

**SCHRIFTEN-MEISTER**  
Der Schweizer Reichenstein  
begeistert selbst Apple  
SEITE 72



**STAMMZELLEN-FORSCHER**  
Der Schweizer Lorenz  
Studer ist ein Virtuose  
SEITE 67

**Auf Sand gebaut Seite 66**  
Hurrikan-Opfer fordern  
Aufschüttungen, Forscher  
sind dagegen

**Zu oft behandelt Seite 69**  
Krebspatienten erhalten  
häufig zu intensive Therapie

**Als Suppe gedacht Seite 70**  
Deutsche Forscher retten  
bedrohte Schildkröten

# 65



**Drohenschwarm:**  
Vom Häuserbau über  
Katastrophenhilfe bis  
zum Krieg sind viele  
Einsatzgebiete denkbar

## DIE DRESSUR DER DROHNEN

Schwärme autonomer Mikrokopter haben erstaunliche Fähigkeiten entwickelt. Die Schweiz forscht ganz vorne mit

VON SIMONE LUCHETTA (TEXT)  
UND BASIL STÜCHELI (FOTO)

Für Sekunden fühle ich mich wie Harry Potter. Ich stehe am Rand der Halle im Zürcher Universitätsquartier, strecke meinen rechten Arm aus, und der tellergrosse Flugroboter hebt ab. Dann fahre ich mit dem Finger in der Luft herum, und die zu gross geratene Libelle bewegt sich gehorsam mit. Hebe ich die linke Hand, fliegt sie einen Salto, dann zwei, drei, vier nacheinander. Ich klatsche, und prompt landet sie sanft auf der Matte.

Geübt habe ich diesen Dressurakt keine Sekunde; ich folge lediglich den Anweisungen von Markus Waibel. Er arbeitet mit den Doktoranden der Flying Machine Arena. Ins Leben gerufen hat den 10 mal 10 Meter grossen Innenraum Professor Raffaello D'Andrea, der Leiter des Instituts für Dynamische Systeme und Regelungstechnik an der ETH Zürich.

Die Arena ist mit Matten ausgelegt, um die fliegenden Vehikel vor Sturzschäden zu schützen. Auf der Seite sorgt ein Netz dafür, dass die Flugobjekte nicht entweichen können. D'Andrea und seine Leute zeigen hier,

was heute mit neuster Technologie für kleinste unbemannte Fluggeräte möglich ist.

«Ich will autonome Systeme Dinge machen lassen, die sie nie zuvor gemacht haben», sagt der Kanadier später in seinem Büro. Fliegende Roboter eignen sich ideal als Testfeld, weil sie sehr dynamisch seien. «Um sie akrobatische Dinge machen zu lassen, muss man Algorithmen entwickeln, die lernen und sich anpassen.»

Dabei war mein Kunststück noch einfach; es funktioniert mit dem Kinect-Sensor, der Gestensteuerung für die Spielkonsole Xbox 360. Mehr interessiert sich D'Andrea aber derzeit dafür, die Flugroboter in Gruppen interagieren zu lassen.

Dazu sind an der Decke acht Kameras aufgehängt – ein Motion-Capture-System, das auch Hollywood einsetzt –, die die Drohnen, Bälle und Stäbe beobachten; an allen sind silberne Markierungen angebracht. Die Kamera schickt die Bildinformationen an einen Zentralrechner, der die genauen Positionen der Drohnen berechnet und ihnen via WLAN Steuerbefehle schickt: «Fliege nach links, stopp.» Die Studierenden haben die mit vier Rotoren bestückten Quadrokopter für ein paar Hundert Franken von einem Fachhändler erstanden und aus den Einzelteilen zusammengesetzt.

Mittlerweile hat D'Andreas Team ein ganzes Zirkusprogramm zusammengestellt. Dann tanzen Mini-Drohnen zu klassischer Mu-

sik und legen perfekte Formationsflüge mit Loopings hin. Sie balancieren Stäbe senkrecht in der Luft, spielen Pingpong oder fangen zu zweit mit dem Netz einen Tennisball und werfen ihn wieder in die Luft, indem sie das Netz rasch auseinanderziehen.

