

Digitalgespräch Folge 41

Modellieren, Simulieren, Optimieren – die Digitalisierung des Energienetzes

Mit Alexander Martin von der Technischen Universität Nürnberg, 19. September 2023

<https://zevedi.de/digitalgespraech-041-alexander-martin/>

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

Marlene Görger [mg]: Herr Martin, Sie sind Mathematiker und ausgewiesener Experte für Data Analytics und Künstliche Intelligenz in der Anwendung. In Ihrer Arbeit befassen Sie sich auch mit der Optimierung von Energienetzen.

Alexander Martin [Martin]: Wir hier sind schon der Meinung, dass bei solchen komplexen Situationen, wo sehr viele Entscheidungen gleichzeitig gefällt werden müssen, der gesunde Menschenverstand zwar gut ist, aber in der Regel überfordert. – Wir haben eine hohe Erwartungshaltung. Die Glühlampe an der Decke darf ja nicht mehr flimmern heute. – Der Flieger, der oben am Himmel fliegt, trägt zu präziseren Vorhersagen des Luftdrucks bei und damit auf die Steuerung der U-Bahn. – An welcher Stelle setze ich KI ein? An welcher Stelle nehme ich die physikalischen Modelle? Kann ich beide miteinander verschränken und verzahnen?

Petra Gehring [pgg]: Hat dieser letzte Winter irgendwas an neuen Einsichten ergeben? Was für Risiken werden denn kalkuliert oder durchgespielt?

[Martin]: Jeder von uns denkt heute: Daten aufzunehmen, Daten zu speichern kostet nichts. Aber es stimmt ja nicht. Und es wird, glaube ich ein Thema, was in fünf bis zehn Jahren hochrelevant wird, aber im Moment noch kaum jemand auf dem Schirm hat.

[Der Vorspann endet, das Gespräch beginnt.]

[mg]: Nicht erst seit in Deutschland der Ausstieg aus der Kernkraft beschlossen wurde, gibt es auf dem Markt ein breites Angebot an unterschiedlichen Energieträgern. Sogenannter Ökostrom und Energie aus fossilen Ressourcen unterscheiden sich dabei nicht nur im Preis pro Kilowattstunde. Durch globale Krisen wie die Klimakatastrophe, internationale Konflikte und auch Kriege geraten manche Bestandteile des Energiemixes besonders in den Fokus. Die einen positiv, weil sie zum Beispiel ökologisch vertretbarer sind als andere. Manche negativ, zum Beispiel, weil wir uns mit ihrem Import in politische Abhängigkeiten begeben, die wir nicht mehr in Kauf nehmen wollen. Angebot und Nachfrage sind in Bewegung. Und die Energiepreise mögen das abbilden, aber von diesen Schwankungen merken wir beim alltäglichen Einsatz von Energie kaum etwas. Letztlich fließt der elektrische Strom aus allen Quellen in dieselben Steckdosen, und das in aller Regel sehr zuverlässig und konstant. Die Komplexität des Energienetzes, so stellt man sich leicht vor, ist gewachsen und wächst noch. Gleichzeitig ist unsere Gesellschaft zunehmend abhängig von einer lückenlosen Versorgung mit Elektrizität. Unsere Verwundbarkeit durch Störungen unserer Netze ist enorm. Ein großer Blackout hätte wohl nicht nur verheerende wirtschaftliche Schäden zur Folge. Natürlich kommt bei der Handhabung und Optimierung dieser lebenswichtigen Infrastruktur auch die Digitalisierung zum Einsatz. Das mathematische Optimieren ist dabei ein wichtiges Forschungsgebiet. Im Zusammenspiel mathematischer Modelle und Datenanalyse mit Methoden künstlicher Intelligenz entstehen digitale Repräsentationen unseres Energienetzes.

Welche Aufgaben können Expert:innen aus Theorie und Praxis nun angehen, die man allein mit klugem Nachdenken, Planen und Rechnen nicht hätte lösen können? Welche Daten braucht man dafür? Woher kommen sie und welche Ressourcen fließen sonst noch in diese Systeme? Darüber reden wir heute im Digitalgespräch. Mein Name ist Marlene Görger. Ich bin Physikerin und Technikphilosophin am Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung.

[pgg]: Und ich bin Petra Gehring, Professorin für Philosophie an der Technischen Universität Darmstadt. Experte heute im Digitalgespräch ist Professor Dr. Alexander Martin, der sich aus Nürnberg in unsere Videokonferenz geschaltet hat. Herzlich willkommen im ZEVEDI-Podcast, Herr Martin, und vielen Dank für Ihre Zeit.

[Martin]: Herzlich willkommen auch von meiner Seite.

[mg]: Herr Martin, Sie sind Mathematiker und ausgewiesener Experte für Data Analytics und Künstliche Intelligenz in der Anwendung. Ihre Professur haben Sie seit April 2023 an der neu gegründeten Technischen Universität Nürnberg inne. Dort sind Sie auch Gründungsvizepräsident für Forschung, Innovation und Entrepreneurship. Zudem sind Sie einer der Institutsleiter des Fraunhofer Instituts für Integrierte Schaltungen, das Fraunhofer IS in Erlangen, und Sie leiten dort das ADA Lovelace Center. Das ist ein Kompetenzzentrum, das sich der praxisnahen Entwicklung und dem Einsatz von Methoden maschineller Datenanalyse widmet. In Ihrer Arbeit befassen sie sich auch, und das ist ja heute unser Thema, mit der Optimierung von Energienetzen. Bevor wir dabei aufs Digitale kommen, fangen wir vielleicht erst mal bei dem an, was digitalisiert wird. Über was für Netze sprechen wir? Was kommt da alles zusammen?

