie wird denn das digital ausschauen? Wie würde man sozusagen sicherstellen, dass sozusagen Milliardenwert, zumindest mythisch Milliardenwert sind in diesem Rezept drin: Wie kann man das im Digitalen sozusagen machen? Das ist sozusagen der rein wirtschaftliche Bedarf, der sich jetzt mehr und mehr ergibt. Das ist noch nett über Tausende Jahre, und dann gibt es den kulturellen Bedarf. Das ist viel schwieriger festzuhalten. Wie ist jetzt genau der kulturelle Bedarf nach Langzeitspeicherung, weil da ist weniger, dass man sozusagen jemand hat, der sagt: Ich bin bereit, so viel Geld dafür zu zahlen, etwas für die wirklich Zukunft aufzubewahren. Und auch da, wieder zurück zu dem Beispiel mit dem Papier, Bücher und das Kopieren von Büchern, zum Beispiel durch die Mönche. Das war wahrscheinlich damals auch nicht das Ziel, sondern es ist mehr Informationsverteilungs- als sozusagen das Archivierungsziel, und die Absicht, für die Zukunft Daten aufzubewahren, als Kultur, ist was Schwieriges, das sozusagen zu machen. Natürlich, es gibt Museen, die machen das. Die beschäftigen sich natürlich mit dem Thema: Wie kann ich das langfristig aufbewahren? Wie kann ich viele digitale Daten langfristig aufbewahren? Das ist etwas, das merken wir. Da gibt es immer wieder Anfragen. Wir sehen das im Verspielten vielleicht ein bisschen im Moment, dass Künstler sich damit auseinandersetzen. Wie kann ich sicherstellen, dass meine Kunst lang haltbar ist? Aber auch Museen, die sehr digital arbeiten oder Archive. Als Beispiel aus meinem Näheren geografischen Umfeld: Das Montreux Jazz Festival, das all ihre Aufnahmen sozusagen digital speichert. Und die haben da Bandlaufwerke und speichern das und übertragen das oder versuchen sicherzustellen, dass das sozusagen wirklich für die Zukunft aufbewahrbar ist. Und dort stellt sich dann wirklich bald die Frage: Was ist das beste Werkzeug, das es im Moment gibt, das zu machen? Und da sind wir dann wirklich an der Schnittstelle zu speichern von Kulturgut im Widerspruch zu rein wirtschaftlichen Ansprüchen, so etwas aufzubewahren.

[pgg]: Dann hat diese Problemstellung irgendwann den Sprung gemacht in die, in die Biochemie, in die Biologie hinein. Das ist ja schon ein großer Sprung. Wie ist das passiert? Und ist die Biologie/Biochemie jetzt das einzige Feld, in dem so krass experimentiert wird mit ganz neuen Ideen?

[Grass]: Ja, ja, beides und alles von dem. Man darf sich das auch nicht so als Sprung überlegen. Ich bin Chemiker und ich beschäftige mich hauptsächlich mit Chemie. Und wir schauen dann: Wo ist denn der Platz, den Chemie oder der Werkzeuge, die die Chemie hat, in unserer Gesellschaft? Und die Idee, Biologie oder die Werkzeuge, die die Biologie verwendet, Daten aufzubewahren oder weiterzureichen, oder über die Genetik usw., diese zu verwenden oder auszuleihen, um digitale Daten zu speichern. Diese Idee ist so alt wie die Feststellung, wie DNA funktioniert. Also sobald man sozusagen herausgefunden hat, wie denn DNA funktioniert im Biologischen, kamen sehr bald die Ideen dazu oder das Interesse oder die Analogie, die sich daraus ergibt. Die Analogie ist auch ganz spannend eigentlich, weil das digitale Werkzeug, die Idee, dass es sinnvoll ist, Daten zu speichern, als Abfolge von einer langen Zeichenkette von

sozusagen zwei Zeichen – null und eins in dem Fall – diese Idee ist irgendwie um die Jahrhundertwende wirklich aufgekommen und dann hat es Theorie dazu gegeben und erst später, in sozusagen dieser Abfolge, hat man gelernt, wie die Biologie das macht, und festgestellt, dass die Biologie das eigentlich genau gleich macht. Wie Daten in der DNA gespeichert, genau gleich: Eine Abfolge von Zeichen, einer ganz, ganz lange Abfolge von Zeichen, in denen die Daten gespeichert sind. Und der einzige Unterschied ist, dass man halt vier verschiedene Zeichen haben. Wir haben in der DNA diese vier Basenbausteine A, C, T und G, und in deren Abfolge sind die biologischen Daten gespeichert. Und wenn man jetzt sozusagen sich in die Zeit zurücksetzt in die 60er und sagt: Okay, sozusagen die digitale Welt oder auch das Alphabet und wie wir schreiben in dieser Abfolge – und die Biologie macht das genau gleich. Dann ist sozusagen der Übersprung dort ist relativ naheliegend, würde ich sagen.

[pgg]: Wenn ich kurz fragen darf. Trotzdem erstmal stellt man sich vor die DNA, also das Erbgut, das reproduziert sich selber und ist auch wahnsinnig klein und eben wahnsinnig lebendig und so was wie ein Schreiben in die DNA hinein. Da fragt man sich ja, was ist der Schreibkopf?

[Grass]: Auf jeden Fall. Auf jeden Fall. Und das ist weiterhin die größte Schwierigkeit, die wir haben: Was ist der Schreibkopf? Weil die Idee, dass man DNA verändern will, ist auch schon sehr alt. Oder auch mit allen medizinischen Aspekten, die das haben könnte, wenn wir die Möglichkeit hätten, biologische DNA zu verändern, wäre das auch sehr, sehr wertvoll. Und wenn man sich das im Detail anschaut, in der Biologie: Die Biologie schreibt nie DNA, das passiert nie, es wird nur Information kopiert. Im Vererbungsprozess wird von zwei Eltern sozusagen zufälligerweise jeweils das Teil ausgewählt und das wird sozusagen weitervererbt. Nur durch Kopieprozesse. Es gibt sozusagen Fehlerprozesse, die passieren aber, das sind zufällige Veränderungen, aber es gibt nie ein aktives Schreiben. Aber wenn wir jetzt in die Chemie gehen: In der Chemie haben wir immer den Anspruch, die Biologie nachstellen zu wollen. Alle Moleküle, irgendwelche Extrakte aus Bäumen oder aus Pflanzen, das war sozusagen immer der Anspruch der Chemie, diese Moleküle nachstellen zu können. Und genauso ist es mit der DNA, wo man herausgefunden hat, wie das aussieht, kommen sehr schnell Chemiker und sagen: Wir müssen das auch chemisch herstellen können. Und da hat sich in der Chemie ein ganzer Forschungsbereich oder Teil der organischen Synthese damit beschäftigt: Was sind gute Methoden, um DNA zu synthetisieren, umhergehen zu können und sozusagen einzelne Stränge dieser DNA zu machen? Und diese Stränge, die haben heutzutage sehr viel und sehr weitreichende Anwendungen. Also die DNA-Synthese als Werkzeug ist ja ein sehr alltägliches Werkzeug in unserer Welt, vor allem in der medizinischen Welt. Langfristig für die letzten Jahrzehnte eine sehr wichtige Anwendung war in der Analytik, in der Detektion. Es gibt diese ganzen molekularbiologischen Methoden, um sozusagen gewisse Gene nachzuweisen oder Bausteine oder Viren, oder das kennen wir heutzutage alle mehr. Durch die Coronapandemie sind wir alle ein, wie soll man sagen, mehr ausgebildet worden auf biochemischer Analytik. Da gibt es die PCR, mit der man sehr genau genetische Eigenschaften auslösen kann. Und um PCR machen zu können, muss sie ein kleines, ganz kleines Stück DNA haben. Das Gleiche wie das Molekül, das sie messen will. Und dazu muss sie das synthetisieren können. Und das war jetzt ein großer Treiber dazu, Synthese machen zu können. Also wirklich chemische Synthese von beliebigen DNA-Molekülen, das ich sagen kann: Ich kann jede Abfolge chemisch herstellen. Und in der Schweiz gibts eine Firma, die macht das als Dienstleistung für die ganze Wissenschaft und Analytikfirmen. Es gibt überall auf der Welt verteilt Firmen, die das zur Verfügung

