

## **FORSCHUNG KOMPAKT**

12 | 2014 ||

### **1 Perfekter Schokoglanz für Back- und Süßwaren**

Weißer Flecken auf Süßwaren mit Schokoglasur sind unbedenklich, aber unästhetisch – ein Problem für die Hersteller. Nicht nur falsche Lagerung gefährdet den Glanz. Forscher haben weitere Schwachstellen im Herstellungsprozess entdeckt. Mit den Analysen und Ergebnissen können Unternehmen ihre Produkte besser vor dem Belag schützen.

### **2 Proteine von der Rolle**

Um das Wachstum günstig zu beeinflussen, werden bei der Züchtung von Zellen immer öfter proteinbeschichtete Kulturschalen eingesetzt. Wissenschaftler haben eine Anlage entwickelt, mit der sich Proteinmuster im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf Folie drucken lassen. Große Stückzahlen können somit kostengünstig und effizient hergestellt werden.

### **3 Smartes Anti-Eissystem für Rotorblätter**

In sehr kalten Klimazonen weht der Wind besonders kräftig. Dennoch werden in diesen Regionen bislang selten Windturbinen installiert. Die Gefahr der Eisbildung auf den Rotorblättern ist zu hoch. Ein energieeffizientes Heizsystem soll die Turbinen in Sekundenschnelle vom Eis befreien. Es schaltet sich nur ein, wenn Wasser gefriert.

### **4 Fliegende Inventur-Helfer**

Mit Block und Papier auf meterhohen Leitern stehen und Kisten zählen? Inventuren in großen Lagerhallen könnten künftig ganz anders aussehen – und im wahrsten Sinne des Wortes wie im Flug vonstattengehen: Ziel des Projekts InventAIRy ist es, Lagerbestände mit Hilfe von Flugrobotern automatisch zu lokalisieren und zu erfassen.

### **5 Sichere Häfen durch Mobilfunk-Radar**

Viele Küstengebiete und Häfen sind kaum gegen Terrorangriffe gesichert. Mit einem neuen Sensorsystem, das Echos von Mobilfunkmasten nutzt, lassen sich künftig selbst kleine Boote von Angreifern schnell aufspüren. Dieses Mobilfunk-Radar schützt auch Flugzeuge vor Kollisionen mit Windrädern.

### **6 Live-Bilder aus dem Werkstoffinneren**

Röntgen ist ein bewährtes Prüfverfahren für Bauteile und Werkstoffe. Forscher entwickeln jetzt einen Röntgendetektor, der besonders hochwertige dreidimensionale Bilder in Echtzeit liefern soll. Damit lassen sich sogar Prozesse im Werkstoffinneren exakt nachvollziehen. Mikrorisse und kleinste Schäden werden zuverlässig erkannt.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 67 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Rund 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von zwei Milliarden Euro. Davon erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft etwa 70 Prozent aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in Europa, Nord- und Südamerika sowie Asien gefördert.

---

**Impressum**

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Kommunikation | HansasträÙe 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1302 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de) | Redaktion: Beate Koch, Britta Widmann, Tobias Steinhäuber | Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten. Alle Pressepublikationen und Newsletter im Internet auf: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse). FORSCHUNG KOMPAKT erscheint in einer englischen Ausgabe als RESEARCH NEWS.

## Perfekter Schokoglanz für Back- und Süßwaren

FORSCHUNG KOMPAKT

12 | 2014 || Thema 1

Sie sind die Vorböten der Weihnachtszeit: Lebkuchen, Marzipanbrot, Spekulatius, Makronen, Trüffelkugeln und Co. füllen bereits im Herbst die Regale der Supermärkte. In Schokoladenüberzug gehüllt lässt das Weihnachtsgebäck Naschkatzen das Wasser im Mund zusammenlaufen. Doch nach dem Auspacken bemerkt der Konsument mitunter einen weißlichen Belag auf der Schokoware. Fettreif nennen Experten dieses Phänomen. Selbst sehr gute Produkte mit Schokoladenüberzug können nach einer bestimmten Lagerzeit ihren Glanz verlieren und einen grauen Schleier entwickeln. Fettreif wird oft mit Schimmel verwechselt, hat mit diesem aber nichts zu tun. Geschmacklich wirkt er sich nicht auf das Produkt aus, auch ist die Ware dadurch nicht verdorben. Dennoch beeinträchtigt der unschöne Belag die Leckereien optisch, sie verlieren an Qualität. »Die Produktion der Weihnachtsbackwaren startet bereits im Juli. Hier liegt auch das Problem. Fettreif tritt nicht direkt nach der Produktion auf, sondern erst nach Tagen und Wochen. Er kann unter anderem eine Folge zu warmer Lagerung oder von zu stark schwankenden Lagertemperaturen sein«, sagt Wolfgang Danzl, Experte für Lebensmittelqualität am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising. Der Forscher und sein Team unterstützen die Hersteller in ihren Bemühungen, die Resistenz ihrer Waren mit Schokoüberzug gegen die weißen Flecken zu verbessern.

