

# Gasthörer – der Wissenschaftspodcast der Uni Regensburg

## #9: Strom ohne Wärme? Experimentalphysik mit Professor Dr. Christoph Strunk

*Katharina Herkommer:* Hallo liebe Gasthörerinnen und Gasthörer. Schön, dass ihr auch diesmal wieder dabei seid beim Wissenschaftspodcast der Uni Regensburg. Mein Name ist Katharina Herkommer und heute geht es mal ein bisschen persönlicher los - Transparenz und so. Es ist ein unglaublich toller Job, mich für euch jeden Monat in völlig neue wissenschaftliche Bereiche einzuarbeiten. Damit ich die richtigen Fragen im richtigen Moment stellen kann, muss ich das, worüber wir sprechen, selbst schon vor der Aufnahme echt gut verstanden haben. Gerade in den Naturwissenschaften ist das manchmal eine kleine Herausforderung, weil ich selbst so gar nicht aus dieser Ecke komme. Ich glaube, ich war wahrscheinlich die einzige Schülerin, die mit ihrem Lehrer herumdiskutiert hat, weil ich meine Note zu gut fand. Das war in der 10. Klasse in Physik und ich sollte eine 2 im Zeugnis bekommen. Ich hatte nur auswendig gelernt, was im Heft stand, und das hätte wohl für die Note gereicht. Aber ich selbst fand, dass das auf keinen Fall für ein "Gut" reichen sollte. Ich hatte das Gefühl, dass ich die Zusammenhänge überhaupt nicht kapiert, dass ich kein Gespür für das große Ganze hatte. Anscheinend hatte ich also von Anfang an einen großen Respekt vor wirklichen Physikerinnen und Physikern und vor ihrem Fach. Denn sie verstehen das große Ganze oder besser, sie forschen daran. Sie untersuchen, warum unsere Welt ist, wie sie ist. Warum und wie Naturgesetze funktionieren, wie die

unterschiedlichsten Dinge in unserer Welt zusammenhängen und wie wir das für uns nutzen können. Was sie dabei herausfinden, für all diejenigen unter uns zu erklären, denen es in ihrem Leben bisher eher so ging wie mir, ist echt nicht leicht, vor allem, wenn es um Grundlagenforschung geht. Aber wir versuchen das heute und zwar zusammen mit meinem Gast, mit Prof. Dr. Strunk. Und ich bin mir nach unserem Vorgespräch sicher, er ist der perfekte Mann dafür. Hallo Herr Strunk.

*Titel:* Gasthörer

*Katharina Herkommer:* Heute geht es also um Physik und zwar ganz grob darum, wie zum Beispiel die Stromleitungen der Zukunft aussehen könnten. Am Anfang stelle ich oft die Frage, wie mein Gast zu seinem oder ihrem Fachgebiet gekommen ist. Wie war denn das bei Ihnen, Herr Strunk? Hatten Sie in der Schule ein genau umgekehrtes, einprägsames Erlebnis wie ich und haben Sie danach gesagt, das will ich beruflich machen oder wie war das?

*Christoph Strunk:* Also nach der Mittelstufe hätte ich Physik fast abgewählt.

*Katharina Herkommer:* Echt? Warum?

*Christoph Strunk:* Ich fand es so sterbenslangweilig und sinnlos, dass ich da wirklich überhaupt nichts gesehen habe, was jetzt irgendwie spannend ist. Andererseits habe ich mich schon immer für Naturwissenschaften interessiert und da einen weiten Weg zurückgelegt von der Paläontologie bis hin zu den härteren Naturwissenschaften und als es dann für die

Oberstufe die Frage war, in welche Richtung soll es gehen, waren es Biologie und schließlich Chemie, für die ich mich interessiert habe. Aber mein Problem war, dass in all diesen Fächern immer ein Punkt kam, wo der Lehrer sagen musste, ja, das ist so, aber man weiß nicht, warum. In der Biologie zu der Zeit in den 70er Jahren noch viel stärker als in der Chemie. Und aus irgendeinem Zufall hatte ich mich entschlossen, zusätzlich zu diesen Leistungskursen damals noch einen Grundkurs Physik weiter zu belegen, mit einem Lehrer, der auch nicht das war, was man sich so richtig wünscht. Aber immerhin, er konnte ein bisschen was erklären und er konnte so das Gefühl von Geheimnis etwas wecken.

*Katharina Herkommer:* Und dieses Gefühl hat sie dann dazu gebracht, dass sie gesagt haben, da wollen sie weiterforschen?

*Christoph Strunk:* Ich habe dann erst mal studiert und auch ein paar Jahre gebraucht, bis ich wusste, dass ich auch wirklich das richtige Studienfach erwischte habe. Aber so im dritten Semester ging das dann los, dass ich von dieser Wahl wirklich überzeugt und begeistert war. Allerdings, zu der Zeit wollte ich unbedingt theoretischer Physiker werden. Und es hat also bis zu einer theoretischen Diplomarbeit damals gedauert, bis ich zum Ergebnis kam, dass das auch nicht die richtige Richtung ist und ich lieber auf Experimentieren umsatteln.

*Katharina Herkommer:* Und dass Sie schon so viele Jahre eine solche Karriere in dem Bereich haben, zeigt wohl, dass Sie im richtigen Gebiet gelandet sind. Lassen Sie mich Sie kurz vorstellen. Sie haben in Karlsruhe Physik studiert, dort haben Sie auch promoviert und später an der Universität Basel habilitiert. Als Postdoc waren Sie außerdem an der katholischen Universität Löwen in Belgien und dann sind Sie im Jahr 2000 hier zu uns nach Regensburg gekommen und zwar als Professor für

Mesoskopische Systeme am Institut für experimentelle und angewandte Physik. In den letzten Jahren waren Sie unter anderem Leiter eines graduierten Kollegs, Sie sind Sprecher des Elitistudiengangs Physik und seit neuestem sind Sie auch Mitglied im Fachkollegium der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Passt alles so? Hab ich alles richtig? Er nickt. Alles klar. Es tut mir echt leid, wenn ich Ihnen jetzt in der nächsten halben Stunde ganz viele Fragen zu Dingen und Begriffen stellen muss, die für Sie komplett selbstverständlich sind. Aber wie gesagt, wir wollen verstehen, womit Sie sich beschäftigen und deshalb werde ich halt einfach immer nachfragen müssen. Fangen wir ganz grundlegend an: Sie sind Professor für mesoskopische Systeme. Was sind denn mesoskopische Systeme?

*Christoph Strunk:* Ich würde eher sagen, ich bin Professor für Experimentalphysik. Und mesoskopische Systeme sind jetzt meine genauere Fachrichtung. Und das Besondere an diesen Systemen ist, dass sie zwischen der Mikrowelt der Atome und der Makrowelt der makroskopischen Festkörper beispielsweise angesiedelt ist. Und das Besondere an dieser mittleren Längenskala ist, dass wenn man zusätzlich noch zu tiefen Temperaturen geht, die Quantennatur der Materie da sehr deutlich zum Vorschein kommt.

*Katharina Herkommer:* Also Systeme, die weder winzig klein noch so groß sind, dass man sie einfach in der normalen Welt wahrnehmen könnte?

*Christoph Strunk:* Ja, genau.

*Katharina Herkommer:* Super. Und aus unserer Vorbereitung weiß ich, dass Sie sich mit Supraleitern beschäftigen. Was ist das? Worum geht es da?

*Christoph Strunk:* Supraleitung ist die Erscheinung, dass ein Stück Metall unterhalb einer bestimmten Temperatur plötzlich allen elektrischen Widerstand verliert. Normalerweise ist jeder Stromfluss verbunden mit einem elektrischen Widerstand. Und dieser elektrische Widerstand vergeudet einen Teil der elektrischen Leistung, die durchfließt durch diesen Leiter. Und das ist bei den Supraleitern nicht der Fall. Das Besondere ist, dass dieser Strom keine Abwärme erzeugt. Bei Temperaturen, oft kurz vor dem absoluten Nullpunkt, fällt dieser Verlust weg. Und da gibt es eine Reihe von Anwendungen, für die das sehr interessant ist, aber eben auch neue Grundlagenphänomene.

*Katharina Herkommer:* Können Sie ein Beispiel nennen? Warum forschen Sie daran, was ist der Nutzen dahinter?

*Christoph Strunk:* Supraleiter gibt es auch makroskopisch. Da kann man Stromkabel draus machen und alles Mögliche. Wir interessieren uns aber für sehr feine supraleitende Drähte. Und dieses Phänomen besitzt innere Längenskalen, so nennt man die. Das sind praktisch so eine Art interne Maßstäbe in dem Material, was einem sagt, zum Beispiel, wie tief ein Magnetfeld eindringen kann in den Supraleiter. Oder was sozusagen einen Punkt von einem Draht unterscheidet. Und wenn man jetzt die Geometrie der Proben abstimmt, auf diese inneren Längenskalen, dann treten Phänomene zutage, die es auf der Makroskala nicht gibt. Ein solches Phänomen ist z.B. der Aharonov-Bohm-Effekt nennt sich das im Allgemeinen. Das heißt, wenn man einen Ring macht und zwei alternative Pfade linksrum und rechtsrum für den Strom zu fließen anbietet, dann

können diese Pfade miteinander interferieren. Das heißt, für bestimmte Werte des Magnetfeldes kann kein Strom fließen. Für andere fließt ein besonders großer Strom. Das oszilliert so, geht rauf und runter, jeweils als Funktion des Magnetfeldes. Das ist ein sehr spezifischer Effekt.

*Katharina Herkommer:* Unter anderem forschen Sie an Magneto-Chiralität. Können Sie uns erklären, was das ist?

*Christoph Strunk:* Das ist jetzt schon ein sehr neues Phänomen. Und zwar sollte ich vielleicht sagen, dass für die Supraleitung üblicherweise die mathematische Operation der Zeitumkehr sehr wichtig ist. Also diese Supraleiter sind aufgebaut aus sogenannten Cooper-Paaren, die aus Zuständen aufgebaut sind, die spiegelbildlich in der Zeit sind.

*Katharina Herkommer:* Was sind Cooper-Paare?

*Christoph Strunk:* Cooper-Paare sind Paare von Elektronen mit der doppelten Elektronenladung, die, man sagt ein Kondensat bilden, welches den Suprastrom trägt.

*Katharina Herkommer:* Also innerhalb von den Supraleitern flitzen immer zwei Elektronen zusammen rum?

*Christoph Strunk:* Ja. Und bilden ein Objekt, welches praktisch die Gesetze der Quantentheorie auf einer sehr großen Skala manifestiert. Normalerweise gibt es das nur in den Atomen, aber in den Supraleitern können wir eben jetzt leicht über Mikrometer oder noch größere Abstände

solche Effekte beobachten. Und die Magneto-chiralität, die zeichnet sich jetzt aus, dadurch, dass diese zwei Zeitrichtungen auf einmal nicht mehr spiegelbildlich sind. Diese Zeitumkehrsymmetrie wird gebrochen durch Anlegen eines Magnetfeldes, welches einen Drehsinn der Elektronen vor dem anderen auszeichnet.

*Katharina Herkommer:* Ich glaube, ich muss Sie nochmal unterbrechen. Also diese Zeitumkehr: Können Sie das nochmal für uns Normalsterbliche erklären? Also normalen Strom zeichnet ja aus diese Spiegelbildlichkeit der Flussrichtung eigentlich. Aber Strom muss in eine Richtung fließen, damit man das als Stromleiter nutzen kann. Und bei den Supraleitern ist es besonderer, dass man gleichzeitig noch diese zeitliche Spiegelbildlichkeit hat.

*Christoph Strunk:* Genau.

*Katharina Herkommer:* Und was ist das genau? Wie muss ich mir das vorstellen, zeitliche Spiegelbildlichkeit?

*Christoph Strunk:* Also wenn man sich zum Beispiel die Planetenbewegung vorstellt, dass die Planeten im Uhrzeigersinn um die Sonne umlaufen, dann wäre die Operation der Zeitumkehr, dass die Planeten auf einmal rückwärts laufen würden auf ihrer Bahn. Und dieses rückwärts laufen, das ist durch die Gesetze, die die Planetenbewegung beschreiben, erlaubt. Und das funktioniert nicht nur mit Planeten, das funktioniert auch mit Elektronen. Wobei die Elektronen die Besonderheit haben, dass sie auch an ein Magnetfeld koppeln. Also Elektronen besitzen nicht nur eine elektrische Ladung, sondern besitzen auch eine kleine Kompassnadel, die in eine bestimmte Richtung zeigen kann. Und an

dieser Kompassnadel kann man mit einem externen Magnetfeld angreifen. Und in diesem Magnetfeld sind dann die umgekehrten Bahnen nicht mehr möglich. Das versteht man als Brechung dieser Zeitumkehrsymmetrie. Dass eine Bewegung bevorzugt wird, eine Orientierung der Bewegung gegenüber der entgegengesetzten.

*Katharina Herkommer:* Und was bringt das? Also warum forschen sie daran? Was ist der Nutzen dahinter?

*Christoph Strunk:* Zunächst einmal ist das ein neues Phänomen. Und als Wissenschaftler ist es unsere Aufgabe, solche neuen Phänomene zunächst einmal zu finden. Wenn man sie gefunden hat, dann kann man sich fragen, lässt sich das irgendwie anwenden?

*Katharina Herkommer:* Also das Neue ist, dass man durch diese Magnete die Zeitsymmetrie innerhalb des Supraleiters aufheben kann.

*Christoph Strunk:* Genau.

*Katharina Herkommer:* Also das heißt wirklich, sie machen da auch Versuche, wo sie dann ein Magnet an diese Supraleiter dranhaltend und es austesten?

*Christoph Strunk:* So ist das. Also dieser Suprastrom mit dem Widerstand Null, der ist normalerweise nur stabil unterhalb einer bestimmten maximalen Stromstärke, die man den kritischen Strom nennt. Und bei allen bisher bekannten Supraleitern waren diese kritischen Ströme für die

Vorwärtsstromrichtung und die Rückwärtsstromrichtung gleich. Und in den Materialien, die wir jetzt untersuchen, haben wir festgestellt, dass das nicht unbedingt der Fall ist, sondern dass die locker 50% oder so verschieden sein können. Das ist schon ein sehr, sehr großer Effekt. Und erstmal ging es darum zu verstehen, wie das überhaupt möglich ist, weil es einigen grundlegenden Prinzipien zu widersprechen schien. Dieses Rätsel hat sich jetzt aber gelöst, das verstehen wir. Und jetzt können wir darüber nachdenken, wie sich dieser Effekt praktisch nutzbar machen ließe. Und ein Beispiel dafür sind bestimmte Schaltkreise, bei denen es darum geht, Mikrowellen zu kontrollieren. Und Mikrowellen, die werden verwendet, zum Beispiel um Quantenbits zu steuern, von denen wir hoffen, dass viele von denen eines Tages einen Quantencomputer bilden können. Und es gibt bestimmte Bauelemente in dieser Mikrowellen-Elektronik, die genau diese Aufgabe haben, nur in eine Richtung beispielsweise Mikrowellen durchzulassen und die andere nicht. Und bisher waren diese Bauteile etwas sehr voluminöses, eher so von der Größenordnung von Pralinenstückchen. Und mit den neuen Materialien, die wir jetzt untersuchen, wäre es möglich, die auf demselben Chip zu integrieren, viel, viel kleiner. Und das wäre sicher ein Fortschritt.

*Katharina Herkommer:* Also es gibt ja schon vereinzelt Quantencomputer, aber die sind im Moment noch riesig, oder?

*Christoph Strunk:* Sagen wir mal, es gibt größere und größere Schaltkreise mit Quantenbits. Sagen wir mal so 50 oder inzwischen vielleicht sogar 100 von solchen Quantenbits. Aber das Problem ist, dass die noch nicht störungsfrei zusammen operieren. Deswegen sind sie noch nicht das, was man einen Computer nennt. Praktisch diese Abläufe in den Quantenbits, die weisen noch Fehler auf, die korrigiert werden müssen. Dafür braucht man mehr Q-bits, als man eigentlich zum Schalten zur

Verfügung hat. Und Insgesamt würde ich sagen, dass noch nicht ein wirklich funktionierender Quantencomputer existiert. Sie sind nicht so riesig, auch wenn diese Bits teilweise größer sind als die, die in den normalen Computern drin sind. In diesem Feld versucht man noch, wirklich gehen zu lernen. Also wirklich diese neuen Prinzipien für das Computing auf eine verlässliche Weise nutzbar zu machen.

*Katharina Herkommer:* Und könnte Ihre Entdeckung dann theoretisch für die Stabilität - Sie haben gesagt, es ist im Moment noch zu instabil, diese 50 Bits da hintereinander zu schalten - könnte das da helfen?

*Christoph Strunk:* Ja, also auf der Basis von den Materialien könnte man sogenannte geschützte Q-Bits bauen, welche weniger fehleranfällig sind als konventionelle. Natürlich muss man die aber erstmal wirklich auf dasselbe Niveau bringen. Also das Bessere ist immer der Feind des Guten. Und natürlich die, die bisher das Gute hatten, versuchen das auch immer weiter zu verbessern. Und es ist nicht klar, welche Realisierung, welche Plattform, wie man sagt, für das Quantencomputing sich am Ende durchsetzt.

*Katharina Herkommer:* Jetzt habe ich ja gesagt, Sie machen Grundlagenforschung. Das heißt, im Prinzip ist es gar nicht Ihr primäres Ziel, jetzt was zu erforschen, was man sofort in die Umsetzung bringen kann, sondern Sie haben gesagt, es ist auch ein bisschen das Spannende dabei, an was zu forschen, wo man noch nicht so genau weiß, wo es hingeht, oder?

*Christoph Strunk:* Das ist genauso. Also wenn man eine konkrete Anwendung im Sinn hat, dann ist man eigentlich beschränkt auf die

Dinge, die man im Prinzip kennt und vielleicht noch ein bisschen verbessern möchte. Während wenn man ein neues Phänomen entdeckt, dann kann man in der Regel erstmal nicht übersehen, welche Anwendung dieses Phänomen später haben wird. Man kann sich zwar sagen, in der und der Richtung, kann ich ja vielleicht etwas erwarten oder versprechen, aber ganz charakteristisch ist, dass die Entdeckungen, die wirklich etwas Neues erzeugen, etwas völlig Unvorhergesehenes erzeugen. Und das ist meiner Meinung nach auch der Sinn der Grundlagenforschung, dass man wirklich etwas Neues findet und im Prinzip an einen Ort geht, wo kein Mensch zuvor gewesen ist. Und das ist natürlich was sehr Spannendes.

*Katharina Herkommer:* Ist es auch die Aufgabe der Universitäten, dass man gerade Zeit und Mittel für solche Forschung zur Verfügung stellt?

*Christoph Strunk:* Also die Aufgabe der Universitäten ist natürlich zweifach, Forschung und Lehre. Und ich finde diese Kombination auch sehr, sehr wichtig, weil, sagen wir mal die Inhalte, die wir benötigen, um unsere Beobachtungen zu verstehen, die sind schon sehr abgefahren. Und ich glaube, dass Lehrer eine sehr wichtige Funktion haben, indem sie Begeisterung für solche völlig unmöglichen Themen ausstrahlen können. Und ja, die Universitäten sind unter anderem ganz sicher Orte, wo solche Forschung stattfinden sollte. Denn das Besondere ist, man kann Forschungsrichtungen schlecht anordnen. Also man kann das natürlich versuchen. Aber dafür müssten ja die, die die Richtung anordnen, wissen, welche ist die vielversprechendste Richtung ist. Und das ist Politikern bei allem Respekt in der Regel nicht möglich. Die können nur, sag ich mal, Modeströmungen nachfolgen, die irgendwie interessant scheinen, von denen sie sich was versprechen. Aber der Grund, warum es eine akademische Freiheit gibt, ist die, dass nur die, die selber an der Front der Forschung sind, den nächsten Schritt sagen können und nicht Leute

von außerhalb. Weil die einfach nicht den Einblick haben, den man hat, wenn man selber auf einem Gebiet arbeitet.

*Katharina Herkommer:* Das stimmt. Im Zusammenhang mit den Supraleitern, über die wir gerade gesprochen haben, haben sie jetzt auch gesagt, dass sie keine Wärme abstrahlen oder dass das das Ziel ist, Leiter zu entwickeln, die dadurch natürlich viel energieeffizienter sein können. In dem Zusammenhang forscht ihre Arbeitsgruppe zum Beispiel an Supraströmen in sogenannten Josephson-Kontakten. Auch das müssen wir nochmal zu pflücken. Was sind denn Josephson-Kontakte?

*Christoph Strunk:* Das sind im Prinzip eine Art Schalter, die man mit diesen Supraleitern bauen könnten, die entweder geschlossen sind, keinen Widerstand haben oder offen einen endlichen Widerstand, einen messbaren Widerstand haben. Und die zeichnen sich dadurch aus, dass man sie leichter extern steuern kann als einfach ein Stück supraleitenden Draht. Und Josephson-Dioden haben jetzt genau diese Eigenschaft, dass der kritische Strom in der einen Stromflussrichtung größer ist als in der entgegengesetzten Stromflussrichtung. Und das kann man auch nutzen, um jetzt Wechselströme gleich zu richten, ohne dass dabei Wärme erzeugt wird.

*Katharina Herkommer:* Und das ist auch was, was vorher noch nicht funktioniert hat?

*Christoph Strunk:* Es gibt alte Realisierungen, wo das im Prinzip auch schon gegangen ist, wenn man mehrere Josephson-Kontakte zusammenschaltet. Aber bei uns ist das Besondere, dass der Effekt jetzt nicht durch eine bestimmte Geometrie oder so erreicht wird, sondern eine

Eigenschaft des Materials ist, was wir untersuchen. Das war das Neue. Und das ist natürlich eine Vereinfachung, wenn man in einem einfachen Kontakt dasselbe erreichen kann, wofür man vorher eine kompliziertere Anordnung benötigt. Und wenn es jetzt um supraleitende Elektronik geht, und man sich fragt, wozu könnte man sowas wirklich verwenden, dann muss man wissen, dass ein ganz limitierender Faktor der heutigen Computer ist, dass das Rechnen viel Wärme erzeugt. Also in diesen Serverfarmen, in denen das Internet lebt und die Clouds und die ganzen Movies gestreamt werden und die Musik, die haben einen ganz unglaublichen Stromverbrauch. Und der ist so groß, dass die Stromkosten nach einiger Zeit die Anschaffungskosten für die Computer wesentlich übersteigen. Also jeder Schaltprozess vergeudet Energie im Prinzip. Und wenn man ganz viel, ganz schnell auf ganz engem Raum schalten möchte, dann hat man wirklich, jeder Mikrochip ist so eine Art Tauchsieder, also der wird heiß. Und diese Wärme muss weggekühlt werden, was natürlich nochmal extra Energie kostet und eben jede Menge heißes Wasser erzeugt. Und diese Wärme ist im Prinzip vergeudet und muss durch Stromkosten aufgebracht werden. Und die Hoffnung ist, dass man auf der Basis einer supraleitenden Elektronik diese Verluste stark reduzieren kann und deswegen letztlich auch zu größeren Anordnungen kommen kann. Denn praktisch die Heizleistung, die limitiert auch, wie dicht man jetzt diese Chips packen kann und so, weil man immer mit den Kühlwasserleitungen dazwischen durch muss.

*Katharina Herkommer:* Für seine Entdeckung in dem Bereich hat ihr Mitarbeiter, der Nicola Paradiso, gerade von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft den Walter Schottky-Preis bekommen. Eine Auszeichnung für herausragende junge Physikerinnen und Physiker. Macht sie so eine Auszeichnung als Forschungsgruppenleiter auch stolz?

*Christoph Strunk:* Ja, natürlich. Also, Herr Paradiso hat ganz wesentlich zu unseren Erfolgen beigetragen, war ganz stark an der Umsetzung beteiligt und auch in der gemeinsamen Leitung der Arbeitsgruppe. Und zu einem guten Teil ist das seine Entdeckung.

*Katharina Herkommer:* Aber wie funktioniert das in Ihrer Forschungsgruppe? Also, haben Sie gemeinsam das Thema Supraleiter und dann hat jeder so sein Steckenpferd, an dem er forscht? Oder wie funktioniert das?

*Christoph Strunk:* Also, das ist sehr unterschiedlich von Arbeitsgruppe zu Arbeitsgruppe. Paradiso und ich arbeiten tatsächlich sehr eng zusammen und wir reden auch sehr viel miteinander. Er hat einige Richtungen, die seine Spezialrichtungen sind, wo ich mich ein bisschen raushalte. Aber den Bereich mit den supraleitenden Dioden, die haben wir tatsächlich zusammen gemacht. Und da gibt es dann verschiedene Doktoranden, die bestimmte Aspekte des Themas bearbeiten. Die haben dann ihre Spezialitäten. Aber gemeinsam haben wir sozusagen die Übersicht und überlegen auch, was jetzt die nächsten Schritte sind, was das Interessanteste ist, was man als nächstes machen kann und so etwas.

*Katharina Herkommer:* Sie selbst forschen außerdem an stark ungeordneten Supraleitern.

*Christoph Strunk:* Was bedeutet das stark ungeordnet? Metalle bestehen ja aus regelmäßigen Anordnungen von Atomen, sogenannten Kristallgittern. Und das Interessante ist, dass der elektrische Widerstand nicht durch Zusammenstöße von Elektronen mit den Atomen selbst passiert, sondern mit den Abweichungen von dieser Periodizität. Ein

Elektron, das durch den Kristall fliegt, ist nicht empfindlich auf die regelmäßig auftauchenden Atom-Rümpfe, sondern nur auf die Unregelmäßigkeiten in dieser Anordnung. Deswegen hat ein perfektes Metall eigentlich schon an sich den Widerstand Null. Jetzt sind aber diese Kristalle nie perfekt, sondern weisen immer Fehler auf, Fremdatome beispielsweise, die letztlich den elektrischen Widerstand bestimmen. Interessanterweise hebt die Supraleitung jetzt all diese Störeffekte auf. Und schon seit vielen Jahren ist ein Forschungsthema, was passiert, wenn man jetzt diese Dichte der Defekte immer weiter erhöht? Bricht dann der Stromtransport irgendwann zusammen? Und die Antwort heißt ja, es gibt eine charakteristische Stärke der Unordnung, wo keine metallische Leitung mehr möglich ist. Und die nächste interessante Frage ist, was passiert dann in supraleitenden Metallen?

*Katharina Herkommer:* Also das heißt, sie können diese Unordnung selbst provozieren?

*Christoph Strunk:* Ja, das ist nicht so einfach, weil sich die Atome tatsächlich gerne periodisch geordnet anordnen möchten, wie die Äpfel in der Kiste sozusagen. In die geordnete Kiste kriegt man mehr Äpfel rein, als wenn man es einfach nur reinschüttet. Und in den letzten Jahren hat es da Fortschritte gegeben, dass man da eben sehr, sehr dünne Schichten mit sehr hoher Unordnung erzeugen kann, auch dadurch, dass man zum Beispiel einfach viele Fremdatome einbaut. Die Schwierigkeit bei den sehr dünnen Schichten ist, dass die immer noch einen glatten Film bilden und nicht eine Reihe von Inseln, metallischen Inseln, zwischen denen dann kein elektrischer Kontakt mehr besteht. Und eines unserer Forschungsthemen ist jetzt eben die Frage, was passiert mit der Supraleitung, wenn man die Unordnung sehr, sehr stark macht? Und da gibt es sehr interessante, fundamentale Fragestellungen auch, was dann

zum Beispiel mit den Cooper-Paaren passiert. Sind die noch da, können die sich bloß nicht mehr fortbewegen von einem Ort zum nächsten?

*Katharina Herkommer:* Also diese Elektronen-Doppelpacks?

*Christoph Strunk:* Genau. Und die Messmethode, die wir verwendet haben, um jetzt diese Josephson-Dioden zu untersuchen, die lässt sich auch sehr gut auf diese ungeordneten Supraleiter anwenden. Also wir können praktisch verfolgen, wenn wir die Unordnung verstärken, wie schnell die Suprastromtragfähigkeit verschwindet. Da gibt es schon seit vielen Jahren Theorien, wie das passieren sollte. Und gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe aus Frankreich sind wir jetzt die ersten, die diese Frage experimentell angehen.

*Katharina Herkommer:* Und haben Sie da eine Vorstellung, wie man das nutzen könnte, dieses Möglichmachen des Stromflusses oder nicht durch diese chaotische Anordnung?

*Christoph Strunk:* Ja, also auch da gibt es Anwendungen möglicherweise bei den Quantenbits. Bestimmte Konzepte von diesen geschützten Quantenbits, die brauchen ein Schaltelement mit einer sehr hohen Induktivität, mit einem hohen Wechselstromwiderstand. Und mit diesen ungeordneten Supraleitern lassen sich sehr viel höhere solche Induktivitäten realisieren als konventionell. Und die Frage ist, sind die Verluste dann immer noch klein genug und so? Daran sind wir gerade dabei zu arbeiten.

*Katharina Herkommer:* Also sie sind ganz vorne mit dabei bei, ja, vielleicht dem Strom der Zukunft. Schon lange schwirren rund um die deutschen Unis die Begriffe Exzellenzcluster und Exzellenzuniversitäten herum, dass beides Auszeichnungen sind, ist klar. Aber was die beiden Begriffe genau bedeuten, das weiß man nicht unbedingt, wenn man nicht direkt damit zu tun hat. Weil wir da gleich darüber sprechen werden. Und damit wir alle auf dem gleichen Stand sind, habe ich meine Kollegin Margit Scheid gebeten, uns zum Thema Exzellenz ein bisschen schlauer zu machen.

*Margit Scheid:* Mit der sogenannten Exzellenzstrategie fördern Bund und Länder gemeinsam deutsche Spitzenforschung. Sie soll den Wissenschaftsstandort Deutschland stärken und seine internationale Wettbewerbsfähigkeit weiter verbessern. Verantwortlich für die Umsetzung der Exzellenzstrategie sind die Deutsche Forschungsgemeinschaft, kurz DFG, und der Wissenschaftsrat. Sie sind zum Beispiel gemeinsam für den kompletten Bewerbungs- und Auswahlprozess zuständig. Das aktuelle Förderprogramm läuft seit dem Jahr 2016, auch wenn es davor schon etwa zehn Jahre lang einen Vorgänger gab, die sogenannte Exzellenzinitiative. Die Exzellenzstrategie, wie sie seit der Überarbeitung des Programms heißt, besteht aus zwei Teilen, also zwei unterschiedlichen Förderlinien. Es gibt Exzellenzcluster und Exzellenzuniversitäten. Exzellenzcluster sind herausragende Forschungsfelder an einer Universität oder in einem Universitätsverbund. Sie sind oft fächerübergreifend. Forschende aus verschiedenen Disziplinen und unterschiedlichen Einrichtungen arbeiten darin gemeinsam an einem Thema. Die Unterstützung für Exzellenzcluster ist also strategisch und immer projektbezogen. Durch die finanzielle Förderung sollen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler intensiv auf ihr Forschungsvorhaben konzentrieren können. Die Universität kann mit dem Geld neue Stellen schaffen. Und das Renommee, das die Förderung mit

sich bringt, lockt weitere Forscherpersönlichkeiten an. Junge Talente genauso wie internationale Spitzenkräfte. Wer als Exzellenzcluster ausgewählt wird, bekommt diesen Titel und die Unterstützung zunächst einmal für 7 Jahre. Dann findet die nächste Ausschreibung statt. Wer einmal ausgewählt wurde, kann sich nach der ersten Förderphase aber um eine Verlängerung um weitere 7 Jahre bewerben. In der anderen Förderlinie geht es um die Exzellenzuniversitäten. Dieses Programm fördert die jeweilige Uni als Institution und hilft ihr, ihre internationale Spitzenstellung auf der Basis ihrer Forschung weiter auszubauen. Als Exzellenzuni kann sich nur bewerben, wer schon bei den Exzellenzclustern erfolgreich war. Um für die Auswahl infrage zu kommen, müssen Universitäten an mindestens zwei und Universitätsverbünde an mindestens drei Exzellenzclustern beteiligt sein. Exzellenzuniversitäten bekommen diesen Titel dauerhaft. Auch sie werden aber alle 7 Jahre neu bewertet und müssen dann jeweils aufs Neue nachweisen, dass sie die Fördervoraussetzungen nach wie vor erfüllen. Was sich natürlich lohnt: Insgesamt stellen Bund und Länder pro Jahr weit über 500 Millionen Euro für die Exzellenzstrategie bereit. Im Moment gibt es in Deutschland 10 Exzellenzuniversitäten und einen Universitätsverbund, die diesen Titel tragen dürfen. Exzellenzcluster gibt es 57 in der aktuellen ersten Förderphase des Programms. Dieser erste Zeitraum ist allerdings Ende 2025 vorbei. Deshalb laufen die Bewerbungen um die nächsten Förderungen an vielen Unis in ganz Deutschland gerade auf Hochtouren. Auch an der Universität Regensburg.

*Katharina Herkommer:* Herr Strunk, die Physikfakultät steckt gerade mitten im Bewerbungsprozess um ein solches Exzellenzcluster für die Uni Regensburg. Und zwar genau in ihrem Bereich. Es geht um ein Center for Chiral Electronics, also ein Zentrum für chirale Elektronik. Der Clusterantrag läuft im Verbund mit zwei weiteren Universitäten, der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg und der Freien Universität

Berlin. Und sie sind einer der Sprecher dieser Bewerbung. Worum geht es da inhaltlich genau?

*Christoph Strunk:* Es geht um Elektronik mit chiralen Materialien. Chirale Materialien sind Materialien, die in ihrem Kristallaufbau eine Schraubensymmetrie besitzen. Das ist eine der exotischeren Symmetrien, die es gibt in der Festkörperphysik oder bei den Kristallen. Meistens haben Spiegelebenen oder Punkt-Spiegelzentren oder Drehachsen, dass man das um eine Vierteldrehung drehen kann und dass immer noch die Atome an dieselben Gitterplätze zurückkommen. Und Schraubensymmetrien sind jetzt solche, bei denen eine Drehung und eine Verschiebung miteinander kombiniert werden. Und das Besondere von diesen Materialien ist einmal, dass sie sehr interessante magnetische Eigenschaften haben. Magnetische Materialien werden schon länger untersucht im Zusammenhang mit dem Gebiet der Spin-Tronics, wo der innere Freiheitsgrad der Elektronen, die kleine Kompassnadel, die die mit sich rumtragen, auch als Informationsträger genutzt werden soll.

*Katharina Herkommer:* Also das ist der Spin, diese Kompassnadel. Deswegen heißt es Spin-Tronic.

*Christoph Strunk:* Und bisher, auch in Regensburg und an anderen Orten, hat man überwiegend sogenannte Ferromagneten verwendet, wo die Kompassnadeln alle in die gleiche Richtung zeigen. Und das hat Vorteile, dass man dann diese Magnetisierungsrichtung durch ein externes Magnetfeld leicht kontrollieren kann, aber auch Nachteile, dass es auf Störfelder empfindlich ist und so weiter. Und neben diesen Ferromagneten gibt es noch einen anderen Typ, sogenannte Antiferromagnete, wo benachbarte Elektronen in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Und da hat man lange Zeit gedacht, das ist jetzt für diese elektronischen

Anwendungen nicht so interessant, bis man entdeckt hat, dass es eben spezielle chirale Antiferromagnete gibt, bei denen dann diese Kompassnadeln auch wieder so eine Schraubensymmetrie aufweisen, so eine schraubenartige Anordnung.

