

3. Jan 20.26.45 RES183_Mathematik

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin Holger Klein.

Es gibt kein Thema, das mich stärker einschüchtert als die Mathematik.

Ich war ein schlechter Mathe-Schüler, bin mehrfach nicht versetzt worden, unter anderem wegen meiner Mathe-Schwäche.

Meine übrigen schlechten Schulfächer, denen habe ich mich über die Jahre angenähert.

Aber für Mathematik hatte ich immer zu großen Respekt, vielleicht sogar Angst.

Und genau der stelle ich mich jetzt sozusagen, denn ich rede mit Gudrun Thäter.

Gudrun ist sozusagen eine Kollegin, denn sie macht den Podcast "Modellansatz".

Viel wichtiger ist aber, Gudrun ist Dozentin für Mathematik in der Arbeitsgruppe Numerik partieller Differentialgleichungen am Institut für Angewandte und Numerische Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie.

Und ich habe ehrlich gesagt nicht die leiseste Ahnung, was ich da gerade gesagt habe, außer Karlsruher Institut für Technologie.

Hallo Gudrun.

Hallo.

Es ist aber auch neu, dass ich mich mal als Therapeutin fühle.

Ja, ungefähr so fühlt sich das für mich tatsächlich auch an.

Mein Mathematikproblem, das hat irgendwann angefangen, ich glaube in der 9. oder 10.

Klasse oder so.

Ich habe immer versucht, reale Entsprechungen zur Mathematik zu finden, Metaphern in meiner Wirklichkeit zu finden.

Analysis habe ich noch ganz gut hinbekommen, das war das mit Kurvendiskussion und so.

Und dann ging es irgendwie los.

Ich erinnere mich daran, wir haben dann irgendwann Abstände von Punkten zu Ebenen berechnet, lineare Algebra müsste das heißen haben.

Und da irgendwo habe ich komplett den Anschluss verloren und nie mehr wiedergefunden.

Und jetzt kommst du.

Und jetzt komme ich, ja.

Bring mir Mathematik bei.

Kannst du mir Mathematik beibringen in so einer Stunde oder wie lange wir reden?

Ja, eine Stunde ist natürlich ein bisschen wenig.

Tatsächlich ist das fast eine typische Situation, auch wenn ich sage, dass ich

mich noch nie als Therapeutin gefühlt habe.

Aber das ist ja so eine typische Smalltalk-Frage, was machst du beruflich?

Und wenn ich dann sage, ich mache Mathematik beruflich, dann gibt es immer so zwei typische Antworten.

Und eine, wie du sie gesagt hast, das hat mir an der Schule schon keinen Spaß gemacht.

Wie kann man so masochistisch sein, das auch noch zum Beruf zu machen?

Und die andere Antwort ist auch häufig, was kann man da eigentlich noch arbeiten?

Das zwei und zwei vier ist, das wissen wir doch jetzt schon eine Weile.

Wobei ich den Eindruck habe, dass die meisten Menschen dann auf der Party sagen, ach, Mathe war ich ja schon immer schlecht und sich dessen irgendwie rühmen, weil sie dann hinterher Geisteswissenschaftler geworden sind oder so.

Ich rühme mich dessen nicht, sondern es ist mir, Scham ist wahrscheinlich der falsche Begriff, aber bei mir ist es tatsächlich so, dass ich denke, so ein Scheiß.

Ich meine, ich mache das jetzt hier acht Jahre lang, diesen Resonator-Podcast und überall ist Mathematik drin.

Und ich denke jedes Mal, ja, Mathematik ist mit Sicherheit eine geile Sache, aber ich komme nicht ran, ich komme nicht hin.

Wie komme ich da hin?

Ich habe sogar was zu schreiben dabei.

Das versteckte Thema, was wir eigentlich mit unserem Modellansatz-Podcast als Ausgangspunkt hatten, dass eigentlich Mathematik überall drin steckt und dass das wenigen Leuten so richtig bewusst ist.

Und deswegen geht es bei uns häufig ausgehend von irgendwelchen Anwendungen, dass dann Leute berichten, wie sie für diese Anwendung eine bestimmte Art von Mathematik verstehen möchten, was daran das Problem ist und wie sie es dann gelöst haben.

Aber kann das so jemand wie ich überhaupt verstehen?

Ja, in gewisser Weise schon.

Ja, weil es auch auf Deutsch ist.

Ja, weil man es unter "verstehen" versteht.

Genau.

Ich meine, für mich ist es auch ein bisschen so, wenn man mal kurz zusammenfassen soll, was Mathematik ist, ist das ja gar nicht so einfach aus der Hohlen zu sagen.

Also ich habe angefangen, Mathematik zu studieren in meiner ersten Vorlesung "Lineare Algebra".

Da hat auch der Professor sich vorne hingestellt und hat gefragt, was ist eine Zahl?

Und eigentlich hat man da schon zwölf Jahre in der Bundesrepublik, 13 Jahre mit Zahlen, was gemacht und denkt, man weiß, was eine Zahl ist, aber diese Frage zu beantworten, ist keinem von uns irgendwas eingefallen, was das so richtig beantworten könnte.

Kannst du es heute?

Außer Beispiele zu nennen.

Ja, was ist eine Zahl?

Drei!

Ja, genau.

Und dann hat er sich so ein bisschen natürlich, macht er das ja mit Absicht, und es ist mir ja auch im Gedächtnis geblieben, also es kann nicht so eine schlechte Frage gewesen sein, und hat dann gesagt, also das werden wir beantworten in diesem Semester, am Ende des Semesters, wissen Sie es.

Was ist denn eine Zahl?

In seinem Sinne war eine Zahl ein Element eines Vektorraumes.

Was ist ein Vektorraum?

Ja, also das war, was sozusagen für ihn als Algebraiker war halt an so einer Zahl wichtig, wie man damit rechnen kann.

Und sozusagen die Zahlen, mit denen wir normalerweise arbeiten, die sind halt so, dass ich da eine Zahl hernehmen kann und noch eine Zahl, und wenn ich die addiere, kriege ich wieder eine Zahl raus.

Und es ist gar nicht mal so wichtig, was da jetzt genau für ein Resultat rauskommt, sondern nur, dass ich sozusagen die Menge aller Zahlen nicht verlasse dadurch, dass ich die addiere.

Es kommt wieder eine Zahl raus.

Genau, und ich kann die auch multiplizieren mit einer Zahl, und da kommt auch wieder eine Zahl raus.

Und das ist halt so eine Struktur, die man auch in anderen Zusammenhängen gut gebrauchen kann, weshalb man dann dieses Prinzip, was die Zahlen haben, überträgt und das dann Vektorraum nennt, und Vektorräume gibt es dann noch viel mehr als nur für Zahlen.

Das ist eigentlich auch schon so ein Grundprinzip in der Mathematik, solche Strukturen herzunehmen, die ihrer Inhalte zu entkleiden, nur noch die Struktur übrig zu lassen und dann zu gucken, wo es die noch überall gibt.

Aber so richtig verstanden habe ich das jetzt immer noch nicht mit dem Vektorraum.

Ich kokettiere nicht, das ist das Schlimme.

Nein, nein, nein, das ist klar.

Du und alle, die das jetzt hören, können mich gerade geistig scheitern hören.

Ja, aber ich meine, wenn ich zum Beispiel sage, ich nehme einen Apfel und eine Birne und lege die zusammen, dann habe ich insgesamt Obst.

Das ist okay, also in der Menge des Obstes bleibe ich dann drin.

Aber ich bin halt nicht in der Menge der Äpfel geblieben oder in der Menge der Birnen, indem ich die nebeneinander gelegt habe.

Und der Vektorraum ist dann Obst?

Genau, der Vektorraum wäre dann ein passendes Obst, um mit Äpfeln und Birnen zu arbeiten.

Genau.

Und was ist Mathematik?

Ja, was ist Mathematik?

Also ich würde ja sagen, für mich ist Mathematik vor allen Dingen, wenn ich es jetzt platt ausdrücke, eine Sprache.

Also im Sinne von, das ist meine Art, eine Brille aufzusetzen und auf die Welt zu gucken und Sachen zu beschreiben, die ich in der Welt sehe, die ich für relevant halte.

Oder wo ich denke, ich kann irgendwas erkennen, aus dem ich was ableiten kann.

Also zum Beispiel für mein Handeln oder für das, was ich in der Zukunft erwarte, solche Sachen.

Und das ist natürlich auch eine Kultur, also Teil unserer Kultur.

Es ist aber auch, wenn man jetzt das sozusagen aus Helmholtz-Sicht sagen würde, ist es auch Teil von Technologie und zwar nicht ganz unwichtig.

Ja, aber wenn ich es als Sprache betrachte, auf Spanisch kann ich mir einen Kaffee bestellen.

Was für eine Sprache spreche ich denn, wenn ich Mathematik spreche?

Ja, also die Algebraiker würden sagen, wir sprechen in Strukturen.

Also wie ich das eben mit dem Vektorraum erklärt habe, was auch nicht unwichtig ist.

In meinem eigenen Forschungsgebiet, also ich mache Strömungsrechnung, da

würde ich eher sagen, das ist was in Modelle zu fassen.

Also zum Beispiel eine Gleichung aufzuschreiben für die Geschwindigkeit in so einer Strömung und für Druckdifferenzen in der Strömung und dann diese Gleichung lösen zu können mithilfe von Computern, um dann sagen zu können, unter den Bedingungen am Rand oder den Bedingungen am Anfang wird sich diese Strömung so und so bewegen.

Und dafür muss ich halt irgendwie ein Modell haben, um das zu übertragen in den Computer.

Oder eigentlich am Anfang auch, um es zu übertragen auf irgendwas, was ich mir mit Papier und Bleistift auch schon überlegen kann.

Was ist die Lösung einer Gleichung?

Die Lösung einer Gleichung ist immer, was zum Beispiel eine Funktion oder das Element, was ich halt suche.

In meinem Fall ist es halt meistens eine Funktion, aber es könnte auch ein Diagramm sein oder eine Tabelle oder so was.

Also das Ding, was ich suche, was, wenn ich es einsetze in meinem Modell, tatsächlich das Ergebnis bringt, was ich beobachtet habe.

Ja, das kann ich sogar nachvollziehen.

Wobei ich mich auch noch an eine $f(x)$ gleich x^2 erinnere.

Genau.

Du sagtest, die Algebraiker würden sagen Strukturen.

Was gibt es denn noch außer den Algebraikern?

Gibt es so große Strömungen in der Mathematik?

Wir haben die traditionelle Einteilung innerhalb der Mathematik in vier große Fächer.

Das eine ist, bei uns heißt das dann Institut für Algebra und Geometrie.

Wobei die tatsächlich sehr viel davon profitieren, dass sie ähnliche Sachen machen, aber mit einer anderen Brille.

Und die Geometer, die versuchen wirklich, sich Sachen anschaulich vorzustellen, so wie du vorhin mit deinem Abstand von der Ebene.

Und die Algebraiker sagen, ich muss mir das gar nicht vorstellen, ich kann das übersetzen in irgendwelche Strukturen, die Eigenschaften haben und in denen kann ich rechnen, ohne mir das Gehirn zu verrenken, weil ich es mir nicht vorzustellen brauche, sondern einfach blind rechnen kann und kriege aber das auch raus.

Also das ist so ein großes Fachgebiet.

Wobei die auch sagen würden, wenn man Geometer ist, dann muss man nicht unbedingt Algebraiker sein.

Und wenn man Algebraiker ist, muss man nicht unbedingt gut mit Geometrie können.

Aber da lassen sich viele Sachen ganz gut ineinander übersetzen.

Deswegen sperren wir die in ein Institut.

Das ist ja jetzt, was du gerade gesagt hast, das ist ja glaube ich genau der Punkt, an dem ich damals in der Schule aus der Mathematik ausgestiegen bin.

Diese Übersetzungsleistung aus der Algebra heraus sozusagen.

Was habe ich da falsch gemacht?

Oder was hat mein Lehrer falsch gemacht?

Am Ende sind immer die Lehrer schuld.

Naja, wenn jemand eine 5 geschrieben hat, heißt das ja erstmal, dass ihm nichts beigebracht wurde.

Ich mache vielleicht noch die Fächer fertig und rede nochmal darüber.

Das zweite große Fach ist das, was wir Analyse nennen.

Also da geht es darum, sich zu überlegen, welche Eigenschaften Funktionen haben können.

Und wenn ich die dann halt in so Gleichungen einsetze, wo man Funktionen von der Funktion ausrechnet und solche Sachen.

Und auch sozusagen Veränderungsrate, zum Beispiel in der Zeit oder im Ort, dann kommt man auf bestimmte Gleichungen, die heißen dann partielle Differentialgleichungen.

Das habe ich irgendwo bei dir auf der Webseite gelesen und aufgeschrieben.

Ja, physikalische und mechanische Prozesse, das haben die eine lange Tradition.

Und da wissen wir halt auch viel drüber und können dafür viel benutzen.

Und zu einer technischen Uni, wie es ja das KIT ist, ist das auch was sehr Etabliertes und nach wie vor auch sehr Hilfreiches.

Das sind die Analytiker, die überlegen sich dann, welche Eigenschaften solche Lösungen haben können.

Und dann gibt es das Institut für Stochastik.

Die gucken sich alle Sachen an, die irgendwas mit Zufall und Daten, gemessen an Daten zu tun haben.

Und das ist natürlich auch was, was wir jetzt alle in der Pandemie gut gelernt haben, dass das mit dem Datenerheben ganz schön wichtig ist.

Und wenn man den Haufen Daten hat, dass man da immer noch nichts dran abliest, wenn man nicht Methoden dafür zur Verfügung hat.

Hast du das Gefühl, dass wir einen Haufen Daten haben?

Ich habe irgendwie nicht das Gefühl.

Also zum Beispiel am KIT gibt es ja das Risk Layer.

Die erheben tatsächlich Daten ein.

Genau.

Das sind inzwischen schon eher über mehr als ein Jahr jeden Tag alle 401 Kreise.

Da kommt schon einiges zusammen.

Und das Institut, in dem ich bin, das heißt Institut für Angewandte und Numerische Mathematik.

Also die bekennen sich halt dazu, dass sie eigentlich für fast alles den Computer brauchen, was sie an Ergebnissen liefern.

Okay, aber was ist denn der Unterschied zwischen Angewandter und numerischer Mathematik?

Ich dachte, Mathematik wäre immer numerisch, weil mit Nummern.

Oh Gott, ist das peinlich.

Nee, das ist schon okay.

Mathematik hat immer irgendwas mit Zahlen zu tun.

Also dass das angewandt und numerisch heißt, das ist sowieso, glaube ich, an unserem Institut so ein bisschen eine Tradition, weil da mal zwei Lehrstühle zusammengelegt worden sind, wo der eine angewandt hieß und der andere hieß numerisch.

Aber das ist auch nicht völlig absurd.

Also zum Beispiel unsere Stochastiker, die würden sagen, sie sind auch angewandt.

Also deswegen, die gehören zwar nicht zum Institut für Angewandte und Numerische Mathematik, aber wären auch angewandt.

Sind die Stochastiker sozusagen die handfeste Mathematik?

Ja, was weiß ich.

Also das ist so eine Frage, was man als handfest empfindet.

Weil die arbeiten ja viel mit dem Zufall und dass Sachen nicht so ganz deterministisch sind.

Und ich finde das immer nicht so handfest.

Naja, aber die haben halt Daten, mit denen sie arbeiten.

Ja, die haben Daten und wenn sie mit den Daten dran arbeiten, wird es dann doch handfest.

Ihr braucht immer einen Computer zum Mathematik machen.

Warum das denn?

Eigentlich schon, ja.

Also ich brauche immer einen Computer zum Mathematik machen.

Der Computer, den ich brauche, heißt Taschenrechner.

Wobei das finde ich auch, das habe ich mal als Motto gelesen auf einer Broschüre von der Magdeburger Uni, wo sie dafür geworben haben, Mathematik zu studieren.

Da stand drauf, Mathematik ist die Kunst, das Rechnen zu vermeiden.

Das heißt, wir können gar nicht so gut rechnen in der Regel.

Wir können uns nur überlegen, wie es im Prinzip gehen müsste.

Oder beziehungsweise, wir lassen den Rechner rechnen.

Aber dazu muss ich doch wissen, wie man rechnet, um mir im Prinzip zu überlegen.

Das muss ich mir tatsächlich überlegen, wie man das im Prinzip macht, richtig.

Wie vermeide ich denn?

Hast du da mal ein griffiges Beispiel, dass so Typen wie ich auch verstehen?

Wie vermeidet man denn zu rechnen?

Vielleicht mal ein Beispiel, was mir gerade in der letzten Klausur unterkam, wo die Maschinenbauer höhere Mathematik gelernt haben im dritten Semester.

Wo man das Rechnen zwar nicht komplett vermeidet, aber sehr, sehr, sehr, sehr viel Rechenarbeit vermeidet.

Und zwar war unsere Frage, ich habe eine Urne, in der Urne sind fünf gelbe, zwei rote und vier blaue Kugeln.

Und ich ziehe drei Kugeln daraus, ohne zurückzulegen.

Also nachdem ich fertiggezogen habe, sind von den elf Kugeln noch acht drin.

Dann war die Frage, wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass wenigstens eine von den drei Kugeln gelb gewesen ist?

Was die Studierenden dann sehr gerne machen, weil sie da wissen, was sie tun, ist dann so einen Entscheidungsbaum zu malen.

Also so nach dem Motto, beim ersten Mal ziehen, ziehe ich entweder gelb oder blau oder rot.

Mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten, weil es halt mehr gelbe Kugeln sind als blaue und die roten sind nur zwei.

Da habe ich also eine bestimmte Wahrscheinlichkeit, mit der ich eine gelbe Kugel habe.

Beim nächsten Mal muss ich dann an jeder Stelle, also entweder für gelb, für blau, für rot, wieder gelb, blau oder rot ziehen.

Auch mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten dann für zehn verbliebene Kugeln.

Je nachdem, was ich vorher halt gezogen habe, sind das unterschiedliche Zahlen, aber es ist ganz einfach, sich das zu überlegen.

Also so elementar, dass man das auch, da braucht man nicht erst drei Semester noch für studieren, sondern das ist nur, sich das zu überlegen und aufzuschreiben.

Und dann kann man sich überlegen, dann hat man dreimal, dreimal, dreisiebenundzwanzig Endpunkte mit unterschiedlichen Wegen, wie man da hinkommen kann und die muss man dann alle auswerten, um dann zu gucken, wo ist eine gelbe Kugel dabei.

Oder eine, zwei oder drei gelbe Kugeln dabei, um die dann alle zusammen zu zählen, um dann diese Wahrscheinlichkeit auszuweichen.

Das ist echt eine Heidenarbeit.

Ich wollte gerade sagen, das will ich ja gar nicht, ich will das ja gar nicht alles auswerten.

Genau, das will ich gar nicht.

Und was macht man dann, wenn man Mathematik verstanden hat?

Dann überlegt man sich, was ist denn, wenn keine gelbe Kugel drin ist, in meiner Ziehung.

Das heißt, wenn ich keine gelbe Kugel haben will, dann muss ich beim ersten Mal

entweder blau oder rot gezogen haben.

Das sind insgesamt sechs Kugeln von den elf.

Nach dem Zug muss ich dann wieder eine blaue oder rote gezogen haben.

Das sind fünf Kugeln von den zehn, die dann noch da waren.

Und beim dritten Mal muss ich wieder eine blaue oder rote gezogen haben.

Das sind vier von den dann noch neun übrigen.

Und die drei Wahrscheinlichkeiten kann ich miteinander multiplizieren.

Sonst hätte ich das 27 Mal machen müssen, hier muss ich es nur einmal machen.

Und da kommt irgendwie $120/99$ raus.

Das weiß ich jetzt nur, weil ich das jetzt gerade hundert paarundneunzig Mal korrigiert habe.

Weil du das natürlich im Kopf ausgerechnet hast.

Genau, und das kann ich dann von eins abziehen, weil eins ist sozusagen die Wahrscheinlichkeit von allen unterschiedlichen Ereignissen.

Und kriege ich dann die Wahrscheinlichkeit dafür raus, dass es wenigstens eine gäbe.

Eine sehr kleine, kurze Rechnung, wo ich mir auch in jedem Schritt sehr sicher bin, was ich tue.

Aber eben im Vorhinein mir überlegt haben muss, wie ich das am effektivsten ausrechne.

Nicht irgendwie Brut Force, was natürlich mit dem Computer auch immer geht.

Was ich machen würde.

Und das auch jetzt erstmal nicht.

Das ist okay, die haben auch ihre Punkte gekriegt.

Aber das ist halt dann sozusagen in einer kurzen Zeile erledigt, wo andere eine ganze A4-Seite erstmal das Modell aufgemalt haben.

Und dann noch eine Seite gerechnet haben, um hoffentlich dasselbe Resultat rauszukriegen, wenn sie sich nicht vertan haben unterwegs.

Und das ist so ein Beispiel dafür, wenn ich halt vorher drüber nachdenke, kann ich mir sehr viel Rechnung vermeiden.

Aber über was genau denke ich danach?

Also was genau bringt mich überhaupt zu der Annahme, dass ich das ganze Ding auch im Grunde andersrum betrachten kann?

Ja, das ist so ein bisschen die Frage.

Das ist so eine bestimmte Art, auf Probleme zu gucken, die man lernt, indem man halt viel Zeit damit verbringt, Mathematik zu machen.

Und da sind wir auch wieder an der Stelle, wo ich dich vorhin so ein bisschen abgewürgt habe, weil ich dachte, wir machen jetzt erstmal die vier unterschiedlichen Institute.

Ich glaube, was so ein Knackpunkt ist da drin, um gut Mathematik zu machen und auch letztendlich dann gern Mathematik zu machen, weil man es erfolgreich

macht, ist, dass man immer die Chance hat, an dem dran zu bleiben, was man lernen will.

Also es ist natürlich immer so, dass wir uns wünschen, dass jemand, der Mathematik unterrichtet oder überhaupt jedes Fach unterrichtet, dadurch, dass man sich vorne hinstellt und das alles möglichst kleinteilig erklärt, dass es den Personen, die dazuhören, möglichst leicht macht, dem zu folgen, sich das anzueignen und dann anschließend als eigenes Wissen zur Verfügung zu haben.

Aber das funktioniert halt nicht.

Es funktioniert nur, wenn die dann selber damit agieren können.

Also die müssen selber dann Mathematik machen in dem Sinne, also selber sich diese Art, auf Probleme zu gucken, aneignen, indem sie immer wieder noch mehr und andere Beispiele davon sehen und nicht unbedingt auch ganz alleine, sondern vielleicht auch in Zweier- oder Dreiergruppen im Gespräch darüber, warum sie jetzt da an der Stelle nicht weiterkommen und was das Problem ist.

Und ich vermute halt, da war eine Stelle in dem Prozess, was du hättest lernen sollen in dem Matheunterricht, der dir halt entgangen ist.

Und dann hattest du keine Chance, einfach da dran zu bleiben, entweder aus Zeitgründen oder weil du schon so frustriert warst und keinen hattest, der sich einfach mal mit dir hinsetzt und sagt, jetzt gucken wir uns einfach mal als zwei Dumme das Problem an.

Und wenn man sich dann gegenseitig erklärt, wo man nicht weiterkommt, meistens endet es da drin, dass man auf eine Idee kommt.

So was gab es bei uns gar nicht.

Wir hatten halt Frontalunterricht.

Und irgendwann, wie du sagst, war die Frustration so groß, dass ich mich darauf verständigt habe.

Ich bin dann halt hingegangen und habe einfach nur noch alles auswendig gelernt.

Aber ich habe nicht begriffen, was ich da tue und habe da dann die Variablen mit Werten gefüllt.

Witzigerweise habe ich sogar Abitur in Mathe gemacht und zwar nicht gut.

Die Note weiß ich allerdings nicht mehr.

Aber das ist auch so eine Erfahrung, die ich jetzt über den Podcast mache.

Ich rede ja dann immer mit Kolleginnen und Kollegen, die in irgendeiner Art und Weise entweder Mathematiker sind oder sehr viel Mathematik lernen mussten, um ihren jetzigen Beruf auszuführen.

Dass die halt auch die Erfahrung machen.

Häufig haben die tatsächlich in der Schule noch Spaß an Mathe gehabt oder zumindest die Erfahrung gemacht, dass sie damit hantieren können.

Und dann aber, wenn sie ins Studium übergehen, dann wechselt halt das Tempo so rasant, dass sie sich nochmal ganz neu erarbeiten müssen, wie man jetzt da überhaupt auf dem Stand bleibt.

Und da hilft echt total, jemanden finden, der sich genauso dumm fühlt und dann da zusammen hinsetzen und einfach dranbleiben.

Und das ist nicht schön.

Aber am Ende führt es dazu, dass man es kann und dass man sich dann auch

freigeschwommen hat und dann die restlichen Jahre im Studium wieder Spaß haben kann.

Da wäre ja in der Schule eventuell sogar, ich meine, was du da beschrieben hast, also die Kunst, das Rechnen zu vermeiden, ist ja eigentlich, also das Wort, was mir da als erstes einfällt, ist Eleganz.

Ja, es ist ja sehr elegant, solche Lösungen.

Sie sind kurz, sie sind knackig, man kann sie mitnehmen und so.

Was sicherlich versäumt wurde oder ich versäumt habe, ist zu verstehen, dass Mathematik Eleganz zur Folge hat auf irgendeine Art und Weise.

Ist das der Ansatz, mit dem man da kommen müsste in der Schule?

Oder mit dem man hätte kommen müssen?

Ich weiß gar nicht, wie Schule heute aussieht, realistischweise.

Ja, Schule ist ja divers.

Aber damals hat jemand gesagt, Mathematik ist die Kunst, das Rechnen zu vermeiden.

Wenn man mir das gesagt hätte, hätte ich wahrscheinlich gedacht, oh, das klingt gut, das höre ich mir mal an.

Das klingt gut.

Ja, ich finde auch, tatsächlich ist das so, in der ganzen Bildung ja so, dass wir an bestimmten Idealen hängen, die alle schon ziemlich alt sind und wo es uns sehr schwerfällt, die so ein bisschen zu aktualisieren.

Da kann natürlich immer noch eine Lehrperson sehr großen Einfluss drauf nehmen, wie sie das für sich adaptiert und das gar nicht so schlecht machen.

Aber Leute, die es halt einfach so ganz normal machen, wie sie es selber irgendwie gerade so schaffen, also das ist halt im Matheunterricht, glaube ich, häufiger der Fall.

Da bleibt von Mathematik nur übrig, dass man da rechnen lernt.

Und das ist tatsächlich eine Fertigkeit, die nicht die wichtigste vielleicht ist.

Also selbst wenn ich sage, ja klar, wenn ich im Supermarkt bin und nicht gerade mit Plastikgeld bezahlen will, muss ich wenigstens überschlagen, ob mein Bargeld, was ich dabei habe, reicht.

Das will ich vielleicht, okay.

Aber ich muss das nicht wirklich ausrechnen, das macht ja die Kasse.

Ich muss das nur überschlagen können.

Oder, was weiß ich, dass ich fürs tägliche Leben so Überschläge machen kann, damit ich weiß, ich habe jetzt irgendein Holzding, das ist so und so groß und ich erwarte, das ist dann so und so schwer.

Dann kann ich das jetzt heben oder nicht.

Das ist ja Sekundarstufen 1 Mathematik.

Ja, ja.

Also es sind schon so Sachen, da will ich das nicht völlig in Abrede stellen.

Aber dieses Training, dass ich gut Sachen ganz exakt ausrechnen kann, das ist

für sich genommen nicht so wichtig.

Also was natürlich wichtig ist an dem Rechnen, ist, dass ich zum Beispiel mit Freude irgendwann feststelle, dass es total egal ist, ob ich $3+2$ oder $2+3$ rechne.

Weil das selber rauskommt.

Und dann zu überlegen, woran das liegen könnte oder wofür das noch so ist, dass man das einfach vertauschen kann.

Und wo es vielleicht mit dem Vertauschen nicht mehr so gut geht.

Wo geht das denn nicht mehr so gut?

Ja, das, ich muss jetzt gerade lachen schon, weil das ist ja immer so eine Sache, womit wir die Studierenden auch immer schön foppen können.

Also ich habe ja eben als Beispiel Operation Addieren gehabt und Multiplizieren ist ja gar nicht so sehr viel anders.

Das ist auch so, dass ich die zwei Faktoren in der Reihenfolge vertauschen kann.

Wenn ich jetzt aber Matrizen habe, also ich ordne die Zahlen in so einem Zeilen und Spalten an, um damit irgendwas darzustellen, was weiß ich, zum Beispiel ein Gleichungssystem kurz schreiben zu können.

Also selbst wenn das nur zwei Zeilen und zwei Spalten sind, das ist die kleinste Matrix, die jetzt nicht nur auch eine Zahl ist, dann kann ich nicht einfach zwei Matrizen auf beide Arten miteinander multiplizieren und erwarten, dass da dasselbe rauskommt.

Also da ist die Multiplikation nicht vertauschbar.

Und dann fragen wir die Studierenden als Übungsaufgabe, denken sie sich mal

zwei Matrizen aus, wo das nicht klappt.

Und dann denken die ewig nach, aber die müssten nur irgendwelche Matrizen nehmen, die keine besonderen Strukturen haben, dann klappt das nämlich nicht.

Ich habe noch nicht mal verstanden, was eine Matrize ist.

Ja, tschuldigung.

Also wenn ich zum Beispiel ein Gleichungssystem habe, das kannst du dir sicher nach vorstellen.

Ein Gleichungssystem ist $2+3=5$, ne?

$2+3=5$ und jetzt mache ich daraus $2x+3y=5$.

Dann habe ich eine Gleichung in x und y mit zwei Unbekannten.

Da kann ich natürlich noch nichts rauskriegen, weil ich da noch mehr Informationen brauche, als nämlich noch eine zweite Gleichung.

Zum Beispiel $5x+7y=8$.

Dann habe ich zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten und würde hoffen, dass ich die für x und y dann so auflösen kann, dass da jeweils eine Stelle rauskommt.

Du würdest das hoffen?

Die Aufgleichung stimmen.

Achso, das heißt meine x und y muss in diesen beiden Gleichungen identisch sein?

Genau, das x ist dasselbe und das y ist dasselbe in den beiden Gleichungen.

Zum Beispiel könnte ich das auch so machen, dass ich die als Gerade darstelle und dann müssten sich sozusagen die zwei Geraden schneiden, sich dann an einer Stelle x mit den Koordinaten x und y dieses Gleichungssystem löst.

Das wäre die geometrische Weise, das anzuschauen.

Aber ich wollte ja auf Matrizen raus und da schreibe ich das dann sozusagen, weil das ist wirklich umständlich immer zu schreiben $2x+4y$ und $8x+7y$.

Weil diese x und y immer mit zu schreiben, vor allem wenn es dann noch mehr als nur zwei sind.

Und da hat man dann so eine abkürzende Schreibweise, dass ich sage, ich schreibe alle Koeffizienten, also diese Zahlen, die vor x und y stehen, die trage ich ein in so ein Schema.

Also das wären jetzt zwei Zeilen und zwei Spalten, da stehen insgesamt vier Zahlen, alle diese Vorfaktoren vor x und y , die ich eben in meinen zwei Gleichungen hatte.

Also 2, 3, 5, 7 würde dann da stehen sozusagen.

Das Dumme ist, dass ich das jetzt einfach so daher gesagt habe und tatsächlich gar nicht mehr weiß.

Wir haben $2x+3y=5$, $5x+7y=8$.

Da hat einer mitgeschrieben.

Ich schreibe die ganze Zeit mit Umwürfeln.

Schrecklich.

Dann habe ich die 2 und die 3 in der ersten Zeile. 5 und die 7?

5 und die 7 in der zweiten Zeile.

Und dann kann ich sozusagen...

Aber woher weiß ich denn, wenn ich das jetzt sehe, dann sehe ich ja eigentlich nur 23,57.

Genau, das könntest du so sehen.

Das ist auch was, was dann in der Klausur sehr gerne passiert.

Woher weiß ich denn, wie du das gemeint hast, als du das dahin geschrieben hast?

Das muss man natürlich dazu sagen.

Das ist auch eine Sache, die in der Mathematik immer sehr, sehr wichtig ist, dass man vor allem dazu sagt, wie man das meint.

Weil das in der Abkürzung, die uns hilft, schneller dann nachzudenken oder die Struktur schneller zu erkennen, liegt natürlich sehr viel drin, was man vorher vereinbart haben muss, was das bedeuten soll.

Du sagtest eben, Mathematik gerne machen, erfolgreich machen.

Ich habe verstanden, dass Mathematik zu Eleganz führt.

Das ist die Kunst, das Rechnen zu vermeiden.

Ich merke das natürlich auch mit den ganzen Gesprächen, die ich schon geführt habe, die immer mal wieder Mathematik angekratzt haben.

Das ist eine total coole, schöne Sache, habe ich die ganze Zeit das Gefühl.

Jetzt würde ich die gerne machen und erfolgreich machen.

Wo fange ich denn an, jetzt auf meine alten Tage noch Mathematik zu lernen?

Ist es überhaupt sinnvoll, dass ich das machen will?

Oder ist mein Leben sowieso schon gelaufen?

Ich denke, es gibt kein Alter, in dem man sich nicht noch Sachen aneignen kann.

Da finde ich das Wichtigste, dass es einen interessiert.

Was mich daran interessieren würde, ich motiviere jetzt die ganze Sendung über mich, was mich interessieren würde, ist, wie ich dahin komme, von dieser Eleganz etwas abzukriegen.

Ich finde das so faszinierend, das nicht zu können, dass ich es gerne können würde.

Das reicht mir schon, es gibt kein Problem, das ich lösen will.

Wobei ich denke, dass es sinnvoller ist, auf eine Stelle zu gucken, die ich dann verstehen will und dass ich mich da rein arbeite.

Eine Stelle?

Ja, eine Stelle in der Mathematik, in unserer reichhaltigen Landschaft, die wir Mathematik lernen.

Aber welche Stelle sucht sich der Idiot denn idealerweise aus, damit er nicht sofort wieder frustriert ist?

Ich denke, ein guter Einstieg sind Nachdenk- oder Knobelaufgaben.

Da gibt es tatsächlich immer so Aktionen.

Sudoku.

Sudoku, ja, das ist auch Gehirnjogging.

Da ist auch ganz schön viel Mathematik drin.

Aber Sudoku gehört auf alle Fälle in die Klasse rein, klar.

Aber es ist halt dann nur genau das eine, was man dann verstanden hat.

Aber wir haben zum Beispiel diese Aktion "Mathe im Advent" schon seit ganz vielen Jahren.

Und da gibt es dann jeden Tag ein Fensterchen, das man im Adventskalender aufmacht.

Da ist dann eine Knobelaufgabe dahinter.

Und da kann man dann einfach mal versuchen, ob man das rauskriegt.

Und vielleicht wird man nicht jede rauskriegen, aber man wird vielleicht über ein paar Sachen ins Nachdenken kommen oder auch mal das im Smalltalk mit anderen besprechen und dann versuchen, auf eine Lösung zu kommen.

Und kann dann auf die Art und Weise sehen, was eigentlich so Themen sind, die man selber spannend findet.

Weil das geht natürlich durch alle möglichen unterschiedlichen Themen der Mathematik durch.

Was für Themen wären das denn zum Beispiel?

Kannst du dir das mal vorstellen?

Klassischer Dreisatz?

Nee.

Naja, klassischer Dreisatz, das gehört zum Beispiel auch zu den Sachen, wo ich denke, das sollte auch wirklich jeder an der Schule gelernt haben.

Und dummerweise ist das häufig das Beispiel, wo dann immer alle sagen, das war das, wo es bei mir aufgehört hat.

Das habe ich nie verstanden.

Nee, hat bei mir super funktioniert noch, aber mittlerweile ist es so, dass ich teilweise vor solchen Aufgaben sitze, weil die hat man ja total oft.

Ja, die hat man nämlich total oft.

Und ich sitze mittlerweile total oft da und denke, nee, warte mal, ich kann das nicht mehr, ich habe das verlernt.

Kann man das verlernen?

Das kann man doch gar nicht verlernen, oder?

Nee, das kann man nicht wirklich.

Also was man natürlich verlernt, ist die Routine.

Aber dann muss man sich einfach die Zeit geben, das nochmal in Ruhe aufzuschreiben und in Ruhe zu durchdenken und dann weiß man es auch wieder.

Das ist wie Radfahren, das verlernt man nicht.

Das hat man einmal verstanden.

Was schwierig ist, wenn die Leute tatsächlich sich nur die Formel gemerkt haben und dann sich daran nicht mehr erinnern.

Das ist natürlich ein Problem.

Aber wenn ich weiß, worum es da geht, dann kann ich mir das auch wieder aufschreiben und kann mir das auch wieder durchdenken und kriege dann auch wieder das Ergebnis raus.

Wie ist denn die Formel für einen Dreisatz?

Ich weiß das tatsächlich nicht mehr.

Das ist aber jetzt auch wieder so eine Frage.

Jetzt habe ich dich erwischt.

Als ich zur Schule gegangen bin, hieß das nicht Dreisatz.

Und ich habe ganz lange gebraucht, um herauszufinden, wenn in der alten Bundesrepublik jemand vom Dreisatz spricht, was das eigentlich ist.

Du bist DDR-sozialisiert?

Genau, ich bin DDR-sozialisiert.

Und bei uns hieß das nämlich Proportionalitätsrechnung.

Klingt wesentlich plausibler.

Ich habe sozusagen drei Größen und eine unbekannte Größe, drei Bekannte, eine unbekannte Größe.

Und von diesen drei Bekannten weiß ich, dass zwei davon ein bestimmtes Verhältnis zueinander haben.

Das eine ist doppelt so groß wie das andere.

Und dann von meiner unbekanntem Größe weiß ich auch, dass die doppelt so groß sein soll wie eine, die ich kenne.

Also von dieser dritten Zahl, die ich auch noch kenne.

Und dann kann ich das umstellen nach dieser unbekanntem Größe und kann das ausrechnen.

Und dieses im Verhältnis stehen, kann ich auch aus den drei Parteien, dieses Proportionalsein.

Warum ist das mit der Deutschen Einheit zum Dreisatz geworden und nicht zu dem Ding, was man viel eher versteht?

Keine Ahnung.

Ich habe manchmal das Gefühl, dass eben sehr viel in der Mathematik, also in der Schulmathematik darauf hinausgeht, dass man versucht, das den Schülerinnen und Schülern so einfach wie möglich zu machen.

Und dann denkt diese einfach, also sozusagen, ich habe mir beschrieben, dass ich vier Größen habe, von denen ich drei kenne, eine ist unbekannt.

Und die haben halt dieses, dass sie in demselben Verhältnis zueinander stehen, ist das, was ich noch weiß.

Da brauche ich mir nur eine Formel zu merken.

Und dann kann ich die nach den drei Möglichkeiten, wo meine Unbekannte in dieser Kombination steht, kann ich mir das dann immer umstellen.

Und beim Dreisatz, die lernen halt dann drei Formeln für die drei Stellen, wo die unbekannte Größe stehen könnte.

Also es ist vielleicht hilfreich, um dann die eine Klassenarbeit zu bestehen, die man dann direkt im Anschluss schreibt.

Aber dann hat man es eben nach zwei, drei Monaten wieder vergessen und weiß dann nicht mehr, wie man das eigentlich machen muss.

Das ist ja eigentlich Standard im Schulsystem, zumindest zu meiner Zeit noch gewesen, dass es im Grunde nur um dieses bulimische Lernen ging.

Schnell rein, schnell raus.

Und im Abi dann umso mehr rein und möglichst viel raus.

Zumindest was die Dinge angeht, die ich nicht einfach verstanden habe.

Aber was sind denn jetzt zum Beispiel die Problemstellungen in diesem Adventskalender?

Da waren wir hängen geblieben.

Ich kann dir das jetzt ganz ehrlich gar nicht sagen, weil ich da nicht hingehere.

Ich habe da keine Zeit für.

Auch wenn ich dich da jetzt gerade hingeschickt habe.

Nee, weil ich finde das auch, also das ist auch ganz klar, dass das extrem erfolgreich ist, weil da halt Jahr für Jahr immer Tausende teilnehmen.

Also es gibt schon irgendwie so eine Schicht, die da sehr von angesprochen ist, um mal Mathematik angeboten zu bekommen, die über das hinausgeht, was man halt entweder selbst in der Schule gelernt hat oder gerade als Schülerin und Schüler in der Schule angeboten bekommt.

Und das stelle ich halt auch in unserem Podcast immer wieder fest, dass es eine ganz schön großes Klientel gibt, die sich prinzipiell dafür interessieren, auch wenn sie selber nicht das Gefühl haben, da so total perfekt drin zu sein und immer alles genau verstanden zu haben.

Dann werde ich das doch mal versuchen.

Es ist tatsächlich so, ich habe das schon häufiger gesehen und das ist Quatsch.

Das ist nichts für dich, die Numerik partieller Differenzialgleichung.

Was ist das eigentlich?

Ja, Numerik partieller Differenzialgleichung ist auch echt ein bisschen fies, weil da muss man ganz schön viele Sachen verstanden haben, ehe man da was raus, also immer das benutzen kann und selber dann damit arbeiten kann.

Aber andererseits ist das auch total faszinierend, was dann am Ende damit möglich ist.

Also ich habe ja gesagt, bei mir geht es vor allen Dingen darum zu verstehen, wie Strömungsprozesse ablaufen.

Da kann man sich ja schon vorstellen, dass da ganz viele Sachen, also ganz viele Sachen sind Strömungen, die uns echt was angehen.

Also angefangen vom Wetterbericht, wo die Luft und die Wolken und das Wasser im Ozean strömen und dann zusammen dafür sorgen, wie sich das Wetter entwickelt.

Das müssen wir alles auf dem Rechner simulieren und die einzelnen Systeme miteinander koppeln, um dann voraussagen zu können, wie morgen die Temperaturen unter Niederschlag werden.

Aber es ist auch so etwas wie Joghurt abfüllen.

Joghurt abfüllen?

Ja, da strömt auch der Joghurt durch die Leitung und macht dann "pffff".

Und dann soll das möglichst so sein, dass das schnell geht, aber nicht kleckert.

Und der Joghurt hat auch ein paar interessante Strömungseigenschaften, die sich halt von dem unterscheiden, was wir so kennen, wenn wir Wasser beobachten oder ein bisschen langsamer als Wasser ist Honig, aber das ist nicht so viel anders, solange der noch so cremig ist und nicht kristallin wird.

Der Unterschied ist wahrscheinlich einfach nur die Zeit, oder?

Genau, das ist eine Zeitachse, die da mit eingeht.

Und dann ist es natürlich so, wenn ich dann so etwas rechne, und okay, beim Wetterbericht haben wir uns inzwischen alle dran gewöhnt, wie uns das erklärt wird.

Da haben wir uns auch so ein bisschen eingelesen, was das dann alles so bedeutet.

Aber wenn ich zum Beispiel jetzt so etwas mache, wie ich modelliere den

Bahnhof in Stuttgart, der jetzt schon ewig gebaut wird und noch lange nicht fertig ist, aber wo ich auch sozusagen das Strömen von den ganzen Zügen da irgendwie simulieren muss, unter bestimmten Randbedingungen.

Und dann muss ich irgendwelchen Leuten, die da in der Verwaltung sitzen und natürlich auch irgendwie so ein bisschen eine Matheausbildung haben, aber eigentlich mehr sich mit Gesetzen und sowas auskennen und wie man da Projekte bewilligt, aber nicht so richtig, wie man jetzt Strömung rechnet.

Denen muss ich dann erklären, was ich da rausgefunden habe.

Und ich finde, das ist auch so etwas, das lernen wir auch nicht in der Mathematik, aber das ist etwas, was super, super, super wichtig ist, dass ich über die Zeit, wenn ich dann mit Leuten spreche, die nicht Fachleute sind, und will denen erklären, was ich da rausgekriegt habe und wo bestimmte Sachen kritisch sind oder warum das dann kritisch ist, an welcher Stelle das hängt, dass ich das gut erklären kann.

Und das steht und fällt häufig damit, dass ich das auch gut visualisieren kann.

Also davon Bilder machen, Filme machen, die sich dann darauf konzentrieren, was ich da wirklich an Information überbringen will.

Das heißt aber dann, dass du die Sprache der Mathematik rückübersetzen musst in eine Alltagssprache.

Genau, in eine Alltagssprache und dann auch möglichst präzise, also im Sinne von, obwohl es Alltagssprache ist, aber dass ich eben sage, was weiß ich, das kann man so und so nicht bauen, weil zum Beispiel, wenn dann an der und der Stelle ein Feuer ausbricht, dann haben wir auch schon wieder ein Strömungsproblem, weil dann nämlich sich der Rauch verteilt in dem unterirdischen Bahnhof, dann verteilt der Rauch sich halt so, dass ich voraussagen kann, jemand, der an der und der Stelle auf dem Bahnsteig steht, der schafft es nicht mehr, die Treppe hochzukommen oder so.

Also auf solche Fälle muss ich das dann runterbrechen, wo ich dann ganz unfassbar für jemanden machen kann, dass man da irgendwas ändern muss.

Kannst du solche Simulationen, also das ist ja jetzt nicht irgendwie $A^2+B^2=C^2$, das ist ja eine endlose Kette von Parametern, die du hintereinander setzen und miteinander in Bezug setzen musst.

Kannst du so was auf dem Papier aufschreiben, bevor du es mit Daten fütterst und dann simulierst?

Weißt du, was ich meine?

Wie aus dem Film, diese große Tafel mit den langen Formeln.

Also ich brauche das tatsächlich, dass ich mir vorher auf dem Papier überlege, wie die einzelnen Elemente da zusammengreifen.

Und natürlich ist es dann so, dass ich immer in jedem einzelnen Element, was ich dann ausführen muss, mache ich, wenn ich das auf dem Computer programmiere, ich mehr, als ich auf meinem Papier aufgeschrieben habe.

Auf dem Papier steht dann, was weiß ich, die und die Gleichung lösen.

Dafür muss ich dann ein ganzes Programm entweder selber schreiben oder aus einer Bibliothek übernehmen oder von einem Kollegen übernehmen.

Und dann überlegen, da kommt das und das raus, das muss ich so und so übergeben an den nächsten Schritt.

Aber ich muss mir vorher erst mal überlegen, wie das im Prinzip gehen soll.

Also ich tue vorne das rein, muss dann die und die Schritte abarbeiten und am Ende soll das und das rauskommen in der und der Form.

Das muss ich mir vorher mal auf dem Papier überlegt haben.

Aber ich habe auch das Gefühl, das ist so ein Ding, dass ich, indem ich Sachen schreibe und anordne auf dem Papier, dass das in meinem Gehirn auch dadurch klarer wird.

Okay, es gibt genauso Mathematiker, Mathematikerinnen, die sitzen grübelnd in der Ecke und bringen...

Das gibt es ganz viel, dass man da eine ganze Weile rumsitzt und auch eben Sachen schreibt, die für andere Leute gar nicht verständlich sind, aber die für einen selber irgendwas visualisieren.

Bis es dann sozusagen im Kopf an die richtige Stelle gefallen ist, dass man selber versteht, was man da eigentlich wollte.

Aber es gibt auch die Typen, die sich einfach dann einen Rechner setzen und fangen einfach mal an.

Und ja, das geht gut oder auch nicht.

Aber wie denkt denn eine Mathematikerin?

Also ich komme jetzt zu dir und sage, so Täter, simulieren Sie mal den Bahnhof.

Ja, also das ist so ganz typisch, dass man sich erst mal überlegt, was habe ich eigentlich für Informationen?

Das ist eigentlich auch in der Schule, das trainiere ich ja.

Also zumindest meine Kinder habe ich auch immer danach trainiert, erst mal zu gucken, was ist gegeben, was ist gesucht.

Und dann gucke ich mir das an und dann überlege ich, wie kann ich das zueinander in Beziehung setzen mit dem, was ich bis jetzt gelernt habe.

Und dann kann ich anfangen, drüber nachzudenken, wie ich da von dem Gegebenen auf das Gesuchte kommen kann.

Und als Mathematiktreibender macht man das genauso.

Man guckt sich halt an, was ist da, was kann ich halt an Daten erheben aus der Realität oder was ist sozusagen das, was ich an Informationen habe.

Dann muss ich da aber noch ein bisschen genauer drauf gucken, was sind davon auch wirklich relevante Sachen, was ist vielleicht auch einfach nur.

Wir haben zum Beispiel in der linearen Algebra, von der ich ja vorhin schon von den Vektorräumen erzählt habe, gibt es immer dieses Prinzip, dass was linear unabhängig ist.

Und das bedeutet, dass das wirklich eine Information ist, wo nicht schon ein Teil von der Information auch in anderen Informationen mit drin steckt.

Kannst du das konkretisieren?

Also wenn ich zum Beispiel im dreidimensionalen Raum, in dem wir uns ja alle bewegen, wenn wir mal die Zeit weglassen, einen Punkt festmachen möchte, muss ich halt immer meine drei Raumkoordinaten dazu geben.

Und wenn ich dann zu einer anderen Person, die auch eine Stelle hat, die durch drei Raumkoordinaten bestimmt ist, hingehen will, dann habe ich eine Richtung.

Und diese Richtung wird halt durch diese drei Komponenten im Raum beschrieben.

Dass das jetzt drei sind, das ist schon eine Erkenntnis.

Ich könnte ja auch sagen, ich brauche vier oder zwei.

Aber zwei sind halt nicht genug und vier sind so, dass es schon eine zu viel ist.

Also da steckt in der vierten, steckt schon nur noch Information drin, die ich durch die anderen drei schon habe.

Ach ne, wenn die vierte Zeit ist aber nicht, oder?

Dann nicht, richtig.

Aber das ist dann sozusagen wieder was, was wir da neue Dimensionen nennen.

Und das, ich meine, das werde ich auch für Probleme aus dem echten Leben gar nicht so hinkriegen, dass ich das so ganz sauber getrennt kriege.

Aber ich kann wenigstens erstmal so grob das ein bisschen auf die eigentliche Struktur runterbrechen.

Also was ist da wirklich, was eine große Rolle spielt?

Und im Prinzip machen das nicht nur Mathematiktreibende so, sondern auch viele von den Ingenieuren, die so über Maschinenbau nachdenken oder auch beim Bauen, die haben auch so Erfahrungswerte, wo sie halt wissen, was weiß ich, wie schwer so ein Ding ist.

Die fangen halt davon ab, wie groß es ist und was das für ein Material ist, also so Dichte und sowas.

Das wissen die dann halt auch und können das dann in so ein Modell einbringen.

Und so gucke ich mir halt das auch an, wenn ich Mathematik mache.

Und dann kann ich mich auch irren.

Ich kann da Sachen weglassen, wo ich hinterher feststelle, das war doch wichtig.

Oder ich kann noch zu viel am Anfang drin lassen.

Aber ich kann erstmal anfangen mit einem Set, wo ich denke, ja, da habe ich den Eindruck, also es gibt bei mir so ein Gefühl von Wahrheit im Kopf.

Das ist eine gute Art, da die Brille aufzusetzen, auf das Problem zu gucken.

Und dann gucke ich mir als nächstes an, wenn ich jetzt zu meinen gefragten Ergebnissen hinkommen will, was weiß ich denn, was habe ich denn schon gesehen, wie man das im Prinzip so ähnlich schon mal gemacht hat, wo ich vielleicht nur noch einen Schritt dazufügen muss oder wo ich zwei Prozeduren habe, wenn ich die geeignet mische, dann könnte ich eine Chance haben, dass ich da zumindest in der Nähe von dem Resultat rauskomme.

Und wenn ich dann erstmal in der Nähe bin, kann ich ja wieder nachdenken, wie ich dann den letzten Schritt auch noch schaffe.

Also es hat auch viel mit Erfahrung zu tun, was ich schon gesehen habe, was ich dann versuche als Weg, um das Problem zu lösen.

Was du schon gesehen hast, dann im Sinne von, ich habe schon mal eine Gleichung gesehen, die ein ähnliches Problem beschreibt.

Ja, also in meinem Feld wäre es typischerweise irgendeine Partial Differential Gleichung, die ich schon mal in einem anderen Paper gesehen habe oder wo mir ein Kollege schon mal davon erzählt hat, dass sie das so und so modelliert haben und zwar aus dem und dem Grund.

So und so modelliert haben, da denke ich, ach ja, ich habe ja hier auch so einen Term, der irgendwie so eine Art Quelle zum Beispiel ist.

Das haben die so gemacht, das kann ich ja hier auch mal so probieren.

Und dann ist irgendwas transportiert worden, das würde man typischerweise so in eine Gleichung schreiben und so versucht man dann, sich so ein Modell zu bauen.

Gibt es bei euch Mathematiker*innen so etwas wie Bücher, in denen so Gleichungen drinstehen und in denen ihr so vor euch hinblättert?

Ich habe so ein romantisches Bild, wo man im Ohren sitzt und die sitzen und vor euch hinblättert.

Das ist gar nicht so abwegig.