Betroffen sind vor allem kleine und mittelständische Unternehmen, denn ein Großteil der Süß- und Backwaren wird von ihnen produziert. Das Überziehen mit Schokolade ist eine effiziente Technologie, um die Produkte zu verfeinern. Dabei durchlaufen die Gebäcke, Waffeln und Riegel einen Schleier aus fließender, vorkristallisierter Schokoladenmasse. Diese muss im Kühlkanal rasch kristallisieren, das heißt fest werden, damit eine glänzende Oberfläche entsteht. Die IVV-Forscher haben entdeckt, dass Fettreif genau bei diesem Vorgang entstehen kann. »Beim Überziehen ist es üblich, überschüssige Schokoladenmasse in den Prozess zurückzuführen. Bei diesem Rücklauf werden Füllungs- und Backfette abgewaschen. Das konnten wir erstmals nachweisen. Für den Nachweis haben wir entsprechende Methoden entwickelt. Bisher gab es kaum Untersuchungen zu den Überziehanlagen«, sagt Danzl. Die Fettkomponenten aus den Füllungen können an die Oberfläche der Süßwaren gelangen und sich im Überzug anreichern. Dieser Vorgang wird auch als Fettmigration bezeichnet. Feine Fettkristalle setzen sich an der Oberfläche ab und ändern die Kristallisationseigenschaften der Kuvertüre. »Durch die Füllungsfette kristallisiert die Schokolade langsamer, der Überzug wird weicher. Dadurch kann sich Fett noch besser anreichern. Die Fettmigration wird begünstigt, was wiederum zu Fettreibbildung führen kann«, erläutert der Forscher.

### Weicher Überzug durch Nussöl und Kokosfett

Auch die Art und Menge der Füllungsfette beeinflusst das Kristallisationsverhalten der Schokolade. Kakaobutter mit geringem Anteil von anderen Fetten und Ölen ist besonders empfindlich für Fettreif. Vor allem Nussöl und laurische Fette erweichen den

Schokoüberzug, stellten die IVV-Forscher in ihren Labortests fest. Dazu gehören beispielsweise Kokos- und Palmkernfett. Sie enthalten Laurinsäure, die sich schlecht mit der Kakaobutter mischt. Durch das Auftrennen wird die Kristallstruktur gestört, in der Folge kommt es zu den weißen Flecken.

Hersteller können ihre Schokoladen von den Lebensmittelexperten des IVV im Labor untersuchen lassen. Hierfür müssen sie die flüssige Masse während der Produktion aus dem Tank entnehmen. Die Forscher sind in der Lage, die Qualität der Schokoladen zu beurteilen, den Anteil des Füllungsfetts festzustellen und zu analysieren, wie hoch die Gefahr ist, dass Fetteis entsteht. Sie beraten die Unternehmen, mit welchen Maßnahmen sich die Produktionsprozesse optimieren lassen. Je nach Anwendungsfall kann man durch ein Anpassen der Temperiermaschine, des Kühlkanals oder des Rückflusses gegensteuern. Mit der Bewertung der Back- und Füllungsfette können außerdem Rezepturen verbessert werden.



Auf einem Laufband werden die Taler mit Schokoladenüberzug durch den Kühlkanal bewegt.  
(© Fraunhofer IVV) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Proteine von der Rolle

FORSCHUNG KOMPAKT

12 | 2014 || Thema 2

Zellen sind der kleinste lebende Baustein eines Organismus und damit auch ein gefragter »Werkstoff« für die biomedizinische Forschung: Als Komponente von Biosensoren kommen sie etwa in der Diagnostik, Arzneimittelentwicklung oder Umweltanalytik zum Einsatz. All diese Bereiche lassen sich – zum Nutzen des Verbrauchers – durch die Züchtung von Zellen vorantreiben. Zellen, wie sie natürlicherweise in menschlichen, tierischen oder pflanzlichen Organismen vorkommen, künstlich im Labor zu züchten, ist indes nicht so einfach. Denn auch Zellen sind in der Lage, ihre Umgebung wahrzunehmen – und ein »fremdes« Umfeld kann beispielsweise zu Änderungen der Form oder des Verhaltens führen. Damit verlieren die Zellkulturen jedoch an Aussagekraft. »Das ist, als wollte man das typische Verhalten eines Großstadtbewohners analysieren und setzt ihn dazu in der Wüste aus«, sagt Dr. Thomas Velten vom Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT in St. Ingbert.

Gegensteuern lässt sich, indem man ein Substrat, zum Beispiel den Boden einer Kulturschale, mit Proteinen beschichtet – die Zellen fühlen sich dadurch »heimischer«. Sämtliche bisherigen Methoden haben jedoch Nachteile. Beim Spin-Coating etwa wird ein Tropfen Proteinflüssigkeit in die Mitte des Substrats gegeben und durch eine Art Schleudervorgang auf der Oberfläche verteilt: »Ein beträchtlicher Teil der Flüssigkeit landet dabei außerhalb des Substrats und geht ungenutzt verloren«, erklärt Velten. Anders beim Micro Contact Printing: Hier werden feine Proteinstrukturen im Mikrometerbereich auf das Substrat gedruckt. Das ist nicht nur ressourcenschonender, sondern hat auch den Vorteil, dass sich damit sehr feine Proteinstrukturen realisieren lassen, an denen sich die Zellen ausrichten. So kann man die Anordnung der Zellen gezielt steuern. Für großflächige low-cost-Anwendungen, wie sie in der Biotechnologie benötigt werden, ist das Verfahren jedoch zu aufwändig und teuer.

### Proteintinte ohne Lösungsmittel

Die Wissenschaftler vom Fraunhofer IBMT gehen daher einen neuen Weg: Gemeinsam mit der Firma SAUERESSIG entwickelten sie eine Rolle-zu-Rolle-Druckanlage, in der sich mikrostrukturierte Proteinmuster auf großflächige Foliensubstrate aufbringen lassen. Die Rolle-zu-Rolle-Technik ist eine gängige Methode, um große Flächen schnell und kostengünstig zu bearbeiten. Ähnlich wie beim Zeitungsdruck wird das Substrat dabei zunächst auf eine Rolle gewickelt. Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich eine leere Rolle. Dazwischen laufen die Druckprozesse ab, wobei das Substrat jeweils auf die leere Rolle auf der anderen Seite gespult wird. Allerdings lässt sich das Verfahren nicht einfach eins zu eins auf Anwendungen in der Biotechnologie übertragen. So ist etwa die standardmäßig verwendete Tinte als Druckmedium ungeeignet. »Damit die Tinte schnell trocknet, werden ihr oft Lösungsmittel zugesetzt. Diese zerstören aber die Proteine«, erläutert Velten. Die Experten am IBMT entwickelten daher eine neuartige,

spezielle Proteintinte. Genauso mussten sie sicherstellen, dass auch die anderen verwendeten Materialien, etwa das Foliensubstrat, biokompatibel sind.

Auf ersten Substraten, die mit der neuen Anlage beschichtet wurden, konnten die Projektpartner bereits verschiedene Zelltypen erfolgreich kultivieren. Mittlerweile steht die Demonstrator-Produktionsanlage auch für die Entwicklung kundenspezifischer Druckprozesse zur Verfügung. Die maximale Folienbreite liegt derzeit bei 30 Zentimetern. Die kleinsten druckbaren Strukturen liegen im Bereich von 10 bis 20 Mikrometern. Als nächstes wollen Velten und sein Team auch leitfähige Strukturen im Rolle-zu-Rolle-Verfahren drucken und mit den Proteinmustern kombinieren. »Damit soll es langfristig möglich werden, komplette Biosensoren im Druckverfahren herzustellen«, so Velten. Konkrete Anwendungen haben die Wissenschaftler dabei auch schon im Blick: In zwei aktuellen Forschungsprojekten arbeiten sie an Sensoren zur Validierung von antiviralen Substanzen sowie an einem kostengünstigen Analysesystem auf Folie – Experten nennen es lab-on-a-foil-System – für die Vor-Ort-Messung eines Blutzucker-Markers.