stellen, und das ist auch so interessant verteilt, weil man braucht das relativ schnell. Wenn ich jetzt Analytik heute machen will, möchte ich das bestellen, und das habe ich dann morgen, sozusagen diesen DNA-Strang, und kann die Analytik machen. Und das hat einen digitalen Aspekt irgendwie in der Biologie.

[pgg]: Ich frage noch mal kurz nach. Der Schreibkopf ist eigentlich eine Art, ich denke jetzt irgendwie an einen Spritzkopf oder vielleicht ein Druckvorgang oder so, aber es wird im Grunde die DNA produziert?

[Grass]: Richtig. Genau. Die Idee mit dem Druckkopf ist sogar zum Teil richtig. Also man kann sich das ganz chemisch vorstellen. Wie als so das Gefäß, in dem Flüssigkeit drin ist, und da werden verschiedene Chemikalien nach und nach dazugegeben. Das ist eigentlich richtig, diese Idee, nur dass das dann im mikroskopisch Kleinen stattfindet. Diese Technologie hat sich sozusagen von dem Chemiker, der an sich ja so angefangen hat, weiterentwickelt, dass das im ganz Mikroskopischen gemacht werden kann. Und heutzutage sind die Reaktoren, imaginären Reaktoren, so klein, dass die mit einem Tintenstrahldrucker gedruckt werden. Sozusagen wird die Chemikalie per Tintenstrahldrucker an einen kleinen Punkt hinzugegeben, damit an diesem Punkt eine gewisse Base eingebaut wird in die DNA. Und so ist die Vorstellung eigentlich ganz richtig, die Sie da haben.

[mg]: Das heißt, wenn man das jetzt noch mal vergleicht mit dem Binärcode, den wir sozusagen kennen, aus dem Digitalen, da wird eine Null geschrieben, dann wird eine eins geschrieben, dann wird eine Null geschrieben. Bei der DNA ist es so, dass man vorher im Grunde schon weiß, wie das Molekül aussehen soll, und das dann zusammensetzt, also nicht sozusagen linear aufbaut, so wie man diese Zeichenketten Einsen und Nullen kennt, sondern man baut das ganze Molekül aus dem ganzen Raum auf. Kann man sich das so vorstellen?

[Grass]: Nein, nein, gar nicht. Das ist genau so, das ist auch linear. Die DNA ist ja lineares, langes, lineares Molekül mit so irgendeiner Abfolge. Und das wird auch so synthetisiert. Und dass man sich das chemisch wie vorstellen kann? Das ist ein langes DNA-Molekül und in diesem Gefäß, um zu ermöglichen, dass das ein langes definiertes Molekül ist, wird ein Ende davon an einen Festkörper gebunden. Also man hat wie eine Oberfläche, an die wird sozusagen der Kopf gebunden, und dann werden auf dem Nach und Nach diese Basen dazugegeben und die hängen sich an diese Kette an. Bisschen wie ein Lego Turm bauen, aus verschiedenen Farben. Die fangen irgendwo auf der Oberfläche an und setzen dann sozusagen diese verschiedenen Bausteine aneinander. Und das ist relativ komplizierte Technologie. Aber eben durch den Bedarf, den es aus der Medizin gibt, gibt es halt automatisierte Methoden, um das sozusagen in einem relativ großen Stil durchführen zu können.

[pgg]: Die nächste Frage, die sich wahrscheinlich anschließt, ist: Wie stabil ist das Ganze dann? Also nehmen wir mal an, das ist jetzt so eine Legokette oder irgendwie so eine Schnur, also eine biochemische. Wenn sie jetzt Daten nachhaltig speichern soll, ist ja wahrscheinlich wichtig, dass sie genauso bleibt?

[Grass]: Richtig. Das ist ein Problem in dem. Also wenn man die Geschichte von dem anschaut, was wir im Moment machen, Daten in DNA speichern, ist es immer ein wichtiger Treiber dahinter gewesen. Und da sieht man auch ganz klar die Digitalisierung von Biologie. Nick Goldman, der forscht in England, der war eine der

