

Pioniere der Versöhnung

Vor 50 Jahren begann die Kooperation deutscher und israelischer Forscher

Von Elke Bodderas

An einem Tag im Dezember 1959 reichten sich der Physik-Professor Amos de-Shalit und der Chemie-Nobelpreisträger Otto Hahn die Hand, und es war klar: In Zukunft würden israelische und deutsche Forscher enger zusammenarbeiten. Hahn war als Präsident der Max-Planck-Gesellschaft mit seinen Kollegen nach Israel gereist, zum Weizmann-Institut nach Rehovot.

In jenen Tagen im Dezember 1959 kamen in Israel die besten Forscher der beiden renommiertesten Fach-Institute der Welt zusammen – eine Begegnung, die 13 Jahre nach Nazidiktatur und Holocaust auf politischer Ebene noch nicht denkbar gewesen wäre. Erst sechs Jahre später, zwei Jahrzehnte nach Kriegsende, tauschten die Bundesrepublik und Israel Botschafter aus. Die Wissenschaft war der Politik vorausgeeilt.

Inzwischen arbeiten Forscher beider Institute in etwa 50 Projekten der Grundlagenforschung zusammen – von der Kernphysik über die Genetik bis hin zur Neuro- und Molekularbiologie. Ein halbes Jahrhundert der Zusammenarbeit zwischen beiden Instituten ist am Mitt-

wochabend gefeiert worden, im Berliner Hochhaus des Verlages Axel Springer.

Es sind Wissenschaftler gewesen, die die Vorhut der Aussöhnung zwischen Deutschen und Israelis bildeten. Schon zehn Jahre nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs und des Holocausts – kurz vor der legendären Reise der Max-Planck-Delegation nach Israel – hatten sie behutsam versucht, Kontakte zu knüpfen. Die Initiative ging von den Israelis aus. Im Jahre 1957 traf Amos de-Shalit den Max-Planck-Direktor Wolfgang Gentner. Vorsichtig wurde ausgelotet, was möglich war.



Kernphysiker
Amos de-Shalit



Nobelpreisträger
Otto Hahn

Gentner war fasziniert – und als etwa ein Jahr später die Einladung aus Israel kam, gehörte auch er zur sechsköpfigen Delegation, die als Gäste des Weizmann-Instituts zehn Tage lang durch Israel reiste, kluge Varianten physikalischer Formeln besprachen, über den See Geneareth führen, begierig in die Wissenschaft der Kollegen eintauchten und sich von deren Gastfreundschaft beeindrucken ließen.

War es die Mischung aus Wissenschaft, Sightseeing und menschlicher Wärme, die die Reise so erfolgreich gemacht hatte, weshalb sie als eine der berühmtesten Dienstre-

isen der Wissenschaftsgeschichte gilt? Als Alt-Kanzler Konrad Adenauer 1960 von der wundersamen Reise erfuhr, versprach er, die deutsch-israelische Wissenschaft mit drei Millionen Mark zu fördern. Er wies seinen Außenminister an, der israelischen Regierung mitzuteilen, dass es der Bundesregierung „eine besondere Freude sei, dem Weizmann-Institut zu helfen“.

Die Zusammenarbeit begann vorsichtig. Zwei Biochemiker, Feodor Lynen und Ephraim Katzier, später Staatspräsident von Israel, besuchten einander, um ihre Erkenntnisse in der Entwicklungsbiologie zu besprechen. 1961 reiste der deutsche Wissenschaftler Lorenz Krüger nach Israel. Er blieb fast ein halbes Jahr. Im Mai 1966 bekam Adenauer in Rehovot den Ehren doktor des Weizmann-Instituts.

Die Wissenschaft hat zwischen Deutschland und Israel eine Brücke gebaut, „über die später auch die Politik gehen konnte“, sagte Peter Gruss, Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, während der Jubiläumsfeier in Berlin. „Wir haben die gleiche Forschungsphilosophie“, fügte Daniel Zajfman, Präsident des Weizmann Institutes of Science hinzu, „an erster Stelle muss immer die wissenschaftliche Exzellenz stehen“. Die ist jetzt bekräftigt worden: Gestern erhielt die israelische Chemikerin Ada Yonath, bis 2004 Leiterin einer Max-Planck-Arbeitsgruppe in Hamburg, den Chemie-Nobelpreis. „Ein wunderbares Jubiläums-Geschenk“, sagte Zajfman.

Wo die Chemie-Nobelpreisträgerin forscht

Das Weizmann-Institut in Rehovot bietet exzellente Arbeitsbedingungen – 2 500 Kollegen freuen sich mit Professor Ada Yonath

Von Oren Geller (Rehovot)

Das große, aus weißem Jerusalemer-Stein bestehende Tor im nördlichen Teil der Herzl-Strasse, ist der Eingang in eine andere Welt. Nach dem obligatorischen Sicherheitscheck gelangt man in ein Universum, in dem es nicht ganz so hektisch zugeht, wie auf der Hauptstrasse – man ist im weltberühmten Weizmann-Institut. Die Forschungsstätte feiert dieses Jahr nicht nur den 60. Geburtstag ihres Namens, sondern auch den ersten Nobelpreis in ihrer 75-jährigen Forschungsgeschichte.

Als das Nobel-Komitee am 7. Oktober die Chemie-Preisträger für dieses Jahr bekannt gab, war der Jubel in Rehovot groß. Denn unter den drei Wissenschaftlern war auch Prof. Ada Yonath, die 70-jährige Strukturbiologin. Der Preis zuteil, da sie seit den 70er Jahren

des 20. Jahrhunderts in der Strukturklärung von Ribosomen Pionierarbeit geleistet hatte. