

## Wissen Forschungsplatz Zürich



Die Empa führt rund um die Uhr Schadstoffmessungen in der Höhenluft der Forschungsstation Jungfrauoch durch. Foto: HFSJG

# Gefährliches Kältemittel in der Luft

Empa-Forscher messen auf dem Jungfrauoch eine neue Substanz aus der Fahrzeugindustrie. Die Autobauer forcieren das Mittel für klimafreundliche Kühlungsanlagen. Der Stoff birgt aber Risiken.

**Martin Läubli**

Etwas Neues liegt in der Luft über dem Jungfrauoch. Die Forscher der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa messen in der alpinen Forschungsstation seit 2013 immer mehr Spuren von neuen Kälte- und Schäumungsmitteln. Die Substanzen haben komplizierte Namen: Sie heissen HFC-1234yf, HFC-1234ze(E) oder HCFC-1233zd(E).

Im Fokus steht Tetrafluorpropen (HFC-1234yf), weil die Autoindustrie dieses klimaschonende Kältemittel im grossen Stil einsetzen möchte. Es soll das langlebige Treibhausgas R134a ersetzen, das bisher bei Auto-Klimaanlagen verwendet wird. Sein Beitrag zum Treibhauseffekt ist über 1400-mal höher als jener des Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das allerdings in viel grösserer Menge in der Atmosphäre vorkommt. Die Empa ist derzeit das einzige Institut weltweit, das die neue Substanz Tetrafluorpropen messen und dessen Ausbreitung verfolgen kann.

### Grosses Geschäft für Industrie

Die Industrie scheint nun erstmals ein synthetisches Kältemittel gefunden zu haben, das weder die Ozonschicht in der unteren Stratosphäre in 15 bis 30 Kilometer Höhe angreift noch zur Erderwärmung beiträgt. HFC-1234yf ist kurzlebig und verweilt nur wenige Tage bis Wochen in der Atmosphäre. Das Erwärmungspotenzial des Kältemittels ist theoretisch bezogen auf 100 Jahre nur viermal höher als CO<sub>2</sub>.

Die beiden amerikanischen Konzerne Honeywell und DuPont vertreiben das

Kältemittel unter den Namen Solstice yf beziehungsweise Opteon YF. Die Nachfrage nach Solstice steige exponentiell in der Autoindustrie, heisst es auf der Website von Honeywell. Bereits würden mehr als 20 Autohersteller das neue Kältemittel bei fast 80 Modellen einsetzen. Den Grund sieht die Firma in den Umweltvorschriften der EU und in den USA. Ähnliche Gesetzgebungen gebe es in anderen Märkten wie Japan und Südkorea.

So will die EU-Kommission klimaschädliche Chemikalien bei Neuwagen aus Europa ab 2017 verbieten. Honeywell wittert deshalb das grosse Geschäft: Bis Ende 2016 werden weltweit, so die Schätzung des Konzerns, mehr als 18 Millionen Fahrzeuge mit Solstice yf fahren. Als Vergleich: In Deutschland sind heute mehr als 44 Millionen Autos zugelassen. Honeywell hat rund 300 Millionen Dollar in den Ausbau der Produktion im Werk am bestehenden Standort des Unternehmens in Geismar, Louisiana, investiert. Die Zulassung für das neue Kältemittel gilt unter anderem in Europa, den USA, in Japan, Kanada und Korea.

Für die Klimaforscher ist diese Entwicklung eine gute Nachricht. Dennoch werden die Empa-Forscher die Ausbreitung der Substanz in den nächsten Jahren genau beobachten. Denn der neue Stoff ist nicht unproblematisch und stellt den Wissenschaftlern eine neue Aufgabe: Das Kältemittel HFC-1234yf zerfällt zwar in der Luft sehr schnell - allerdings zu einem neuen Schadstoff, zu Trifluoressigsäure, die mit dem Regen ausgewaschen wird. Es ist ein extrem stabiles Molekül, das in der Natur nicht

weiter abgebaut wird. Es kann sich mit dem Regenwasser in Gewässern anreichern. Auf bestimmte Algenarten wirkt die Säure ab einer gewissen Konzentration giftig.

Zwar zeigt eine weitere Empa-Studie, die in der Zeitschrift «Environmental, Science & Technology» publiziert wurde, dass die Konzentration vermutlich weit unter dem für Wasserlebewesen und Pflanzen kritischen Wert liegen wird - selbst wenn alle Fahrzeuge in Europa umgerüstet würden. «Grundsätzlich sollte man aber einen stabilen Stoff in der Umwelt erst langfristig messen», erklärt Empa-Forscher Martin Vollmer.