ersten, die das so in den letzten zehn Jahren wieder aufgenommen hat: DNA in Daten speichern. Und er arbeitet in der Digitalisierung der Biologie. Also er arbeitet am Forschungsinstitut, die messen Genome und speichern sie auf Festplatten. Er ist an der Schnittstelle aber in die andere Richtung gewesen und hat sich gedacht: Das ist ja eigentlich bescheuert. Wir haben all diese biologische Information, die ist stabil und gut in der Biologie, und wir gehen jetzt als Dienstleister her (oder als Forschungsinstitut) und speichern das auf Festplatten. Mit dem Ziel, dass die ganze Welt darauf suchen kann und verschiedene Biologie verstehen kann dadurch. Und er ist dann hergegangen, als erster in den letzten zehn Jahren, und hat das wieder umgedreht und gesagt: Wieso gehen wir nicht her und gehen von dem Digitalen in das Biologische? Was denn aber gefehlt hat, in dem, war, genau wie Sie sagen, die Beschäftigung damit: Wie stabil ist das eigentlich? Die erste Idee ist dann immer: Ja, DNA ist unglaublich stabil. Aus Fossilien können wir DNA herausnehmen, über Hunderttausende von Jahren. Und wir bekommen dort immer noch Informationen. Allerdings, wenn Sie mit jemand in einem Biologielabor sich unterhalten, wie lang er denn seine DN-Proben, die er hat, oder seine gekaufte DNA, die er hat, wie er die aufbewahren würde, würde der Ihnen antworten: Das muss als -80 und das ist eine empfindliche Angelegenheit. Wir tragen dem sehr viel Sorge, der DNA, die wir im Labor haben. Weil die geht mit der Zeit kaputt. Und das ist irgendwie ein Widerspruch, weil so in unserer Biologie, die sozusagen alltäglich damit zu tun haben, DNA als etwas nicht extrem Stabiles ansehen und auf dieser fossilen Welt schon. Das hat uns motiviert, zu schauen: Woran liegt es eigentlich? Wieso gibt es eigentlich diesen Unterschied? Ich finde auch diesen Film Jurassic Park extrem spannend. Das ist ja ein Film, der sehr nahe dran ist an dem, was technisch möglich ist, und dann ein bisschen dazufantasiert. Diese Idee des Fossils wird dort sehr schön gezeigt, auch wenn es nicht realistisch ist. Weil dort wird gezeigt, dass DNA extrahiert wird aus Mücken in Bernstein. Jetzt ist es aber so, dass im Bernstein noch nie DNA gefunden wurde, weil die sind viel zu alt und die sind durch relativ heiße Prozesse gebildet worden. Aber die Idee ist richtig. Das Fossil schützt das, was drinnen ist, vor Zerfall. Es ist vielleicht gar nicht die DNA, die unglaublich stabil ist, sondern es ist, wie das Fossil, aus dem die DNA gewonnen wird, das diese Stabilität bringt, oder die zwei Sachen miteinander. Und wenn man sich dann unterhält mit Forschenden, dann sage ich: Wir können DNA am besten extrahieren aus Zähnen und ganz harten Knochen. Und dann gibt es irgendeinen ganz besonderen Knochen innen im Ohr. Das ist der dichteste Knochen, den es gibt. Dort bekommen wir am meisten DNA raus, sozusagen dann, wenn wir einfach so Knochen finden irgendwo, ist die Wahrscheinlichkeit relativ klein, dass wir was herausfinden. Und dort sieht man dann schon die Wichtigkeit dessen, in was die DNA eingeschlossen ist. Zu dieser wirklich langen Haltbarkeit braucht es diesen Einschluss in etwas Festes, in dem das haltbar ist. Und wir haben dann probiert, so etwas künstlich herzustellen. Und der Anspruch am Anfang war gar nicht langfristig von reiner Umwelthaltbarkeit, dass wir aus dem Kühlschrank und Tiefkühler aus dem Labor DNA herausnehmen können und als alltägliches Werkzeug zugänglich machen. Und dazu muss es in der Natur oder Umwelt muss das eine gewisse Stabilität haben. Das war wirklich unser Ziel.

[mg]: Ich habe es ja schon verraten: Sie haben das jetzt mit Glas realisiert. Gab es andere Kandidaten?

[Grass]: Ja, es gab auf jeden Fall andere Kandidaten. Wir haben eigentlich mit vielen verschiedenen Kandidaten gespielt. Eins war wie künstlicher Bernstein, der war eigentlich das Interessante. Vorher haben wir ja gesagt: Chemiker versuchen immer,

die Biologie nachzustellen. Aber Bernstein können wir eigentlich nicht synthetisieren. Das lässt sich nur durch einen ganz langsamen Prozess, es gibt keinen schnellen Weg, Bernstein herzustellen. Und dann habe ich auch vorher gesagt: Man hat noch nie DNA in Bernstein gefunden. Wir haben sehr viel mit Knochenmark gearbeitet, mit Kalziumphosphaten. Kalziumphosphate sind so der inorganische Anteil von Knochen. Da arbeitet man weiterhin damit als Alternative zu dem Glas für gewisse Anwendungen. Und dann Glas. Und die Wahl von Glas ist aus chemischer Sicht nicht so weit hergeholt, weil Glas eines der stabilsten Materialien ist, die wir kennen, vor allem als Chemiker. Wir bewahren all unsere Chemikalien in Glas auf. Das reagiert halt mit Nichts. Das ist wirklich stabil. Es gibt ganz wenig Chemikalien, die nicht in Glas gelagert werden können, aber die können Sie an einer Hand abzählen. Unsere Chemikalienschränke sind voller Glasflaschen. Und somit ist es was ganz Stabiles.

[pgg]: Nur kurz nachgefragt. Ich stell mir jetzt vor, Glasproduktion wird doch auch heiß? Ist das nicht schädlich für Eiweißmoleküle?

[Grass]: Sehr, sehr für alle Arten der Moleküle, und das Glas wird ja bei 500-600 Grad prozessiert. Und der Hintergrund so wissenschaftlich technisch ist aus der Nanotechnologie, und in der Nanotechnologie ist Glas ein relativ wichtiges Produkt, und zwar amorphes Siliziumdioxid. Das ist in Autoreifen drin, das ist ein Zusatzstoff für verschiedene alltägliche Produkte. Es gibt kleine, ganz, ganz mikroskopisch kleine Glaspartikel, und es gibt einen chemischen Weg, Glas zu synthetisieren, der in dieser Welt entstanden ist. Und das ist wie ein Polymerisationsprozess – also Polymere werden ja hergestellt, in dem kleine Moleküle aneinanderekettet werden. Aber das gibt es nicht nur für Polymere, für organische Materialien, das gibt es auch für ganz ausgewählte inorganische Materialien und Glas ist eben so eins. Das heißt Stöberprozess. Da hat man metallorganische Vorläufersubstanz, die schaut aus wie ein Glasmolekül. Das wäre Silizium mit vier Sauerstoffen, und dran hängt ein kleiner organischer Rest. Wenn ich Wasser zu dem dazu gebe, fällt der organische Teil weg und diese Glasmoleküle reagieren miteinander, um sozusagen Glas zu werden.

[pgg]: Das heißt, ich kann kalt Glas herstellen?

[Grass]: Richtig, Sie können kalt und vor allem in Wasser Glas herstellen, weil DNA fast nur in Wasser überhaupt behandelbar oder chemisch zugänglich. Und das ist was fast Einzigartiges auch mit Glas. Das können Sie mit ganz wenig anderen Keramiken, können Sie das so einfach machen wie mit Glas. Das heißt, für uns ist es relativ naheliegend, Glas bei Raumtemperatur herzustellen. Ich meine, man kann mit dem keine Fensterscheibe machen, aber für uns in unserer Anwendung reicht es aus, wenn wir nur ein paar Nanometer Glas über die DNA gestülpt haben. Das Problem, wieso DNA so empfindlich ist, ist vor allem die Reaktion mit Wasser. Also die DNA reagiert mit Wassermolekülen und zerfällt dann, und wenn wir das Wasser weghalten können, und zwar nicht nur nasses Wasser, sondern auch Umgebungsfeuchte von dem DNA-Molekül weghalten können, indem wir es mit einer ganz dünnen Glasschicht überziehen, dann gibt es dem Stabilität, die sehr vergleichbar ist zu der Stabilität, die DNA in diesen fossilen Funden in Knochen hat.

[mg]: Das heißt, das, was man dann am Ende erhält, wo die Informationen oder die Daten drauf gespeichert sind, ist einfach ein winziges Kügelchen?

[Grass]: Genau.

[mg]: Wie kommt man denn dann wieder dran?

[Grass]: Ja, ja, ja, genau. Die Vorstellung für uns ist anders. Was wir haben, ist ein Pulver. Wir arbeiten mit einem Topf oder mit einem kleinen Gefäß. In dem sind vielleicht Millionen oder Milliarden von DNA-Molekülen drin. Und die werden sozusagen in kleine Glaskügelchen eingepackt. So vielleicht 1000 oder 10.000 in ein Kügelchen. Aber wir haben nie das Werkzeug, wo wir hergehen können und eines von den Kügelchen aussuchen, weil es gibt keine Pinzette, mit der das möglich ist. Wir haben das als Pulver oder als Pool von Information. In einem kleinen, das ist ein sehr unscheinbares, kleines Stückchen Pulver, das Glas ist, und in dem Glas ist die DNA drin und dort ist die Information gespeichert. Und Zugänglichkeit heißt vor allem: Wie werden wir das Glas wieder los, ohne dass wir die DNA kaputt machen? Und aus chemischer Sicht ist das vielleicht die größere Herausforderung gewesen, weil, wie ich gesagt habe, Glas reagiert mit fast gar nichts, und die Chemikalien, mit denen es reagiert, ist vor allem die Flusssäure. Die ist extrem gefürchtet in der Chemie. Erstens heißt sie irgendwas mit Säure und ist sozusagen als aggressiv wahrgenommen. Und zweitens ist Flusssäure extrem giftig. Es ist eine der gewissermaßen gefürchtetsten Chemikalien. Im normalen Laborbetrieb fasst das niemand wirklich gerne an. Jetzt ist es aber so, dass, wenn man sich das genauer anschaut, diese Flusssäure gar keine sehr starke Säure ist, sondern die ist eine schwache Säure. Und es gilt immer, dass, wenn man mit sehr kleinen Konzentrationen arbeiten kann, das gar nicht so gefährlich ist. Gefährlich sind diese Chemikalien, wenn sie große Mengen oder wenn ich sozusagen substanzielle Mengen von dem habe. Und deshalb arbeiten wir genau mit dem, wir arbeiten mit dem, wovor die ganze Chemie Angst hat, weil das von jedem als gefährlich gesehen wird. Und wo jeder glauben würde, weil das ja Säure heißt, dass die DNA kaputt gehen würde in Anwesenheit dieser Säure. Aber eben, weil es eine schwache Säure ist, weil wir sehr verdünnt arbeiten können, können wir zu unserem Glaspulver ein ganz kleines Stück Flusssäure dazugeben, die ist dann gepuffert, sozusagen, dass der pH noch etwas besser eingestellt ist. Und dann löst sich das Glas auf und die DNA ist wieder in Lösung und wir sind wieder dort zurück, wo wir angefangen haben. Und noch zurück zu dieser Flusssäure oder gepufferte Flusssäure: Das, was wir verwenden, vor dem die Chemiker wirklich Angst haben, das ist auch in Zahnpasta drin. Das Fluorid in der Zahnpasta, das ist gepufferte Flusssäure oder Fluorionen, das, was Glas auflöst, und das ist auch nichts Gefährliches in dem Kontext. Überhaupt nicht, sondern was Nützliches. Aber eben ein sehr schönes Beispiel von Konzentration und Effekt und Gefährlichkeit von Chemikalien.

[pgg]: Und wenn ich richtig verstanden habe, da es ja immer dann so Pulverprobenbehälter wie auch immer sind, dann packen Sie immer sehr, sehr viele verglaste DANN-Moleküle gleichzeitig, DNA Fäden gleichzeitig wieder aus, die im Prinzip alle redundant dieselbe Information enthalten?

[Grass]: Ja, auch. Wir sind da jetzt schon sehr tief drin, wie das funktioniert. Ein Problem, das wir haben, wenn wir DNA schreiben wollen, also sozusagen synthetisieren wollen, wie ich Ihnen gesagt habe, dass das chemisch herstellbar ist, ist, dass wir keine sehr langen DNA-Stränge herstellen können. Wir können nur kurze, wir können so 120 Basenpaare oder vielleicht 200, also 200 verschiedene Zeichen hintereinander, überhaupt synthetisieren. Und so müssen wir hergehen und uns Informationen speichern auf vielen verschiedenen DNA-Strängen, wo jeder eine Nummer bekommt, die er eingeschrieben hat in das. Und dann ist die Frage, wie Sie

richtig ansprechen: Wie viel Kopien davon will ich überhaupt speichern? Weil einer der Vorzüge, wir haben jetzt sehr über Haltbarkeit uns unterhalten, aber einer der großen Vorzüge, die DNA als Speichermedien hat, ist die Kompaktheit als Datenträger. Weil DNA als Molekül, wenn man sich sozusagen ausrechnet: Wie groß ist denn so eine Base und wie viel Basen kann man in einem Gramm hineintun? – Durch Avogadros Zahl – wie viel Moleküle sind in einem Gramm Material? Und jede Base kann zwei Bit Daten speichern, weil wir haben vier Möglichkeiten statt zwei, also können wir zwei Bit pro Base speichern. Kann man theoretisch in DNA 500 Exabyte Daten speichern. Und Exabyte, also ein Exabyte sind 10.000 Petabyte, und ein Petabyte sind 10.000 Terabyte. 500 Millionen Terabyte Daten in einem sozusagen kleinen Stück DNA. Und das war jetzt sozusagen in der Welt der Datenspeicherung ein wichtiger Anspruch: Wir können Daten sehr dicht speichern, ich brauche kein Riesengebäude oder Keller, in dem ich sozusagen meine Bände aufbewahre, sondern da ist sozusagen die Vision da, dass ich so irgendwas ganz Kleines hab und in dem kann ich die Daten mit mir herumtragen oder wie auch immer. Und mit diesem Anspruch hat man jetzt sehr versucht: Wie viele Kopien brauche ich wirklich? Man will das sozusagen minimieren. Idealerweise will man das in nur einer Kopie speichern und dann sozusagen wieder auslesen. Das funktioniert noch nicht ganz. Man braucht so ungefähr 20 Kopien, dann kommt man immer noch auf 50 Millionen Terabyte pro Gramm DNA. Und das ist, was wir machen. Wir nehmen sozusagen einen Pool, der hat Millionen verschiedene DNA-Stränge, kurze DNA-Stränge. Im Schnitt kommt jeder von diesen Millionen DNA-Strängen vielleicht 20mal vor. Und der wird dann sozusagen in diese Glaskügelchen eingepackt. Und diese Glaskügelchen werden dann zum Beispiel auf der Oberfläche aufgebracht. Ich muss ja die Grenze von diesem Gefäß, mit dem wir arbeiten, und sozusagen mit dem Speicher auch irgendwie lösen, weil wir werden das nicht in den Gefäßen speichern. Da gebe ich ja wieder her, den Vorteil, den es hat, wenn ich das Glas mit, also sozusagen den Behälter mitspeichern muss. Das heißt, wir haben jetzt viel mit sozusagen automatisierbaren Methoden und Microfluidic gearbeitet, wie man dann diese Pools von Daten, die sozusagen in diesen Glaskugeln sind, irgendwo deponieren kann, adressieren in dem Pool. Dann kann man sich via Fileregister wieder vorstellen: Physikalisches wie auf der Festplatte, wo der Festplattenkopf weiß: Auf welchem Teil der Festplatte habe ich welche Information? In diesem Fall würde man dann sagen: In diesem Feld, auf dieser Platte muss man die Kügelchen herausnehmen. Man muss das Glas auflösen und dann kann man die Information wieder auslesen.

