

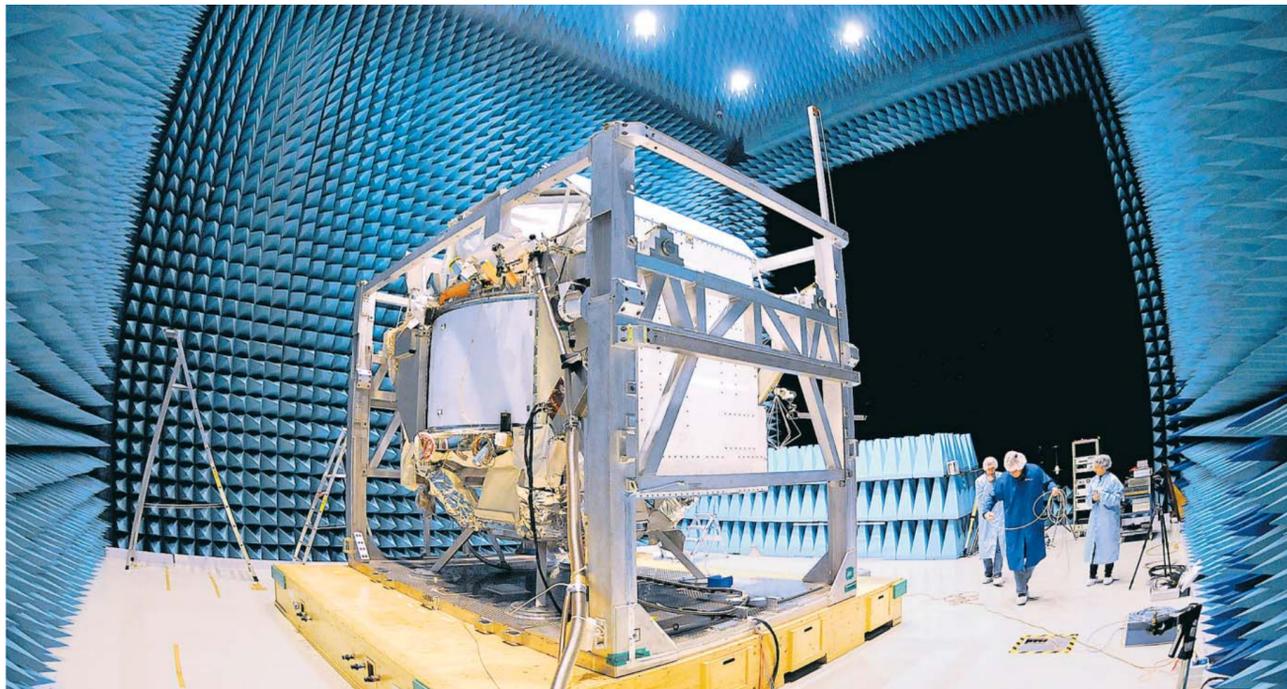
Wo bitte ist Antimaterie?

Die Astrophysik erobert die Internationale Raumstation

Wo ist sie hin, die kosmische Antimaterie? Geht es nach der Theorie, dann hätten beim Urknall Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen entstehen sollen. Das ist offensichtlich nicht passiert – oder gibt es vielleicht irgendwo Galaxien aus reiner Antimaterie? Die Physiker suchen tatsächlich danach, und nun steht ihnen dazu das Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) zur Verfügung. Mit dem vorletzten Flug eines Space-Shuttles soll es am Freitag dieser Woche zur Internationalen Raumstation gebracht werden.

Mehr als zehn Jahre lang haben Hunderte von Wissenschaftlern aus Europa, Nordamerika und Asien an der Fertigstellung des AMS-Experiments gearbeitet. In Deutschland sind wesentliche Komponenten an der Technischen Hochschule in Aachen und am Karlsruher Institut für Technologie entstanden. Schon 1998 war ein Prototyp für einige Tage erfolgreich ins All geflogen. Nicht zuletzt wegen der Schwierigkeiten mit den Raumfähren verzögerte sich der Start des Hauptinstruments jedoch mehrfach. Für die Raumstation ist AMS das erste große astrophysikalische Grundlagenexperiment.