*Katharina Herkommer:* Also das, Entschuldigung, wenn ich da noch mal zurückgehe, aber diese schraubenartige Anordnung, das ist einfach eine besondere Art der Geometrie sozusagen, die sich in nur relativ wenigen Stoffen findet.

*Christoph Strunk:* Genau. Und das gibt es auf der molekularen Ebene - Chiralität bedeutet auch Händigkeit, dass man einen Unterschied hat zwischen der linken und der rechten Hand. Und praktisch dieser Cluster ist jetzt ein größerer Forschungsverbund, der sich eben so ein gemeinsames Thema gesetzt hat. Und da gibt es drei Bereiche, wo einmal die Chiralität auf der molekularen Ebene betrachtet wird, wie der Stromfluss auch dann dadurch auf der molekularen Ebene beeinflusst wird. Dann gibt es den Bereich der chiralen Magnete bzw. Supraleiter, in dem ich beteiligt bin. Und es gibt einen dritten Bereich, wo z.B. auch das RUN hier beteiligt ist, wo es um chirale Dynamik geht. Also das heißt, dass man die Materialien irgendwie in Bewegung setzt, sodass man dadurch die Bewegung, die Schraubenanordnung bekommt.

*Katharina Herkommer:* Übers Run sprechen wir gleich, lassen Sie uns kurz noch beim Exzellenzantrag bleiben. Warum haben Sie sich mit den anderen Unis dafür zusammengetan?

*Christoph Strunk:* So ein Cluster braucht eine bestimmte kritische Masse an herausragenden Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen, die sich

unter einem gemeinsamen Thema vereinigen können. Und nachdem das ein relativ exotisches Thema ist, gibt es nicht einen Standort, wo diese kritische Masse vorhanden ist. Aber wir ergänzen uns ganz herausragend mit den Kolleginnen und Kollegen aus Halle und aus Berlin, weil wir verschiedene Komponenten unterschiedlicherweise abdecken dann von dieser Fragestellung und zusammen eben diese kritische Masse darstellen.

*Katharina Herkommer:* Aber haben sie dann keine Angst, dass die anderen Unis ihnen irgendwie die Butter vom Brot nehmen oder so?

*Christoph Strunk:* Naja, es ist ja ein zweistufiges Verfahren. Und in der ersten Stufe, wo irgendwie 150 oder so etwa andere Universitäten sich beworben haben, gemeinsam mit uns oder vorhaben, sollte ich sagen, Cluster vorhaben, und da sind im Bereich der Physik nicht sehr viele in die zweite Runde gekommen. Wir sind stolz darauf, dass wir das geschafft haben mit einem Thema, was wir für sehr innovativ halten. Und es ist nicht so, dass in der Wissenschaft alle hinter dem gleichen Ziel her sind, sondern man hat da schon seine eigenen Richtungen. Und jetzt in diesem Cluster haben sich schon ein guter Teil der Leute in Deutschland, die auf diesem Gebiet arbeiten, zusammengefunden. Und deswegen sind wir eben auch in der Lage, da eine international sichtbare Initiative zu bilden, die sich vor Konkurrenz erst mal jetzt nicht übermäßig fürchten muss. Also deswegen sind wir da eigentlich ganz gut gestimmt.

*Katharina Herkommer:* Also optimistisch, dass es klappen kann?

*Christoph Strunk:* Angemessen optimistisch.

*Katharina Herkommer:* Dann drücken wir Ihnen die Daumen. Sie haben gerade das RUN erwähnt. Die Exzellenzbewerbung ist nicht das einzige Besondere, was bei Ihnen in der Physik gerade los ist. Wer sich für Naturwissenschaften interessiert oder die Meldungen der Uni in der letzten Zeit verfolgt hat, hat vielleicht schon davon gehört. Wir nehmen diesen Podcast Ende April auf und ganz bald am 8. Mai wird hier auf dem Campus das Run eröffnet. Das wird ein richtig großes Event mit viel Politprominenz und Öffentlichkeit. Aber für alle, die vielleicht noch nichts davon gehört haben, können Sie uns kurz erklären, was ist das RUN überhaupt?

*Christoph Strunk:* RUN steht für Regensburg Center of Ultrafast Nanoscopy und hat sich zum Ziel gesetzt, Filme zu machen auf der Nanometer-Skala. Also wir haben ja Mikroskopie, mit der wir in der Lage sind, eben Bilder auf der Nanometer-Skala zu machen, mit den verschiedensten Methoden, Elektronen-Mikroskopie, Raster-Sonden-Methoden, verschiedenste Verfahren. Aber bisher waren diese Bilder oft statisch.

*Katharina Herkommer:* Also Bilder von winzig winzig kleinen Dingen.

*Christoph Strunk:* Genau, also ein Nanometer ist ja ein Tausendstel eines Mikrometers, ein Millionstel eines Millimeters. Wenn man drei Atome in eine Reihe legt, hat man einen Nanometer typischerweise. Und was gelungen ist in Regensburg schon im Vorfeld ist, zum Beispiel Filme zu machen, wie Moleküle schwingen. Also in komplexen Molekülen, die zum Beispiel so eine Ebene haben, dann sieht man zum Beispiel so Biegeschwingungen an den Ecken der Moleküle. Also solche Videos, die

wurden schon gemacht. Und das RUN hat jetzt zum Ziel, solche Videos für viele Prozesse auch zusammen mit den Kollegen aus den Nachbarfakultäten in der Biologie und in der Chemie auf großem Maßstab solche dynamischen Phänomene zu untersuchen.

*Katharina Herkommer:* Und was ist daran das Besondere?

*Christoph Strunk:* Ja, das Besondere ist, dass man eine sehr hohe örtliche Auflösung, man guckt ja ganz kleine Dinge an, dass man die auch ultra schnell anschauen kann. Denn, also so eine Schwingung von einem Molekül, die ist unglaublich schnell. Das sind Millionen von Millionen, wenn nicht Tausende Millionen von Millionen Schwingungen pro Sekunde. Und da muss man einfach sehr, sehr schnell sein, um das in Echtzeit verfolgen zu können. Und dafür sollen am RUN Methoden entwickelt und weiterentwickelt werden.