Das ist ja interessant, das ist ja wahrscheinlich genauso, wie wenn ich ein Buch über die Geschichte des Hörfunks lese oder sowas.

Ne, das ist tatsächlich gar nicht so abwegig.

Wir versuchen natürlich am Ende immer so eine Art, wie so eine Geschichte der Menschheit, so eine Geschichte aller möglichen Gleichungen zu einem bestimmten Problem dann zu haben, was man nicht immer hinkriegt.

Aber gerade bei Strömungen ist immer relativ wichtig, welche Eigenschaften hat das Material?

Also das an und wie das dann wirklich strömt, das liegt daran, was das für ein Stoff ist.

Und dafür gibt es tatsächlich schöne Hierarchien, von was ich eigentlich alles für den Stoff messen kann, um dann bestimmen zu können, der genügt den und den Materialgesetzen und kann das dann in eine Gleichung einfügen, die prinzipiell das Strömen beschreibt.

Also das ist auch ganz schön anzugucken.

Wenn so jemand wie du sagt, Problem, das es zu lösen gilt, das ist ja jetzt nicht wie kriege ich den Kasten Bier in den Keller.

Das ist schon auch.

Also du würdest ja überlegen, der Bierkasten ist so und so schwer.

Okay, das heißt, ich hätte eine Variable für das Gewicht, die in meiner Gleichung steht?

Genau.

Dann ist halt die Frage, kann ich das in meiner heutigen Tagesform einfach in meine zwei Hände nehmen und dann runtergehen und den da abstellen?

Das wäre ja so die geradlinige Lösung, die man so ganz häufig schon gesehen hat.

Genau.

Aber dann stelle ich vielleicht fest, dass heute irgendwie mein rechter Arm nicht so richtig geht, weil ich mich irgendwie verletzt habe und mit dem linken, da hängt dann der Kasten so schief.

Das ist irgendwie auch blöd.

Das wäre aber dann schon wieder, dann wäre die Variable Fitness würde sich dann ja schon wieder in mehrere Teile aufspalten.

Hat auch was mit Geometrie zu tun.

Zwei Arme sozusagen aufspalten.

Aber dann müsste ich auch die Arme wieder beschreiben.

Ich will das auf drei Arme aufteilen, dann wird es wirklich schwierig.

Da muss man sich schon ein bisschen überlegen, wie man das macht.

Ich bin ja mit zwei Armen gerade.

Also ich hätte halt den Kasten, der hat ein bestimmtes Gewicht.

Ich habe dann eine bestimmte Richtung, in die ich gehen muss an einen bestimmten Ort.

Die Zeit ist mir erstmal egal, weil es ist ja mein Kasten und ich habe heute eh nichts mehr vor.

Aber die Fitness, alleine für die Fitness müsste ich dann auch schon wieder eine Gleichung finden, die ja alle möglichen Gesundheitszustände, die ich haben kann, zumindest im Zusammenhang mit dem Kasten Bier untertragen, die das abbildet.

Wobei das Problem würde ich tatsächlich gar nicht so kompliziert machen, sondern würde ich einfach nur als Lösung haben, geht oder geht nicht.

Ja, aber woher weiß ich denn, ob es geht oder geht nicht?

Beziehungsweise wie würdest du es dann notieren, wenn du von der Lösung ausguckst, geht, geht nicht?

Ja, ich glaube, für einen Kasten Bier würde ich nicht anfangen, irgendwas aufzuschreiben, sondern da würde ich dann höchstens irgendjemandem meine Ideen darlegen.

Sag mal, bin ich stark genug, den Kasten runterzutragen?

Ja, bist du.

Genau, meiner Meinung nach funktioniert deine Idee nicht.

Oder meiner Meinung nach ist deine Idee an der und an der Stelle nicht optimal.

Weil das habe ich schon mal probiert und das hat nicht geklappt.

Das sind alles Sachen, die tatsächlich was damit zu tun haben, auch wie man Mathematik macht.

Man hat irgendwas und versucht herauszufinden, was sind jetzt eigentlich die Dinge, die da wirklich eine Rolle spielen.

Ich meine, du hättest ja zum Beispiel auch die Möglichkeit, dann einfach die Hälfte von den Flaschen rauszutun und dann erstmal den halben Kasten runterzutragen.

Stimmt, dann würde das Gewicht beeinflussen.

Ja, und alles solche Sachen.

Wenn du dann so ein Bahnhof modellierst, was guckst du dir denn da alles an?

Weil das ist doch eigentlich ein Fass ohne Boden, oder?

Das ist ein Fass ohne Boden, ja.

Wenn tatsächlich auch Materialien, also dass du dann irgendwie eine, im Grunde musst du wissen, wie verhält sich die Oberfläche, auf der die Menschen laufen, im Vergleich zur Oberfläche an der Wand, oder nicht?

Das braucht man tatsächlich eventuell auch, also zumindest wenn es stark unterschiedlich ist.

Es kann ja sogar sein, dass ich das mit Absicht so mache, dass die Wand bestimmte Eigenschaften hat, damit eben, wenn da Rauch entsteht, der in eine bestimmte Richtung gelenkt wird, oder sich langsamer ausbreitet oder so, oder ich habe da eine Lüftungsanlage und dann wird das so massiv in eine Richtung gezogen, dass alle anderen Sachen gar keine richtige Rolle mehr spielen.

Dann kann ich das auch wieder ein bisschen vereinfachen, das Modell.

Aber das ist tatsächlich gar nicht so einfach und das ist sicherlich die Phase, die am längsten dauert, das zu beschreiben, was man wirklich rausfinden möchte und dann sehen zu können, was ich da für Größen im System halten muss und wie ich dann dafür Modelle aufstellen kann und das dann lösen kann.

Das war das, was ist gegeben und was ist gesucht von vorhin?

Genau.

Das heißt ja... Ich meine, in der Schule ist das ja letztendlich auch was, was man eigentlich übt oder was man üben sollte.

Also ich habe irgendeine Sache, wo ich beschreibe, was ich weiß und ich beschreibe, was ich gerne rausfinden möchte.

Und dann, das nennt sich so entdeckendes Lernen, wo dann wirklich Schülerinnen und Schüler in einer Gruppe zusammensitzen und darüber nachdenken, was könnte man denn jetzt machen?

Und dann haben die häufig ziemlich pfiffige Ideen.

Also zum Teil auch Ideen, auf die die Lehrperson selber noch nie gekommen ist,

weil die halt auch in einer bestimmten Art und Weise unterrichtet worden ist, und in einer bestimmten Art und Weise denkt.

Wir haben ja dieses Prinzip, dass die Bruchrechnung, die wird im fünften Schuljahr eingeführt.

Und in Wirklichkeit ist es ja so, dass eigentlich alle Kinder, die in irgendeiner Gemeinschaft groß werden, also ob das nun Geschwister oder Cousins und Cousinen oder die Kinder auf der Straße sind, die können schon bevor, die überhaupt ein Konzept von Zahlen haben, wissen die genau, wie groß was sein muss, wenn es halbiert ist oder wenn sie zu viert sind, dass sie das vierteln müssen.

Und auch wenn sie dann so Teile wieder zusammenfügen, die rechnen nicht wirklich Brüche, aber die haben ein Konzept davon.

Und das ist natürlich irgendwie da ein bisschen blauäugig zu denken, wenn man dann in der fünften Klasse Brüche einführt, dass man da was einführt, wo die null Konzept von haben, sondern eigentlich wäre es besser, das an Sachen anzuknüpfen, die die aus ihrem Leben kennen.

So jetzt hätten wir einen Didaktikforscher in der Grundstufe, der, als ich gesagt habe, das ist ja auch irgendwie doof.

Wir möchten gerne mal rausfinden, was haben eigentlich Grundschul Kinder für ein Konzept von Brüchen?

Und dann haben die Grundschul Kinder befragt, wie sie ein Sechstel rauskriegen würden von einer Torte.

Also die haben das natürlich ein bisschen anders formuliert.

Die haben gesagt, wir haben eine Torte und ihr seid sechs Kinder und wenn man das gerecht aufteilt, wie würdest du das machen?

Und was sie natürlich erwartet haben war, man macht da eine halbe Torte, weil da kann man ja einmal so durchschneiden ungefähr in der Mitte, die man so ungefähr treffen muss.

Und dann, das ist natürlich ein bisschen heikel, aber so Drittel muss man dann irgendwie Pima-Daumen hinkriegen.

Und ich wusste dann, weil ich mich mit dem Professor unterhalten hatte, dass die das gemacht haben und er hatte mir dann auch gesagt, dass die auch in der Schule von meinem Sohn waren.

Und dann habe ich meinen Sohn gefragt, sag mal, haben die dich auch gefragt?

Ja, haben die mich.

Die haben komische Sachen gefragt.

Die wollten wissen, wie man ein Sechstel macht, als ob die das nicht wüssten.

Also der war da völlig, ja, sind die doof oder was, wenn die sowas fragen?

Ich sage, na, was hast du denn da gesagt, wie du das machst?

Dann hat er mich angeguckt, ach, ich wusste gar nicht, dass du auch doof bist.

Und dann habe ich ihn aber gesagt, sag mir doch einfach mal, was du denn für eine ...

Genau.

Es gibt doch unterschiedliche Möglichkeiten.

Wie unterschiedliche Möglichkeiten?

Es ist doch ganz klar, was man da macht.

Dann macht man erst einen Mercedes-Stamm und dann teilt man alle Stücke nochmal auf zwei.

Das ist doch eine nette Antwort.

Das ist eine nette Antwort, aber auf die wäre ich im Leben nicht gekommen.

Genau, also diese Konzepte hat dann irgendwie jeder so und man findet die ganz normal.

Wo, abgesehen von dem Adventskalender, würde ich nachgucken, ob Mathematik was für mich ist, wenn ich das Gefühl habe, das könnte was für mich sein, aus genannten Gründen, Eleganz und so.

Und ich will auch dazugehören, natürlich.

Wo gehe ich da hin?

Irgendjemand hat mir gesagt, schlag doch mal in der Wikipedia den Artikel zu Quadrat nach.

Und da ist dann leider mein Gehirn explodiert.

Wobei, ich finde Wikipedia ist ein schönes Beispiel dafür, dass man da immer wieder feststellt, dass es ganz schön viele Leute gibt, die unheimlichen Spaß daran haben, anderen Leuten solche Konzepte nahezubringen.

Also das ist ja immer so ein bisschen ein Verrufen, Wikipedia als Quelle zu nehmen, weil da halt jeder Pups reinschreiben kann, was er denkt, und wenn das nicht korrigiert wird, bleibt es halt einfach so stehen.

Aber in der Mathematik ist es halt so, dass tatsächlich die Leute, die das aufschreiben, das meistens wissen, worüber sie sprechen.

Und zweitens, dass es andere Leute gibt, die ihnen sofort auffällt, wenn irgendwas nicht ganz elegant erklärt ist oder da noch ein allgemeinerer Fall existiert, den man eigentlich auch noch dazu erklären könnte.

Das heißt, die Wikipedia-Einträge, die benutze ich auch selber gerne für meine Texte, wenn ich im Podcast nochmal ein bisschen den Kontext herstellen will zu meinem Thema, weil das da wirklich gut erklärt ist.

Aber das schützt einen trotzdem nicht davor, dass einem da ab und zu mal das Gehirn explodiert, auch mir.

Ja, ich sehe halt häufiger das Problem, dass dann da irgendwelche Funktionen notiert sind, also die Gleichung und sowas, die ich dann schon wieder nicht mehr verstehe.

Ja, aber das ist so ein Problem.

Das ist vielleicht auch nicht so schön, das zu versuchen unbedingt nachzuholen.

Weil da muss man auch ganz schön viel Zeit investieren, bevor man damit wieder hantieren kann und hat dann eine lange Zeit, wo man gar nicht richtig mehr weiß, wofür man das jetzt eigentlich macht.

Ja, das ist wahrscheinlich das Hauptproblem.

Und Alltagsprobleme, für die ich Mathematik brauche, die höhere Mathematik.

Du hast eben höhere Mathematik gesagt.

Gibt es auch niedrigere Mathematik?

Ich weiß auch nicht.

Wenn wir Mathematiker und auch viele Physiker ausbilden, dann sprechen wir über Mathematik noch so ähnlich wie die Mathematiker untereinander.

Also die kriegen dann eine Ausbildung in Lineare Algebra und Analysis zum Beispiel am Anfang und ein bisschen später noch in Numerik und Stochastik.

Aber wenn wir Mathematikausbildung machen für alle möglichen Ingenieurstudiengänge, dann kriegen die nur ein Fach, was Mathematik heißt.

Und damit das halt nicht wie in der Schule heißt, muss es irgendwie anders heißen.

Und da heißt es dann höhere Mathematik.

Verstehe.

Wobei das auch ein bisschen so ist, dass wir da erstmal anknüpfen an das, was die schon in der Schule eigentlich mal gut gelernt haben, aber versuchen mit den Sachen, die die eigentlich können, nochmal rauszuarbeiten, was da dran jetzt auf so einer Art höheren Ebene, also auf so einer strukturellen Ebene noch interessant ist.

Also dass man ein bisschen übers Rechnen hinausgeht, sondern mehr ein bisschen in den Maschinenraum gucken kann von dem, was da gemacht wird, was eben häufig in der Schule so nicht gemacht wird.

Und dass man dann auch ein bisschen übt, dass man, wenn man mit der Lehrperson oder mit den Mitstudenten oder mit dem Tutor spricht, wie man die davon überzeugen kann, dass man Recht hat mit seinem Ergebnis.