Ungestört von der Atmosphäre und mit bislang unerreichter Präzision wollen die Forscher damit die geladenen Teilchen der kosmischen Strahlung untersuchen. Unter diesen befinden sich vielleicht Überbleibsel der Urknall-Antimaterie. Ein einziger Anti-Heliumkern wäre der Durch-



Das „Alpha Magnetic Spectrometer“ in der elektromagnetischen Testkammer des europäischen Weltraumzentrums Estec

Foto AMS-02 Collaboration

bruch. Ein Anti-Kohlenstoffkern würde man in der kosmischen Strahlung schon länger. Danach scheinen sogar zu viele Anti-Elektronen zu existieren – das hat vor gut zwei Jahren das Satellitenexperiment Pamela ergeben. Der Grund dafür ist unbekannt. Mit AMS wollen die Wis-

„Kleinere“ Antimaterieteilchen beobachten, ob die hypothetische Dunkle Materie für den Überschuss verantwortlich ist. Nach dieser wird zurzeit mit Experimenten weltweit gefahndet.

Die spannendste Aufgabe des Instruments sei jedoch die Suche nach dem Unbekannten, findet Projektleiter und

Nobelpreisträger Samuel C. Ting: die Suche nach Naturphänomenen, über die noch kein Mensch nachgedacht habe – und für deren Entdeckung bislang die Werkzeuge fehlten. Mit AMS steht den Physikern dafür nun ein neues Werkzeug zur Verfügung. JAN HATTENBACH

Dem Klima zuliebe: Mehr Kohlendioxid für die Industrie

Der globale Klimawandel ist eng verknüpft mit der Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre. Daher gibt es viele Überlegungen, wie man den Ausstoß des Treibhausgases drosseln beziehungsweise dessen Konzentration in der Atmosphäre verringern kann. Da ein Großteil davon aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammt, gelten Einsparungsmaßnahmen bei Verkehr, Industrie und vor allem durch Gebäudedämmung als wichtigste Schritte für eine Reduktion der Emissionen. Diskutiert wird daneben auch die Möglichkeit, aus Verbrennungsgasen abgetrenntes Kohlendioxid zu verflüssigen und in geeigneten geologischen Stätten zu lagern. Als dritten Weg – mit wenn auch nur geringem Potential, bezogen auf den globalen Kohlendioxid-Haushalt – untersuchen Chemiker zurzeit intensiv, ob sich die Verbindung als Kohlenstoffquelle für chemische Synthese nutzen lässt.

Schon seit 150 Jahren wird Kohlendioxid von der chemischen Industrie als Rohstoff verwendet. Das Gas wird mit Ammoniak zu Harnstoff umgesetzt, den man als Stickstoffdünger nutzt. Methanol, eine Grundchemikalie für die chemische Industrie, wird aus wasserstoffreichem Synthesegas und Kohlendioxid hergestellt. Außerdem steckt es als Ausgangsstoff im Schmerzmittel Acetylsalicylsäure und in cyclischen Carbonaten, die als Elektrolyt für Lithium-Ionen-Batterien genutzt werden. Alle vier Prozesse zusammen verwerten jedes Jahr etwa 110 Millionen Tonnen Kohlendioxid. Daneben wird die Verbindung mit etwa 20 Millionen Tonnen im Jahr als Industrie-

Die Verbindung ist ein idealer Rohstoff für chemische Reaktionen – ungiftig, nicht brennbar, reaktionsträge.

Das sind gute Voraussetzungen für die wirtschaftliche Nutzung.

Von Uta Bilow

gas genutzt, beispielsweise für sprudelnde Getränke, als Reinigungs- oder Extraktionsmittel etwa für entkoffeinierten Kaffee, als Kältemittel oder für Feuerlöscher.

Eine intensive Suche nach weiteren wirtschaftlichen Verwendungsmöglichkeiten ist derzeit im Gang, wie Alexis Bazzanella, Dennis Krämer und Martina Peters in den „Nachrichten aus der Chemie“ (Bd. 58, S. 1226) beschreiben. Das Bundesforschungsministerium fördert beispielsweise eine Reihe von Verbundvorhaben in den kommenden fünf Jahren mit 100 Millionen Euro (www.chemieundco2.de). Denn die Verbindung ist einerseits ein idealer Rohstoff für chemische Reaktionen. Das Gas ist ungiftig, nicht brennbar, in großen Mengen vorhanden und in hoher Reinheit zugänglich. Andererseits ist Kohlendioxid aber äußerst stabil und reaktionsträge. Zu chemischen Reaktionen muss man das Gas gleichsam zwingen: durch Aktivierung mit Wärme, einem Ka-

talysator oder speziellen energiereichen Reaktionspartnern.

