

Deutschlandfunk
Wissenschaft im Brennpunkt

Superlinsen und Tarnkappen Designer-Werkstoffe revolutionieren die Optik

Autor: Ralf Krauter
Redaktion: Christiane Knoll
Länge: 27'30"
Sendedatum: 20. 4. 2008

MANUSKRIFT

Sprecherin

Wissenschaft im Brennpunkt

Zuspiel 1: Musik, sphärisch, Spannung erzeugend
Liegt unter der folgenden O-Ton-Collage

Zuspiel 2: O-Ton Linden, Track 14, 03:00, 8s
Für mich liegt die Faszination daran, dass man eben durch Formgebung optische Materialien mit völlig neuartigen Eigenschaften erstellen kann.

Zuspiel 3: O-Ton Pendry, Track 20, 38:40, 7s
The point about metamaterials is that they give access to properties which we not hat access to before.

Zuspiel 4: O-Ton Giessen, Track 8, 05:55, 7s
Optik bekommt plötzlich eine extra Stellschraube, an der man drehen kann und die ganze Welt der Optik, ist um diese Stellschraube erweitert.

Zuspiel 43: Filmatmo Captain Kirk, Track 34, 00:06 – 00:16, 10s
Es geht um die Zukunft, Madam Kanzler. Einige meinen, diese Zukunft wäre das Ende der Geschichte. Ich meine: Es fängt gerade jetzt eine neue Zukunft an.

Sprecherin Ansage

Superlinsen und Tarnkappen. Designer-Werkstoffe revolutionieren die Optik. Eine Sendung von Ralf Krauter.

Regie: Musik langsam ausblenden

Zuspiel 5: Atmo, Archiv
Großstadtverkehr...

Reporter: Darüber

Den Campus des Imperial College im noblen Londoner Stadtteil South Kensington betritt man durch ein Atrium aus Stahl und Glas. Der Innenhof

ist eine architektonisch gelungene Mischung aus Tradition und Moderne. In der Cafeteria ist englisch, französisch und chinesisch zu hören. Das Imperial College - eine alt-ehrwürdige Universität, die bis heute zur Weltspitze zählt.

Regie: Atmo langsam ausblenden

Reporter: Darüber

Das Büro von Professor Sir John Pendry liegt im 6. Stock des Blackett-Labors, das bereits drei Nobelpreisträger hervorgebracht hat. Auf die Frage, ob er vielleicht der nächste sein könnte, antwortet der Physiker mit der gebotenen Zurückhaltung.

Zuspiel 6: O-Ton Pendry, Track 20, 01:30, 11s

It's not for me to say that. And I don't think it would help my case if I did. I believe I have been nominated. But they're not even supposed to tell you that. We'll see.

Reporter

Diese Entscheidung müssten andere treffen, erklärt er. Er wisse lediglich, dass er wohl schon mal für den Preis nominiert gewesen sei.

Sir John Pendry hat das Sakko über die Stuhllehne gehängt und trägt zum weißen Hemd eine Burberry-Krawatte. Stilsicher und zuvorkommend wirkt er – und nicht im Entferntesten so verschroben, wie theoretische Physiker zuweilen sind. Allein die Galerie von Schmetterlingsphotos, fotografiert in den grünen Hügeln der South Downs, verrät jenen Hauch von Exzentrik, den man von einem geadelten Briten erwarten darf. 2004 schlug die Queen John Pendry für seine Verdienste um die Wissenschaft im Vereinigten Königreich zum Ritter.

Zuspiel 7: O-Ton Pendry, Track 20, 3:40 – 04:30, 50s

I've worked on many things. And it's my intention to move on about every ten years, something like that, into a new subject...

Übersetzer: Darüber

Ich habe auf vielen Gebieten der theoretischen Physik gearbeitet. Etwa alle 10 Jahre wende ich mich etwas Neuem zu. Das hält frisch. Außerdem nimmt man beim Wechsel des Arbeitsgebietes immer auch einen Teil seiner Ideen mit. Das kann sehr fruchtbar sein, weil man Dinge unter einem anderen Blickwinkel sieht, als andere zuvor. Bei der klassischen Optik war ich selbst überrascht, dass ich zu diesem – wenn sie so wollen uralten - Gebiet, etwas Neues beisteuern konnte. Aber es stellte sich heraus: Da steckt noch allerhand drin. Deshalb die ganze Aufregung.

...But it turns out there are quite a few things – and hence the excitement.

Reporter

Die Aufregung bezieht sich auf John Pendrys aktuelles Forschungsgebiet. So genannte Metamaterialien.

Zuspiel 8: O-Ton Pendry, Track 20, 14:00, 8s

It means beyond materials. So this is something like an additional boost you give the properties of a material.

Reporter

Metamaterialien, das sind Designer-Werkstoffe aus dem Labor. Strukturierte Verbundmaterialien mit bemerkenswerten optischen Eigenschaften, die es in der Natur so nicht gibt.

Zuspiel 9: O-Ton Pendry, Track 20, 15:30 – 16:13, 40s

If you want to make glass more refracting, you change the chemistry...

Übersetzer: Darüber

Wenn sie die optischen Eigenschaften von Glas verändern wollen, ändern sie seine chemische Zusammensetzung. Zum Beispiel, indem sie etwas Blei in die Schmelze geben, denn Bleikristalle glitzern intensiver als normales Kristallglas. Sie könnten aber auch einen Schritt weiter gehen und sagen: Anstelle der Chemie meines Materials, ändere ich seine innere Struktur, indem ich Dinge einbaue, die viel größer sind als Atome oder Moleküle. Künstliche Strukturen, die sich mit filigranen Werkzeugen herstellen lassen. Für Radarwellen ist das relativ einfach. Wegen ihrer großen Wellenlänge sind millimetergroße Objekte gut genug, um ihre Ausbreitung zu beeinflussen.

... so you can get away with millimetric size objects.

Zuspiel 10: O-Ton Pendry, Track 20, 16:13 – 16:30, 17s

So an ordinary material has its response due to its atoms and molecules...

Übersetzer: Darüber

Also: Bei Metamaterialien liefert uns die innere Struktur einen zusätzlichen Freiheitsgrad, um ihre optischen Eigenschaften einzustellen. Und die einzige Vorgabe an diese Struktur ist: Sie muss viel kleiner als die Wellenlänge sein.

... smaller than the wavelength, so that you can do these averaging properties.

Reporter

Die neuartigen Verbund-Werkstoffe bestehen aus einem Trägermaterial wie Glas oder Plastik, in das Myriaden winziger Metallstrukturen eingebettet sind: Stromleitende Drähte oder Hufeisen, deren Form und Anordnung entscheidet, wie stark sie elektromagnetische Wellen vom Kurs bringen. Dass sich die optischen Eigenschaften auf diese Weise maßschneidern lassen, eröffnet ganz neue Möglichkeiten. Kompaktere Objektive und hochauflösende Linsen sind denkbar.

Zuspiel 11: Filmatmo 1, Track 28, 01:05 – 01:37, 80s

Sphärische Raumschiffatmo... Schritte auf der Brücke...

Reporter: Darüber

Und Tarnkappen, die Lichtwellen so um ein Objekt herum schleusen, dass es unsichtbar wird. Stoff für Science Fiction-Filme.

Regie: Zuspiel hochziehen, (15s)

Leutnant: Den Torpedoeinschlag bitte noch einmal. ... Zischen, Explosion... Halt!

Reporter: Darüber

In Star Trek-Folge sechs zum Beispiel muss sich die Crew von Raumschiff Enterprise mit einem klingonischen Kriegstreiber herumschlagen, der im Vorfeld einer Friedenskonferenz Zwietracht sät, indem er von einem unsichtbaren Raumschiff einen Torpedo auf seine Landsleute feuert.

Regie: Zuspiel hochziehen, (35s)

Die Quelle war in unserer Nähe. Sie war womöglich unter uns. - Wenn ein Schiff unter uns gewesen wäre, hätten es die Klingonen bestimmt gesehen. – Sind sie sicher? – Raubvogelklasse? – Absolut möglich. – Getarnt? – Die Raubvogelklasse kann nicht feuern, wenn sie getarnt ist. – Wenn die Umstände normal wären, Mr. Scott, würde ich ihnen zustimmen. Aber sie sind leider nicht normal. Dieser Raubvogel kann...

Regie: Zuspiel ausblenden

Zuspiel 12: O-Ton Pendry, Track 20, 42:10 – 43:00, 36s

The cloak came about because I was asked to speak at a conference. And they said: We'd like you to ginger things up...

Übersetzer: Darüber

Die Idee mit der Tarnkappe entstand im Vorfeld eines Vortrags. Die Veranstalter sagten mir: Spitz' die Dinge ruhig ein wenig zu. Ich überlegte also, was das Außergewöhnlichste wäre, das man mit Metamaterialien anfangen könnte, und kam darauf: Man könnte etwas verstecken. Das Tarnkappen-Konzept ist aber nur eine von vielen Möglichkeiten. Ich habe es verwendet, um zu illustrieren, welche Chancen zur Kontrolle elektromagnetischer Strahlung diese neuartigen Materialien eröffnen.