[mg]: Es ist ja relativ abstrakt, zu sagen, welche Arten von Informationen da gespeichert sind. Also, wir haben ja jetzt gelernt: Es ist unglaublich viel, so dass man sich dann schon fragen muss, wie findet man dann da wieder irgendwas, was man da abgelegt hat? Gibt es denn Beispiele dafür, was schon mal gespeichert wurde, was auch eine Bedeutung hat, sage ich mal, für so ein menschliches Gehirn?

[Grass]: Ja, auf jeden Fall. Weil alle, die so etwas als Projekt gemacht haben, haben versucht, etwas Wichtiges zu speichern. Dieser Nick Goldman, den ich am Anfang erwähnt habe, der hat ein ganzes Spektrum an kulturellen Artefakten gespeichert auf der DNA und wollte auch zeigen, dass es egal ist, was für Medien das sind. Solange das als null und eins darstellbar ist, können wir das in DNA speichern. Er hat Shakespeare-Sonette gespeichert, Martin Luther King Speech, also die Aufnahme davon, ein Foto von einem Baum, glaube ich, vor seinem Labor, zum Zeigen, dass verschiedene Sachen speicherbar sind. Als wir unser erstes Projekt gemacht haben, haben wir uns auch überlegt: Was sind denn Beispiele, die wir haben, wo wir wissen, dass sie wichtig sind? Und die Beispiele, die wir gefunden haben, weil wir in der Schweiz sind, ist der

Schweizer Bundesbrief. Der ist aus zwölfundneunzig und das ist in der Kultur der Schweiz ein wichtiges Dokument. Das ist sozusagen eine Seite, und das ist der erste Bund von drei Kantonen, wo sie sozusagen sich Treue schwören. Und der hat zwar einen Mythos mit sich, diese Gründung der Schweiz, aber dieses Dokument ist ein Teil davon, das ist im Museum ausgestellt, und so dieses Dokument. War als Beispiel von Daten oder Geschichte, wo ganz klar zuordenbar ist: Dieses Dokument, diese Daten sind wertvoll für unser heutiges Verständnis. Und das andere Beispiel, das mehr aus dem wissenschaftlichen Kontext ist, und das ein sehr spannendes Beispiel ist, das heißt das Archimedes Palimpsest. Das ist ein Text von Archimedes. Archimedes hat ja die mathematische Integration erfunden und dokumentiert. Und diese Niederschriften von Archimedes sind irgendwie im elften Jahrhundert kopiert worden, auf Papier und aufgeschrieben. Und das ist eben dieses Buch. Und dieses Buch ist dann etwas später im Mittelalter überschrieben worden mit religiösen Texten. Ich finde das ein sehr schönes Beispiel dafür, wie Information Jahrhunderte oder Jahrtausende überlebt und was das alles durchmachen muss. Irgendwann ist man hergegangen und hat gesagt: Das mathematische Zeug, das interessiert ja keinen Mensch, wichtig ist, dass wir unsere Liedtexte verbreiten können. Und Papier war sehr wertvoll, und deshalb hat man das sozusagen recycelt. Und so Anfang 20. Jahrhundert hat man wieder entdeckt, dass sozusagen dieser Archimedes Text drin gespeichert ist. Das ist dann versteckt und gehandelt, und dann hat am Schluss jemand das gekauft und zugänglich gemacht. Das ist auch verkauft worden für relativ viel Geld, für, ich glaube, 1 Million \$ vor ein paar Jahren. Und es zeigt auch wieder den Wert von alten Daten, die wir sozusagen haben, die einen Blick in die Geschichte geben. Also wir haben die Freiheit, wenn wir ein Forschungsprojekt machen, und wir müssen etwas speichern, für den rein wissenschaftlichen Teil könnte man Zufallszahlen speichern, die wissenschaftliche Aussage wäre genau dieselbe. Aber es ist dann doch, wir genießen eigentlich die Freiheit, hergehen zu können, und sagen: Wir können aussuchen, was wir sozusagen eine schöne Geschichte finden, die verstärkt die Wissenschaft oder die Kommunikation der Wissenschaft, die wir da machen.

[pgg]: Das macht symbolisch auch ja wirklich gleich die historischen Zeitspannen klar, auf die es ihnen ankommt. Also da reden wir dann nicht von irgendwie 50 Jahren oder so, sondern wirklich von epochalen Zeitspannen.

[Grass]: Richtig, richtig. Aber das ist im Moment, wie ich am Anfang schon gesagt habe. Das kulturelle Interesse, das muss man irgendwie auch abdecken mit dem kommerziellen Interesse. Und dort, beim kommerziellen Interesse, da sind so die 50 Jahre – das ist im Moment, was unsere digitalen Archive hergeben vom Zeitrahmen. Das ist dann vor allem auf Band gespeichert. Die müssen dann alle 50 Jahre kopiert werden. Und DNA verspricht, dass man das halt nicht mehr machen muss, dass man das lang haltbar machen kann. Also es gibt zwei ganz interessante Gründe, wieso DNA interessant ist als Medium, um sozusagen wirklich in die Zukunft zu denken ist, weil wir geschichtliche Daten dazu haben. Weil ich könnte hergehen und sag: Ich nehme irgendwas anderes, wo ich sagen kann: Es ist sehr stabil. Ich kann Daten, ich kann ein Polymer nehmen oder Glas oder dort was draufschreiben und kann sagen: Ja, das ist stabil, ich kann das messen. Ich kann im Labor versuchen, das sozusagen zu messen, aber ich kann halt nicht 1000 Jahre warten. Oder es wird niemand 1000 Jahre warten, um zu zeigen, dass das wirklich alle vorstellbaren Effekte mit einbezogen sind in dieser Stabilität. Aber in der DNA, weil es naturgegeben ist, haben wir das. Wir können zurückschauen 1000 Jahre und sehen: Offensichtlich übersteht dieses Molekül. Und der andere Aspekt ist sozusagen, dass wir uns vorstellen können, dass man immer

Lesewerkzeuge haben werden, weil das Lesewerkzeuge ist dasselbe, das wir verwenden, um unser humanes Genom auszulesen. Weil es gibt in der Vergangenheit einige Beispiele, wo man sozusagen das Lesegerät verloren hat. Man hat zwar den Datenträger gehabt, aber es fehlt das Lesegerät. Natürlich könnte man es irgendwie nachbauen und versuchen, das wieder zurückzubekommen. Aber DNA verspricht eben, rein durch die biologische Bedeutung, dass es sozusagen immer eine Lesemöglichkeit geben wird, zu dem. Wie soll man sagen? Wenn man jetzt wirklich weit in die Zukunft oder wer weiß, was für dunkle Zeiten auf uns zukommen? Aber ja, solange wir Human-DNA lesen können, können wir auch das lesen.