**Im Rolle-zu-Rolle-Verfahren werden die Proteine auf großflächige Foliensubstrate gedruckt.**

**(© Fraunhofer IBMT) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Smartes Anti-Eissystem für Rotorblätter

FORSCHUNG KOMPAKT

12 | 2014 || Thema 3

Viele Unternehmen scheuen den Bau von Windkraftanlagen in nördlichen Gebieten, obwohl der Wind stark weht. Die Wetterbedingungen sind eine enorme Herausforderung: Wenn sich bei Temperaturen unter Null und bei frostigen Stürmen auf den Rotorblättern eine Eisschicht bildet, verschlechtern sich die aerodynamischen Eigenschaften. Die Turbinen können weniger Energie produzieren. Durch die veränderte Verteilung der Lasten entstehen Unwuchten, sodass die Räder darüber hinaus schneller kaputt gehen können. Hinzu kommt das Sicherheitsrisiko durch herabfallende Eiszapfen. Bei der Gefahr von Eisbildung werden die Anlagen sofort abgeschaltet. Die jährliche Stromproduktion minimiert sich deutlich – die Vereisungen verursachen Leistungseinbußen von 14 bis 20 Prozent. Trotz des großen Potenzials werden in den kalten Klimazonen folglich eher selten Windräder aufgebaut. Hier setzt das EU-Projekt »Windheat« an: In Zusammenarbeit mit sechs Unternehmen aus vier EU-Ländern entwickeln Forscher am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart ein energieeffizientes Eiserkennungs- und Enteisungssystem für Kleinkraftwindanlagen. Zeiten des wetterbedingten Stillstands sollen vermieden werden.

### Carbon-Nanotube-Schicht bringt das Eis zum Schmelzen

Bestehende Anti-Eissysteme sind energieintensiv, da sie das komplette Rotorblatt beheizen – unabhängig davon, ob auch tatsächlich das gesamte Blatt betroffen ist. Bei Windheat verfolgen die Projektpartner einen anderen Weg: Das Rotorblatt ist in verschiedene Zonen aufgeteilt, die jeweils mit einer Carbon-Nanotube-(CNT)-Beschichtung ausgestattet sind. In jede CNT-Schicht ist wiederum ein eigener Eisdetektor integriert. »Unsere Schicht aus Kohlenstoffnanoröhren beheizt nur die Zonen, die tatsächlich vereist sind. Das sind vor allem die Kanten des Rotorblatts«, sagt Anne Gerten, Wissenschaftlerin am IPA.

Die kleinen, sensiblen Sensoren messen permanent die Temperatur und die Feuchtigkeit an der Oberfläche, reagieren auf kleinste Schwankungen und erkennen, wenn Wasser gefriert. Wird Eis entdeckt, schalten die Detektoren in Sekundenschnelle das entsprechende Heizelement – also die CNT-Schicht – an. Ist das Eis geschmolzen, wird die Heizung automatisch abgestellt. »Mit der Kombination aus CNT-Schicht und Sensoren können wir gezielt die vereisten Zonen beheizen und zwar dann, wenn es tatsächlich erforderlich ist«, so Gerten. Ziel des Projekts ist es, die Energieeffizienz mit dieser Enteisungsstrategie um mindestens 18 Prozent zu steigern.

Die wenige Mikrometer dicke CNT-Schicht lässt sich leicht auf dem Rotorblatt anbringen: Sie wird durch Sprühen auf eine selbstklebende Polymerfolie aufgebracht. Ein Klarlack isoliert die Schicht und schützt sie zusätzlich vor Feuchtigkeit und mechanischen Einwirkungen. Für das Material entschieden sich die Forscher wegen der sehr guten elektrischen Eigenschaften. »Im Prinzip sind die Kohlenstoffnanoröhren ge-

wickelte Lagen von Graphen, die sich stellenweise berühren. An diesen Kontakten wird der elektrische Strom in Wärme umgewandelt«, erläutert die Forscherin.

### Tests im Windkanal

Auf welchen Arealen der Rotorblätter sich besonders häufig Eis bildet, wurde im Projekt durch Computersimulationen ermittelt. Neuralgische Punkte sind vor allem die Blattkanten. Diese Ergebnisse konnten die Forscher vom IPA in Tests im Windkanal bestätigen. Bei minus 30 Grad Celsius, bei Eis, Regen und Windgeschwindigkeiten von bis zu 120 km/h wurden verschiedene Prototypen unter realen Bedingungen geprüft. Unter anderem bestückten die Wissenschaftler das Rotorblatt eines Kleinkraftwindrads mit der CNT-Schicht. »Wir haben sowohl für die Sensoren als auch für die Heizelemente kostengünstige Materialien verwendet. Das ist eine wichtige Voraussetzung, um das Enteisungssystem in Serie zu fertigen«, sagt Dipl.-Ing. Sascha Getto, Kollege von Anne Gerten am IPA und verantwortlich für die Tests im Windkanal. »Die Prototypen haben wir für Kleinkraftwindanlagen konzipiert und konstruiert, sie lassen sich aber durchaus hochskalieren.« Auch in der Luftfahrt sieht Getto ein mögliches Anwendungsfeld für das Windheat-System – etwa um die Tragflächen von Flugzeugen zu enteisen.