[Martin]: Ja, die Digitalisierung ist natürlich ein weites Feld. Und wenn man vielleicht am Beispiel der Energienetze bleibt, dann kann man sich ein Energienetz genauso wie ein wirkliches Netzwerk vorstellen, also mit Rohren, Verbindungen, Verzweigungen und natürlich Werken, also Energiewerke, die den Transport des Energieträgers sicherstellen. Sie haben sicherlich alle schon einmal diese gelben Stangen aus dem Grund kommen sehen, wenn Sie einen Waldspaziergang oder Wiesenspaziergang machen. Die sind ein Hinweis dafür, dass da tief unten in der Erde zum Beispiel eine Gasleitung läuft zwischen zwei Verbindungsstätten, und letztendlich ist dahinter ein großes vermaschtes Netzwerk, das durch ganz Deutschland, ja ganz Europa, durchgezogen ist und dort in Echtzeit Gas strömt. Die Frage der Digitalisierung ist jetzt natürlich - das fängt ganz einfach an und so hat es sicherlich auch einmal angefangen, indem man diese Daten aufnimmt und in Computerform bereitstellt: Also wo liegen diese Leitungen, wie lang sind die, welche Eigenschaften haben diese Leitungen? Angefangen von Durchmesser über Rohrrauigkeit, Dicke der Leitungen. Wenn man ein Gas durch so eine Rohrleitung schickt, dann wissen wir vielleicht noch aus der Schule, dass Gas immer von höherem Druck zu niedrigerem Druck fließt und durch diesen Fluss allerdings auch an Druck verliert, zum Beispiel aufgrund der Rohrrauigkeit in den Leitungen. Das heißt, damit das Gas weiterhin transportiert werden kann auf lange Strecken, bedarf es sogenannter Verdichter oder Verdichterstationen, die dann wieder den Druck erhöhen, damit das Gas weiter fließt. Und dieses Gesamtsystem gilt es erst einmal zu digitalisieren, sprich im Computer abzubilden, bevor man dann damit Dinge tun kann in eine Simulation, also einfach den Ist-Zustand in der Realität möglichst nah abzubilden im Computer. Und dann kommt man erst zu meinem Steckenpferd, nämlich der Optimierung: Wie gestalte ich das möglichst effizient? Und

effizient heißt meistens kosteneffizient, energieeffizient, aber natürlich jetzt auch emissionseffizient. Und jetzt kommen wir schon ein Stück weit in das Problem: Welches Ziel verfolge ich denn? Denn kosteneffizient heißt nicht immer emissionseffizient. Und damit sind wir schon auch in dem multikriteriellen Bereich, wo dann eben auch der Benutzer selber mitabwägen muss und auch sollte, nach welchen Kriterien er Energie transportiert.

[pgg]: Wer ist denn dann der Benutzer? Das sind Energieversorgungsunternehmen oder ist das auch die Politik oder die Verwaltung?

[Martin]: Die großen Energietransporteure in Deutschland, so nennt man das, die praktisch das Fernleitungssystem betreuen, das sind Namen wie NBW, Open Grid Europe, RWE und dergleichen. Die transportieren tatsächlich das Gas von den Entry-Stellen, wie man so schön sagt, also Gas zum Beispiel in Passau aus Russland reinkommt oder von der Nordsee aus Skandinavien, diese dann zu den Stadtwerken transportieren, wo dann Übergabestellen definiert sind. Und ab dort übernehmen dann die Stadtwerke und bedienen letztendlich den Endkunden. Und der Endkunde kann ein größeres Industrieunternehmen sein, aber auch der kleine Bürger wie ich und Sie, die eben eine Etagengasheizung bei sich in der Wohnung haben.

[pgg]: Jetzt mal ganz blöd gefragt: Wenn ich mir diese riesen Landkarte so vorstelle, was hat die für eine Struktur? Ist das was wie ein Gitter oder mit so Hauptachsen so ganz langen und dann zweigt was davon ab? Oder sind das so Felder, Inseln oder so was in der Art? Also ist das regelmäßig, unregelmäßig?

[Martin]: Also der schönste Fall, der aber leider nicht in Deutschland vorherrscht, wäre so eine Art Baumstruktur, wo Gas nicht in einem Kreis fließen kann. Das macht das Problem deutlich einfacher zu lösen. Man kann es auch mathematisch genau spezifizieren, warum das einfacher ist. Das Problem mit so einer Baumstruktur ist, dass die häufig a) nicht ausreicht und b) natürlich keine Redundanzen enthält. Also wenn irgendwo einmal eine Leitung ausfällt, aus welchen Gründen auch immer, weil ein Bagger aus Versehen die Leitung angeknackst hat, sozusagen, was hoffentlich da nicht passiert. Deswegen sind auch überall diese gelben Stäbe aus den Wäldern und Wiesen und es ist genau verzeichnet, wo was läuft, aber trotzdem: Diese Fälle sind natürlich aufgetreten. Dann heißt es, dass ab dem Moment zwei Hälften sozusagen nicht mehr miteinander kommunizieren oder Energie austauschen können. Das heißt, man braucht eine gewisse Redundanz in diesen Systemen. Und dann kommt natürlich die Frage auf: Wie viel Redundanz möchte man? Zum einen Redundanz aus Sicherheitsaspekten, aber man hat auch Redundanz aus Wartungsaspekten, denn man muss ja die Anlagen immer wieder auch warten, überprüfen. Und gerade in dem Bereich, wenn es um Erdgas oder auch Wasserstoff geht, sind da die Sicherheitsanforderungen sehr hoch. Und damit bedarf es auch aus diesen Gründen heraus einer gewissen Redundanz im Netz.

[pgg]: Und optisch stelle ich mir jetzt die Redundanz als so eine Art Schlaufe vor, dass ich so ein und dieselbe Stelle aus zwei Richtungen beschicken kann?

[Martin]: Jetzt kommen wir gleich zum weiteren wichtigen Punkt. Ja, einerseits hat man natürlich Schlaufen, also man kann sie wie sozusagen immer wiederkehrende Schlaufen. Das wäre der reine Transportweg. Wenn ich jetzt in so eine Verdichterstation reinschaue, dann steht da in der Regel nicht nur ein Verdichter – also

eine Verdichtereinheit oder ein Kompressor – sondern da stehen mehrere Verdichter neben- oder hintereinander. Jetzt kann ich die nebeneinanderschalten, hintereinanderschalten, in unterschiedlichen Kombinationen schalten, und je nachdem habe ich unterschiedliche Fahrwege und wird es natürlich unterschiedlich komplex. Und gleichzeitig – und jetzt kommt die Umkehrung rein – sobald ich Kreise habe, und je nachdem, wie die Drucksituation ist, kann es in so einem Netzwerk zu Flussumkehr kommen. Je nachdem. Wenn dann links der Druck höher ist als rechts, gibt es irgendwo an einer Stelle, wo der Druck gleich groß ist und an der Stelle fließt nichts mehr. Aber wenn ich jetzt an einer Stelle erhöhe, fließt es stärker in die andere Richtung. Man kann sich das wie so eine Art wie so eine Waage vorstellen, die man immer weiter nach oben zieht. Mit dem Wasser ist es genau das Gleiche: Die Stelle, die ich nach oben schiebe, fließt Wasser runter, wenn ich die andere nach oben nehme, fließt es wieder von der anderen Seite zur einen. Und so ist es hier auch, nur halt natürlich eine Ecke komplexer. Die physikalischen Randbedingungen des Gases sind leider nicht ganz so schön wie beim Wasser, selbst beim Wasser sind sie schon einigermaßen kompliziert.