*Katharina Herkommer:* Weil beides so herausragende Dinge in der Physik sind, ist der eine oder die andere vielleicht ein bisschen verwirrt. Das RUN und die Bewerbung zum Exzellenzcluster sind nicht eine und dieselbe Sache. Komplette verschiedene Dinge sind es aber auch nicht. Wie hängt denn beides zusammen?

*Christoph Strunk:* Also in dem RUN sind ja auch eine große Gruppe von Forschern und Forscherinnen gemeinsam vertreten, die in unterschiedlichen Richtungen dort ihre Arbeiten betreiben wollen. Und der Cluster, der wird jetzt eine bestimmte Richtung innerhalb des RUNs verstärken, die eben diese chirale Dynamik, diese Schraubenbewegung stärker untersuchen wird. Im Prinzip ist das RUN ein Forschungsbau, das heißt eine Plattform, auf der Forschung stattfinden kann. Und der Cluster

ist jetzt eine Richtung innerhalb des RUN, die besonders gefördert wird. Also nicht der ganze Cluster, sondern das RUN trägt einen Teil zu dem Cluster bei.

*Katharina Herkommer:* Ich habe vorher schon gesagt, Sie müssen viele Anträge schreiben und Forschungsvorhaben, Konzepte ausarbeiten, Strategien formulieren. Sie haben wahrscheinlich, als Sie damals sich dann entschieden haben, in die Physik zu gehen, sich Ihren Job so nicht unbedingt vorgestellt, oder? Was ist es, was Ihnen heute immer noch Spaß macht an Ihrem Job?

*Christoph Strunk:* Also die größte Freude ist tatsächlich für mich nach wie vor, neue Daten zu sehen. Also ich stehe nicht mehr selber verantwortlich im Labor, in dem Sinne, dass ich die Experimente selber durchführe. Ich bin eher fürs Troubleshooting und für Diskussionen und die allgemeine Richtung verantwortlich. Das heißt, die Daten werden in der Regel von unseren Mitarbeitern erzeugt. Und jedes Mal, wenn jemand mit einer neuen Messung kommt, ist das ein ganz besonderes Gefühl für mich, zu sehen, was da rausgekommen ist. Denn wir machen ja die Experimente, um etwas Neues zu lernen, um eine Antwort auf eine offene Frage zu bekommen. Und das ist einfach schon ein Entdeckergefühl.

*Katharina Herkommer:* Also jedes Mal, wenn jemand mit neuen Zahlen kommt, ist das für sie ein kleines Geburtstagsgeschenk?

*Christoph Strunk:* Ja, also eher Kurven. Wir visualisieren unsere Daten eher in Form von Kurven, die natürlich aus sinnlosen Zahlen bestehen. Aber der Punkt ist nicht die Zahlen selbst, sondern was die Zahlen

bedeuten, wie man die physikalisch interpretieren kann. Das sind die neuen Ideen, die sich in diesen Zahlen verstecken.

*Katharina Herkommer:* Und haben Sie einen Traum, was Sie gerne entschlüsseln würden? Oder gibt es etwas, was Sie fuchst, dass das noch keiner rausgefunden hat?

*Christoph Strunk:* Also die Frage, die meiner Meinung nach immer noch offen und fundamental unverstanden ist, ist die Frage, was auf der isolierenden Seite des Supraleiter-Isolator-Übergangs tatsächlich genau passiert.

*Katharina Herkommer:* Und brauchen Sie das aktuell in Ihrer Forschung schon? Also heißt das, dass Sie mit was arbeiten, wo Sie gar nicht wissen, wie das funktioniert?

*Christoph Strunk:* Was heißt arbeiten - also wir machen Beobachtungen, die im Augenblick noch kein konsistentes Verständnis haben. Was daran liegt, dass wir bisher eben nur bestimmte Messgrößen untersucht haben, die uns kein vollständiges Bild liefern. Und mit den neuen Messmethoden, die wir jetzt entwickelt haben, hoffen wir, das Phänomen aufklären zu können.

*Katharina Herkommer:* Und das ist so was, was Sie jetzt die nächsten Jahre über angehen könnten, wenn das klappt mit dem Exzellenzcluster? Oder steht das sowieso auf Ihrem Zettel?

*Christoph Strunk:* Also das sind ein bisschen verschiedene Richtungen. Sagen wir mal, das ist das Fundamentalste von dem, was mich interessiert. Der Cluster hat natürlich auch fundamentale Fragestellungen, aber er geht eben auch ein bisschen in Richtung Anwendung.

*Katharina Herkommer:* Herr Strunk, ich danke Ihnen so für Ihre Geduld und vor allem auch, dass Sie hier heute bei mir im Studio zu Gast waren. Ich habe mal wieder total viel Neues dazugelernt und ich hoffe, euch liebe Hörerinnen und Hörer geht es genauso. Habt ihr alles kapiert, was zu wissenschaftlich oder zu simpel erklärt für euch? Und gibt es Themen oder Forschungsbereiche, die wir uns unbedingt mal vornehmen sollten? Schreibt mir doch gerne auf [kontakt@ur.de](mailto:kontakt@ur.de). Und wenn ihr den Gasthörer mögt, dann abonniert unseren Podcast doch am besten gleich und empfiehlt uns gerne weiter. Mein Name ist Katharina Herkommer und ich hoffe, ihr seid auch beim nächsten Mal wieder dabei. Dann geht es unter anderem um umweltfreundliche Kosmetik und Reinigungsprodukte, um nachhaltige Chemie. Schauen wir mal, wie ich mich dann schlage. Ich bin schon gespannt und freue mich auf meinen Gast und auf euch. Tschüss Herr Prof. Strunk und tschüss liebe Gasthörerinnen und Gasthörer.

*Christoph Strunk:* Vielen Dank für Ihr Interesse.