...But the cloak is only one thing you can do. It just illustrates, there's a whole range of possibilities controlling light, radiation with metamaterials.

Reporter

Kein Wunder, dass Metamaterialien ein boomendes Forschungsgebiet sind. Den Startschuss dafür gaben vor knapp 10 Jahren die theoretischen Arbeiten von Sir John Pendry. Dabei knüpfte der Brite zunächst ohne es zu wissen an Überlegungen an, die 30 Jahre zuvor bereits ein anderer angestellt hatte: Viktor Veselago. 1968 hatte der russische Physiker Stoffe mit revolutionären optischen Eigenschaften beschrieben. Allerdings waren das damals reine Gedankenspiele. In der Natur kamen die bemerkenswerten Materialien nicht vor und wie man sie künstlich herstellen könnte, wusste seinerzeit noch keiner. Mangels praktischer Realisierung verstaubten Veselagos Ideen 30 Jahre lang in der Schublade. Als John Pendry auf den Plan trat, waren sie auf einmal wieder topaktuell.

Zuspiel 13: O-Ton Pendry, Track 20, 07:27 – 07:55, 30s

He's still alive and I met him in Beijing about 3 years ago...

Übersetzer: Darüber

Ich habe Viktor Veselago vor drei Jahren einmal in Peking getroffen. Es geht ihm bestens und er genießt seinen neuerlichen Ruhm. Seine Veröffentlichung 1968 hatte für Wirbel gesorgt. Aber weil das damals reine Gedankenspiele waren, erstarb das Interesse. Jetzt, wo es praktische Anwendungen gibt, wird er wieder überall eingeladen, um Vorträge zu halten.

... invited all over the world to talk about his ideas and that's very nice.

Reporter

Die von Viktor Veselago beschriebenen Stoffe haben einen negativen Brechungsindex. Das bedeutet unter anderem, dass sie Licht in eine Richtung ablenken, die laut Lehrbuch nicht erlaubt ist – sie brechen es vom Einfallslot weg, statt darauf zu. Ein Küchenexperiment veranschaulicht, was das bedeutet. Stellt man einen Kochlöffel schräg in ein Wasserglas, scheint er unter Wasser abzuknicken - als ob er flacher im Glas stünde, als es tatsächlich der Fall ist. Hätte das Wasser im Glas einen negativen Brechungsindex, würde der Löffel scheinbar andersherum geknickt.

Eine zweite Konsequenz ist noch bizarrer. In einem Medium mit negativem Brechungsindex fließt die Energie einer Lichtwelle in die entgegengesetzte Richtung wie die Wellenberge. Das ist, als ob eine Wasserwelle mit gewohnter Wucht am Strand bricht, obwohl die Wellenkämme aufs offene Meer hinaus wandern. Als es Forschern um David Smith in San Diego in Zusammenarbeit mit John Pendry 2001 erstmals gelang, ein Material herzustellen, das bei Mikrowellen diese faszinierenden optischen Eigenschaften zeigte, war das eine Sensation.

Zuspiel 14: Filmatmo 2, Track 29, 00:30 – 00:54, 30s

Dramatische Musik... *Die Klingonen haben eine neue Waffe. Einen Raubvogel, der auch getarnt feuern kann. So einer torpedierte Gorkons Schiff. – So war das! – Nicht ganz. Ich habe Grund zu der Annahme, dass Gorkons Mörder auf unserem Schiff sind. – Das wäre eine Erklärung. Hat die Friedenskonferenz schon begonnen? – Weiß nicht. Ist geheim, wie der Konferenzort. – Schon wieder ein Geheimnis. – Captain, Mr. Spock: Ich habe die gesuchten Uniformen mit dem Klingonenblut gefunden....*
Musikalischer Akzent

Zuspiel 15: O-Ton Linden, Track 14, 03:00 – 03:25, 20s

Also für mich liegt die Faszination darin, dass man eben durch Formgebung optische Materialien mit völlig neuartigen Eigenschaften erstellen kann. Man ändert also nicht die chemische Zusammensetzung. Sondern man kann wirklich nur durch die Form bestimmen, wie ein optisches Material funktioniert. Und das finde ich schon sehr sehr faszinierend.