[pgg]: Was sagen eigentlich Informatiker und Informatikerinnen zu ihrer Arbeit? Finden die das völlig irre, dass da jetzt die Biochemie auch irgendwie mitredet? Oder kommen Sie gut ins Gespräch?

[Grass]: Ja, sehr gut, es geht sogar in die andere Richtung. Wir haben jetzt lang mit der Firma Microsoft zusammengearbeitet, die sozusagen rein vom Informatischen kommen und die Informatik, da sind, da habe ich das Gefühl, die Werkzeuge nicht so wichtig. Für sie ist wichtig: Was kann den Fortschritt, den wir jetzt fahren, aus dem unternehmerischen Denken: Was ist der Fortschritt, den wir haben, in sozusagen Informationsverarbeitung? Wie können wir garantieren, dass der weiterlebt? Und in der Informatik sieht man: Es gibt halt in den Werkzeugen, die traditionell oder die jetzt halt verwendet werden, gibt es harte Grenzen, wie groß sozusagen das Bit auf der Festplatte sein kann. Und das hat einfach eine physikalische Grenze. Auf der Festplatte ist es ja magnetisch gespeichert, die null und eins, und wenn ich sozusagen den magnetischen Punkt, auf den ich da speichere, immer kleiner mache, ist der allein durch Temperatur switchbar. Also dann, wenn es sozusagen wärmer wird, dann geht der wie von selbst in den anderen Zustand, und das hat eine physikalische Grenze, die nicht umgehbar ist. Und deshalb ist sehr das Interesse aus der Informatik: Wie können wir, wenn wir jetzt um die Werkzeuge, die wir schon verwenden, herumschauen, in alle anderen Welten, die es in der Wissenschaft gibt? Was sind dort Werkzeuge, die spannend sind? Und da hat sich dann die DNA als eines dieser Werkzeuge herauskristallisiert, wo es sozusagen das sehr gut hineinpasst in diese Welt und die Vision auch passt, wie skalierbar das sein kann und wie zukünftig das sein kann, und die Vorzüge von Platz und der Stabilität wirklich anders sind, wie das die traditionellen Medien haben.

[pgg]: Vielleicht noch mal eine wilde Frage sozusagen.

[Grass]: Ja.

[pgg]: DNA ist ja Teil des Erbvorgangs, das heißt, lebende DNA, also in einer lebenden Zelle, die sich weiterteilt und reproduziert, hat ja auch auf diese Weise eine zeitliche Zukunft, also indem sie durch Kopiervorgänge einfach im lebenden Lebewesen oder im zellulären Material sich reproduziert.

[Grass]: Richtig, richtig.

[pgg]: Das ist ein bisschen anfällig, da kann was mutieren. Aber im Großen und Ganzen ist das ja auch eine enorme Stabilität, die die Natur als Natur da irgendwie über die Zeit hinweg vorsieht oder schafft. Ist das auch noch eine mögliche Variante der Nutzung der DNA, also im lebenden Organismus zu konservieren und zu speichern?

[Grass]: Ja. Also wenn Sie jetzt drüber sprechen, sehe ich eigentlich zwei Sachen, die spannend sind. Eine ist das im Leben, mit dem haben wir uns weniger auseinandergesetzt, muss ich sagen. Das kann man. Man kann sozusagen Informationen in das Bakterium hineingeben, das wird sozusagen vervielfältigt mit dem Bakterium. Ich bin kein Experte in dieser biologischen Genetik. Meines Verständnisses nach ist es schwierig zu garantieren, dass das immer drinnen bleibt. Dass es nicht sozusagen wieder herausgeschnitten wird aus dem Genom. Aber man kann sich sicher vorstellen, dass man das hineintut in das Genom und das sozusagen stabil ist und weitervererbt wird. Das funktioniert sicher. Es hat technische und, wie soll man sagen, ethische Limitierungen, die das bringt. Und das ist auch etwas, was sozusagen eine sehr vielleicht zukünftige Denkweise ist, und wir sozusagen als das Labor, in dem wir, oder in meinem Hintergrund, wo wir arbeiten, denken wir doch an Umsetzung in den nächsten fünf Jahren, 20 Jahren von Aspekten von dem, und das ist für mich sehr schwer vorstellbar, wenn wir das in Biologie hineingeben. Weil dann haben wir ein genetisch verändertes Lebewesen, das wir sozusagen nur in sehr geschützten Labors überhaupt handhaben können, und dann ist die Praktikabilität davon sehr, sehr klein. Aber von der Idee haben Sie vollkommen Recht. Und für uns gibt es die andere Seite davon. Wenn man das Abstrakte anschaut und sich loslöst von der Biologie, wenn es dann auf Produkte geht, weil was uns interessiert, im Moment als Forschungsgebiet, ist: Können wir in Produkte Information hineingeben? Sozusagen von der zukünftigen Idee, dass ich das Gerät habe, und im Gerät drin ist vielleicht die Bedienungsanleitung gespeichert von dem Gerät. Weil wir haben wahrscheinlich alle irgendwann das Gerät in der Hand gehabt und die Bedienungsanleitung hat es nichtmehr gegeben, und die Firma online haben wir auch die Bedienungsanleitung nicht gefunden, und es würde Sinn geben, das in dem Produkt drinzuhaben. Und in dem Fall könnte man sich jetzt drüber nachdenken: Okay, wenn ich Produkte habe oder Wiederverwertung, dass ich das sozusagen weitergebe. Natürlich, bei Produkten gibt es nicht wirklich das ideale Recycling: Ein Produkt wird wieder dasselbe Produkt. Eigentlich gibt es das im Moment nicht, aber das wäre jetzt ganz nah an Ihrer Vorstellung, aber rein in der nichtbiologischen, technischen Produktwelt gedacht. Und das ist etwas, was uns sehr, sehr fasziniert, weil es gibt diesen Aspekt in unserem Forschungsfeld von Archivspeichern, und wir wollen uns aber auch damit beschäftigen: Was kann denn DNA noch, wie stehen als Speichermedium anders als alle anderen Speichermedien? Und eines ist eben davon die Verteilbarkeit. Weil sonst haben sie das Speichermedium in einer Chipkarte oder so und können das nicht in einen Kunststoff hineingeben. Aber DNA, sozusagen als Pulver oder sozusagen als Flüssigkeit, die können Sie vermischen mit etwas anderem und somit dem anderen Produkt Informationen geben. Sich dann überlegen: Wie könnten Sie die Information vererben oder wie können Sie das weitergeben? Und da gibt es ja diese Ideen, die eigentlich gut in das hineinpassen, in sozusagen dieses ideale Recycling durch 3D-Druck. Wenn ich mir vorstelle, meine Produkte, die ich brauche, sind 3D-gedruckt und ich habe Anleitungen von denen, gibt es sozusagen diese Makerszene, die sich auch sehr mit Recycling auseinandersetzen. Wenn ich das Produkt nicht mehr brauche, tue ich das in den Schredder hinein, der zerhackelt mir das Polymer, und dann kann ich mir wieder was Neues draus drucken. Und dort ist die Verbindung von digitalen Daten und Produkten – digitalen Daten, sozusagen die Baupläne von dem, was ich machen will – und sozusagen den physikalischen Objekten nahe beieinander, und das ist etwas, wo jetzt DNA als Werkzeug ganz spannend ist.