### Er gewann mehrmals die Roboterfussball-WM

Schlagzeilen machte D'Andrea Anfang 2012 mit einem Versuch in Orléans, als er sechs Mikrokopter in Eigenregie eine sechs Meter hohe Mauer aus Styroporblöcken aufbauen liess – ein Ausblick in eine Zukunft, in der autonome Mikrokopter statt Bauarbeiter Gebäude hochziehen.

Was erwartet uns noch in dieser Zukunft? Werden Schwärme

von Flugrobotern Atomkraftwerkmauern nach Rissen scannen? Oder nach Naturkatastrophen nach Überlebenden suchen? Werden sie für Rettungsteams unwegsames Gelände erkunden und Lawinenopfer auffindig machen. Rinderherden überwachen, gemeinsam schwere Lasten transportieren und Medikamente an entlegene Orte bringen?

Mit der Frage nach möglichen Anwendungen will sich D'Andrea indes nicht aufhalten: «Wir betreiben Grundlagenforschung. Was sich daraus ergibt, kann man oft nicht voraussehen.» Der Mittvierziger spricht aus Erfahrung. So gewann er als Professor der US-amerikanischen Cornell University mit seinem Team mehrmals die Roboterfussball-WM Robocup. Mit dem gewonnenen Wissen gründete er 2003 die Firma Kiva Systems, die mit automatisierten Minirobotern die Logistik in Warenhäusern revolutionierte: «Ich hätte das nie voraussehen können.» Im Mai 2012 wurde die Firma für 775 Millionen US-Dollar an Amazon verkauft.

D'Andreas Kamerasystem kann die Quadrokopter millimetergenau orten – bis zu 200-mal pro Sekunde. Sein Nachteil liegt aber auf der Hand: Es funktioniert nur in dieser kontrollierten Umgebung.

Selbst wenn man draussen GPS einsetzen würde, wäre die Ortung der fliegenden Objekte zu langsam und zu ungenau.

Hier sind andere Forschungsansätze gefragt. Etwa der von Dario Floreano, der sich von der Natur inspirieren lässt. Der Leiter des Labors für Intelligente Systeme an der ETH Lausanne untersucht das Schwarmverhalten von Staren oder Insekten und versucht, es auf Drohnen zu übertragen. Dabei kann er auf Gesetzmässigkeiten zurückgreifen, die Verhaltensforscher in den 1980er-Jahren entdeckt hatten.

So ist bekannt, dass sich Fischschwärme organisieren, indem jeder Fisch zwei Regeln befolgt: Folge dem Fisch vor dir, und halte die Geschwindigkeit des Fisches neben dir ein. Zehn Flugobjekte kann Floreano derzeit im Schwarm fliegen lassen. Ein zentraler Rechner ist unnötig.

Die Forschung mit autonomen Mini-Helikoptern ist beliebt. Auftrieb erhielt sie in den letzten Jahren, weil die Mini-Drohnen erschwinglich geworden sind, weshalb auch der private Markt boomt (siehe Kasten S. 66). Der Grund dafür liegt bei der Smartphone-Industrie: In einem Han-



**Professor Davide Scaramuzza, 32, Universität Zürich**

**Professor Raffaello D'Andrea, 45, ETH Zürich**



## MELDUNGEN

## Koffein und positive Wörter

**BOCHUM** Zwei bis drei Tassen Kaffee schärfen beim Lesen selektiv das Erkennungsvermögen für positive Wörter. Die Wahrnehmung von negativen oder neutralen Begriffen verändere Koffein jedoch nicht, berichten Psychologen der Universität Bochum im Fachblatt «PLoS One». Bei den Versuchen sollten Probanden mit oder ohne die Einnahme von 200 Milligramm Koffein an einem Bildschirm verschiedene deutsche Wörter unter falsch buchstabierten Pseudowörtern möglichst schnell erkennen.

## Sport hilft Parkinsonpatienten

**BALTIMORE (USA)** Parkinsonpatienten können von einer regelmässigen sportlichen Betätigung profitieren. Egal, ob sie auf dem Laufband trainieren oder Krafttraining betreiben – jegliche Art von Bewegung kann ihre Gehgeschwindigkeit verbessern, berichten US-Forscher im Ärzteblatt «Archives of Neurology». Die meisten Parkinsonpatienten haben ab einem gewissen Punkt Gehstörungen.

## Schwarztee mindert Diabetesrisiko

**GENÈVE** Wer regelmässig Schwarztee trinkt, kann möglicherweise sein Risiko reduzieren, an Diabetes Typ II zu erkranken. Forscher von «Data Mining International» verglichen den Schwarztee-Konsum in 50 Ländern mit der Häufigkeit verschiedener Krankheiten, wie sie in «BMJ Open» berichten. Einzig bei Diabetes fanden sie einen entsprechenden Zusammenhang. Dass Schwarztee tatsächlich vor Diabetes schützt, kann die Studie aber nicht beweisen.

## Deeskalation unter Clownfischen

**LIÈGE (B)** Kleine **Clownfische** beschwichtigen überlegene Artgenossen nicht nur mit Kopfschütteln, sie geben dabei auch bestimmte Geräusche ab. Diese unterscheiden sich deutlich von den Tönen aggressiver Clownfische, berichten Forscher in «PLoS One». Deeskalation ist in Clownfischfamilien wichtig. Das grösste Tier ist ein Weibchen, gefolgt vom Männchen – alle kleineren Mitglieder sind zwar männlich, verhalten sich aber geschlechtsneutral. Stirbt das Weibchen, entwickelt sich aus dem zweitgrössten Männchen ein weibliches Tier.



Unterspült und beschädigt: Strandhäuser in New Jersey  
FOTO: REUTERS

# Sandy hat den Sand geklaut

Hurrikan-Opfer fordern Wiederaufschüttung der Strände – Wissenschaftler warnen

VON CORNELIA DEAN

Nirgends entlang der Küsten der USA wurde in den letzten hundert Jahren so viel gebaut wie im Bundesstaat New Jersey. Viele der dortigen Küste vorgelagerten Barriere-Inseln sind mit Stein- oder Betonwällen oder anderen Befestigungen gesäumt. Und die meisten Küstenorte haben nur deshalb noch Strände, weil sie von Zeit zu Zeit mit Sand aus dem Meer wieder aufgefüllt werden.

Viel von dem Sand ist jetzt weg. Der Hurrikan Sandy hat vor knapp zwei Wochen riesige Mengen weggeschwemmt – ins Meer, in die Strassen der Strandorte oder in die Buchten hinter den Barriere-Inseln. Laut fordern die Strandorte daher mehr Sand, doch Wissenschaftler warnen: Der Anstieg des Meeresspiegels wird es künftig extrem teuer oder gar unmöglich machen, die künstlichen Strände zu unterhalten. Sogar Befürworter einer künstlichen Strandaufschüttung drängen auf ein neues Vorgehen.

Denn die bisherige Praxis ist umstritten. So argumentieren

Gegner von künstlichen Aufschüttungen, dass natürlich belassene Strände mit Stürmen gut zurechtkommen. Der Sand mag sich verschieben, ganze Barriere-Inseln können sich gegen die Küste bewegen, aber der Strand selber überlebt, weil ihn Strassen und Gebäude nicht festnageln. Die beste Antwort auf die Küstenstürme, so die Kritiker, sei daher ein «strategischer Rückzug»: Menschen und Gebäude sollen vom Wasser fortziehen.

