

Wirkstoffe gegen das Vergessen –
Gründe für deren Versagen Seite 62

Warum gebildete Personen
später dement werden Seite 62

Rekonstruktion des Klimas
von der Eisenzeit bis heute Seite 63

Die bisher kleinste «Supererde» im
Visier des Kepler-Teleskops Seite 63



Bei Gewitterstürmen, wie hier über Zürich, kann auch Antimaterie entstehen. Über das Wie wird noch gerätselt. CHRISTIAN BEUTLER / NZZ

Nebulöse irdische Beschleuniger

Allseitiges Rätselraten nach Nachweis von Antimaterie aus Gewitterwolken

Gewitterwolken beherbergen die wohl stärksten natürlichen Teilchenbeschleuniger auf der Erde. Nun zeigen Forscher, dass darin auch reichlich Antimaterie entstehen kann. Doch damit mehren sich nur die Fragen nach dem dahinter wirkenden Beschleunigungsmechanismus.

Leonid Leiva

Beim Stichwort Antimaterie denkt man unwillkürlich zunächst an die grossen Beschleuniger des Cern in Genf oder an exotische kosmische Quellen. Auch an radioaktive Zerfallsprozesse mag sich der eine oder andere erinnern. Kaum jemandem hingegen wird dabei das stürmische Umfeld eines Gewitters in den Sinn kommen. Positronen, die Antimaterie-Pendants der Elektronen, gelten dennoch seit einigen Jahren als mögliche Nebenprodukte eines heftigen Blitzgewitters. Den Nachweis dafür hat nun erstmals ein internationales Forscherteam mit dem Satelliten Fermi der Nasa erbracht.¹

Geomagnetischer Pas de deux

Die irdischen Positronen trafen die Detektoren von Fermi, als der Satellit am 14. Dezember 2009 gerade über Ägypten raste. Ein weiter südlich über Sambia tobendes Gewitter konnte Fermi nicht direkt sehen, weil es hinter seinem Horizont lag. Doch mit Hilfe des Magnetfeldes der Erde erreichten die aus dem Gewitter stammenden Positronen und Elektronen gleich zweimal den Gamma-Ray Burst Monitor (GBM) an Bord der Nasa-Sonde. Die geladenen Teilchen waren nämlich dem üblichen spiralförmigen Pfad entlang der Magnetfeldlinien der Erde gefolgt. Und der Zufall wollte, dass sich Fermi und das Gewitter über Sambia auf ein und demselben Längengrad befanden; sie waren also durch das Magnetfeld der Erde miteinander verbunden, und so war die Begegnung quasi vorgezeichnet. Einige Positronen wurden beim Vorstossen in die Polarregionen der Erde vom immer stärker werdenden geomagnetischen Feld in Richtung ihres Ursprungs zurückgeworfen. So wurde beim GBM wenige Millisekunden nach dem ersten ein zweites Positron-Signal ausgelöst. Das Instrument registrierte die Positronen aller-

dings nicht direkt. Vielmehr wurden die Photonen gemessen, die bei der Auslöschung der Positronen mit Elektronen der Sonde mit der charakteristischen Energie von 0,511 Megaelektronvolt (MeV) emittiert wurden. Dieses charakteristische Signal, die Verzögerung bezüglich der am Erdboden aufgespürten Blitze und die Doppeldetektion infolge der magnetischen «Spiegelung» sehen die Forscher als starke Indizien dafür an, dass ihnen in der Tat Gewitter-Positronen ins Netz gelaufen sind. Laut Michael Briggs von der University of Alabama in Huntsville, dem Hauptautor der Studie, können Positronen in der Atmosphäre auch aus Teilchenschauern der kosmischen Strahlung entstehen, aber von diesen würden nur ganz wenige in die Umlaufbahn von Fermi in einer Höhe von 600 Kilometern vordringen.