[mg]: Aber, dass ich das jetzt noch mal verstehe: Das heißt, die Vision ist oder das Ziel ist, dass man aus dieser Situation rauskommt, dass DNA eigentlich nur im Labor dann wieder auch ausgelesen werden kann, sondern es soll schon so eine Art, ich nenne es jetzt mal, Heimanwendbarkeit geben?

[Grass]: Also in der Vision auf jeden Fall. Da muss man auch wieder unterscheiden. Im Archiv glaube ich das nicht, also im Archiv, also sozusagen als Datenträger, als Computer, digitaler Datenträger sind die Vorzüge, die unsere SSD-Karten haben oder Festplatten oder was auch immer, sind einfach zu groß, dass sich DNA da durchsetzen wird. Weil dort geht es vor allem darum: Wie kann ich sehr schnell auf die Daten zugreifen? Wie ist die Robustheit über ein Jahr, und wie groß ist da der Platz, den ich brauche, um sozusagen einen Datenträger zu machen? Wenn ich ins Archiv gehe, da habe ich ganz andere Anforderungen. Dort ist wichtig, dass es sehr lang haltbar ist. Da ist es egal, wenn mein Schreib- und Lesegerät relativ groß sind und kompliziert. Und deshalb glaube ich, dass DNA sehr auf dieser Archivseite bleiben wird und es mehr Segregierung geben wird, welches Speichermedium für welche Anwendungen sozusagen vorhanden ist. Und bei dem anderen auf jeden Fall. Information als Datenträger in der Produktwelt, dort sehen wir: Da ist sehr das Interesse daran, das zugänglicher machen zu können. Und ein Beispiel, an dem wir dran sind, aber es ist rudimentär, und da muss man sozusagen die Grenze – wir machen halt Wissenschaft, kann super kompliziert und aufwendig sein. Wir müssen zeigen, dass es geht. Und auf der anderen Seite: Das Kommerzielle muss ja praktisch und kostengünstig und kosteneffizient sein. Und in dieser Welt dieser Kosteneffizienz oder Wertbringung, gibt es die Idee, dass man DNA als Barcode verwendet für Produkte. Also sozusagen, dass man ganz wenig Information nimmt, vielleicht wie ein Strichcode, was Sie auf der Verpackung draufhaben. Aber das Problem von Strichcode auf der Verpackung ist, dass nur die Verpackung damit identifizierbar ist. Sie wissen nicht, was drinnen ist, oder? Wenn man das drinnen austauschen würde, würde der Strichcode trotzdem genau dasselbe sein. Und dort das Interesse, DNA zu verwenden, um das Produkt per se zu beschreiben, mit dem Barcode mit wenig Informationen, weil das ist das, was im Moment kommerziell zugänglich ist, und wir haben da eine Spin-Off-Firma, die heißt Helixa, die bietet das an. Dort können Sie hingehen und sagen: Ich habe mein Produkt, und ich möchte sicher sein, dass ich in meiner Lieferkette immer nachweisen kann: Das habe ich hergestellt, oder dieser Teil davon kommt jetzt aus meiner Fabrik. Oder ich habe sozusagen die Verantwortung, wenn das kaputt geht, weil da ist hineingeschrieben, dass ich der Hersteller von dem bin oder, da ist dieser Badge oder dieser Herstellungszeitraum. Und der Fokus dort im Moment ist viel auf Textilgütern. Diese Märkte, wie zum Beispiel Baumwolle zum Endkunden kommt, das sind extrem komplizierte Märkte. Und wir als Konsumenten sind bereit, mehr Geld auszugeben für Bio-Baumwolle oder Fairtrade-Baumwolle. Und es ist leider so in diesen Märkten, dass auch wenn wir Bio-Baumwolle kaufen, bekommen wir keine Bio-Baumwolle, sondern wir bekommen Bio-Baumwolle mit dem Zertifikat, dass so viele Biobaumwolle produziert worden ist, irgendwie wie auf diesem Zertifikat drauf ist und also ich zumindest fühle, ist das irgendwie nicht richtig. Es ist kommerziell richtig und sozusagen in dieser Lieferkette. Aber wir möchten mit der Möglichkeit, dass wir die Baumwolle am Herstellungsort beschreiben können und ich nachher im fertigen T-Shirt hergehen kann und das T-Shirt fragen kann: Von wo kommst du? Und das T-Shirt per DNA antwortet: Ich habe diesen und diesen Code und deshalb komme ich von dem Ort; kann ich sozusagen Informationen über die Lieferkette hineinbringen. Aber das ist, im Gegensatz zum Speichern von irgendwelchen Shakespeare Sonetten oder Ton, ganz, ganz, ganz wenig Information. Aber spielt mit den Möglichkeiten, die DNA

bringt, als sozusagen Datenträger in einem ganz anderen Feld, wie die klassische Datenspeicherung.

[mg]: Wir haben ja schon besprochen, dass ganz unterschiedliche Arten von Informationen gespeichert werden, also Bilder usw. Das heißt ja, es muss irgendwie auch noch klar sein, was für eine Art von Information da gespeichert ist. Also irgendwie da sind Daten gespeichert, aber ich muss ja im Prinzip wissen: Ist es jetzt ein Bild? Also soll hinterher ein Bild rauskommen oder soll ein Text rauskommen?