## «Hochqualitativer Sand ist eine stark begrenzte Ressource»

Für die Befürworter hingegen gehören Strände zur Infrastruktur, die, wie Strassen und Brücken, unterhalten werden müssen. Die Strände würden im Sommer Touristen anziehen und hätten so einen immensen wirtschaftlichen Nutzen, der die Kosten der Aufschüttungen weit übertreffe.

New Jersey hat in den letzten Jahrzehnten eifrig aufgeschüttet. Auf gut der Hälfte der 155 km langen Küstenlinie seien seit 1985 über 60 Millionen Kubikmeter Sand verteilt worden, sagt der

Küstengeologe Stewart Farrell vom Stockton College in New Jersey. Das entspreche drei Lastwagenladungen pro Meter Strand. Die Kosten dafür schätzt Farrell auf 800 Millionen Dollar – die Inflation nicht mit eingerechnet.

Heute seien die meisten Strände von New Jersey «konstruierte Deiche», sagt der Meeressingenieur Thomas Herrington vom Stevens Institute of Technology bei New York. Zudem gebe es in etwa der Hälfte aller Gemeinden weitere Projekte zur Strandaufschüttung. Doch selbst wenn das Geld für diese Projekte aufgetrieben werden kann, müssen die Ingenieure erst noch Sand finden.

Und das scheint immer schwieriger zu werden. «Aufgrund von geologischen Gutachten wissen wir, dass hochqualitativer küstennaher Sand eine stark begrenzte Ressource ist», sagt der Küstenforscher Jeffress Williams vom Geologischen Dienst der USA (USGS). Es gebe zwar Sandhügel unter Wasser, sagt Williams, aber man müsse immer weiter draussen suchen und erst noch ohne Garantie auf Erfolg.

Dass der Sand knapp wird, sehen auch Befürworter der Aufschüttungen. So fordert Howard Marlowe, ein Lobbyist für Küstenstädte, ein Gesamtkonzept für Aufschüttungen entlang der Küste. Man müsse alle möglichen Sandquellen in Betracht ziehen – Buchten, Häfen, die Küstenwasserstrasse, aber auch vor der Küste gelegene Orte. Zudem müssten die verschiedenen Küstenstaaten besser zusammenarbeiten.

Ob es künftig gelingen wird, die Küstenstädte genügend zu schützen, ist fraglich. Denn die meisten Aufschüttungen seien auf Stürme ausgelegt, die nur alle 75 Jahre auftreten, sagt Herrington. Sandy hat viele von ihnen zerstört. Und mit der Klimaerwärmung wird der Meeresspiegel wohl weiter ansteigen, und zerstörerische Stürme könnten häufiger werden.

Jeffress Williams vom USGS ist daher pessimistisch. «Wir können die Küstenlinie künftig nicht mehr so gut schützen, wie wir dies in der Vergangenheit taten. Zumindest nicht mit Strandaufschüttungen.»

© THE NEW YORK TIMES  
ÜBERSETZUNG: NIK WALTER

## ► FORTSETZUNG VON SEITE 65

# Die Dressur der Drohnen

dy sitzen dieselben Komponenten – Bewegungssensoren, Optik, Batterien und Chips –, alles ist deshalb kleiner, schneller und günstiger geworden.

Von dieser Entwicklung profitiert auch Davide Scaramuzza vom Labor für künstliche Intelligenz an der Universität Zürich, wo er die Robotics and Perceptions Group leitet: «Mich interessieren Roboter, die komplett autonom sind und Menschen helfen können», sagt der junge Professor, der von den Studierenden nur an den glänzenden Lederschuhen und am gestärkten Hemd zu unterscheiden ist. Der 32-jährige Italiener leitete von 2009 bis Februar 2012 das europäische Projekt sFly an der ETH bei Roland Siegwart. Es galt, kleine, autonom fliegende Helikopter zu entwickeln, die im Freien selbstständig operieren können. Kürzlich erhielt er den European Young Researcher

Award für seine Leistungen zur Entwicklung von Flugrobotern.