Als vielversprechendes Gebiet für die stoffliche Verwertung von Kohlendioxid gilt die Kunststoffproduktion. Hier gibt es bereits erste Erfolge vorzuweisen. Vor wenigen Wochen wurde beim Chemiekonzern Bayer eine Pilotanlage in Betrieb genommen, die aus Kohlendioxid und Epoxiden sogenannte Polyether-Polycarbonatepolyole erzeugen, die weiter zu Polyurethanen umgesetzt werden können. Aus Polyurethan werden Matratzen, Polstermöbel, Schuhsohlen und Dämmstoffe hergestellt. Das verwendete Gas erhält Bayer aus der Rauchgaswäsche eines Braunkohlekraftwerks bei Köln. An der Entwicklung des Verfahrens war die Gruppe von Walter Leitner von der Technischen Hochschule Aachen beteiligt. Von 2015 an soll eine größere Anlage den Kunststoff im Tonnenmaßstab erzeugen.

Sechs Prozent des Erdölverbrauchs fließen hierzulande in die Kunststoffproduktion und ließen sich teilweise einsparen, wenn man die Verbindung als Kohlenstoffquelle und Polymerbaustein verwenden könnte. An der Technischen Universität München forscht beispielsweise die Arbeitsgruppe von Bernhard Rieger an der Synthese verschiedener Kunststoffe aus Kohlendioxid. Mit geeigneten Katalysatoren ist es zum Beispiel gelungen, Polypropylen-carbonat zu erzeugen, einen transparenten und harten Kunststoff. Er besitzt ein interessantes Eigenschaftsprofil, das neue Anwendungsgebiete eröffnet. Allerdings sind die verwendeten Katalysatoren noch zu wenig aktiv, und bei der Synthese entstehen verschiedenartige Molekülketten. Hier müssen die Forscher den Reakti-

onsmechanismus unter Beteiligung des Katalysators detailliert untersuchen, wie sie mit einem maßgeschneiderten System die Polymersynthese besser kontrollieren können.

Wie so oft in der Chemie kommt der Katalysatorforschung eine große Bedeutung zu, wenn man Kohlendioxid als Chemiebaustein erschließen möchte. Erst der Katalysator aktiviert das reaktionsträge Molekül und ermöglicht ihm die Verbindung mit anderen Substanzen. Übergangsmetalle sind für diese Aufgabe in der Regel gut geeignet. Die Arbeitsgruppe von Arno Behr an der Technischen Universität Dortmund hat beispielsweise untersucht, wie Ameisensäure und deren Abkömmlinge aus Kohlendioxid und Wasserstoff oder Aminien gewonnen werden können.

Als Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung erwies sich ein Katalysator auf der Basis von Rhodium oder Ruthenium. Diese Metalle sind jedoch teuer, daher kommt dem Katalysatorrecycling und der Abtrennung des Produkts eine besondere Bedeutung zu. Bei der herkömmlichen, zweistufigen Synthese von Ameisensäure geht man derzeit von Kohlenmonoxid aus. Erfolgreich getestet wurde ebenfalls die Synthese von Glycerincarbonat aus Kohlendioxid und Glycerin, welches als Koppelprodukt bei der Biodieselherstellung in großen Mengen preiswert anfällt. Glycerincarbonat besitzt zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten als ungiftiges Extraktions- und Lösungsmittel für Farben, Lacke und Klebstoffe sowie kosmetische Produkte. Bisher wird Glycerincarbonat auf der Basis fossiler Rohstoffe hergestellt, teilweise unter Verwendung von Phosgen, einer hochtoxischen Substanz.

Ganz ohne teure Edelmetalle kommen die Reaktionen mit Kohlendioxid aus, die Matthias Beller und seine Kollegen an der Universität Rostock unter die Lupe nehmen. Wie die Forscher in der Zeitschrift „Angewandte Chemie“ (Bd. 122, S. 9971) berichten, haben sie Eisenkatalysatoren gefunden, die Kohlendioxid und Carbonate zu Amiden und Estern reduzieren, die zu Ameisensäurederivaten hydriert werden können. Schließlich gibt es auch Versuche, das Sonnenlicht als Energielieferant für Reaktionen mit Kohlendioxid zu erschließen. An der Universität Bochum untersucht Jennifer Stark die Hydrochemie von Kohlendioxid zu Methanol und Methan mit Photokatalysatoren. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Titan- und Zinkoxid dazu genutzt werden können, Wasserstoff, der aus photokatalytischer Wasserspaltung stammt, auf Kohlendioxid-Moleküle zu übertragen.

Diese und auch andere Reaktionen reaktivieren die Wissenschaftler derzeit noch unter „DreamReactions“. Hierunter sind langfristige Ziele erfasst, die noch einen hohen Forschungsbedarf aufweisen, gleichzeitig aber attraktiv erscheinen, da die herkömmlichen Prozesse energieaufwendig oder mit entstehenden Nebenprodukten behaftet sind. Zu den Traumreaktionen gehört beispielsweise die direkte Umsetzung von Kohlendioxid mit Methan oder Ethen zu Carbonäuren wie Essigsäure oder Acrylsäure. Letztere ist das Monomer für Superabsorber, die als Saugmaterial in Babywindeln stecken. Bei kompletter Umstellung dieses Prozesses könnten jährlich sieben Millionen Tonnen Kohlendioxid stofflich genutzt werden.

Die Kunst des allseits gerechten Teilens

Mathematiker haben für ein Alltagsproblem zwar nicht die optimale, aber doch eine zufriedenstellende Lösung gefunden

Gerecht zu teilen ist eine Kunst, die immer wieder gefragt ist – etwa, wenn zwei Söhne ihren Vater beerben oder zwei Jungen einen Teller voller Süßigkeiten bekommen. Dabei darf sich keiner vom anderen übervorteilt fühlen. Probleme dieser Art gibt es zuhause im Wirtschafts- und Alltagsleben, und es ist eine Kunst, ein gerechtes Teilungsverfahren zu finden. Anfang April haben die beiden amerikanischen Mathematiker Lionel Levine vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge und Katherine E. Stange von der Stanford University in Kalifornien ein neuartiges Verfahren veröffentlicht, mit dem sich solche Teilungsprobleme schnell und für beide Parteien zufriedenstellend lösen lassen.

Zwei Geschäftsleute A und B wollen sich eine bestimmte Anzahl Güter teilen, wobei sie vereinbaren, dass sie immer abwechselnd eines wählen dürfen. Die Güter sind nicht alle gleich, und außerdem haben sie für die beiden Geschäftsleute unterschiedliche Werte. Beide können nun jedem Gut einen persönlichen Wert zuordnen, der sich durch eine Punktzahl ausdrücken lässt. In der Regel ist die Verteilung der Punkte bei den beiden Geschäftsleuten nicht gleich. So kann es beispielsweise sein, dass A ein bestimmtes Gut unbedingt haben will und ihm deshalb eine hohe Punktzahl gibt, während es für B nicht besonders wichtig ist und

darum von ihm nur mit einer kleinen Zahl bewertet wird. Die Geschäftsleute haben über die Güter die vollständigen Informationen, sie kennen also auch die Bewertungen ihres Konkurrenten. Ziel beider Geschäftsleute ist es, bei der Teilung eine insgesamt möglichst hohe Punktzahl zu erreichen. Nach welcher Strategie müssen die beiden vorgehen, um dieses Ziel zu erreichen?

Will man die für beide Geschäftsleute optimale Strategie finden, muss man alle Reihenfolgen, in denen sie die Güter wählen können, durchprobieren und die dazugehörigen Gesamtpunktzahlen berechnen. Bei n zu verteilenden Gütern sind dies 1-2-3-...-(n-2)-(n-1)-n mögliche Strategien. Das Produkt, das man auch kurz als n! (lies: n Fakultät) schreibt, wächst mit größer werdendem n rasant an. Schon bei nur 60 Gütern gibt es mehr verschiedene Strategien als Atome im gesamten Universum, und kein Computer der Welt wird wohl jemals in der Lage sein, sie alle durchzuprobieren. Deshalb sucht man nach einer Strategie, die vielleicht nicht optimal, aber schnell zu finden ist und für beide Parteien zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führt.

Das Verfahren, das Levine und Stange entwickelt haben, bezeichnen sie als Streichstrategie. Deren Grundprinzip besteht darin, dass der Letzte, der noch ein Gut wählen kann, bevor alles verteilt ist,

das vom Konkurrenten am geringsten geschätzte Gut nimmt. Was aber bedeutet das? Angenommen, B ist derjenige, der den letzten Zug macht, und z das Gut, das von A am geringsten geschätzt wird. A wird dieses Gut z natürlich bis zum



Alles gleich groß?