### Brandereignisse ignoriert

Gegen das neue Kältemittel sprechen zum heutigen Zeitpunkt jedoch weniger die ökologischen Bedenken als die negativen materialtechnischen Erfahrungen. Das deutsche Umweltbundesamt warf bereits im August 2014 dem Joint Research Center (JRC) vor, Brandereignisse mit Tetrafluorpropen zu ignorieren. Die Europäische Kommission hatte das Forschungsinstitut beauftragt, einen Projektbericht des deutschen Kraftfahrt-Bundesamts zu bewerten. Das Umweltbundesamt kritisiert, das JRC habe diverse Untersuchungen zu Brandereignissen, unter anderem Ergebnisse der Daimler AG, nicht berücksichtigt. Schon das Bundesamt für Materialforschung belegte gemäss einem Bericht des Umweltbundesamts, dass sich das neue Kältemittel im Brandfall und bereits bei hohen Temperaturen etwa im Motorraum entzünden kann und dabei giftiger Fluorwasserstoff entsteht.

Dies ist auch ein Grund dafür, dass Mercedes-Benz im Oktober des letzten Jahres bekannt gab, dass der Konzern ab 2017 für die S- und die E-Klasse als «weltweit erste» Serienautos CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen anbietet. Das Treibhausgas als Kältemittel ist laut Umweltbundesamt gesamthaft betrachtet gegenüber den synthetischen Kältesubstanzen klimafreundlicher. Ein Umbau der gesamten Mercedes-Flotte ist allerdings nach Aussagen der Firma bis 2017 nicht möglich. Das heisst: Für die anderen Neuwagen kommt vorläufig das neue Kältemittel HFC-1234yf zum Einsatz - mit einer ganz speziellen Schutzeinrichtung, wie Mercedes-Benz meldet, welche bei einem Aufprallunfall einen Brand verhindern soll.

Noch ist die gemessene Menge an HFC-1234yf in der Atmosphäre extrem gering. Dennoch steigt die Zahl der Luftproben, in denen die Substanz - je nach Ursprung der Luftmasse - entdeckt wird. 2014 waren es 4,5 Prozent, im letzten Jahr bereits über 10 Prozent. Die Geräte auf dem Jungfrauoch messen automatisch alle zwei Stunden. Ebenso gibt es eine Messstelle an der Empa in Dübendorf.

### «Echtzeit»-Überwachung

Die Messungen seien inzwischen zu einem Frühwarnsystem geworden, sagt Martin Vollmer. Sobald eine Substanz auf dem Markt ist, kann heute deren Ausbreitung, Entwicklung und Abbau in «Echtzeit» überwacht werden. Demnächst soll eine weitere Messstation in Irland die neue Generation von Kältemitteln messen können.

### Montrealer Protokoll Eine Erfolgsgeschichte mit Nebenwirkung

Es war ein Meilenstein im Umwelt-Völkerrecht: 1989 trat das Montrealer Protokoll in Kraft. Die Vertragsstaaten verpflichteten sich, die Produktion von chlor- und bromhaltigen Chemikalien zu reduzieren und schliesslich vollständig zu stoppen. Der Grund: Halogenkohlenwasserstoffe wie Freone und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) dünnten die Ozonschicht aus. Die Industrie produzierte darauf als Übergangslösung neue Stoffe, die zwar weniger die Ozonschicht angreifen, dafür die Erderwärmung vorantreiben. Heute wird die Übergangsgeneration noch in

Entwicklungsländern eingesetzt, verschwindet jedoch allmählich aus der Atmosphäre. Dafür kamen die sogenannten F-Gase, halogenierte Kohlenwasserstoffe. Der Erwärmungseffekt dieser Stoffe ist bedeutend stärker als bei CO<sub>2</sub>, und sie sind extrem langlebig. «Die Erwärmungsleistung aller emittierten halogenierten Substanzen ist immerhin ein Fünftel des Wärmeeffekts von CO<sub>2</sub>», sagt Martin Vollmer von der Empa. Ohne den regulatorischen Eingriff durch das Montrealer Protokoll wäre der Beitrag an die Erderwärmung also deutlich grösser. (lae)

### LabOhr

## Eine Perle der Natur auf 200 Seiten

Die **Naturforschende Gesellschaft** in Zürich beeindruckt mit einem bemerkenswerten Neujahrsblatt. Es ist vielmehr ein Buch, das die Landschaftsgeschichte der «**Naturperle**» Pfäffikersee - reichlich illustriert - kompetent erzählt. Dabei wird auch der Konflikt zwischen Naturschönheit und Erlebnispark nicht ausgelassen. Als Herausgeber amten der Präsident der Vereinigung pro Pfäffikersee und der Botaniker und Ornithologe John Spillmann. Insgesamt haben zwanzig Autorinnen und Autoren an diesem über 200 Seiten starken Band gearbeitet.