Weitere Informationen: [www.windheat.eu](http://www.windheat.eu)



Das per CNT-Schicht beheizte Areal des Rotorblatts bleibt eisfrei. (© Fraunhofer IPA) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)



## Fliegende Inventur-Helfer

FORSCHUNG KOMPAKT

12 | 2014 || Thema 4

»Liebe Kunden, wegen Inventurarbeiten ist unser Geschäft heute geschlossen.« Wer vor diesem oder einem ähnlich lautenden Schild steht weiß, dass er sich mit seinen Besorgungen etwas gedulden muss, während im Hintergrund viele Mitarbeiter mit Zählen beschäftigt sind. Die manuelle Kontrolle des Warenlagers ist elementarer Bestandteil der gesetzlich vorgeschriebenen Jahresinventur. Das klassische Verfahren ist zeitaufwändig und bringt einen Großteil des Lagerbetriebs zum Erliegen. Daran ändern selbst die heute eingesetzten Barcodes und RFID-Chips wenig. Der gesamte Vorgang beansprucht nach wie vor eine Menge an Personal und Zeit.

Die Probleme, mit denen Betriebe bei der Inventur zu kämpfen haben, sind Marco Freund bestens bekannt. Der Diplom-Logistiker leitet das Projekt InventAIRy am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund. Seine Vision einer optimierten Inventur sieht so aus: »Der Verantwortliche sitzt an seinem Schreibtisch, er drückt auf einen Knopf und kann ohne weiteren personellen oder logistischen Aufwand die Bestände prüfen oder aber einen bestimmten Artikel suchen«. Um dies in nicht allzu ferner Zukunft Realität werden zu lassen, entwickeln Freund und seine Kollegen ein »dynamisch bewegtes Erfassungssystem«, das sich in einem ganz entscheidenden Punkt von aktuell gebräuchlichen Lösungen unterscheidet: »Waren und Paletten können heutzutage bereits automatisch erfasst werden, etwa via Funk: Dabei sind die Antennen, die die Chips auslesen, in der Regel fest installiert. Die Chips befinden sich an den Produkten und werden erfasst, wenn sie das Auslesegerät passieren. Bei InventAIRy ist dies umgekehrt. Die Funkchips bleiben an ihrer Position, die Antenne ist durch die Integration in einen Flugroboter in Bewegung.« Die Inventur-Helfer, die den Wissenschaftlern vorschweben, sind autonome Roboter, die sich fliegend durch die Hallen bewegen.

### Fleißigen Helfern Flügel verleihen

Was bei fahrerlosen Transportsystemen bereits Realität ist, soll sich mit InventAIRy in die Lüfte erheben: Mit dem Projekt verfolgen die IML-Forscher das Ziel, autonome Flugroboter zu entwickeln, die in der Lage sind, eigenständig zu navigieren und Inventuren durchzuführen. Die fliegenden Assistenten sollen Objekte sowohl in Lagerhallen als auch im Außenbereich lokalisieren und über Barcodes oder RFID-Chips erfassen können. Der Vorteil: Die Roboter agieren unabhängig von Hindernissen am Boden. Sie können sich außerdem in alle Richtungen bewegen und auch schwer erreichbare Stellen, etwa in Hochregallagern, einsehen.