Reporter

Der Physiker Dr. Stefan Linden von der Universität Karlsruhe ist einer der führenden deutschen Metamaterial-Forscher. Nach dem Durchbruch von

2001 wollte er das, was den US-Forschern mit Mikrowellen von einigen Zentimetern Wellenlänge gelungen war, auch mit sichtbarem Licht schaffen. Ein knifflige Aufgabe. Weil sichtbares Licht eine millionenfach kürzere Wellenlänge hat, sind Materialien mit millionenmal kleineren Strukturen nötig, um seine Ausbreitung zu beeinflussen. Statt Millimeterarbeit braucht es Nanotechnologie, um sie herzustellen.

Die Karlsruher Forscher um Stefan Linden machten sich an die Arbeit und landeten 2007 einen viel beachteten Coup. Das weltweit erste Metamaterial für sichtbares Licht kam aus ihrem Labor: Beschichtete Glasplättchen mit metallisch schillernden Bereichen vom Format eines Staubkorns. Die in den Metallfilm geätzten Strukturen sind tausendmal feiner als ein Haar. Unter dem Elektronenmikroskop erkennt man ein netzförmiges Muster aus Myriaden filigraner Drahtstücke.

Zuspiel 16: O-Ton Linden, Track 14, 16:05 – 16:30, 23s

Man kann sich das vorstellen als zwei Metallfilme, die durch eine dünne dielektrische Zwischenschicht getrennt sind. Und in dieses Schichtpaket werden nun periodisch Löcher gestanzt. Und diese Struktur ermöglicht eben auch bei hohen Frequenzen, das heißt im Infrarot oder sogar im roten Bereich des sichtbaren Spektrums, einen negativen Brechungsindex.

Reporter

Das Funktionsprinzip geht auf theoretische Konzepte von John Pendry in London zurück. Die periodischen Drahtmuster bilden Strukturen, die intensiv mit rotem Licht wechselwirken. Bei einer bestimmten Lichtfarbe kommt es dabei zu so genannten Resonanzen. Die filigranen Drähte wirken dabei wie kleine Antennen, in denen das Lichtfeld die Elektronen zittern lässt. Die resultierenden Ströme erzeugen ihrerseits eine elektrische und magnetische Kraft, die das einfallende Licht vom Kurs bringt. Und zwar genau so, wie man es von einem Medium mit negativer Brechzahl erwarten würde.

Dass die Karlsruher Forscher als erste Erfolg hatten, verdanken sie auch einem gesunden Maß an Intuition. Die Fortschritte auf dem Gebiet sind rasant. Alle paar Monate vermelden andere Gruppen neue Durchbrüche mit wieder anders geformten Drahtmustern. Aber noch ist das alles Grundlagenforschung. Für Anwendungen sind die Verluste zu hoch. Selbst der momentane Weltrekordhalter, die Netzstruktur aus Karlsruhe, schluckt einen Großteil des einfallenden Lichtes.

Zuspiel 18: O-Ton Linden, Track 14, 36:35 – 37:05, 18s

Wenn man es mit einer Glasscheibe vergleicht, ist es natürlich sehr sehr schlecht. Man kann sich ausrechnen, wie viele Lagen man braucht, damit praktisch kein Licht mehr hinten ankommt. Da stellt man fest, dass man nicht allzu viele Lagen anordnen kann, bevor das Metamaterial in erster Näherung ziemlich schwarz ist.

Reporter

Problem Nummer zwei: Die heutigen optischen Metamaterialien sind haarfeine Filme. Für neuartige Linsen oder eine Tarnkappe, die ein

Raumschiff unsichtbar machen könnte, wären aber große räumliche Strukturen nötig.

Zuspiel 19: O-Ton Linden, Track 15, 06:30 – 07:03, 27s

Falls es positive Antworten auf diese beiden Fragen gibt, bin ich davon überzeugt, dass das reichhaltige Möglichkeiten für Metamaterialien gibt in der Anwendung. Und dass sich auch damit optische Geräte herstellen lassen, von denen wir heutzutage noch nicht einmal träumen können. Eben weil die Eigenschaften so neuartig, so unterschiedlich zu herkömmlichen Materialien sind, dass sich hier völlig neuartige Anwendungsmöglichkeiten ergeben werden.

Zuspiel 20: Filmatmo 3, Track 30, 00:20 – 01:10, 25s

Bedrohliche Musik... Er muss hier irgendwo sein. – Aber wenn er getarnt ist? – Dann ist alles, was wir haben ein Anstieg der Neutronenstrahlung. Und wenn wir den messen, pustet er uns schon weg...