[pgg]: Und das kann ich also jenseits jetzt sozusagen der Landkarte der Leitung dann tatsächlich abbilden und simulieren? Das klingt ja schon wahnsinnig komplex.

[Martin]: Also es kommen verschiedene Schwierigkeiten rein. Zum einen, man muss ja sagen: Die meisten Rohre oder Leitungen, die man verlegt hat, hat man in den 50er, 60er Jahren angefangen, die jetzt 50, 60, 70 Jahre und noch länger dort im Boden liegen. So richtig hat man nicht mehr reingeguckt. Kann man ja auch schwer sozusagen ist ja, das Gas läuft ja da mit einem Druck von mindestens 30 bar bis zu 70 bar und noch mehr. Da kann man nicht so einfach reingucken. Das heißt, es ist teilweise unklar, wie die Eigenschaften des Rohres sich über die Jahre verändert haben. Diese Eigenschaften sind aber wichtig, um eine gute Vorhersage zu machen, mit welcher Geschwindigkeit, mit welchen Rohrauigkeiten man rechnen muss, dass dieses Gas von A nach B fließt. Und natürlich, wie sich der Druck mindert. Und diese Druckminderungen hat Einfluss darauf, wie stark ich meinen Verdichter anschalten muss oder auf welchem Level ich ihn fahren muss, damit das Gas wieder entsprechend weiterfließt. Jetzt kommt noch dazu, dass tatsächlich Gas auch noch die nicht nette Eigenschaft hat, kompressibel zu sein. Das heißt, ich kann sie ja eigentlich auch noch zusammendrücken, so wie bei einer Luftpumpe, Fahrradluftpumpe. Also je mehr ich meinen Reifen aufpumpe, umso praller wird er, umso mehr Luft ist drin. Aber auch umso schwerer tue ich mich natürlich, den Reifen weiter aufzupumpen, und umso mehr Kraft, also sprich mehr Energie, mehr Antrieb, brauche ich, um den höheren Druck in den Schlauch zu bringen oder in die Gasleitung. Das ist haargenau dasselbe Prinzip.

[mg]: Vielleicht dass man sich auch nochmal ein bisschen vorstellen kann, wie jetzt dieses Gassystem, das Sie beschrieben haben, das ja schon sehr komplex ist, noch mal an das Energieversorgungssystem angeschlossen ist, sage ich jetzt mal, es gibt ja auch noch andere Energieträger. Wir sprechen ja auch oft darüber, dass es einen Energiemix gibt und dass aus ganz unterschiedlichen Quellen dieser Strom zusammengeführt wird. Welchen Stellenwert hat denn in dieser Struktur jetzt das Gasnetz? Muss man sich das vorstellen wie so Kompartments, die dann unabhängig von den anderen Energiequellen funktionieren? Oder muss man das mit einbeziehen, wie die anderen Quellen sich verhalten?

[Martin]: Ich meine, ursprünglich wurde es separat geplant und auch bedient, aber heute ist das nicht mehr möglich. Wir haben ja alle diese Diskussion sozusagen der Kopplung von Energieträgern, auch Kopplung der Märkte, die damit einhergehen, Umwandlung von Strom in Gas oder in Wärme oder auch umgekehrt, Umwandlung in Wasserstoff und Wasserstoff, dann in die Erdgasleitungen einspeisen und dergleichen. Also diese Kopplung der Energieträger findet immer mehr statt, muss auch immer mehr stattfinden, weil die einzelnen Energieträger unterschiedliche Eigenschaften haben von der Speicherbarkeit, von der Langlebigkeit, von der Geschwindigkeit. Und also Beispiel: Strom ist ja in Mikrosekunden von München in Hamburg, aber Gas ist so schnell wie ein Fahrrad. Solche Dinge muss man dann berücksichtigen bei der Planung und auch bei der Umwandlung. Auf der anderen Seite kann ich Gas viel länger speichern. Also ich kann allein in den Gasspeichern, die es in Deutschland gibt, inklusive dem Netz, ungefähr, legen Sie mich nicht genau fest, aber es sind ungefähr 30 % des gesamten Strombedarfs Deutschlands eines Jahres in Gasspeichern. Während Strom unheimlich schlecht speicherbar ist, wissen wir alle von der eigenen Akkuleistung des Smartphones. Der Akku geht halt relativ schnell leer, und wenn man ihn X-mal auflädt, dann geht die Kapazität immer weiter runter. Also da haben wir einen echten Nachteil. Im Strom zu speichern ist eines der wirklich großen Probleme, die wir letztendlich haben. Wenn wir den Strom gut speichern könnten, hätten wir keine Energieprobleme. Aber in Gas lässt sich halt gut speichern und damit wird jetzt plötzlich das Gasnetz wieder interessant. Auch wenn erst mal Gas, vielleicht jetzt, wenn man nach Nachhaltigkeits- und Umweltaspekten schaut, natürlich vielleicht nicht die Qualität von Strom hat, aber in Form des Speicherns natürlich schon wieder einen gewissen Mehrwert bietet, aber auch eine gewisse Sicherheit und natürlich auch Resilienz am Ende des Tages, die wir in unserem Energiesystem erwarten. Das ist ja auch eine große Erwartungshaltung, die wir an dieser Stelle haben, die jeder Bürger hat. Die Glühlampe an der Decke darf ja nicht mehr flimmern heute. Wir erinnern uns nicht mehr, aber meine Großeltern erinnern sich schon noch, dass die Deckenbirne ab und zu geflimmert hat. Und als ich vor ein paar Jahren in Südostasien war, da war das täglich oder jeden Abend der Fall. Aber bei uns darf so was ja gar nicht mehr passieren. Das heißt, wir haben eine hohe Erwartungshaltung, wir Bürgerinnen und Bürger. Und das sicherzustellen, bedarf natürlich auch entsprechender Infrastruktur und natürlich einer entsprechenden Redundanz, um das sicherzustellen.

[mg]: Ich biege jetzt mal ein Stück weit ab auf die Digitaltechnologien, die dahinterstehen, und vielleicht auch Daten, die dabei zum Einsatz kommen. Sie haben ja schon angedeutet, es gibt ganz unterschiedliche Zielsetzungen bei der Optimierung, über die man sich auch einigen muss. Welches kann man denn jetzt verfolgen, weil man moderne Methoden hat? Gibt es da Sprünge, die stattgefunden haben in den letzten Jahren, die eine neue Zielsetzung motivieren?

[Martin]: Ja, ich meine, die jüngste Diskussion zeigt, dass wir deutlich stärker auf Nachhaltigkeitsthemen gehen, auf CO₂-Emissionen, dass das immer mehr in den Fokus rückt, aber letztendlich aus mathematischer Sicht, man muss sich diese Optimierungsprobleme eigentlich so vorstellen: Man hat ein gewisses Zielfunktional, was es zu optimieren gilt, zu maximieren oder zu minimieren. Also zum Beispiel: Emissionen minimieren, Kosten minimieren, Ertrag maximieren. Und das unter Einhaltung gewisser Randbedingungen. Diese Randbedingungen definieren eine komplexe Struktur in einem hochdimensionalen Raum. In dieser komplexen Struktur gilt es, eine bestmögliche Lösung zu finden. Und je nachdem, welche Zielfunktion man auswählt, sucht man in einem anderen Teil dieser komplexen Struktur in dem

hochdimensionalen Raum. Also, es gilt für uns Mathematiker immer ein Stück zuerst, diese komplexe Struktur zu verstehen. Wenn wir das gut verstanden haben, dann, na egal, ist es nicht ganz, aber dann ist es zumindest nicht mehr schlimm, mal die eine Zielfunktion gegen eine andere auszuprobieren und dann den Vergleich zu starten. Also wir haben das Beispiel mal auch durchgeführt im Rahmen einer Promotion. Da ging es darum, um den Lebenszyklus einer Lithium-Ionen-Batterie, die in Autos verbaut wird. Praktisch die gesamte Kette, angefangen vom Abbau des Lithiums bis zur Produktion der Batterie, aber auch die Fahrweise während des Betriebs im Auto und inklusive dem Recycling der verbrauchten Batterie am Ende des Lebenszyklus. Und je nachdem, was man in den Mittelpunkt stellt, ob man jetzt die Kosten oder die CO₂-Emissionen – aber man kann auch andere Emissionen, also wie Stickstoffoxide, kann man auch minimieren – als mögliches Beispiel kommen ganz andere Lieferketten. Und dann ist es eben an dem Menschen, zu entscheiden was ist mir wichtig, oder wichtiger und wie möchte ich gern meinen Lebenszyklus und meine Versorgung gestalten?

[pgg]: Wie kommt da jetzt in den verschiedenen Arbeitsschritten der Computer zum Einsatz? Also modelliert wird erstmal sehr stark in der mathematischen Perspektive, habe ich verstanden. Passiert das im Kopf oder auf dem Papier oder macht man das auch schon auf Rechnern? Und danach, stelle ich mir jetzt vor, wird simuliert und vielleicht wird es am Ende sogar Entscheidern irgendwie präsentiert. Passiert das dann auch jeweils digital?

[Martin]: Also es gibt alle Varianten. Also es gibt die Variante, zu sagen, ich mach das manuell, oder ein Manager wird sagen, aus dem Bauch. Das gibt es natürlich heute noch und ist auch nach wie vor wichtig. Wir sind schon der Meinung, dass bei solchen komplexen Situationen, wo sehr viele Entscheidungen gleichzeitig gefällt werden müssen, die auch noch miteinander gekoppelt und vermascht sind, der gesunde Menschenverstand zwar gut ist, aber in der Regel überfordert. Und dann fängt es an, interessant zu werden für die digitale Umsetzung. Also erst einmal das gesamte System zu digitalisieren und dann, wenn das passiert ist, dann zu simulieren und zu optimieren. Diese Ergebnisse werden dann immer noch dem Menschen vorgelegt oder dem Manager oder dem Entscheider oder dem Netzplaner. Und natürlich übernimmt der Mensch am Ende die Verantwortung, wie jetzt die Fahrweise ist, welche zusätzlichen Netze gebaut werden oder nicht gebaut werden oder umgeordnet werden und dergleichen. Aber man kann durch die Computerunterstützung viel schneller Alternativen berechnen, auch unterschiedliche Zielkriterien, wie eben gesagt, berechnen und dann leichter vergleichen. Und es ist interessant, dass dann manchmal eben doch deutlich kontraintuitive Lösungen zum Vorschein kommen, an die man ursprünglich einfach nicht gedacht hat, die aber dadurch möglich wurden, dass man das Ganze abgebildet hat im Computer und da sozusagen experimentiert hat.

[mg]: Kann dabei auch rauskommen, dass man das physikalische Netz anpasst? Man kann sich ja vorstellen, dass man einmal von der bestehenden Infrastruktur ausgeht. Sie haben ja schon gesagt, die Leitungen sind teilweise auch schon sehr alt und man muss manchmal erst rausbekommen, wo sie liegen. Könnte es auch sein, dass man im Zuge dieser Modellierung darauf kommt: Die Struktur ist eigentlich total suboptimal, wir sollten die Infrastruktur nochmal auch optimieren, das könnte man ja versuchen?

[Martin]: Auch das ist möglich. Also gerade jetzt, wenn es darum geht, Transformation Richtung Wasserstoff, das ist ja eine aktuelle Diskussion. Die fängt an: Bauen wir ein komplett eigenes Wasserstoffnetz? Können wir Wasserstoff in das Erdgasnetz mit reinmischen? Bis hin zu: Ersetzen wir Teile des Erdgasnetzes durch ein Wasserstoffnetz? Und alle drei Varianten werden auch diskutiert und sind auch in unterschiedlichen Kontexten sinnvoll. An manchen Stellen wird man eigene Leitungen bauen wollen und müssen, an anderen Stellen kann man beimischen, wie man so schön sagt. Aber da ist gerade auch die Diskussion: Wie viel, prozentual, kann man denn beimischen? Also die Diskussion zwischen 5 und 10 % und dann auch die Umwandlung des bestehenden Netzes. Dann kommen wieder andere physikalische Eigenschaften zum Tragen, weil Wasserstoff hat halt leider physikalisch andere Eigenschaften als Erdgas. Bei vielen Druckschwankungen und zu hohem Druck kann Wasserstoff atomar werden und dann durch die Rohrwände diffundieren, was man natürlich auf keinen Fall haben möchte. Das heißt, plötzlich kommen andere physikalische Eigenschaften rein, die mit in der Modellierung berücksichtigt werden müssen, die dann vielleicht wieder zu anderen Lösungen führen, die ursprünglich gar nicht ja Realität wurden oder auch gar nicht in Frage kamen.

[pgg]: Spielt KI eine Rolle bei diesen Modellierungen? Oder ist das, sage ich mal, mit konventionellen Vor-KI-Methoden auch zu berechnen oder zu bearbeiten?

[Martin]: Also zum einen muss man sagen, die KI-Methoden, die wir heute diskutieren, sind ja auch nicht heute entwickelt worden. Die sind alle auch schon 30, 40, 50 Jahre alt. Es gab ja auch schon einmal einen KI-Hype in den 90er Jahren. Nur haben sich diese Methoden damals nicht so stark durchgesetzt, wie sie es heute tun. Und der Hauptgrund liegt eigentlich darin begründet, dass die Datenverfügbarkeit nicht gegeben war. Die Methoden, die heute en vogue sind, sind sehr sensitiv gegenüber sich verändernden Daten, auch gegenüber der Menge an Daten, der Heterogenität, an Daten, der Qualität an Daten. Und wenn das sichergestellt ist, liefern diese Methoden sehr gute und hervorragende Ergebnisse. Wenn das aber nicht sichergestellt ist, dann kommt Unfug raus. Und Sie kennen alle die Beispiele, die dann im Netz oder auch in den Zeitungen diskutiert werden, wo einfach komplette Fehlinterpretationen vorliegen. Aber es liegt einfach am Mangel oder an der Verfügbarkeit der richtigen Daten. Wenn das da ist, dann – und jetzt sind wir wieder bei den Energienetzen – die Daten sind natürlich da, aber vielleicht nicht in der Menge, wie man sie gerne braucht für solche Situationen. Also wenn man noch weiter ausholt: Warum ist denn dieser KI-Hype entstanden? Letztendlich war es, als der Computer im Schach und im Go gewonnen hat. Und der Grund war, weil der Computer gegen sich selber spielen konnte und damit selber Daten erzeugen konnte. Und er konnte sogar die Daten selber verifizieren, weil eine Spielsituation auf dem Schachbrett, da gibt es Regeln, die klar identifizieren: Ist es eine reale Situation oder ist es eine falsche Situation? Das heißt, der Computer konnte selber verifizieren, ob die Daten korrekt sind und hat damit einen riesigen Datenschatz zur Verfügung gehabt: Aberbillionen, -billiarden, -trillionen – wie auch immer, welche Zahl Sie sich vorstellen, mit wie viel Nullen am Ende. Und in vielen realen Situation haben wir diesen Datenschatz nicht. Das darf man nicht vergessen. Es gibt nur 8 Milliarden Menschen auf dieser Erdkugel. Das ist ein kleiner Datensatz im Vergleich zu Schach oder Go. Und deswegen muss man, glaube ich, immer aufpassen: Wann setzt man welche Methoden ein? Und gerade die, an denen wir sehr viel forschen, basieren eben auf tatsächlich physikalischen Modellen. Und es gibt halt für viele Dinge, wie zum Beispiel eben der Gasfluss in einer Leitung, gibt es physikalische Modelle, wo man gut verstanden hat über diese Modelle, über die

funktionale Beschreibung, wie eben Gas in einem solchen Rohr fließt. Und da macht es dann durchaus Sinn, auf diese physikalischen Modelle zurückzugreifen, bevor man versucht, diese neu zu lernen über KI-Methoden.

[mg]: Wir haben jetzt ganz oft von Daten gesprochen, ganz allgemein, die man irgendwie braucht. Was sind denn das für Daten und an welchen Stellen werden die erfasst? Also es ist ja eine Sache, ob man so ein Netz, sag ich jetzt mal, einmal modellieren möchte. Eine ganz andere Hausnummer ist ja zu sagen: Wir wollen das in Echtzeit eigentlich beobachten und erfassen und auch reagieren können. Da braucht man doch ein wahnsinniges Netz dann auch wieder von Messpunkten, oder?

[Martin]: Genau, richtig. Zum einen die Daten, die, wir nennen es mal, stationäre Daten. Das ist das Netz selber. Also wo liegt welches Rohr, wo ist welcher Verdichter? Wo sind die Verzweigungen? In welchem Winkel verzweigen die? Und dergleichen. Und jetzt kommt die tägliche Situation: Da fließt Gas aus Russland oder fließt eben kein Gas aus Russland, dann kommt entsprechend was aus dem Norden rein. Jedes Gas kommt in unterschiedlicher Qualität. Letztendlich interessant ist ja der Brennwert des Gases, weil der letztendlich dafür relevant ist, ob entsprechende Industrie bedient werden kann oder die Gas-Etagen-Heizung bei mir zu Hause läuft. Diese Gase kommen in das Netz rein. Die mischen sich natürlich dann in ihren Qualitäten. Und allein solche Gasmischungen, für sich genommen, sind jetzt durchaus komplex abzubilden. Aber, und jetzt kommen wir dazu, jetzt brauche ich Messstationen, jetzt brauche ich Sensorik, die diese Gasqualität, das Volumen, die Durchflussgeschwindigkeit einfach aufnimmt, genauso wie Temperaturen und all diese physikalischen Parameter aufnimmt, an den Computer schickt und dieser dort dann daraus das physikalische Modell versucht zu rekonstruieren, das jetzt an diesem Tag funktioniert. Und dann brauchen wir vielleicht doch wieder die KI, weil dann ist immer die Frage: Kann ich schnell genug jetzt mir das physikalische Modell daraus ableiten oder kann ich nicht aufgrund der Daten prognostizieren, wann das Gas am anderen Ende ankommt?

[mg]: Braucht man denn auch Daten, die bei den Nutzern anfallen? Also ich kann mir jetzt vorstellen, Verbrauch in Privathaushalten zum Beispiel oder in der Industrie. Oder kann man das sozusagen rein über die Beobachtung der Gasnetze gut genug hinbekommen?

[Martin]: Nein, auch da: Also das Abnehmerverhalten ist natürlich sehr unterschiedlich. Manche Dinge sind prognostizierbar, typischerweise in der Industrie, ich nehme jetzt mal die Stahlindustrie ist ja einer der großen Energiefresser, die auch heute noch am meisten Erdgas benötigen. Die haben ihre Produktionszyklen. Da weiß man, wann wie viel Gas tatsächlich gebraucht wird. Im privaten Haushaltsbereich ist es unterschiedlich, das ist natürlich ganz klar temperaturabhängig von der Außentemperatur. Auch da kann man gute Prognosen und Vorhersagen inzwischen machen, was auch passiert. Also all die Daten sind vorhanden, wer wie viel Gas wann über die Jahre abgenommen hat. Und daraus versucht man natürlich jetzt Prognosen zu machen für den morgigen Tag oder für die nächste Woche oder auch für die nächsten Monate. Und ja, ich mein, der letzte Winter war ja ein gutes Beispiel. Wir haben alle gefürchtet: Kommen wir durch den Winter, ja oder nein? Jetzt war es halt ein relativ warmer Winter und jetzt haben wir genügend Energiereserven gehabt. Ja, zum Glück, hätte auch ganz anders laufen können. Aber man hat sich natürlich dort ein Stück weit auf diesen Worst-Case vorbereitet: Sollte ein kalter Winter kommen und wir tatsächlich dann entsprechend mehr Energie brauchen. Jetzt war es nicht der Fall.

Wenn man bisschen noch mal in die Vergangenheit guckt: Es gab vor einigen Jahren mal einen richtig kalten April, wo wirklich dann der April erst Minusgrade hatte, der ganze Winter davor warm war. Da waren damals auch schon die Energiespeicher leer, weil natürlich die ganzen Händler ihr Gas spätestens im März verkaufen und dann war kein Gas mehr vorhanden. Man erinnert sich nur nicht mehr dran. Also diese Situationen sind auch schon vor solchen Krisen gab es die schon und auch da gab es eben dann auch Möglichkeiten, indem eben die Gastransporteure dann sich doch zusammengeschlossen haben und zusammengearbeitet haben, um solche Situationen dann auch letztendlich wieder zu meistern.

[pgg]: Hat dieser letzte Winter irgendwas an neuen Einsichten ergeben, die zurückfließen ins Modell oder in die Eingabegrößen der Simulationen?

[Martin]: Also letztendlich jedes Datum, was man durchlebt hat, aus dem lernt man. Und so ist es natürlich in diesem Fall auch. Man muss natürlich sagen: Die Zyklen jetzt, wenn man gerade im Gasbereich schaut, sind halt deutlich größere Zyklen. Also wir durchleben ja selber nicht allzu viele Winter, wenn wir jetzt bei der Anzahl an Datensätzen sind, so dass da natürlich eine deutlich größere Trägheit im System ist und man sich dadurch schwerer tut, reine KI-Methoden einzusetzen, weil man eben letztendlich über die Jahre zu wenig Datenmaterial zur Verfügung hat. Nichtsdestotrotz gibt es natürlich jetzt wieder, und jetzt müssen wir eine Stufe weiter reinzoomen in die Netze selber, es gibt durchaus Teile dieses Netzes, die sich nicht tagein tagaus, Jahr ein Jahr aus gleich verhalten. Ja, und da macht es vielleicht weniger Sinn, das alles komplex zu modellieren, sondern da lässt sich dann auch mit KI-Methoden eine einfache Prognose schalten, während dort, wo hohe Fluktuationen eintreten, wo starke Veränderungen mit einhergehen, man dann eine Kombination – und das ist natürlich auch ein Wissenschaftsgebiet gerade aktuell: An welcher Stelle setze ich KI ein? An welcher Stelle nehme ich die physikalischen Modelle? Kann ich beide miteinander verschränken und verzahnen? Auch dort arbeiten gerade Algorithmen-Entwickler, wie man das gut miteinander auch auf der digitalen Seite verzahnt.

[pgg]: Das heißt also, dass jetzt ja, was man sich so vorstellt, irgendwie plötzlich Gas aus LG-Terminals kommt und dass weniger Gas aus Russland kommt und vielleicht mehr aus Norwegen usw. Das ist für die Belastbarkeit der Analysen auf der Basis der Modellierung und Simulationen eigentlich kein großes Problem gewesen? Das konnte man irgendwie umstellen und abbilden und dann war es auch beherrschbar und berechenbar?

[Martin]: Genau. Also da ist die digitale Welt deutlich schneller als die physikalische Welt. Und da werden natürlich auch sehr viele Simulationen erst einmal gefahren, bevor man dann tatsächlich ans Bauen geht. Und wir wissen ja alle, dass heute Bauen von Energieleitungen deutlich aufwändiger ist als noch vor 50 Jahren. Nicht nur rein des Bauwesens wegen, sondern weil natürlich auch die Aversion gegen Energieleitungen heute eine ganz andere ist als noch vor 50 Jahren.

[pgg]: Wie ist das denn mit Risiken? Auch da denken wir im Moment ja jetzt häufiger drüber nach. Also ich mein, klar, Naturkatastrophen, unerwartete Ereignisse, Wetterschwankungen oder so, das ist das eine. Aber jetzt gibt es den russischen Angriffskrieg. Es gibt direkt auch Energieversorgung, sage ich mal, als Drohmittel und Druckmittel, also die einzuschränken oder irgendwie damit politischen Druck

auszuüben. Was für Risiken werden denn reinkalkuliert oder durchgespielt, jetzt auf der Basis des Wissens, das da ist, über die Netze.

[Martin]: Also die Risiken werden definitiv bei allen Energieträgern, auch beim Energietransport, berücksichtigt. Aber wir haben das mit Fukushima erlebt, als Beispiel, auch wenn dort eine doppelte und dreifache Sicherheit sozusagen erstmal gewährleistet wird. Durch die Verkettung von mehreren unglücklichen Umständen kann es trotzdem zu einer Katastrophe kommen. Und das ist natürlich auch heute noch so. Einfaches Beispiel, sagen wir mal, Leute, die am Rhein groß geworden sind, wohnen interessanterweise auch gern am Rhein und alle sagen, es ist immer sicher, weil der Damm jetzt wieder 40 Zentimeter höher gebaut wurde als der letzte Highscore, der je gemessen wurde. Aber es wird der Tag kommen, wo auch dieser Highscore wieder übertroffen wird. Wir werden es nicht vermeiden können. Und wenn man nämlich jetzt mal Revue passieren lässt, welche unglücklichen Zustände tatsächlich immer zu diesen Katastrophen geführt haben, dann muss man ja auch wirklich sagen: Es war einfach auch mal Pech, dass die Konstellation so eingetroffen ist. Und da im Nachgang Leuten dann Vorwürfe zu machen, warum man das nicht berücksichtigt hat, finde ich immer schwierig, weil danach ist man immer schlauer als davor. Das wissen wir alle. Aber natürlich, wenn solche Situationen eintreten, dann werden diese künftig berücksichtigt. Und genau dieser Fall wird künftig auch nicht mehr passieren. Aber es wird andere Konstellationen geben, an die wir vermutlich nicht gedacht haben.

[pgg]: Aber trotzdem versucht die Wissenschaft auch die Risikoszenarien zu durchdenken und auch die Kombination von Risiken und simuliert das durch?

[Martin]: Absolut. Es gibt ein eigenes Wissenschaftsgebiet, was sich damit beschäftigt – nicht nur, natürlich, es gibt die klassische mathematische Statistik oder Stochastik, die solche Dinge berücksichtigt. Aber auch in der Optimierung gibt es das Gebiet der robusten Optimierung oder der stochastischen Optimierung. Also stochastische Optimierung: Dann, wenn man verschiedene Szenarien kennt oder meint zu kennen und dann eine beste Lösung unter diesen verschiedenen Szenarien berechnen will. Robuste Optimierung: Wenn man keine Aussagen treffen kann über die möglichen Verteilungen der Zukunft, aber man möchte sich eben robust halten gegenüber Veränderungen, ohne zu wissen, wie die Veränderung genau aussieht. Aber auch da erlaubt man natürlich dann nur Veränderungen in gewissen Toleranzen. Und auch da könnte es theoretisch passieren, dass eine Situation kommt, die außerhalb der vorgegebenen oder berücksichtigten Intervalle letztendlich dann stattfindet. Und dann hat man auch wieder sozusagen dann Pech gehabt oder diesen Fall noch nicht berücksichtigt.

[pgg]: Kommunizieren Sie als Wissenschaftler oder die Teams, in denen Sie arbeiten, mit denen Sie arbeiten, da auch mit der Politik? Gibt es da auch eine Rückkopplung, also was so die möglichen Risikolagen angeht? Oder vielleicht eine Sorge aus der Politik, bestimmte Risiken mal genauer durchzuspielen?

[Martin]: Ja, also auf unterschiedlichen Ebenen. Das jüngste Beispiel ist in unserem Fall: Auf der Forschungsseite habe ich jetzt sehr lange Jahre einen Sonderforschungsbereich geleitet, zu eben Gestaltung von Gasnetzwerken. Eine Teilprojektleiterin bei uns ist die Veronika Grimm. Wirtschaftsweisin, die natürlich tagtäglich die Politik gerade berät und wo diese Erkenntnisse auch mit einfließen. Aber

das ist nur ein Beispiel. Es gibt auch ganze Institute, die Politikberatung machen, die auch Simulationsmodelle entwickeln, um die Politik an der Stelle gut zu beraten. Und nach meinem Kenntnisstand nimmt die Politik auch immer wieder Fachexperten mit zu Rate, um dann zu guten Entscheidungen zu kommen.

[mg]: Wir haben jetzt ja unheimlich viele Aspekte besprochen, die zeigen, wie viele Stellschrauben es gibt und wie viele Möglichkeiten auch, sich eine Zielsetzung vorzunehmen, bei der Optimierung oder auch bei solchen Risikosimulationen. Ich kann mir jetzt vorstellen, dass man da je nach Szenario oder je nach Anwendungsbereich ganz unterschiedliche, vielleicht nicht ganz unterschiedliche, aber doch hinreichend unterschiedliche Daten braucht, sodass man sich dann doch irgendwie Gedanken machen muss über die Verfügbarkeit. Also ist das ein Problem, dass man – also was heißt Problem –, aber ist das eine Frage, wo man abwägen und auch priorisieren muss, welche Daten man erheben kann? Auch was man überhaupt managen kann an Big-Data-Volumen, um da seine Möglichkeitsräume besonders offen zu halten? Oder ist das – stell ich mir das jetzt irgendwie gerade zu eng vor?

[Martin]: Nein, das ist ein wichtiger und guter Punkt. Also zum einen, wie ich vorhin auch schon mal gesagt habe, unterschiedliche Methoden brauchen eine unterschiedliche Qualität, auch Heterogenität und auch Vielfachheit an Daten. Das muss man immer berücksichtigen. Man muss, sollte immer wissen, welche Methoden man anwenden möchte, um zu sehen: Ist die Datenlage dafür überhaupt gegeben, diese Methoden anzuwenden? Gleichzeitig kommt aber jetzt noch ein weiterer Aspekt hinzu: Ist denn die Verfügbarkeit von Daten da? Manchmal ist sie eben nicht da und manchmal ist sie in Unmengen oder Übermengen da. Und wir haben uns bis heute noch kaum Gedanken gemacht über die Verfügbarkeit von Daten und was es überhaupt kostet, die Verfügbarkeit von Daten. Jeder von uns denkt heute: Daten aufzunehmen, Daten zu speichern, kostet nichts. Aber das stimmt ja nicht. Eine Google-Abfrage kostet zehn Gramm CO₂. Momentan hacken wir alle am Auto rum und ein Auto braucht auf einem Kilometer vielleicht 100 Gramm CO₂. In der Zeit, einen Kilometer Auto zu fahren, kann ich auch zehn Google-Abfragen durchführen, aber es kümmert keinen. Auch unser Meeting jetzt kostet ziemlich viel CO₂. Aber wir machen uns da keine Gedanken, Daten aufzunehmen, Daten zu speichern und wiederzuverwenden, also wann können wir denn Daten recyceln, machen wir uns heute noch keine Gedanken. Ich glaube, das Thema wird hoch relevant werden, weil wir momentan, ich sage mal, sind wir wie in den 60er Jahren mit dem Erdöl: Es ist beliebig verfügbar, wir können es zum Fenster rausheizen. So sind wir gerade unterwegs in der Welt der Daten. Wir nehmen beliebig auf, wir speichern beliebig. Ob wir es brauchen können oder nicht, sei mal dahingestellt. Kleines Beispiel: Das Aufnehmen mit dem Smartphone. Früher hat ein Foto machen eine Mark gekostet. Man musste erstmal überlegen, also ich habe es sowieso nicht gleich gesehen, musste den Film zum Entwickeln bringen und habe dann erst gesehen, ob es was geworden ist. Ich habe mir fünfmal überlegt, ob ich jetzt abdrücke oder nicht. Heute mache ich hunderte von Fotos mit meinem Smartphone, und ob ich jemals nochmal reingucke, weiß ich nicht. Und wenn ich was suche, dann finde ich oft gar nicht mehr das Foto, was ich eigentlich wollte, weil ich so viele Fotos gemacht habe, dass ich das eine Foto gar nicht mehr finde. Und ein bisschen haben wir diese Tendenz gerade: Ich nehme alles auf und ich speichere alles, kein Problem. Aber eigentlich ist es eine Verschwendung von Ressourcen. Und ich glaube, wir müssen da sensitiver werden, auch im Umgang mit den Daten, der Aufnahme von Daten, der Speicherung von Daten und der Wiederverwendung und dem Recycling von Daten. Das wird, glaube

ich, ein Thema, das in fünf bis zehn Jahren hoch relevant wird, aber im Moment noch kaum jemand auf dem Schirm hat.

[pgg]: Das wäre dann auch ein Argument für gute Modellierung statt ständiger Echtzeitbeobachtung.