Der einzelne Service-Roboter nimmt als intelligentes mobiles Objekt seine Umgebung dynamisch auf zwei Ebenen wahr: Er erkennt unter anderem mit Hilfe von Bewegungs- und Kamerasensoren wie das Lager aufgebaut ist und kann sich innerhalb eines Lagers orientieren. GPS bestimmt seine Position im Außenbereich. Zudem erfasst der Roboter

die gelagerten Objekte inhaltlich. Dies bewerkstelligen die Wissenschaftler mit Hilfe von optischen Sensoren oder Funksensoren. »Wir nehmen verschiedene zentrale Problemstellungen zugleich in den Blick: robust designte, leichte Flugroboter, die ihre Umgebung zuverlässig erkennen sowie intelligente Software zu ihrer Routenplanung und Koordination«, erläutert der Diplom-Logistiker. »Damit die Lösung auch für kleine und mittlere Unternehmen attraktiv ist, verzichten wir bewusst auf die Installation einer teuren lokalen Infrastruktur, mit der sich die Roboter orientieren können«. Die Forscher wollen dies mit Hilfe intelligenter Algorithmen schaffen. Die Flugobjekte sollen völlig autonom Karten der Lagerhallen erstellen und diese bei Veränderungen eigenständig anpassen. Basis hierfür sind beispielsweise Ultraschallsensoren, 3D-Kameras sowie Laserscanner.

Aktuelle Lösungen können automatisch erhobene Inventurdaten nicht ohne zusätzliche Softwareentwicklung in bestehende Lagerverwaltungssysteme integrieren. Die InventAIRy-Forscher arbeiten hingegen an smarten Schnittstellen, welche die Informationen nahtlos in bestehende Systeme übermitteln. Damit sparen Handelsbetriebe viel Zeit und Geld – auch Dokumentationsfehler gehen zurück. Hinzu kommt, dass die Flugroboter Lagerbestände kontinuierlich überwachen könnten. »Auf diese Weise wäre es in der Produktion möglich, Materialengpässe frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen, noch bevor es zu Ausfällen kommt«, so Projektleiter Freund. Die Zwischenergebnisse des Teams sind vielversprechend. »Bereits Mitte 2015 wollen wir einen teilautomatischen Flug starten. Bei diesem verharret der mit Identifikationstechnologie ausgestattete Roboter – ohne dass er über eine Fernbedienung gesteuert wird – an einer Position und verhindert Kollisionen mit Hindernissen wie etwa Regalen«, erklärt der Projektleiter.



**Der autonome Flugroboter soll künftig in der Lage sein, eigenständig zu navigieren und Inventuren durchzuführen. (© Fraunhofer IML) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Sichere Häfen durch Mobilfunk-Radar

FORSCHUNG KOMPAKT

12 | 2014 || Thema 5

Flughäfen werden heute streng überwacht, anders als viele Küsten- und Hafenstädte. Denn nicht überall gibt es Radaranlagen, die kleine Boote erfassen können. Für Terroristen wäre es ein Leichtes, sich den Küsten mit Speedbooten zu nähern, um Sprengstoff an Land zu bringen. Forscher vom Bonner Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE entwickelten ein Antennensystem, mit dem sich küstennahe Meeresgebiete überwachen lassen: die Passive Coherent Location (PCL). Dabei nutzen sie die kontinuierlich ausgestrahlten Funksignale von Mobilfunkmasten, um verdächtige Boote zu entdecken und durch Fusion mit elektrooptischen oder Infrarot-Systemen zu klassifizieren. Dazu gehören auch Schnellboote, mit denen sich Piraten Frachtschiffen nähern.

Die Funktionsweise des neuen Verfahrens ähnelt der von Radaranlagen. Diese senden elektromagnetische Signale und fangen das von Objekten zurückgestrahlte Echo auf. Entsprechend fängt die PCL-Antenne die von Objekten reflektierte Mobilfunkstrahlung auf, um Boote zu detektieren. Doch im Vergleich zu einer Radaranlage ist die Verwertung von Mobilfunksignalen deutlich komplexer. Eine Radarantenne sendet eigene wohl definierte Signale in einem begrenzten Sektor aus. Echos lassen sich leicht deuten. Der neue Sensor hingegen nutzt Mobilfunksignale, die aus verschiedenen Richtungen von verschiedenen Basisstationen ausgesendet werden. Er empfängt einen chaotischen Echomix, aus dem Objekte mühsam herausgerechnet werden müssen. »Ein Problem besteht darin, dass unser Sensorsystem zunächst die starken Signale der Mobilfunkstationen wahrnimmt«, sagt Reda Zemhari, Projektleiter am FKIE. »Die von Booten auf dem Wasser zurückgestrahlten Echos sind sehr viel schwächer.«