Regie: Zuspiel langsam ausblenden

Zuspiel 21: O-Ton Giessen, Track 11, 2:20 – xy, 30s

Schritte im Gang... So das ist jetzt alles Reinraum hier... da habe wie das Glück, dass wir das geerbt haben, aus einer Zeit, als das Land Baden-Württemberg viel Geld hatte und Herr Späth auch noch persönlich hier ... Schlüssel rasselt, Tür geht auf... uns Gelder gegeben hat. Also natürlich meinem Vorgänger. Sie müssen jetzt hier Überschuhe anziehen. ... Tür klackt zu ... und dann bekommen Sie so eine Haube für den Kopf. ... Rascheln von Plastik... und einen Mantel...(2:55)

Reporter: Darüber

Wer Professor Harald Giessen beim Weg durchs Physikhochhaus der Universität Stuttgart auf den Fersen bleiben will, muss sich sputen. Giessen ist um die 45, trägt gestreiftes Hemd, Sakko und Brille. Etwa die Hälfte seiner Arbeitszeit widmet er Metamaterialien. Mit Erfolg. Im Januar 2008 präsentierte sein Team im Fachmagazin Nature Photonics das erste dreidimensionale optische Metamaterial.

Regie: Zuspiel wieder hochziehen, (5s)

... So, Sie bekommen hier den Professorenmantel. - Das ist ja eine Ehre – Umziehatmo...Reissverschluss wird zugezogen...

Reporter: Darüber

Mit Schutzmantel, Haarnetz und Plastikfüßlingen geht es in den Reinraum, in dem die winzigen Metallstrukturen gefertigt wurden. Staub jeder Art wäre dabei fatal.

Zuspiel 22: O-Ton Giessen, Track 11, 04:15 – xy, 15s

Tür geht auf... Atmowechsel... Lüfterrauschen... So, was sie jetzt hier sehen, sind die verschiedenen Stufen der Fabrikation. Hier vorn haben Sie die ganzen verschiedenen Ätzanlagen...

Reporter: Darüber

Das Stuttgarter Metamaterial besteht aus einem durchsichtigen Polymer, in das tausende u-förmige Golddrähte eingebettet sind. Fällt infrarotes Licht darauf, wirken sie wie kleine Schwingkreise und bewirken einen negativen Brechungsindex.

Zuspiel 23: O-Ton Giessen, Track 11, 06:25 – 07:18, 35s

Man würde mit einem Siliziumdioxid, also einem Glassubstrat beginnen. Würden 5 Nanometer Chrom aufdampfen, dann 20 Nanometer Gold. Dann käme in der nächsten Stufe dieses E-Beam-Resist, also der Lack, der empfindlich gegenüber dem Elektronenstrahl ist, käme dann drauf. Und dann wieder eine Stufe weiter, geht's in die Elektronenstrahlolithographie. Dann schreibt der Elektronenstrahl in diesen Lack rein, was für Strukturen sie haben. Dann wird der Lack erst einmal entwickelt. Das heißt, dort wo er nicht beschrieben ist, geht er weg. Und dann geht's nach vorne in die Ätzanlage. Und das Gold wird überall weggeätzt, wo er nicht beschrieben wurde...

Reporter: Darüber

Rund 40 Prozessschritte sind erforderlich, um das 3D-Metamaterial schichtweise herzustellen. Die Verfahren ähneln denen, die auch Stefan Linden in Karlsruhe verwendet. Präzisionstechnologie aus dem Nanolabor. Hochgenau, aber auch zeitaufwändig und teuer.

Zuspiel 24: O-Ton Giessen, Track 11, 07:50 – 08:38, 20s

Das ist hier jetzt das Herzstück. Das ist die Elektronenstrahlolithographie... das ist diese Anlage. Heute würde so etwas ungefähr 5 Millionen € kosten. Ist also hoch genau. Besser als 20 Nanometer. Und hier vorne ist das Elektronenmikroskop, mit dem sie die Strukturen dann anschauen können...

Reporter: Darüber

Mit viel Geduld könnten die Stuttgarter Forscher in ihrem Labor wohl optische Metamaterialien mit Abmessungen von einigen Millimetern herstellen. Bei industrieller Fertigung wären sogar deutlich größere Strukturen möglich, meint Harald Giessen. Stefan Linden aus Karlsruhe hält das Verfahren aber für zu aufwändig, um beispielsweise für die Massenproduktion neuartiger Infrarotlinsen interessant zu sein. Mögliche Alternativen wie Prägetechniken oder holographische Verfahren werden erforscht. Patentlösungen hat derzeit noch keiner.

Zuspiel 26: Filmatmo 4, Track 31, 00:41 – 01:20, 40s

...Ich kann sie sehen, Kirk. – Tschang! – Können sie mich auch sehen? Seien sie jetzt mal ehrlich Captain, von Krieger zu Krieger. Sie ziehen diesen Weg doch auch vor, nicht wahr? So wie es sein soll. Kein Frieden in unserer Zeit. Noch einmal stürmt, noch einmal, liebe Freunde. Tach pa, tach peh – Torpedo wird abgefeuert, schlägt ein, Alarmglocke schrillt...

Regie: Zuspiel ausblenden**Reporter: Darüber**

Während Metamaterialien für sichtbares Licht noch in den Kinderschuhen stecken, ist man bei der Manipulation von millionenmal langwelligeren

Radarstrahlen schon deutlich weiter. Um zu zeigen, was heute schon geht, holt John Pendry eine tellergroße Plastikscheibe von einem Regal. Ihre beige Farbe erinnert den geadelten Physiker aus London an die aus indischen Restaurants bekannten Poppadoms.

Zuspiel 27: O-Ton Pendry, Track 21, 0:10 – 01:05, 55s

It's a lense for focussing radar waves. It's 30 centimeters in diameter...

Übersetzer: Darüber

Das ist eine Linse, die Radarwellen fokussiert. Sie hat einen Durchmesser von 30 Zentimetern und das Auffälligste daran ist: Sie ist völlig plan, weist also keinerlei Krümmung auf. Sie werden sich fragen: Aber wie kann sie dann Radarwellen bündeln? Dazu bräuchte es doch eine Linse, die innen dicker ist, als außen. Da diese Linse aus einem Metamaterial mit negativer Brechzahl besteht, sollte es hier eigentlich gerade umgekehrt sein. Die Linse müsste konkav sein, also innen dünner als außen. Durch eine clevere Verteilung der Kupferschleifen in diesem Polymer haben wir den Brechungsindex so verändert, dass man die Linse flach bauen kann. Das verbessert ihre optischen Eigenschaften und macht sie ungewöhnlich leicht.

... And so this is quite a good lens and it's very light as well.

Reporter

Eine konventionelle Linse mit gleichem Durchmesser würde einige Kilogramm wiegen. Die flache Variante aus Plastik und Drahtschlingen bringt nur ein paar hundert Gramm auf die Waage. Für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ein großer Vorteil. Der Prototyp entstand vor ein paar Jahren, in einem von der US-Rüstungsforschungsagentur DARPA geförderten Projekt, an dem auch der Flugzeugbauer Boeing beteiligt war. Solche graduellen Verbesserungen optischer Systeme sind aber nur der Anfang. Metamaterialien haben das Zeug, der Optik völlig neue Dimensionen zu eröffnen. Zum Beispiel durch so genannte Superlinsen.

Zuspiel 28: O-Ton Giessen, Track 8, 24:20 – 25:09, 30s

Superlinsen sollen den Optiker in die Lage versetzen, dass er Gegenstände abbilden kann, die kleiner als das abbeysche Beugungslimit sind. Das abbeysche Beugungslimit, das liegt bei ungefähr einer halben Wellenlänge. Und das hindert uns momentan daran, in der Biologie unter dem Mikroskop zum Beispiel das Innere von Zellen anzugucken, im Detail. Oder es hindert auch die Firma Zeiss, Intel oder AMD, Strukturen zu machen, die kleiner als 32 nm sind.

Zuspiel 29: O-Ton Pendry, Track 20, 30:30 – 32:05, 90s

So there's this huge pressure on optics for all sorts of reason to get better resolution. And with present technology, it's impossible to do that...

Übersetzer: Darüber

Das Beugungslimit begrenzt die Auflösung von Mikroskopen und Belichtungssystemen. Diese Grenze ist fundamental, aber sie ist nicht absolut. Wenn sie einen elektronischen Schaltkreis beleuchten, dann enthält das reflektierte Licht all seine Details, bis hinunter zur Ebene der einzelnen Atome

und Moleküle. Das Problem ist: Nur ein Teil dieser optischen Information, das so genannte Fernfeld, erreicht den Betrachter. Der Rest, das so genannte Nahfeld, bleibt an der Oberfläche gefangen. Die Theorie sagt nun aber: Wenn sie eine Linse mit negativer Brechzahl nah genug an die Oberfläche heran bringen, kann sie dieses Nahfeld auffangen, verstärken und abbilden.

... amplifying it and reproducing it perfectly on the far side of the lense.

Reporter

Auch hier sind Resonanzphänomene der Schlüssel. Ein passend gestimmtes Metamaterial saugt das optische Nahfeld auf, wie ein Weinglas die schrillen Schallwellen einer Sopranistin. Das Ergebnis: Abbildungen mit nie da gewesener Schärfe.

Zuspiel 30: O-Ton Pendry, 34:35 – 35:40, 30s
It as been done already...

Übersetzer: Darüber

Experimente belegen: Es funktioniert tatsächlich. Die beste bislang erreichte Auflösung betrug ein zwanzigstel der Lichtwellenlänge. Die Bilder sind also deutlich schärfer als mit normalen Optiken. Wenn sie die Bilder mit und ohne Metamateriallinse vergleichen, ist das, als ob sie ihre Brille aufsetzen.

... And it's really like putting your spectacles on. It's very noticeable.

Reporter

Überlegungen John Pendrys zufolge ließe sich das Auflösungsvermögen noch viel weiter steigern. Praktiker wie Harald Giessen von der Universität Stuttgart haben da allerdings ihre Zweifel.

Zuspiel 31: O-Ton Giessen, Track 8, 25:50 – 26:18, 24s
Es ist so ein bisschen umstritten, ob dieses Konzept, so wie es Herr Pendry vorgestellt hat, tatsächlich funktioniert. Da sagen andere, man müsste den Brechungsindex sehr genau treffen, bis auf einen Bruchteil von einem Prozent. Und wenn man das nicht machen würde, dann gäbe es da wieder Fehler. Ob also wirklich die Superlinse dann die Killeranwendung sein wird in ein paar Jahren, das wird sich noch rausstellen.

Zuspiel 34: Filmatmo 5, Track 32, 00:24 – 00:52, 28s
Gas. Gas, Captain. Unter Impulskraft würden sie Rückstände hinterlassen. Wie alle anderen Schiffe auch. Wir nennen es Plasma. Und wie immer die Klingonen es nennen: Es ist einfach ionisiertes Gas. – Was ist denn mit der Ausrüstung, die wir haben, um gasartige Anomalien zu registrieren? Das Ding muss doch ein Auspuffrohr haben? – Doktor, assistieren sie mir bei einem chirurgischen Eingriff an einem Torpedo?

Reporter

Und die optische Tarnkappe, die Spock und Co das Aufspüren ihres Gegners erschwert, die schon den Sagenheld Siegfried unbesiegbar machte und Harry Potter bei der Bekämpfung seines Erzfeindes zupass

kam– ist sie realistisch? John Pendry, der das theoretische Konzept entwickelt hat, dämpft allzu große Erwartungen.

Zuspiel 35: O-Ton Pendry, Track 20, 40:15 – 41:00, 40s

I don't think a true Harry Potter style cloak is anything that would appear in my lifetime...

Übersetzer: Darüber

Ich glaube nicht, dass es zu meinen Lebzeiten gelingen wird, einen Tarnmantel wie den von Harry Potter herzustellen. Aber innerhalb von 5 bis 10 Jahren könnte es vielleicht gelingen, Objekte, die nur einige Tausendstel Millimeter groß sind, unsichtbar zu machen. Nicht um sie dem menschlichen Blick zu entziehen – wegen ihrer Kleinheit wären sie sowieso unsichtbar. Sondern um vielleicht irgendeinen Schaltkreis gegen elektromagnetische Störstrahlung abzuschirmen.

... It will be stopping it from interfering with some opto-electronic circuit or something very technical like that.

Reporter

Um ein Objekt unsichtbar zu machen, müssen Lichtstrahlen um es herum geleitet werden. Und zwar so, dass sie sich dahinter wieder vereinen, als ob nichts gewesen wäre. Dazu muss sich der Brechungsindex der Tarnhülle mit wachsendem Abstand vom zu verbergenden Gegenstand kontinuierlich verändern. Eine knifflige Angelegenheit, zumal die Hülle möglichst kein Licht reflektieren oder absorbieren darf.

Zuspiel 36: O-Ton Linden, Track 15, 12:25 – 14:04, 20s

Das heißt wir haben mehrere sehr große Anforderungen an unser Material. Und das ist eben theoretisch zwar möglich zu zeigen, dass sowas geht. Allerdings, von der experimentellen Herausforderung ist es ganz enorm.