[Grass]: Richtig. Das ist ein ganz spannendes Thema. Das haben wir noch nicht angesprochen. Und auf dieses Thema kommt man erst, wenn man weiß, dass man einen Datenträger hat, der sehr lang haltbar ist, wo auch das Lesegerät sehr lang haltbar ist. Das ist ein Problem, das allen digitalen Daten unterliegt, ist Interpretierbarkeit. Wenn ich Ihnen digitale Daten gebe: Riesen-Nullen und Einsen – Sie haben keinen Nutzen davon, oder? Auch wenn ich sagen würde: Das ist das Bild. Sie wissen nicht, wie von diesen Nullen und Einsen zum Bild kommen, weil Sie müssen wissen, wie das kodiert ist. Sind die ersten acht Bit, keine Ahnung, der Farbe und die Intensität oder wie auch immer: Wenn Sie das nicht wissen, ist es vollkommen nutzlos. Und bei der DNA unterhalten wir uns dann erst drüber, weil wir eben frei sind von Lesegerät und wir irgendwie in die Zukunft denken und sagen: Ah, jetzt nimmt jemand so einen Pool DNA und hat halt das Lesegerät, das er in der Zukunft hat, das auszulesen. Und was macht er dann damit? Was heißt das für ihn? Und da ist das Problem mit allen digitalen Daten, das wir lösen müssen. Und das ist schwierig zu lösen. Das ist der Vorteil von Papier. Wenn ich Ihnen einen Text gebe, auch drei, vierhundert Jahre alt, Sie können das lesen. Wenn ich ein Bild Ihnen zeig, das ist interpretierbar. Das sind digitale Daten nicht. Und so ein Mittelding, das ich ganz spannend finde, eigentlich, was so halb digitale Daten ist, ist, wie wir Musik speichern. Also wie wir Musik, wie wir Noten speichern. Mit so fünf Linien, wo die verschiedenen Punkte mit verschiedenen Längen von dem, und das ist interpretierbar, weil wenn ich einem Kind, was noch nie Noten gelesen hat, sage, das ist Musik, der kann schon herausfinden, was ist die Logik dahinter, wie das funktioniert, oder? Weiter unten geschrieben die tiefe Note, und sozusagen es gibt das Modell dahinter. Aber für rein digitale Daten fehlt diese Interpretierbarkeit. Und da gibt es auch ein schönes Beispiel aus der Geschichte, aus den ägyptischen Hieroglyphen. Die waren ja auch, über Jahrhunderte hat man gesehen, es gibt diese Hieroglyphen, aber die waren nicht interpretierbar. Man hat sie wirklich nicht verstanden. Es haben viele Wissenschaftler sich damit versucht, eine Theorie zu finden, wie jetzt diese Hieroglyphen funktionieren. Und man hat dann erst, meines Wissens, durch die napoleonischen Kriege so einen Stein gefunden. Den Rosetta Stein. Auf dem derselbe Text in eben diesen Hieroglyphen steht und auf Altgriechisch, soweit mir ist. Somit sozusagen instantan diese Hieroglyphen erklärbar waren und sozusagen ein Zugang war zu der Interpretierbarkeit von diesen Daten. Aber das sind nur Beispiele. Das löst uns das Problem nicht, das wir mit allen digitalen Daten haben, dass wir eigentlich einen digitalen Datenträger brauchen, und daneben, wenn wir es lang haltbar machen wollen, auf Stein eingraviert oder auf Gold oder etwas, was sozusagen ähnlich lang hält: Wie schauen denn die Daten aus? Wie komme ich von diesen Null und Eins oder ACTG, die ich in DNA habe, wieder auf etwas, wo ich verstehen kann.

[mg]: Das heißt, wir sehen in der Zukunft eine Situation, in der wir eigentlich die schon uns lange bekannten analogen Medien nutzen, um zu erklären, wie man an diese riesigen Datenbestände kommt, die damit dann zur Verfügung gestellt werden?

[Grass]: Auf jeden Fall. Vor allem durch die Interpretierbarkeit, die uns sozusagen Fotos, Bilder, Text ermöglichen, brauchen wir das. Wenn wir nur digitale Verfahren haben, können wir nichts damit anfangen. Wir brauchen analogen Zugang dazu.

[pgg]: Der Rosetta-Stein als Beispiel, das sind ja sogar in drei Sprachen waren, war sozusagen derselbe Text. Sagen wir, nennen wir es mal Text. Aufgeschrieben ist ein Stück weit eine Blaupause, weil man da gewissermaßen eine Art Schlüsselbuch dann mitüberliefert. Und das erklärt sich auch relativ leicht, gerade dadurch, dass man es dreimal hat.

[Grass]: Richtig.

[pgg]: Auf der DNA ist das sicher schwierig. Wenn man es auf der DNA selbst irgendwie so anlegen wollte, müsste man irgendwie Partien haben und auch klar machen, dass die sich, das die äquivalent sein sollen.

[Grass]: Ja, ja, richtig, es hat so Ansätze gegeben. Es hat so ein Künstler, der hat vor, weiß ich nicht, 20 oder 30 Jahren in Biologie Daten gespeichert und er hat sich so ein bisschen damit auseinandergesetzt, was für Zeichen würden wir verwenden, um, wenn wir in DNA was speichern – aber das ist sehr schwierig – also wie viel Zeit wir bräuchten und herumexperimentieren von dieser Anleitung, um das auszulesen. Und wenn wir uns das jetzt überlegen, uns wirklich Zukunft denken, muss ja kontextfrei oder kulturfrei muss dieser Zugang irgendwie ermöglicht sein. Und das ist was Schwieriges. Und die beste Sprache, die wir eigentlich dazu haben, ist die Mathematik oder die Idee der Mathematik und Zahlen, wie man sozusagen Nullen und Einsen in das wieder ausrechnet, in einem Bildpunkt oder so etwas. Und das ist vielleicht eine Möglichkeit, so etwas in abstrakter Form mitzugeben als Werkzeug. Aber das sind Fragen, mit denen beschäftigt sich auch dieses Feld von dieser DNA-Datenspeicherung, weil man eben jetzt konfrontiert wird damit. Und sonst hat man da weniger Konfrontation, wenn man sozusagen Festplatten baut, und die sind eh in 50 Jahren kaputt. Die Frage stellt sich weniger.

[Der Abspann mit Musik beginnt.]

[mg]: Und damit ist dieses Digitalgespräch zu Ende. Wir bedanken uns bei Robert Grass von der ETH Zürich für das spannende Gespräch, die interessanten Eindrücke und die Diskussion. Viele Grüße nach Zürich! Und wie immer auch vielen Dank an Sie, liebe Zuhörerinnen und Zuhörer, für das Interesse und die Aufmerksamkeit. Wir wünschen Ihnen schöne Feiertage und alles Gute fürs kommende Jahr. Und wenn Sie mögen, hören wir uns nach der Winterpause wieder in sechs Wochen, am dreißigsten Januar, zur nächsten Folge des Digitalgesprächs, dem Podcast von ZEVEDI, dem Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung.



This work is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>