Also was man sonst vielleicht auch Beweisen lernen würde, nennen würde.

Das sind so Sachen, die müssen auch Ingenieure dann lernen, weil die müssen sich ja auch gegenseitig überzeugen, dass sie sich das richtig überlegt haben oder die Schwachstellen in den Argumenten von dem Gegenüber finden.

Und ich finde, das ist auch ein Teil dessen, was die in Mathematik lernen.

Argumente?

Ich dachte, es geht um Zahlen und Formeln.

Ja, das denken immer alle, aber ich finde, es geht noch viel mehr um Argumente.

Aber $2+2$ ist doch 3 oder ist das argumentierbar?

Das kommt auf den Rahmen an.

Okay, aber den sage ich ja dazu.

Du hast vorher gesagt, ich muss immer dazu sagen, unter welchen Bedingungen $2+2=3$ ist.

Wenn ich das dazu sage, dann gibt es überhaupt nichts zu argumentieren.

Das ist das, was mir meine eigene Wissenschaft auch so angenehm macht, dass es in der Regel tatsächlich eine Sache gibt, die stimmt dann und ist nicht mehr diskutierbar.

Aber so übertragen lässt sich das dann meistens nicht auf die Sachen, die dann unsere Ingenieure wirklich damit machen wollen.

Da sind dann halt auch Sachen mit Messungenauigkeiten behaftet oder da weiß man eben nicht ganz genau, wie der Zusammenhang ist, sondern unterstellt nur bestimmte Zusammenhänge.

Und das geht meistens gut oder ab und zu knallt es und dann muss man herausfinden, woran das jetzt gelegen hat.

Kannst du das konkretisieren?

Ich sage das heute häufig, aber Mathematik ist leider sehr abstrakt.

Leider für mich, alle die das hier hören und das können, denken sich, mein Gott.

Also die hören schon gar nicht mehr zu.

Wenn man sich so vorstellt, man hat zum Beispiel eine Wasserleitung und da lässt man einfach so Wasser rausströmen und dann dreht man da den Wasserhahn zu.

Dann hat man ja schon so das Gefühl, dass in dieser Art, dass ich sozusagen, also ich weiß halt, das sind irgendwie zweimal muss ich den ganz einmal um sich herum gedreht haben, dann ist der Wasserhahn zu.

Das heißt, ich habe zweimal diese Rundumbewegung, um diesen ganzen Wasserstrahl wegzumachen.

Dann stelle ich mir ja schon vor, wenn ich jetzt einmal ringsherum gedreht habe, also so einen halben Weg zum zu, dass der halbe Wasserstrahl noch da ist.

Und das ist auch so eine Unterstellung, die machen wir für viele Sachen, die wir so sehen.

Das ist auch wieder proportional.

Also ich habe sozusagen halb zugemacht den Wasserhahn, dann ist auch nur halb das Wasser da.

Diese Proportionalität, die ist uns irgendwie so ins Gehirn gelegt, dass wir bei

vielen Sachen unterstellen, dass das so ist.

Aber das mit dem Wasserhahn zu machen, ist ja so eine Art Regelung, wenn man das mal ganz kompliziert ausdrücken will.

Und das funktioniert halt nicht immer so, dass ich dann sage, ich habe einen Prozess, wo am Ende irgendwas ein Rohr lang strömt, dann typischerweise vielleicht nicht gerade als Wasser, sondern als Gas.

Und dann fahre ich den Prozess halb runter und dann kommt da nur noch die Hälfte von dem Gas, und man hat das Gefühl, eigentlich sehe ich da überhaupt keinen Unterschied.

Das sieht noch genauso viel aus wie am Anfang.

Und ich drehe den Prozess runter und drehe den runter und erst auf den allerletzten, sagen wir mal 10 Prozent vom Runterdrehen, auf einmal wird es wirklich weniger und ist dann am Schluss auch weg.

Aber das, was ich so regeln möchte, das passiert nicht über die ganze Strecke, die ich habe, sondern nur auf diesen letzten 10 Prozent oder sogar noch weniger.

Und das ist natürlich, wenn ich dann eine Fabrik bauen will, irgendwie doof.

Also das muss ich irgendwie besser verstehen, weil auf diesen 10 Prozent, die es regeln, das ist ja fummelig, also das kriegt man ja dann nicht hin.

Das Zudrehen kriegt man hin, aber wenn man wirklich versuchen will, da die Hälfte hinzukriegen, das wird halt dann schwierig.

Und dann muss ich rauskriegen, woran das liegt.

Woran würde es liegen, beziehungsweise wie würdest du rauskriegen, woran es liegt?

Typischerweise ist das halt so eine Sache, wo diese Unterstellung, dass das proportional zueinander ist, nicht stimmt.

Sondern dass da ein Zusammenhang ist, der, also sozusagen mathematischer Fachausdruck wäre dann dafür, dass es nicht linear ist.

Das muss ich aber erstmal, jetzt hast du halt dein Rohr und du unterstellst jetzt einfach erstmal, dass es nicht stimmt, dieser Zusammenhang, oder?

Ja, weil ich beobachte ja, dass es nicht stimmt.

Achso, du hast es erst beobachtet, okay.

Ich dachte, du wärst noch in der Modellierung sozusagen.

Nein, weil mein, das Prinzip ist halt, mit dem Wasserhahn erlebe ich das jeden Tag, dass das stimmt.

Und dann habe ich unterstellt, dass das da auch klappt.

Aber das klappt halt nicht, weil da passiert erst auf den letzten Stecken, Stücken meiner Regelungsstrecke irgendwas.

Aber dann ist die Fabrik ja schon gebaut.

Naja, meistens ist es erstmal nur, ja, es tatsächlich passiert das häufig auf der Baustelle.

Okay.

Entschuldige.

Das soll aber nicht so sein.

Das hätte ich mit der Mathematikpolizei auf der Baustelle anrücken müssen.

Ja, ja, nee.

Das heißt, man muss dann auf der Baustelle noch schnell improvisieren, wie man das jetzt richtig hinkriegt.

Aber dafür, damit man das dann wirklich hinkriegt, dann braucht man als Ingenieur wirklich eine gute Ausbildung, wie man dann den Regelkreis berechnen kann, um dann zu sehen, wo man da was ändern muss, damit das besser klappt.

Den Regelkreis berechnen, das ist ja, ist das eine standardisierte Rechnung?

Das so, einfach so, ich habe ein Rohr von solchem Durchmesser und solcher Länge und alle anderen Sachen hängen davon ab?

Im Prinzip ist das was Standardisiertes, ja.

Also es gibt auch eine Fachregelungstechnik, was man studieren kann, wenn man Maschinenbau lernt.

Und da kommen dann auch wieder Differentialgleichungen vor.

Was war das nochmal?

Da kommen Differentialgleichungen vor.

Was waren nochmal Differentialgleichungen?

Ja genau, was war das nochmal?

Das ist das, was man in der Regelungstechnik braucht.

Oder wenn man Strömung verstehen will.

It's called electrolytes, ja, ja.

Wie sieht eigentlich dein Arbeitsalltag aus?

Also kommst du morgens ins Büro und da gibt es dann ein Problem und das berechnest du?

Nein, das ist ja Quatsch.

Du wirst ja auch nicht in der Ecke sitzen und Kopfrechnen machen den ganzen Tag.

Ja, also das ist tatsächlich eine interessante Frage.

Und das, was meinen Arbeitsalltag so attraktiv macht, ist, dass fast kein Tag so richtig aussieht wie der andere.

Ich denke, das wäre sogar so, wenn ich noch als Ingenieurin arbeiten würde.

Aber an der Uni ist es natürlich noch dramatischer anders.

Weil in der Uni teilt sich ja auch das, was ich tue, auf.

Ich will anderen Leuten beibringen, was ich verstanden habe.

Das brauche auch tatsächlich einen großen Teil meiner Zeit.

Das heißt, da sitze ich dann da und überlege mir, was ich in der nächsten Vorlesung machen will.

Oder überlege mir, warum Studierende bestimmte Aufgaben so und so beantwortet haben.

Was da irgendwie nicht so richtig klar geworden ist.

Oder was die sich dabei gedacht haben und wie man darauf eingehen kann.

Ich sitze mit Kolleginnen und Kollegen zusammen.

Im Moment konzipieren wir einen neuen Studiengang, an dem wir gerne Sachen reinpacken wollen, vor denen wir denken, dass solche Leute man jetzt eigentlich mal bräuchte.

Dass so ein Zwitterwesen gut mit Daten umgehen kann, Mathematik verstehen und dann noch irgendeine Anwendung im Hinterkopf haben, wie zum Beispiel Wasserbau oder Maschinenbau oder so was.

Also alle drei Sachen verstehen und dann da was für die Anwendung machen zu können.

Was ist denn da bei dir im Hintergrund los?

Entschuldige.

Das tut mir leid, jetzt ist das Mikro zu gut.

Sobald ich nicht spreche, hört man das genau, dass da jemand im Nachbarhaus irgendwie schleift.

Ah, okay.

Dann lasse ich schleifen.

Ja, das ist nichts Schlimmes.

Das Haus bleibt stehen.

Erfahrungsgemäß bleibt das Haus stehen.

Und dann, das was ich als Forschung mache, spielt sich bei mir jetzt viel so ab, dass ich mit anderen Leuten spreche.

Also entweder zum Beispiel die stellen irgendwas vor, was sie sich überlegt haben.

Dann kommen Nachfragen, um das richtig zu verstehen.

Was stellen die vor, was sie sich überlegt haben?

Also zum Beispiel bei unseren Strömungssachen, da geht es zum Beispiel darum, dass in der Strömung irgendwelche kleinen Teile mit transportiert werden.

Das heißt dann im Fachsprech von den Verfahrenstechnikern Partikel.

Also partikelbeladene oder partikelbehaftete Strömung.

Und dann brauche ich unterschiedliche Modelle, um das irgendwie auf dem Computer zum Beispiel zu bringen oder mir vorzustellen, welche Kräfte da wirken.

Und dann gibt es halt, dann spricht er darüber, also für die und die Sorten von Partikeln, die halt ganz klein sind und nicht sehr viel wiegen, da gehe ich davon aus, dass die und die Kräfte wirken.

Und erzählt dann auch häufig noch, wie das jetzt durch Daten und Messungen irgendwie belegt oder auch nicht so gut belegt wird.

Oder, was weiß ich, wir haben irgendwelche Daten vom MRT und die sind ja total verrauscht.

Und wenn der Arzt da drauf guckt, dann kann der das Rauschen irgendwie im Gehirn rausrechnen, da sieht er trotzdem was drauf.

Aber wenn ich das jetzt einer Maschine übergeben will, dann muss ich irgendwie dieses Rauschen möglichst wegstreichen.

Also ich würde es dann in meinem Kontext wegrechnen.

Also du musst es dazu aber präzise beschreiben erst mal.

Ja genau, und das ist die Frage, wie ich das beschreibe.

Aber zum Beispiel eine Möglichkeit ist, wenn ich weiß, dass das, was da gemessen wurde, irgendwas zu tun hat mit einer Strömung.

Also wenn das zum Beispiel ein Blutader war, die ich da versucht habe nachzubilden, um zum Beispiel nachzugucken, wo da Kalkablagerungen dran sind oder so.

In der Nähe vom Herzen ist das manchmal wichtig, wenn die da so Herzklappen einsetzen.

Da müssen die vermeiden, dass die ausgerechnet dahin gesetzt werden, wo dann so ganz große Kalkablagerungen sind, weil das die Person unter der Operation umbringen kann.

Also da weiß ich halt zusätzlich zu diesem komischen verrauschten Bild auch noch, dass da eine Strömung durchgeht.

Und dann kann ich sagen, wenn das eine Strömung ist, müsste das so und so aussehen und kann dann in so einem Optimierungsprozess, den der Rechner zum Glück sehr schnell machen kann, kann ich dann dadurch ein sehr viel besseres Bild erzeugen.

Einfach weil ich diese zwei Informationen habe.

Der hat ein Gerät hingeguckt, das hat ein verwaschenes Bild gebracht.

Ich weiß, das ist eine Strömung, da müsste das mit den Informationen ungefähr so und so aussehen.

Und dann wird das Bild dadurch ein klares Bild.

Solche Sachen.

Und ich meine, diese Ideen, die dazu führen, die werden halt dann in so einem Vortrag erklärt.

Man versucht dem zu folgen und da irgendwelche Mängel drin zu finden oder noch andere Ideen zu haben, wie man das überprüfen kann.

Oder hat eigene Erfahrungen damit, wie man das vielleicht vereinfachen kann.

Und dann geht die Person hin und versucht das.

Und am Ende gibt es dann halt ein Resultat, was befriedigend ist.

Zumindest ist die Kultur so, dass man nur über diese befriedigenden Resultate dann auch öffentlich spricht.

Und schreibt das auf zu dem Teil, den er gemacht hat.

Gibt das dann den anderen, die dann auch ihre Teile mit dazu schreiben.

Und dann hat man ein Paper, was man dann veröffentlichen kann.

Und woran andere wieder lernen können, was sie auch mal probieren können.

Ist das denn eigentlich Grundlagenforschung oder ist das noch Grundlagenforschung, was du da machst?

Oder lässt sich gerade in der Mathematik die Grundlagenforschung und die Angewandte gar nicht so gut trennen vielleicht?

Ja, ich finde auch so gut lässt sich das gar nicht trennen.

Zumindest ist es in meinem Feld, habe ich bei vielen Sachen das Gefühl, das ist schon Grundlage.

Es ist halt so, dass ich in so einer Gruppe bin, wo es mir auch am meisten Spaß macht zu arbeiten.

Wo wir tatsächlich diese Grundlagen immer gleich mit Anwendungen verknüpfen.

Wo man das Gefühl kriegen könnte, wir sind total nur auf die Anwendung aus.

Aber ohne dass wir die Grundlagen verstanden haben, kriegen wir auch das nicht gut gelöst.

Das verstehe ich, je länger ich dabei bin, immer mehr.

Also das geht damit los, dass immer dieser Eindruck ist, dass Leute, die Analyse machen, die sich also Gleichungen angucken und dann nur drüber sinnieren, haben die überhaupt eine Lösung?

Und wenn ich die Lösung habe, ist das eine Lösung mit guten Eigenschaften oder mit nicht so guten Eigenschaften, dass das nichts mit der Realität zu tun hat.

Aber wenn ich das dann dem Rechner übergebe und sage, ich gebe dir jetzt die Gleichung, löse mir die mal.

Wenn ich da nicht von vornherein weiß, dass die Lösung bestimmte guten

Eigenschaften haben, dann muss ich mich darauf einstellen, dass auch mein Computerprogramm bestimmte Probleme hat.

Das heißt, es ist total miteinander verknüpft.

Also ich kann das überhaupt nicht voneinander trennen.

Also ich kann natürlich mich naiv hinstellen und sagen, ich fange einfach mal an.

Aber wenn dann irgendwas nicht funktioniert, kriege ich halt nie raus, woran es liegt.

Und dass etwas nicht funktioniert, ist fast die gegebene.

Also das ist immer erst mal so.

Was sind denn gute Eigenschaften einer Gleichung?

Also das ist natürlich sehr unscharf formuliert von mir, aber zum Beispiel, wenn ich eine partielle Differenzialgleichung lösen möchte, gehen im Prinzip immer ein, in welchem Gebiet möchte ich die Lösung, also wo soll die gelten.

Wie, wo soll die, in welchem Gebiet?

Also wenn ich mir jetzt meine Strömung vorstelle, durch welches Gebiet strömt meine Flüssigkeit?

Ist das eine Rohrleitung?

Ist das ein See?

Umgebung, sozusagen.

Okay, verstehe.

Genau.

Ist das meine Luft, die rings um mich herum?

Oder die Strömung um ein Hochhaus zum Beispiel?

Das wäre auch so etwas, was man dann rechnen würde.

Das heißt, ich gucke mir an, welche Grenzen hat das?

Und die Grenzen können halt ziemlich eckig sein oder die können schön glatt sein.

Und dann habe ich auch irgendwelche Bedingungen, die am Rand gelten müssen.

Also bei Flüssigkeiten ist es eben häufig so, dass ich davon ausgehe, wenn jetzt so ein Luftatom auf die Wand von dem Haus trifft, die Wand von dem Haus bewegt sich ja nicht mit.

Das heißt, da muss es irgendeine Schicht geben, die sich nicht bewegt und kurz daneben.

Also so wenig daneben, dass man das gar nicht mehr messen könnte.

Da fängt sich dann was an zu bewegen.

Und das, was ich da am Rand vorgebe, wenn ich das auch eigentlich als etwas Glattes annehme, also so mit guten Eigenschaften, da sind keine Sprünge drin, das geht alles schön ineinander über, so ganz smooth, so wie wenn ich mich in ein Auto setze und so ganz schön um die Kurve gehe und ich merke an keiner Stelle, dass es mich irgendwie so rumzieht, sondern es ist alles so glatt.

Dann würde ich mir wünschen, dass dann die Lösung, die ich dann kriege für so eine schöne Differentialgleichung mit glattem Gebiet und glatten Randbedingungen, dass die dann auch so glatt ist.

Und das muss halt überhaupt nicht der Fall sein.

Das hängt an der Differentialgleichung.

Das habe ich nicht wirklich verstanden.

Wir betrachten die Wand, die ist glatt.

Und dann soll die Differentialgleichung auch glatt sein.

Wie sieht denn eine glatte Differentialgleichung aus?

Ich habe gesagt, die Lösung von der Differentialgleichung soll glatt sein, für eine gute Differentialgleichung.

Ja, okay.

Aber was ist denn eine glatte Lösung?

Eine ganze Zahl?

Nein, also wenn du das dir jetzt eindimensional als Lösung vorstellst, dann ist das ein Graph, den du so zeichnen kannst, der so richtig schön ohne Ecken ist.

Ah, okay.

Also ästhetisch schön anzusehen.

Jetzt verstehe ich.

Und ich meine, wir würden das natürlich charakterisieren, indem, wenn ich da von einer Ableitung bilde, dann ist auch die Ableitung noch schön.

Ich kann noch eine Ableitung bilden und noch eine.

Und egal, wie viele Ableitungen ich bilde, ich kriege keine Ecken und Kanten da rein.

Was genau ist eine Ableitung?

Die Änderungsrate.

Die Änderungsrate wovon?

Was schleift der denn da eigentlich?

Ja, das tut mir jetzt leid.

Ich habe es mir vorgestellt, das zu machen, aber unserem Nachbarn habe ich nicht Bescheid gesagt.

Die Änderungsrate wovon?

Ja, von zum Beispiel der Lösung.

Schon wieder verloren.

Also ich habe eine Gleichung, eine Differenzialgleichung.

Sag mir mal eine einfache Differenzialgleichung.

Also eine einfache Differenzialgleichung wäre zum Beispiel, ich habe eine, sag mal eine Population, also eine Bevölkerung, und ich will jetzt angucken, wie verändert sich die Bevölkerung über die Zeit.

Ich weiß natürlich, da habe ich einen ersten Zeitpunkt, an dem ich anfangen, mir das anzuschauen.

Das ist meine Anfangsbedingung.

Also ich weiß, im Jahr 1900 waren wir hier irgendwie, ich habe natürlich keine Ahnung wie viel, sagen wir einfach mal 50.000 Läuse.

Weil da kann keiner mir widersprechen, weil das hat keiner jemals gezählt.

Und dann unterstelle ich halt, dass diese Läuse im Mittel alle dieselbe Fähigkeit haben, junge Läuse zu züchten.

Also das, wie viele Läuse immer dazukommen über die Zeit, hängt im Wesentlichen davon ab, wie viele Läuse ich schon habe, mit einem Faktor, der halt diese Fruchtbarkeit von der Bevölkerung der Läuse beschreibt.

Reproduktionsfaktor sozusagen.

Und dann ist die Differenzialgleichung dazu, wenn die Funktion, die die Population der Läuse an jedem Zeitpunkt zählt, P von T ist, dann ist die Ableitung nach der Zeit von P von T dasselbe wie, und jetzt irgendeine konstante λ , die man natürlich dann herausfinden muss, für die konkrete Läusepopulation durch Messungen, mal die Mäusepopulation zu dem Zeitpunkt.

Das wäre eine sehr einfache Differenzialgleichung.

Also die zeitliche Ableitung von der Größe ist gleich ein Faktor mal der Größe selber.

Also es ist die zeitliche Änderung, deswegen habe ich gesagt, das ist die Änderungsrate.

Häufig macht man es auch als eine örtliche Änderungsrate, also zum Beispiel, wenn ich mit dem Auto von A nach B fahre, dann habe ich eine bestimmte Strecke, die ich zurücklegen will, und das mache ich mit einer Geschwindigkeit, und die Geschwindigkeit ist halt die Änderungsrate vom Ort.

Und wenn ich die Geschwindigkeit über die Zeit ändere, dann habe ich eine Beschleunigung.

Das ist die Änderungsrate der Geschwindigkeit.

Das ist aber auch einfach die zeitliche Ableitung von der Geschwindigkeit.

Schon länger her, als es um deinen Arbeitsalltag ging, die Dinge, die du verstanden hast, gibt es so Momente, wo du da sitzt, irgendwas so vor dich hin grübelst oder so, und dann plötzlich sagst du, jetzt habe ich es, gibt es das?

Ja.

Das heißt, es ist noch nicht alles berechnet worden?

Nein.

Das Schlimme ist ja, dass man dann immer bei so jedem Aha-Moment, man sieht mal wieder 100 Sachen, die man immer noch nicht verstanden hat, die einem vorher noch nicht so klar war, dass man die nicht verstanden hatte.

Was war denn das Letzte, was du verstanden hast?

Das Letzte, was ich verstanden habe?

Ich habe ja vorhin schon mal von den Partikeln erzählt, die da mit der Strömung mitgenommen werden.

Wenn man zum Beispiel dann so einen Filter bauen will, dann ist es auch zum Teil

wichtig, welche geometrische Formen Partikel alles haben können.

Jetzt kann ich aber nicht hergehen und sagen, ich kann irgendwie alle möglichen, das sind ja unendlich viele Möglichkeiten, modellieren, wie so ein Partikel aussehen kann.

Ja, ich würde das über die Größe regeln und den Filter entsprechend klein machen.

Ja, genau.

Das ist ja auch das, was man bis jetzt im Prinzip so gemacht hat.

Aber je fancier und abgefahrener diese ganzen Verfahren werden, desto wichtiger wird es auch, dass man diese Filterungsprozesse tatsächlich besser versteht und intelligenter macht.

Da muss man sich halt überlegen, wie kann ich denn jetzt unterschiedliche Formen durch mehr als drei Parameter so beschreiben, dass ich dann noch diesen Filterungsprozess effektiv berechnen kann.

Da haben wir jetzt so einen Versuch gemacht, wo wir uns erstmal möglichst viele Formen überlegt haben.

Das haben wir natürlich auch verglichen mit dem, was andere Leute machen.

Und dann herauszufinden, wie viele von diesen Größen sind eigentlich wirklich relevant und welche können wir wieder wegschmeißen.

Das war sehr befriedigend, als wir das am Ende hatten.

Auch wenn es vielleicht nicht ganz typisch ist für diese Aha-Momente, die man sonst hat.

Das heißt, du modellierst irgendwas und überprüfst es dann auch relativ zügig an der Realität?

Ja, wobei dieses Überprüfen ist natürlich etwas, was man auch in der Mathematik macht.

Das ist halt eine andere Realität.

Man muss dann schon auch in der Mathematik überprüfen, ob das stimmt, was man sich da überlegt hat.

Ob sozusagen das, was ich argumentiert habe, was richtig ist, ob meine Kolleginnen und Kollegen mir da folgen und das auch nachvollziehen als Beweis oder nicht.

Deswegen geht jedes Paper, was wir veröffentlichen, mindestens durch zwei Leute, die davon was verstehen und das nachlesen und sagen, das ist Quatsch oder das stimmt.

Das ist dann unser Qualitätsmerkmal, dass ich andere Leute davon überzeugt habe, dass das stimmt.

Ließe sich das automatisieren, dieser Begutachtungsprozess?

Es lässt sich in Teilen automatisieren, aber nicht total.

Welcher Teil lässt sich nicht automatisieren?

Weil wenn irgendetwas schon mal gerechnet wurde und richtig gerechnet wurde, kann ich das doch eigentlich als gegeben in irgendeinen Speicher schreiben und immer wieder abgleichen mit den Sachen, die neu dazukommen, oder nicht?

Ja, aber tatsächlich ist unsere Welt zu komplex dafür.

Und selbst wenn ich so einfache Spielmodelle davon mache, wie wir es in der Mathematik machen, ist es noch zu komplex, um da alles abzudecken.

Also da sind unsere Rechner einfach noch nicht schnell genug dafür.

Spielmodelle?

Das ist so Tollmodel.

Auf Deutsch würde ich das, glaube ich, gar nicht so sagen.

Ich habe typischerweise in der Mathematik eher so abgespeckte Varianten von dem, was ich erst mal verstehen möchte, und dann übertrage ich das in die Realität und stelle dann fest, da kommen noch andere Aspekte dazu, die ich da gar nicht mit drin habe.

Da war noch ein Knick in der Röhre.

Ja, noch ein Knick in der Röhre.

Nein, ich meine zum Beispiel, was ja auch so ganz beliebt ist, auch bei meinen Studierenden, wenn wir Modellbildung machen, das sind ja so spieltheoretische Sachen.

Leute können sich für irgendwas entscheiden und sollen dann dafür gute Argumente haben, dass sie sich gut entschieden haben.

Das unterstellt aber zwei Dinge, die in der Regel gar nicht gegeben sind.

Das eine ist, dass ich alle Informationen habe.

Meistens habe ich nur einen Teil der Informationen und muss damit irgendwie klarkommen.

Und das andere ist, dass wir unterstellen, dass sich alle Leute rational entscheiden.

Und ich glaube, dass das auch nicht wahr.

Nein, das stimmt nicht.

Es gab neulich sogar einen Nobelpreis für die Erkenntnis, dass das nicht stimmt.

Genau.

Und da muss man dann halt überlegen, inwieweit das relevant ist oder auch nicht.

Bei mir ist ja alles schiefgelaufen, was mit Mathematik zu tun hatte, sodass ich ganz woanders hingegangen bin.

Was ist bei dir richtig gelaufen?

Erinnerst du dich noch dran?

Gab es so ein Schlüsselerlebnis, dass du gesagt hast, ich mache Mathe?

Ja, tatsächlich erinnere ich mich da dran noch.

Und zwar, als ich in die fünfte Klasse gekommen bin, haben wir tatsächlich unsere heißgeliebte Mathelehrerin aus der vierten Klasse behalten.

Also zu der hatten wir damit auch ein Vertrauensverhältnis.

Alle anderen Lehrpersonen sind ja da ausgetauscht.

Es war auch ganz unnormal, dass wir die behalten haben.

Normalerweise sind die ja gar nicht berechtigt, dann in der fünften Klasse zu unterrichten, wenn das Grundschullehrerinnen sind.

Aber die hatte mich dann angesprochen in der fünften Klasse in der ersten Woche, ich könnte da mal zu diesem sogenannten Mathe-Zirkel gehen.

Und ich habe das nur gemacht, weil ich die gut fand.

Ich habe mich zwar total gewundert, wieso ich jetzt Nachhilfe in Mathe brauche.

Ich hatte bis dahin immer das Gefühl gehabt, ich kann das eigentlich.

Aber wenn die das sagt, wird da schon was dran sein.

Und habe dann erst, als ich dort war, verstanden, dass das überhaupt keine Nachhilfe ist, sondern dass da einfach nicht rechnen, sondern Mathe gemacht wird.

Was war das, was ihr da gemacht habt in der fünften Klasse?

Ja, so Knobelaufgaben.

Ich habe halt bestimmte Arten von Informationen, die sind so ein bisschen verklausuliert.

Und dann will ich rausfinden, was ich daraus schließen kann.

Also was weiß ich.

Die Sachen laufen ja dann meistens darauf hinaus, dass man das irgendwie als Gleichungssystem überschreiben kann, die man dann entweder lösen kann oder wo man dadurch, dass es noch klar ist, das müssen ganze Werte sein.

Weil halt, wenn da irgendwelche Anzahl von Kindern gefragt ist, da kommt nichts

beieinander raus.

Genau, da kann man eventuell auch intelligent durchprobieren oder so.

Und geometrische Aufgaben werden da auch schon gemacht, wo man ein bisschen gucken kann, was weiß ich, man hat so ein Tetraeder.

Also unsere Milch an der Schule war damals nicht in Flaschen, sondern in so Tetraedern.

Und wenn man da irgendwie eine Kugel rein tut, die überall aneckt, wie groß kann die dann sein und so was.

Und das ist eben zum Teil einfach ein Training da drin, in so ein Problem zu durchdringen und zu überlegen, wie kann ich das lösen.

Und zum Teil ist es auch, dass man ganz andere Rechenwege lernt, die halt in der Schule nie eine Rolle spielen.

Und das, was wichtigste war, glaube ich, dass ich festgestellt habe, dass es noch andere Leute gibt, die genauso viel Spaß an Mathematik haben wie ich.

Und dann hat mich das halt durch die Schule begleitet und hat dann am Ende dazu geführt, dass ich mich für ein Studium entschieden habe, was halt Mathematik heißt.

Auch weil ich wusste, es gibt keinen Beruf, der Mathematik heißt, sondern ich kann dann nach dem Studium überlegen, was ich damit für einen Beruf machen will.

Also ich habe diese Entscheidung nochmal fünf Jahre rausgeschoben.

Das fand ich damals sehr attraktiv.

Die anderen machen dann BWL, wenn sie nicht wissen, was sie machen sollen.

Und als jemand, der Mathematik studiert hat, in alle möglichen unterschiedlichen Teile der, ich sage jetzt mal, Gesellschaft, damals hätte ich vielleicht noch gesagt, der Industrie, einsteigen kann, musste ich mich da an der Stelle noch nicht so festlegen.

Also bestimmt auch für andere Studiengänge hatte ich ein festeres Bild davon, was das für ein Beruf ist.

Auch wenn ich Medizin studiere, lege ich mich kaum fest.

Es gibt so viele Unterschiede.

Das war mir damals noch nicht so klar.

Ja, aber du wirst halt Ärztin hinterher.

Letztendlich haben uns Mathematiker die Finanzkrise von 2008 eingebrockt.

Mathematiker haben aber auch Ingenuity auf dem Mars fliegen lassen gerade.

Genau.

Und dann habe ich halt im Studium erst festgestellt, dass auch tatsächlich Mathematik noch viel reichhaltiger ist als das, was ich mir schon vorgestellt hatte, obwohl ich schon mehr davon gesehen hatte.

Und bin dann dabei geblieben.

Kannst du dir diese Reichhaltigkeit beschreiben für jemanden wie mich?

Oder reicht es zu wissen, dass es zu Eleganz führt?

Ja, es führt zu Eleganz.

Es führt aber auch dazu, dass ich mir einen Reim auf viele Sachen machen kann, die ich halt erst mal als unstrukturiert erlebe.

Also ich habe jetzt auch, seit wir jetzt die Pandemie haben, habe ich so das Gefühl, dass ich Mathematik kann.

Und das hilft mir so sehr dabei zu verstehen, was passiert.

Das hätte ich also in der Form noch nie so auf mein Leben bezogen wie jetzt.

Aber ich bilde mir auch ein, zu verstehen, was da passiert.

Was verstehst du besser als ich?

Ich habe zum Beispiel ganz am Anfang, was bedeutet das zum Beispiel, ich habe Kontakte und ermögliche damit Infektionen?

Wie kann ich das modellieren?

Und was bedeutet dann sozusagen Kontakte einschränken?

Also was hat das wirklich für Auswirkungen?

Dann diese Art, wie man sieht, dass die Ausbreitung, wenn ich die halt nicht bremse, dass das dann exponentiell wächst.

Das sind alles so Sachen, die habe ich meinen Studenten schon seit 20 Jahren beigebracht.

Das wirkt immer irgendwie theoretisch und trocken.

Und dann ist es aber exakt genau das Modell, was ich mit meinen Studenten

besprochen habe, was dann auch wirklich auf einmal unser Leben übernimmt.

Das fand ich schon ziemlich eindrucksvoll.

Ja, das ist so dieses Ding mit dem Schachbrett und dem Reiskorn, diese Geschichte, da habe ich das halt her und habe die nie vergessen in meinem Leben, dieses Gleichnis.

Oder was das war, Tausende und eine Nacht, egal.

Ist das letztlich das, was du den Studenten und Studentinnen auch vermittelst?

Ja, also das Modell, was wir besprochen haben, ist eins mit Differenzialgleichung, weil ich die ja so liebe.

Und welcher Alltagserfahrung entspricht der Differenzialgleichung?

Also du wirst jetzt nicht irgendwie im luftleeren Raum die Gleichung aufgestellt haben, oder?

Nee, nee, aber das ist im Prinzip eine Frage, wie ist das Leben von so einer Epidemie?

Also ich habe erstmal eine Bevölkerung, die unterteilt sich dann in Leute, die sind eventuell schon immun.

Ach, du machst solche Geschichten über Epidemien seit 20 Jahren und jetzt ist tatsächlich eine Epidemie gekommen?

Ja, genau.

Ach so, ja, das ist ja mal abgefahren.

Ja, und typischerweise ist das halt so eine Möglichkeit, ein Modell mit drei

Differenzialgleichungen zu haben, wo man auch mit Papier und Bleistift noch was rausfinden kann.

Also jetzt nicht unbedingt exakt die Lösung, aber wenn denn das dann so qualitativ, nicht quantitativ, also nicht wirklich die Zahlenergebnisse, sondern ich kann aber im Prinzip sagen, was passiert, wenn das exponentiell steigt.

Aber dann ist auch immer so, was dann noch die nächste Erkenntnis war, dass wir natürlich in der Mathematik immer dazu sagen, diese Koeffizienten, die in unserem Modell vorkommen, die muss man natürlich aus den Daten entnehmen und wie schwierig das ist.

Und das habe ich dann auch jetzt nochmal auf eine andere Art und Weise verstanden.

Gibt es für euch Mathematiker*innen so eine Art Heiligen Graal, das, was man unbedingt noch erforschen will?

Also bist du Exogeologe, weißt du ganz genau, ich brauche unbedingt Gestein von allen Planeten, die es gibt.

Gibt es so was in der Mathematik?

Tatsächlich gibt es so was.

Im Übergang von 1999 auf 2000 sind sieben Probleme formuliert worden, die sogenannten Millennium-Probleme, wo eine Million Dollar Preisgeld drauf ausgesetzt worden ist, die zu lösen.

Was in sich genommen, also für Mathematiker*innen ist das nur witzig, weil wir ja nicht ums Geld arbeiten, sondern um diese Momente, wo es Aha im Kopf macht.

Das Geld kannst du ja dann mir geben, wenn du die sieben Probleme gelöst hast.

Wir sind so intrinsisch motiviert, gar nicht so extrinsisch.

Aber es macht es einfacher, anderen Leuten zu beschreiben, warum ein Problem spannend ist, weil andere Leute sagen, dass es eine Million Dollar wert ist.

In meinem Gebiet ist eins davon.

Und wenn wir Strömung beschreiben, dann haben wir keine Möglichkeit, wirklich mit Papier und Bleistift eine Lösung auszurechnen, weil wir übergeben das am Ende immer dem Computer.

Aber unter anderem liegt das daran, dass diese Gebiete, in denen die Strömungen sind, die sind ja auch sehr unterschiedlich in der Struktur, sehr komplex.

Also man hat da gar keine Möglichkeit, da mit Papier und Bleistift irgendwas ausrechnen zu wollen.

Aber schon vor über 100 Jahren ist ein Mathematiker*in auf die Idee gekommen, dass man das vielleicht auch gar nicht unbedingt muss, das mit Papier und Bleistift auszurechnen.

Also solche Lösungen, die dann wirklich an jedem Punkt dieses Geschwindigkeitsfeld beschreiben, wie die Strömung strömt und in welche Richtung das strömt an jedem einzelnen Punkt da drin.

Sondern dass es reichen könnte, so eine Art Mittelwerte davon auszurechnen.

Und diese Mittelwerte, also das ist auch physikalisch total untermauert, deswegen ist das auch eine gute Theorie, die führen dann darauf, dass ich nicht eine Lösung rauskriege, die nicht an jedem Punkt sagt, was das macht, sondern in so bestimmten Mittelwerten.

Und diese Lösungen heißen dann schwache Lösungen, weil man halt denen noch

nicht ansehen kann, was an der Stelle passiert, sondern nur in so integralen Mittelwerten.

Und ich habe aber Möglichkeiten, aus dieser schwachen Lösung auch wieder auszurechnen, was die punktweise Lösung ist.

Ein Schritt dahin ist die sogenannte starke Lösung.

Und die Theorie von 1937, das ist jetzt schon bald 100 Jahre alt, ist, dass ich so eine schwache Lösung tatsächlich immer finde, diese starke Lösung aber nicht immer finde, sondern nur, wenn ich auch eindeutige Lösungen habe.

Das heißt, wir haben da so eine Lücke dazwischen, eine starke Lösung, aber wir wissen nicht, ob es immer eine starke Lösung gibt.

Und seit 1937 versuchen Leute in meinem Fachgebiet, diese Lücke zu schließen.

Jetzt könnte man sagen, wenn man Strömungen sieht, sieht man ja, die gibt es, also was soll man sich da um diese Lücke kümmern?

Aber ich glaube, im tiefsten Inneren sagt uns diese Lücke, ob unser Modell ein gutes Modell ist.

Und deswegen ist das auch so spannend, herauszufinden, ob es da wirklich eine Lücke gibt oder ob wir nur zu doof sind, zu sehen, dass diese schwache Lösung von Anfang an stark war und wir es nur nicht nachweisen konnten.

Wie würde man das denn nachweisen?

Weil die Aufgabe ist doch, an einem Punkt die Strömung zu beschreiben und nicht in einem Bereich.

Ja, ich meine, das können wir jetzt tatsächlich nicht beschreiben.

Da gibt es halt relativ komplizierte Methoden, wie man da von einem Gedankenexperiment ins nächste das übersetzen kann, unter welchen Bedingungen das auch geht.

Aber was sozusagen eine Sache ist, die man immer gut erklären kann, ist, dass sobald ich nachweisen kann, dass meine Lösung eindeutig ist, dass es also keine zweite Lösung geben kann, die anders verläuft, dann weiß ich automatisch, dass das eine starke Lösung ist.

Das habe ich also schon bewiesen.

Das wäre zum Beispiel ein Zugang, wenn ich nachweisen könnte, dass eigentlich alle schwachen Lösungen eindeutig sind, dann habe ich das auch gelöst.

Das kann man sich ja noch vorstellen, weil die Methoden dafür sind echt krass.

Angenommen, du würdest das jetzt nicht mit Holger Klein, sondern mit einer Kollegin oder einem Kollegen auf deinem Niveau besprechen.

Wie würde sich das anhören?

Dann würde ich über irgendwelche LP-Räume und Hölderstätigkeit und die Ladiszenz-Kajababusch-Caprezi-Bedingungen reden.

Was beschreibt das?

Das sind ja alles Namen.

Sind das die Namen der Leute, die das initial ausgerechnet oder bewiesen haben?

Ja, bei uns hängen häufig die Namen dran.

Das Lustige ist, dass bestimmte Sachen von mehreren Leuten gleichzeitig

entwickelt worden sind.

Je nachdem, auf wen man sich dann bezieht, haben die Sachen unterschiedliche Namen und unterschiedliche Ländern.

Gibt es denn auch irgendwas mit deinem Namen?

Nein.

Das wäre auch grausam, weil ich habe ja einen Umlaut in Deutsch drin.

Und das wäre ja für alle Menschen, die nicht deutsch sind, auch wirklich schwierig.

Der Umlaut ist ein Eh, Gudrun Thäter.

Vielen Dank fürs Gespräch.

Vielen Dank.

[Musik]