Reporter

Als John Pendrys Kollege David Smith 2006 die weltweit erste Tarnkappe für Mikrowellen präsentierte, war das ein Durchbruch: Eine konzentrische Anordnung aus 10 Plastikringen – der äußerste handtellergrößer -, auf die millimetergroße Kupferschleifen geklebt waren. Der Hohlzylinder leitet Mikrowellen tatsächlich um sich herum. Reflexion und Schattenbildung sind stark reduziert. US-Forscher aus Maryland wollen inzwischen einen ähnlichen Effekt bei sichtbarem Licht erzielt haben. Die Ergebnisse sind allerdings umstritten. Und am fundamentalen Handicap aller Tarnkappen aus Metamaterial ändern sie auch nichts: Die resonanten Strukturen tun nur bei ganz bestimmten Lichtwellenlängen das, was sie sollen.

Zuspiel 38: O-Ton Linden, Track 15, 11:20 – 12:00, 21s

Das heißt, man könnte sich dann vorstellen, dass man für Rot unsichtbar wird, wäre dann allerdings sehr schön weiter für grünes oder blaues Licht zu sehen. Zudem haben diese Tarnmäntel noch einen weiteren Nachteil: wenn man von außen nicht gesehen wird kann man genauso wenig aus dem Inneren des Tarnmantels nach außen sehen. Das heißt man ist dann auch entsprechend blind.

Reporter

Für den fieson Klingonen im Star Trek-Film gilt diese Einschränkung zwar nicht. Am Ende geht es ihm trotzdem an den Kragen. Ein umprogrammierter Torpedo ortet das unsichtbare Raumschiff anhand seiner Ausdünstungen.

Zuspiel 39: Filmatmo, Track 33, 01:00 – 01:30, 30s

Torpedo wird abgefeuert... piepst suchend... *Sein oder nicht sein...*
Torpedo schlägt ein... *Zielt auf die Explosion und feuert...* dramatische Musik, Explosionen...

Reporter: Darüber

Optische Tarnkappen, die diesen Namen verdienen, bleiben Zukunftsmusik. Bei Radarwellen dagegen sind in absehbarer Zeit weitere Erfolge zu erwarten. Das Interesse des Militärs ist groß. Heutige Tarnkappenbomber absorbieren Radarwellen. Früher reichte das, um unerkant zu bleiben.

Zuspiel 40: O-Ton Giessen, Track 8, 38:30 – 39:00, 25s

Ich habe aber gehört, dass jetzt in dieser 2003er Aktion, als dann wieder die Bomber über Bagdad waren, dass dann der Himmel wohl so voll gewesen sein soll mit Handy-Radarwellen, dass da diese Bomber, die die Radarwellen absorbiert haben, mehr oder weniger schwarz waren, aber vor einem weißen Hintergrund. Und somit wieder sichtbar. Das heißt: Hätten die die Wellen tatsächlich um sich herum gelenkt, dann wären sie weiß gewesen, vor einem weißen Hintergrund.

Reporter

Bleibt eigentlich nur noch eine Frage offen: Was wenn es doch irgendwann gelänge, Harry Potters Tarnmantel nachzubauen? Würde Sir John Pendry vom Imperial College, der die Idee in die Welt setzte, ihn nutzen, um beim Fotografieren dichter an die Schmetterlinge ran zu kommen? Nein, sagt er. Er würde die Tarnkappe verwenden, um sich vor Journalisten zu verstecken.

Zuspiel 41: O-Ton Pendry, Track 20, 39:20 – 39:30, 10s

Lachen... *I want to hide from the press, I think...* Lachen... *Sorry... It wouldn't cloak my voice of course.* ... Lachen...

Reporter

Auch Harald Giessen hat schon eine Idee.

Zuspiel 42: O-Ton Giessen, Track 8, 40:10 – 40:35, 20s

Ich glaube, ein Geschäft könnte sicher sein, für Damen und Herren, die zum Beispiel kleine Pickel im Gesicht haben, die Sie verstecken wollen, wenn sie abends weggehen ins Theater oder in die Disco. Das ist sicherlich ein sehr großes Geschäft. Sozusagen Clerasil Konkurrenz machen.

Reporter

Was Captain Kirk wohl zu diesem Geschäftsmodell sagen würde?

Zuspiel 43: Filmatmo, Track 34, 00:06 – 00:16, 10s

Es geht um die Zukunft, Madam Kanzler. Einige meinen, diese Zukunft wäre das Ende der Geschichte. Ich meine: Es fängt gerade jetzt eine neue Zukunft an.