[Martin]: Genau. Oder auch eben Daten also wiederzuverwenden, wenn sie denn teuer in der Gewinnung waren. Wenn sie aber einfach in der Gewinnung sind, dann warum denn bitte nicht löschen? Auch diese Frage wird kaum gestellt bislang.

[mg]: Bedeutet das jetzt noch mal konkret für die Energienetzmodellierung, dass man sich auch festlegen sollte auf bestimmte Zielsetzungen, vielleicht auch politisch festsetzen sollte auf bestimmte Optimierungsziele? Oder wäre das dann wieder sozusagen ein Schwenk in die falsche Richtung oder zu weit in die andere Richtung?

[Martin]: Ja, es ist immer die Schwierigkeit: Was ist die Zielsetzung heute und was ist in der Zukunft? Wir durchleben ja diese Zyklen immer deutlich schneller. Nachhaltigkeit und Umweltaspekte sind gerade wieder sehr en vogue. Keiner wagt, zu prognostizieren, wie lang denn. Aber sie werden immer wieder und es ist natürlich ein Thema. Aber alleine auf dieses Pferd zu setzen, ist vielleicht auch nicht richtig, aber wichtig. Und dadurch macht es natürlich das Ganze schwierig, welche Daten man tatsächlich braucht oder auch wiederverwenden kann. Ich bringe gerne ein Beispiel, was vielleicht diese Komplexität verdeutlicht und auch in diesem Energiekontext von Relevanz ist: Wettervorhersage. Die Wettervorhersage war während der Pandemie, ich weiß nicht, ob Sie das auch beobachtet haben, deutlich schlechter als vor der Pandemie oder heute. Lag einfach daran, dass Flugzeugdaten verwendet wurden für die Wetterprognose. Die Flieger haben natürlich die Wetterdaten aufgenommen auf allen unterschiedlichen Höhen und haben das kommuniziert an die Wetterstationen. Und damit gab es eine deutlich präzisere Vorhersage von Wetterschwankungen allein aufgrund der unterschiedlichen Winde, die da aufgetreten sind. So, jetzt haben wir zum Beispiel kürzlich eine Studie gemacht zum Einsparen von dem Energieverbrauch von U-Bahnen. Und zwar: Der Hintergrund ist der, dass die Energiekosten zum Teil ja nur aufgrund des Energieverbrauchs kommen sie zustande. Ein signifikanter Anteil ist auch aufgrund der Energiespitzen. Je höher die Energiespitze ist, das lässt sich der Energieversorger bezahlen, weil je höher die Spitzen sind, umso größer die Infrastruktur, die bereitgestellt werden muss. Das heißt, die Energiespitzen lässt sich der Energieversorger bezahlen. Wenn ich es jetzt schaffe, diese Energiespitzen nach unten zu bekommen, brauche ich weniger Infrastruktur und bin damit nachhaltiger unterwegs. Jetzt am Beispiel der U-Bahnen: Ich kann die Bremsenergie einer U-Bahn nutzen für die Anfahrtsenergie einer anderen U-Bahn. Wenn ich das jetzt richtig schedule, gleichzeitig, dass, wenn einer bremst, ein anderer anfährt, kriege ich diese Energiespitzen nach unten. Ja, das schafft man auch. Da kann man 10 bis 15 % an Energiekosten einsparen. Es hat sich aber herausgestellt, dass in manchen Situationen, haargenau die gleiche Situation, also selbe Station von A nach B, gleich viele Leute auch in der U-Bahn, trotzdem ein total unterschiedlicher Energieverbrauch. So woran liegt es? Es war ein unterschiedlicher Luftdruck in den Leitungen, also in den Kanälen der U-Bahn. Ist ja klar: Je höher der Druck, umso größer der Widerstand in dem Tunnel, umso höher der Energieverbrauch. Das heißt, der Luftdruck hat einen Einfluss auf den Energieverbrauch der U-Bahn. Das heißt, die Wettervorhersage hat einen Einfluss auf die Steuerung der U-Bahn. Das heißt, der Flieger, der oben am Himmel fliegt, trägt zur präziseren Vorhersage des Wetters, des Luftdrucks bei und damit auf die Steuerung

der U-Bahn. Erst mal wird man sagen: Verrückt! Was hat der Flieger da oben zu tun, mit der U-Bahn da unten? Jetzt über diese Kette merkt man vielleicht, wie komplex die Situationen werden können und wo wir auch wirklich noch künftig sehr viele herausfordernde Fragestellungen haben, die wir angehen müssen.

[mg]: Das klingt auch ein bisschen so, als hätte das System, das Sie in den Blick bekommen müssen, tendenziell keine Grenzen. Also ist es denn so, dass die Modelle, mit denen Sie arbeiten, vielleicht auch irgendwann auf einem Quantencomputer laufen müssen? Ich mache noch ein Fass auf. Ist das ein Thema für Ihren Bereich?

[Martin]: Ich sage immer: Ob es keine Grenzen gibt, weiß ich nicht. Wir machen uns auf den Weg, dort, wo heute die Grenzen sind, ein Stück zu verschieben und Dinge, die vielleicht heute nicht möglich sind, morgen möglich zu machen. Und dann gucken wir, wo die neuen Grenzen sind. Und wenn Sie jetzt Quantencomputer ansprechen, ja, da gehen ja auch die Meinungen stark auseinander, was Quantencomputer tatsächlich leisten können. Sie werden uns sicherlich an der einen oder anderen Stelle ein Stück helfen, diese Grenzen des Machbaren zu verschieben. Wie weit und wann das der Fall sein wird? Wir werden sehen.

[pgg]: Wenn jetzt die U-Bahn oder der Zug plötzlich ein bisschen langsamer fährt oder später anfährt, als ich erwartet hatte, dann werde ich jetzt mich fragen, ob es vielleicht einen Optimierungsgrund hat, dass also tatsächlich die Energiespitze irgendwo reduziert wird oder irgendwas Gekoppeltes da im Gang ist, von dem ich gar nicht weiß. Vielen Dank.

[Martin]: Sehr gerne.

[Der Abspann mit Musik beginnt.]

[mg]: Damit sind wir am Ende dieses Digitalgesprächs angekommen und bedanken uns bei Alexander Martin von der Technischen Universität Nürnberg für das spannende Gespräch, die interessanten Einblicke. Viele Grüße! Und wie immer auch vielen Dank an Sie, liebe Zuhörerinnen und Zuhörer, für das Interesse und die Aufmerksamkeit. Und wenn Sie mögen, hören wir uns wieder in drei Wochen 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/>