[www.ngzh.ch](http://www.ngzh.ch); [www.propfäffikersee.ch](http://www.propfäffikersee.ch)

✱

Landschaftsschutz sollte auch bei den Bauern grossgeschrieben werden. Es gibt inzwischen eine beachtliche Zahl von Instrumenten, die der Bauer einsetzen kann, um seinen Betrieb auf Nachhaltigkeit zu prüfen. Das zeigte eine Tagung am Institut für **Nachhaltigkeitswissenschaften Agroscope** in Tänikon. Dabei geht es nicht nur um ökologische Bewertungen. Auch die Arbeitsbelastung oder ein Tierwohlindex auf einem Bauernbetrieb gehören dazu. Weiter zeigt sich, dass gute ökologische Konzepte nicht immer sozial verträglich sind. Die Forscher auf der Tagung waren sich dennoch einig: Kriterien zur Nachhaltigkeit lohnen sich bei der Analyse der Betriebsstrategien.

[www.agroscope.ch](http://www.agroscope.ch)

✱

Was wir heute bewahren wollen, hat seinen Ursprung viel früher. In der Sonderausstellung «**Das Krokodil im Baum**» im **Zoologischen Museum Zürich** geht es um die Evolution und damit um die Frage, wie die Artenvielfalt auf der Erde entstand. Wer mehr wissen will über eine der wichtigsten Fragen in den Naturwissenschaften, der muss sich allerdings schnell entscheiden: Die Ausstellung dauert noch bis zum Sonntag, 31. Januar. Auch das Kulturama hat die Evolution auf seiner Agenda: Öffentliche Führungen am 31. Januar und 2. Februar.

[www.zm.uzh.ch](http://www.zm.uzh.ch); [www.kulturama.ch](http://www.kulturama.ch) (lae)

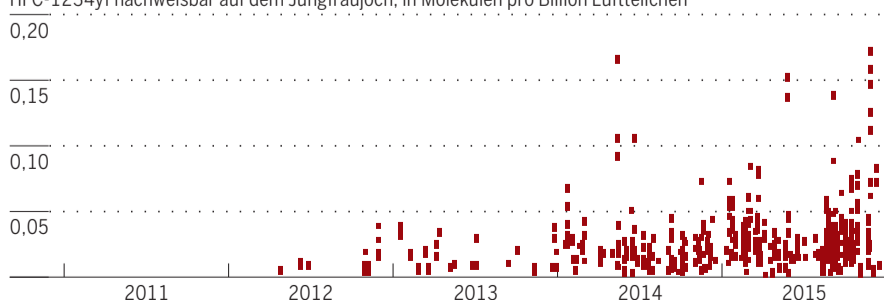
## 3-D-Drucken in der Mikrowelt

Ein neues Mikro-3-D-Druckverfahren erlaubt, winzige und komplexe Metallobjekte herzustellen. Es könnte dereinst in der Uhrenindustrie oder der Medizintechnik zum Einsatz kommen. Die Technik basiert auf einer präzise steuerbaren Mikropipette, die an einer Blattfeder befestigt ist. Die Pipette ist mit Kupfersulfatlösung gefüllt und ragt in einen Flüssigkeitstropfen auf einer Goldfläche. Wenn die Wissenschaftler mithilfe einer Elektrode eine Spannungsdifferenz zwischen dem Flüssigkeitstropfen und der Goldplatte verursachen, reagiert das aus der Pipette austretende Kupfersulfat zu festem Kupfer, das sich als dreidimensionaler «Pixel» auf der Goldplatte abscheidet. Indem sie die Pipette mit dem Computer steuern, können die Forscher so Schicht um Schicht komplexe Objekte aufbauen.

Je nach Grösse der Pipettenöffnung können die ETH-Wissenschaftler «Pixel» von Zehntausendstel- bis Zehntelmillimeter erzeugen und entsprechend fein aufgelöste Strukturen drucken. Bei Testläufen entstanden so diverse, sehr stabile Mikroobjekte. Darunter so spektakuläre Formen wie drei ineinander gedrehte Spiralen, die in einem einzigen Arbeitsschritt gedruckt wurden. «Nicht nur Kupfer, sondern auch andere Metalle lassen sich damit drucken», erklärt Studienleiter Tomaso Zambelli vom Labor für Biosensoren und Bioelektronik der ETH Zürich. Selbst für den 3-D-Druck von Polymeren und Verbundstoffen könnte die Technik geeignet sein. Das Druckverfahren beruht auf einer Technik namens FluidFM, die ETH-Wissenschaftler vor einigen Jahren für die biologische Forschung entwickelten. Damit lassen sich Zellen sortieren und analysieren oder auch Substanzen in einzelne Zellen injizieren. (TA)

### Neues Kältemittel für Auto-Klimaanlage

HFC-1234yf nachweisbar auf dem Jungfrauoch, in Molekülen pro Billion Luftteilchen\*



\* Ein roter Punkt entspricht einer Messung

TA-Grafik mrue / Quelle: Empa