Foto ddp

Schluss übriglassen, da die Wahl aller anderen Güter ihm eine höhere Punktzahl bringt. Wenn B sich an die Streichstrategie hält, wird auch er z erst bei seinem letzten Zug nehmen. Da sich dies sowohl A als auch B überlegen können, ist damit beiden von Anfang an völlig klar, dass B das Gut z mit seinem letzten Zug bekommt.

Das Teilen lässt sich aus diesem Grunde auch vereinfachen. Das Gut z wird von vornherein von der Liste gestrichen und B zum Schluss automatisch zugesprochen. Es gibt somit ein Gut weniger zu

verteilen, und A ist jetzt der Letzte, der wählt. Wenn das Gut y dasjenige ist, was von den restlichen Gütern von B am geringsten geschätzt wird, dann wird B es bis zum Schluss übrig lassen. A wird es dann getreu der Streichstrategie mit seinem letzten Zug nehmen. Auch dies können sich beide Parteien von vornherein überlegen, so dass auch das Gut y von der Liste gestrichen werden kann und A automatisch bei seinem letzten Zug zugesprochen wird. Auf diese Art und Weise können sich die beiden Geschäftsleute vom letzten Zug aus Schritt für Schritt bis zum ersten Zug zurückhangeln.

Ein Beispiel soll die Streichstrategie verdeutlichen. A und B wollen sich die vier Güter a, b, c und d teilen und haben sie mit a = (3, 3), b = (1, 2), c = (4, 1), d = (2, 4) bewertet. Dabei gibt die erste Zahl in jeder Klammer die Bewertung von A und die zweite die von B an. A darf zuerst wählen; folglich macht B den letzten Zug. Das Gut b wird von A am schlechtesten bewertet, also bekommt B es mit seinem letzten Zug und streicht es aus. Beim vorletzten Zug der Teilung bekommt A das Gut c, da es von B am schlechtesten bewertet wird, und streicht es aus. Auf der Liste stehen nun noch die Güter a und d. B ist jetzt am Zug und nimmt d, da es von den beiden Gütern auf der Liste von A schlechter bewertet wird. Somit bleibt für A im ersten Zug

nur noch das Gut a. Insgesamt erhält A bei dem Verfahren 7 und B 6 Punkte.

Wenn schon eine Strategie nicht optimal sein kann, so sollte sie doch zumindest gut sein. In der Sprache der Spieltheorie, der Disziplin der Mathematik, die sich mit Verfahren zur Entscheidungsfindung in Konfliktsituationen befasst, heißt das, die Strategien der beiden Geschäftsleute sollten ein Nash-Gleichgewicht bilden. Dies besagt, dass beide Geschäftsleute solche Strategien verfolgen sollten, dass es keinem der beiden einen Vorteil bringt, wenn er einseitig von seiner Strategie abweicht. Der Anreiz zum einseitigen Abweichen von den Strategien ist im Nash-Gleichgewicht also außerordentlich gering und bietet deshalb beiden Mitspielern ein recht hohes Maß an Sicherheit. Ein Spiel kann mehrere Nash-Gleichgewichte haben, aber in den meisten Fällen ist es nicht möglich, dasjenige zu finden, das für beide Mitspieler den höchsten Gewinn bringt.

Levine und Stange konnten nun beweisen, dass das Streichverfahren, wenn es von beiden Geschäftsleuten angewendet wird, ein Nash-Gleichgewicht bildet. Die Methode ist sogar besonders robust. Macht einer der beiden Geschäftsleute einen „Fehler“ und weicht für einige Züge vom Streichverfahren ab, kann der andere dennoch getrost mit dem Streichverfahren weitermachen, denn auch für den Rest des Teilens bildet es für beide ein Nash-Gleichgewicht. HEINRICH HEMME