### **Mobiles System ist flexibel einsetzbar**

Die Forscher mussten daher Algorithmen entwickeln, die diese Schwächen ausgleichen. So ist die Software unter anderem in der Lage, die starken, direkt von den Mobilfunkmasten eintreffenden Funksignale zu unterdrücken. »Von Vorteil ist«, sagt Zemhari, »dass verschiedene Mobilfunkmasten mit unterschiedlichen Frequenzen senden«. Damit kann die Software die verschiedenen Signale und Echos besser voneinander unterscheiden. Darüber hinaus erkennt das System fahrende Boote anhand ihrer Bewegung und der dadurch bewirkten Frequenzverschiebungen. »Unser System überprüft dabei permanent, ob es die Signale richtig zuordnet und die Bewegung des Objekts richtig interpretiert«, sagt Zemhari. Bei Versuchen vor Eckernförde und vor Fehmarn ist es den Forschern bereits gelungen, nur wenige Meter lange Speedboote in einer Entfernung von vier Kilometern zu verfolgen. »Unsere Anlage kann auf einem kleinen Anhänger transportiert werden und ist damit flexibel einsetzbar«, sagt Zemhari. Einzige Voraussetzung: Die Gebiete müssen von Mobilfunkstationen abgedeckt sein. Der Wissenschaftler betont, dass das PCL-System keineswegs Daten von Mobilfunknutzern aus-

liest. »Wir verwenden ausschließlich das Betriebssystem der Sendestation, das keine Datenpakete von Kunden enthält.«

Die Technologie eignet sich nicht nur für die Terrorabwehr. Derzeit arbeiten die Forscher an einer Variante für Windräder. Hohe Windmasten müssen nachts mit Blinklichtern befeuert werden, damit Hubschrauber- und Flugzeugpiloten gewarnt sind. Das Blinken aber stört viele Menschen. Windräder sollen daher mit Flugzeugdetektoren ausgestattet werden, die die Lichter nur dann einschalten, wenn sich ein Flugzeug nähert. Zwar gibt es bereits Detektoren, die auf die Funksignale von Flugzeugen ansprechen. »Aber für den Fall, dass diese ausfallen, brauchen wir ein redundantes System – und dafür eignet sich die PCL-Technik sehr gut«, sagt Zemmari.



Das Antennensystem erkennt fahrende Boote auch anhand ihrer Bewegung. (© Fraunhofer FKIE) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Live-Bilder aus dem Werkstoffinneren

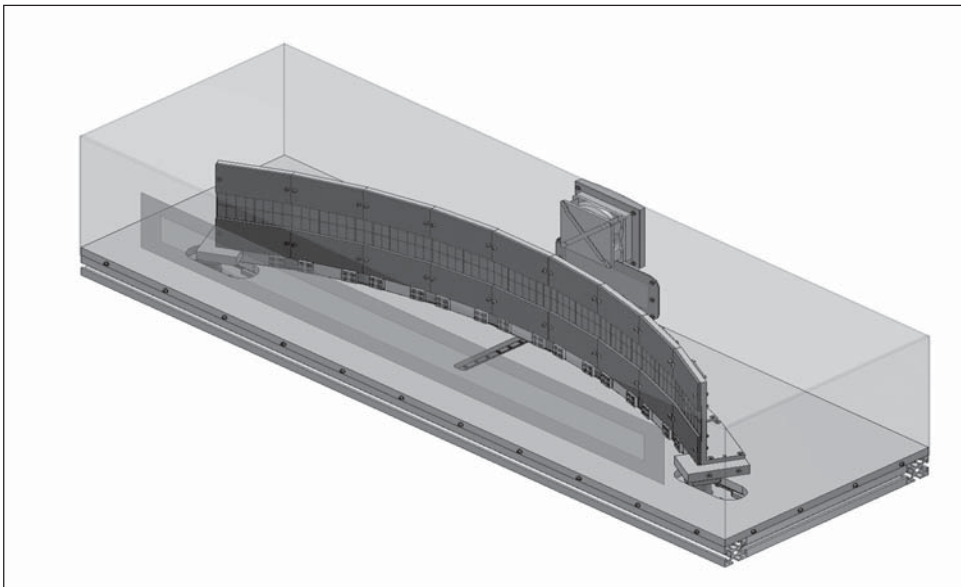
In der Medizin liefern Röntgenuntersuchungen hochaufgelöste Bilder aus dem Inneren unseres Körpers und erleichtern dem Arzt eindeutige Diagnosen. Auch in der Industrie ist das Röntgen von Werkstoffen oder Bauteilen ein bewährtes zerstörungsfreies Prüfverfahren, um Risse oder Unregelmäßigkeiten im Materialinneren aufzuspüren. Allerdings kommt dabei zum Teil auch andere Technologie zum Einsatz als im medizinischen Bereich. Denn während medizinische Röntgenanlagen auf das Untersuchungsobjekt Mensch spezialisiert sind, werden im industriellen Bereich hinsichtlich Größe und Materialzusammensetzung völlig unterschiedliche Objekte analysiert. Dementsprechend flexibel müssen die Anlagen ausgelegt sein.