Überraschend hohe Ausbeute

Positronen entstehen bei Gewittern als Teil der von den Sturmwolken hinauf ins Weltall schiessenden Gammablitzte. Diese terrestrischen Gammablitzte wurden erstmals 1994 beobachtet – eine Zufallsentdeckung, die sich bei Tests einer Sonde ergab, die wie Fermi den Himmel nach Gammastrahlenausbrüchen aus Supernovae oder Neutronensternen absuchen sollte.

Das Mysterium der terrestrischen Gammablitzte besteht seither darin, dass bei ihnen die Gammaquanten im Mittel eine sogar noch höhere Energie besitzen als bei den extraterrestrischen Gammastrahlenausbrüchen. In Gewitterwolken müssen geladene Teilchen also sehr effizient und über relativ kurze Strecken auf sehr hohe Energien gebracht werden. Doch wie der Beschleunigungsmechanismus im Detail aussieht, das weiss bis heute niemand.

Konsens herrscht allerdings darüber, dass die Gammablitzte von sehr schnellen Elektronen stammen, deren Anzahl bei genügend starken elektrischen Feldern innerhalb der Wolken lawinenartig zunimmt. Wenn diese schnellen Elektronen mit den Molekülen der Luft zusammenstossen, emittieren sie Gammastrahlung.

Auch die Produktion von Positronen wird in einem solchen Szenario nachvollziehbar. Denn die Elektronenlawinen erzeugen auch Gammaquanten mit genügend Energie, um durch den Prozess der Paarbildung Positron-Elektron-Paare zustande zu bringen. Die für diese

Paarbildung nötige Mindestenergie eines Gammaquants beträgt rund 1 MeV.

Energien von mehreren Megaelektronvolt werden in terrestrischen Gammablitzten regelmässig registriert, deshalb kommt nun der Nachweis von Positronen nicht überraschend. Was jedoch im Rahmen der bestehenden Modelle nicht erklärt werden kann, ist die jetzt gemessene hohe Ausbeute an Positronen. Laut Joseph Dwyer vom Florida Institute of Technology wurde jedes tausendste Gammaquant in ein Positron-Elektron-Paar umgewandelt; bei geschätzten 10^{17} Photonen je Gammablitz sind das also 100 Billionen Positronen pro Flash. Aus den Gewitterwolken müssten viel mehr Gammaquanten mit viel höheren Energien ins All geschleudert werden als bisher gedacht, damit so viele Positronen Hunderte von Kilometern von ihrer Quelle entfernt nachgewiesen werden könnten, sagt Jochen Greiner vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, der wie Dwyer am Nachweis der Positronen beteiligt war. Das wiederum bedeutet entweder stärkere Felder als bis anhin angenommen oder unbekannte Beschleunigungsmechanismen.

Ein Mechanismus könnte das von Dwyer vorgeschlagene «relativistische Feedback» sein, nach dem neben schnellen Elektronen auch Photonen oder Positronen, die aus den ersten Lawinen hervorgehen, noch im Innern der Wolken weitere Lawinen lostreten. Dadurch würden schon bei weniger starken Feldern genug «Lawinen-Elektronen» und somit ausreichend hochenergetische Gammaquanten produziert. Auch plausibel erscheint die von Ute Ebert vom Centrum Wiskunde en Informatica in Amsterdam seit Jahren verfochtene Idee, dass die starken elektrischen Felder um die Spitzen von Leitblitzen, wie jene, die auch den «normalen» Blitzen vorausgehen, genügen könnten, um Lawinen hervorzuheben. Nur, keines dieser Modelle erklärt die jüngsten Messungen des italienischen Satelliten Agile, der bei terrestrischen Gammablitzten einen unerwartet hohen Anteil von Photonen mit Energien bis zu 100 MeV verzeichnet hat.² Vorerst scheint also der Modus Operandi der stärksten natürlichen Beschleuniger auf unserem Planeten in undurchsichtigen Wolken gehüllt zu bleiben.

¹ Geophysical Research Letters (akzeptiertes Manuskript), ² Physical Review Letters 106, 01851 (2011).