Im Unterschied zu anderen Systemen fliegen seine Mikrokopter ohne GPS, ohne Fernsteuerung und ohne Laser. Stattdessen können sie sehen. Dazu hat er die 150 Gramm leichten und 18 Zentimeter grossen Kopter mit Kameras und einem Bordcomputer ausgestattet.

## In ein paar Jahren könnten die Drohnen Lawinopfer suchen

Die Kamera schießt während des Flugs Bildserien. Der Bordcomputer sucht auf den Fotos nach identischen Eckpunkten und errechnet anhand ihrer veränderten Perspektive die Positionsänderung der Drohne. Ein eigens gebauter Algorithmus hilft dann, eine dreidimensionale Karte des Geländes zu rekonstruieren. Schickt der Drohnenpilot mehrere Mikrokopter auf Mis-

## Die volle Dröhnung

Die private Drohnenfliegerei boomt, weil dank Smartphone die nötigen Komponenten immer günstiger geworden sind.

Die Online Community DiYDrones.com, 2007 gegründet von Chris Anderson, dem Ex-Chefredaktor des US-Magazins «Wired» und heutigem Besitzer der Firma 3D Robotics, zählt 26 000 Mitglieder. Monatlich fliegen 1000 private Drohnen mehr am (US-)Himmel, schätzt Anderson. Wer selbst einen Mikrokopter ausprobieren will, dem stehen diverse Bausätze von Modellen zur Verfügung. Bereits für etwas mehr als 300 Franken kann man die bekannte, filmende Parrot AR 2.0 (Foto) kaufen, die sich mit dem Smartphone steuern lässt. Erstet man eine 40-fränkige Leiterplatte dazu, die

man an den Bordcomputer hängt, fliegt das Spielzeug gar autonom. In der Schweiz gibt es gemäss Luftfahrtverordnung für ferngesteuerte Fluggeräte ein paar Regeln zu beachten: Bis zu 30 Kilo dürfen sie ohne Bewilligung fliegen. Der «Pilot» muss jederzeit Sichtkontakt zum Flugobjekt haben. Automatisierte Flüge sind erlaubt, sofern der «Pilot» jederzeit in die Steuerung eingreifen kann. Die Drohnen müssen mindestens 5 Kilometer Abstand zu Flughäfen halten und ab 500 Gramm versichert sein.



sion, senden diese die Bilder an einen Zentralrechner, der daraus in Echtzeit eine einzige Karte zusammenbaut.

Die Achillesferse bei diesem System ist die Batterie. Sie hält derzeit 20 Minuten, das ist für Rettungseinsätze – etwa zur Ortung von Lawinopfern – zu kurz. Scaramuzza rechnet damit, dass die Drohnen in drei bis vier Jahren im Schnee im Einsatz sein werden.

Doch das Image von Drohnen in der Öffentlichkeit ist nicht das der kleinen Helferlein. Vielmehr herrscht das Bild automatisierter Killermaschinen vor. Welche katastrophalen Auswirkungen der koordinierte Angriff von Drohnen Schwärmen haben kann, beschreibt der US-Autor Daniel

Suarez in seinem neusten Sci-Fi-Thriller «Kill Decision». Billige Mini-Drohnen attackieren alles, was ihnen im Weg steht, von Menschen bis zu Öltankern. Sie sind völlig autonom und fällen selbstständig Entscheide.

Wissenschaftler neigen dazu, diese Kehrseite der Medaille auszublenken. «Mein Business ist die Forschung, über Anwendungen entscheide ich nicht», sagt Scaramuzza. Sein Kollege D'Andrea ist sich der Gefahren bei der Anwendung von Drohnen bewusst. Die Forschung deshalb einzuschränken, ergebe aber keinen Sinn, weil man damit auch hilfreiche Anwendungen verunmögliche. Sein Vorschlag: «Vielleicht bräuchte es ein internationales Abkommen, dass keine autonomen Waffen mehr eingesetzt werden dürfen, wenn wir eine Eskalation – ein Wettrüsten – verhindern wollen.»