Forscher des Fraunhofer-Entwicklungszentrums Röntgentechnik EZRT, einem Bereich des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, haben mit MULIX einen Röntgendetektor für industrielle Computertomographie (CT) entwickelt, der an das Design medizinischer Anlagen angelehnt ist. »Unser Anspruch ist es, hohe Bildqualität mit hoher Flexibilität zu vereinen«, erklärt Frank Nachtrab vom EZRT. MULIX nutzt zwei Konzepte, die bereits eingesetzt werden: Es ist eine Art Hybridlösung zu den Einzeilen- und Flächendetektoren, wie sie heute in der Industrie üblicherweise zum Einsatz kommen. Die Wissenschaftler haben mit ihrem Projekt bereits konkrete Absichten: »Mit unserem Demonstrator konnten wir vielversprechende Ergebnisse erzielen und die Funktionalität nachweisen. Nun suchen wir Industriepartner, um MULIX zu einem Prototypen weiterzuentwickeln«, erklärt Nachtrab.

### Vorteile zweier unterschiedlicher Verfahren vereint

Während beim Zeilendetektor ein fächerförmiger Röntgenstrahl einen bestimmten Abschnitt des Prüfobjekts in der Ebene durchleuchtet, erfasst beim Flächendetektor ein Kegelstrahl das gesamte Objekt. Beide Lösungen haben Vor- und Nachteile: Der Flächendetektor liefert zwar schnell eine 2D-Aufnahme des gesamten Objekts. Streustrahlung – Strahlung, die durch das Prüfobjekt abgelenkt wird – beeinträchtigt hier allerdings stark die Bildqualität. Bei Zeilendetektoren ist die Streustrahlung geringer; sie liefern dadurch gestochen scharfe Bilder. Allerdings wird immer nur ein kleiner Teilbereich des Objekts erfasst, das Scanverfahren ist deutlich zeitaufwendiger. »Wir haben die Vorteile beider Lösungen vereint«, sagt Nachtrab. Die Anlage basiert auf einem Mehrzeilendetektor – einem Konzept, das bislang nur im medizinischen Bereich eingesetzt wird. Mehrzeilendetektoren arbeiten nach dem Funktionsprinzip eines Zeilendetektors, können jedoch größere Bereiche gleichzeitig abdecken, was die Aufnahmezeit erheblich verkürzt. MULIX verfügt über 256 Zeilen und ist so in der Lage, auch große Objekte wie zum Beispiel Karosserieteile in kurzer Zeit abzutasten. Das Besondere: Der Detektor liefert sehr schnelle Aufnahmen, so dass über CT-Verfahren nahezu in Echtzeit 3D-Modelle des Objekts rekonstruiert werden können.

Dies eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten in der Werkstoffforschung oder Qualitätssicherung, beispielsweise für die Automobilbranche, Luft- und Raumfahrt und Forschungseinrichtungen, da sich auf diese Weise auch Prozesse im Materialinneren beobachten lassen. »Wenn wir mechanische Eigenschaften wie beispielsweise die Zugfestigkeit prüfen, können wir anhand der Aufnahmen nachvollziehen, wie ein versagensrelevanter Fehler entsteht«, so Nachtrab. Auch für die mechanische Konstruktion des Detektors haben die Forscher eine innovative Lösung: Statt als gerade Fläche ist er bogenförmig um das Prüfobjekt angeordnet. »Das erhöht die Bildqualität zusätzlich«, erläutert Nachtrab. Anders als bei kommerziell verfügbaren Detektoren lässt sich der Krümmungsradius verändern. Damit bleibt die Flexibilität erhalten, die für die industrielle CT notwendig ist, um die Anlage auf Größe und Materialeigenschaften des Prüfobjekts anzupassen.



**Der Röntgendetektor MULIX – konzipiert für den Einsatz in industriellen Computertomographiesystemen – bündelt die Vorteile von Zeilen- sowie Flächendetektoren in einer Hybridlösung und ist bogenförmig um das Prüfobjekt angeordnet. (© Fraunhofer EZRT) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**