Umweltgifte auf dem Teller

Unvermeidbare Aufnahme von Schadstoffen über die Nahrung

Lebensmittel enthalten unweigerlich auch geringe Mengen an Umweltschadstoffen. Deutsche Wissenschaftler haben abgeschätzt, wie viel Schwermetalle, Dioxine und polychlorierte Biphenyle üblicherweise mit der Nahrung in den Körper gelangen.

Uta Neubauer

Während sich der Skandal um dioxinverseuchte Futtermittel in Deutschland ausweitete, beruhigt das Bundesinstitut für Risikobewertung in Berlin verunsicherte Bürger damit, dass «keine unmittelbare gesundheitliche Beeinträchtigung für Verbraucher zu erwarten» sei. Diese Aussage trifft auf nahezu alle Umweltkontaminanten in unserer Nahrung zu, auf Dioxine ebenso wie auf Schwermetalle. Denn sie kommen in Lebensmitteln meist nur in Spuren vor und beeinträchtigen die Gesundheit fast nie sofort. Später auftretende gesundheitliche Beschwerden wiederum lassen sich nur schwer auf kontaminierte Lebensmittel zurückführen.

Auch Vegetarier belastet

Wie viel Umweltschadstoffe man üblicherweise mit der Nahrung aufnimmt, haben deutsche Wissenschaftler vom Bundesinstitut für Risikobewertung, von der Universität Bremen und dem privaten Forschungs- und Beratungsinstitut für Gefahrstoffe aus Freiburg abgeschätzt. Sie stützten sich dabei auf eine nationale Verzehrstudie, die das Ernährungsverhalten von 20 000 Deutschen zwischen 14 und 80 Jahren erfasst hat, sowie auf Daten aus der Lebensmittelüberwachung. Die Ergebnisse dürften auf die Schweiz übertragbar sein, da sich beide Länder weder in der Ernährung noch in der Herstellung von Lebensmitteln grundlegend unterscheiden.

Die gute Nachricht zuerst: Entwarnung gibt es für Quecksilber, dessen besonders giftige Variante Methylquecksilber vor allem in Fischen und Meeresfrüchten vorkommt. An Methylquecksilber nehme der deutsche Durchschnittsesser dauerhaft nur etwa ein Zehntel der Menge auf, die noch als gesundheitlich unbedenklich gelte, heisst es in dem Bericht. Das sei ein beruhigendes Ergebnis, urteilt der Toxikologe Hanspeter Nägeli von der Universität Zürich. Offensichtlich essen die Deutschen ebenso wenig Fisch wie die Schweizer und haben das Quecksilberproblem damit im Griff. Michael Beer, Leiter der Abteilung Lebensmittelsicherheit am Bundesamt für Gesundheit (BAG) in Bern, rät lediglich Schwangere zur Zurückhaltung beim Genuss von Thun-, Schwert- und anderen Raubfischen. Weitere Lebensmittel, die man wegen einer Schadstoffbelastung nur gelegentlich oder nur in kleinen Mengen verzehren sollte, fallen ihm nicht ein.

Geringe, aber tägliche Mengen

Am Beispiel der Schwermetalle Kadmium und Blei zeigten die deutschen Wissenschaftler, dass hoch kontaminierte Nahrungsmittel, etwa bleibelastetes Wildfleisch oder Innereien, ohnehin nicht so stark ins Gewicht fallen. Zur Gesamtaufnahme tragen vielmehr die gering bis mittelmässig belasteten, aber täglich verzehrten Nahrungsmittel bei. Wer etwa sehr viel Gemüse und Getreide isst, läuft Gefahr, den von der Europäischen Lebensmittelbehörde festgelegten Höchstwert für die tolerierbare wöchentliche Kadmiumaufnahme auszuschießen oder gar zu überschreiten. Pflanzen nehmen Kadmium, das bei zu hoher Belastung Nieren und Knochen schädigt, über ihre Wurzeln aus natürlich oder industriell belasteten Böden auf. Der Eintrag von Kadmium in die Nahrungskette müsse reduziert werden, teilt ein Sprecher des Bundes-

instituts für Risikobewertung mit, etwa durch die Züchtung von Pflanzensorten, die weniger Kadmium anreichern. Auch Tabakpflanzen neigen zur Kadmiumaufnahme aus Böden. Raucher können daher erhebliche Mengen Kadmium mit dem Tabakqualm inhalieren.

Das Thema Blei in Nahrungsmitteln schien dank dem Verbot von verbleitem Kraftstoff und dem Austausch von Bleirohren in der Wasserversorgung abgehakt. Die Bleibelastung der Umwelt und der Lebensmittel ging in den letzten 30 Jahren deutlich zurück. Erst im vergangenen Jahr aber hat die Europäische Lebensmittelbehörde niedrigere Schwellenwerte für Blei eingeführt, die neue Erkenntnisse zu bleibedingten Nierenschäden und Bluthochdruck berücksichtigen. Laut Verzehrstudie nehmen Personen mit einer hohen Nahrungsaufnahme allein über ihre Ernährung mehr Blei auf, als für ihre Nieren als unbedenklich gilt. Die Einführung von Höchstgehalten für bisher nicht regulierte Lebensmittel wäre ein Ansatz, um die Bleibelastung weiter zu reduzieren. Sowohl beim Blei als auch beim Kadmium zeigten Vegetarier eine erhöhte Aufnahme, da beide Schwermetalle überwiegend über pflanzliche Nahrungsmittel in den Körper gelangen.

Dauerproblem Dioxine

Bezüglich Dioxinen hingegen scheinen Vegetarier etwas weniger gefährdet zu sein, da diese fettlöslichen Umweltgifte vor allem über Milchprodukte, Fleisch, Fisch und Eier aufgenommen werden. Unter Dioxinen versteht man allgemein die Klasse der polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane, die in Lebensmitteln zusammen mit den dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen reguliert sind. Für die lebenslang duldbare wöchentliche Aufnahme dieser Substanzen gibt es einen Summenwert, der der Verzehrstudie gemäss generell überschritten wird. Das ist wohl die besorgniserregendste Aussage der Untersuchung. Die Autoren betrachten dieses Ergebnis jedoch wegen der dürftigen Datenlage zu Dioxinen als vorläufig.

Da Dioxine äusserst stabil sind und überall in der Umwelt vorkommen – wenngleich heute in geringeren Mengen als noch vor zwei bis drei Jahrzehnten –, lässt sich eine gewisse Dioxinbelastung von Lebensmitteln gar nicht vermeiden. Die zulässigen Gehalte sind allerdings unvorstellbar klein und liegen im Picogramm-pro-Gramm-Bereich. Für Milch beispielsweise beträgt der zulässige Höchstgehalt sechs Picogramm pro Gramm Milchfett. Ein Picogramm ist ein billionstel Gramm. Die Bestimmung derart geringer Konzentrationen lässt sich mit dem Nachweis von einem Stück Würfelzucker im Bodensee vergleichen.

Für Chemiker ist die Analytik solcher geringer Mengen kein Problem. Im Gegenteil, die Grenzen des Nachweisbaren sinken immer weiter. Beer wäre es allerdings lieber, wenn die Analysenverfahren an Geschwindigkeit zulegen, statt in immer kleineren Konzentrationenbereich vorzudringen. Denn je schneller ein Ergebnis vorliegt, desto schneller steht fest, ob ein Produktionsbetrieb verseuchte Rohstoffe einsetzt oder ob Waren aus dem Handel gezogen werden müssen. Der Nachweis immer geringerer Belastungen hingegen verunsichert die Verbraucher vielleicht unnötig. Oft sei noch gar nicht klar, wie die geringen gefundenen Mengen toxikologisch wirkten, gibt Beer zu bedenken. Selbst bei den Dioxinen diskutieren Experten noch, ob sie auch beim Menschen und nicht nur im Tierversuch Krebs oder Hormonstörungen auslösen.

Bis keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen, sollte man sich den Appetit also nicht verderben lassen. Nägeli empfiehlt als beste Strategie zum Schutz vor Belastung über Lebensmittel eine ausgewogene Ernährung mit Augenmass bei Fleisch und Fisch.