Riskantes Netz

Risikoverhalten – in der Kinder- und Jugendpsychiatrie ist dieser Begriff in den vergangenen zwanzig Jahren zu einer festen Größe geworden. Zündelnde Kinder, rauchende Teenies und Heranwachsende, die sich überschulden: Das Spektrum der gefährlichen und selbstschädigenden Verhaltensweisen erweitert sich ständig. Die Suche nach Ursachen für den Trend dauert noch an, im Gespräch sind die üblichen Verdächtigen: Fernsehkonsum, Computerspiele, die Veränderung der Gesellschaft. Kanadische Wissenschaftler haben jetzt einen gar nicht mehr so ganz neuen Kandidaten ins Spiel gebracht: das Internet. Für ihre Studie, die in der Zeitschrift „Preventive Medicine“ erschienen ist, untersuchten sie den Medienkonsum und das Risikoverhalten von mehr als neuntausend Kindern und Jugendlichen zwischen zehn und 16 Jahren. Den Begriff „Risikoverhalten“ brachen sie dabei herunter auf sechs Verhaltensweisen: Rauchen, Trinken bis zum Rausch, Autofahren ohne Gurt, Cannabiskonsum, illegale Drogen, ungeschützter Sex. Exzessives Fernsehen wies offenbar nur einen moderaten Zusammenhang mit dem Risikoverhalten auf. Die Zeit hingegen, die ein Teilnehmer täglich beim Surfen im Internet verbrachte, beeinflusste den Umgang mit Risiken entscheidend. Im Durchschnitt verbrachten die Jugendlichen täglich mehr als viereinhalb Stunden im Netz. Die Spitzengruppe, die weit darüber hinausgehende Zeiten erreichte, nahm auch um ganze fünfzig Prozent häufiger an riskanten Aktivitäten teil als die übrigen Probanden. Jetzt will das Team aus Ontario den genauen Zusammenhang klären: Ist etwa die im Netz gezeigte Gewalt schuld oder vielleicht die lässige Sprache, mit der man im Chat Coolness beweist? Vermutlich seien Bilder verantwortlich, sagt Studienleiterin Valerie Carson. Die Betrachter neigten dazu, das gezeigte Verhalten zu imitieren. Und Carson identifiziert auch gleich einen Hauptschuldigen: Viel Werbung habe sich inzwischen vom Fernsehen ins Internet verlagert. Doch reicht das als Erklärung wohl noch nicht aus: Immerhin gehen mehr als achtzig Prozent aller Nutzer online, um soziale Netzwerke aufzusuchen. Bilder von realen Nachbarn oder Mitschülern suggerieren hier Jugendlichen eine allgegenwärtige „Peergroup“. Die Strahlkraft der Fotos dürfte noch um einiges stärker sein als die künstlicher Identifikationsfiguren. Und: Wer sechs Stunden täglich online ist, hat wenig Zeit, den Realitätsgehalt der Bildstreifen im wahren Leben zu überprüfen. huch

Viel zu kalt für Embryonen

Wenn zur künstlichen Befruchtung eingefrorene Embryonen verwendet werden, besteht erhöhte Gefahr, das Ungeborene früh zu verlieren. Das ist das Ergebnis einer Studie von Forschern der Jeroen Bosch Frauenklinik im holländischen Herzogenbusch. Monique Brandes und ihre Kollegen haben insgesamt 1809 Schwangerschaften analysiert, die bei unfruchtbaren oder vermindert fruchtbaren Paaren entweder spontan oder mit Hilfe von unterschiedlichen Befruchtungsverfahren zustande gekommen waren. 268 Schwangerschaften überdauerten die ersten Monate nicht. Das waren durchschnittlich 15,8 Prozent. Besonders hoch, nämlich bei 26,2 Prozent, lag die Zahl der Verluste bei jenen Frauen, denen man einen Embryo eingepflanzt hatte, der mittels künstlicher Befruchtung gezeugt und danach eingefroren worden war, um als Reserve für weitere Befruchtungsversuche zu dienen („Reproductive Biomedicine Online“, doi: 10.1016/j.rbmo.2010.10.013). Die genauere Analyse ergab, dass das Einfrieren offenbar eigenständige Risiken birgt, die sich nicht durch die bekannten ungünstigen Faktoren erklären lassen, etwa durch höheres Alter oder Rauchen. mls

Heute

Das Restrisiko der Kernkraft

In der Diskussion über Tschernobyl und Fukushima werden die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen oft falsch interpretiert. Sie sind strikt anlagenbezogen und nicht auf andere Reaktoren übertragbar. Seite N 2

Koran gegen Trinität

Einer der merkwürdigsten Geister der frühen Neuzeit war Adam Neuser. Von reformatorischen Ideen war er ausgegangen, dann aber wollte er nur noch den Monotheismus des Islam gelten lassen. Seite N 4

Unnütze Utilitaristen

Das Bild der Universitäten ist inzwischen stark von Gesichtspunkten der Ausbildung dominiert. Damit gehen Verluste an geistiger Beweglichkeit und allgemeiner Urteilskraft einher. Seite N 5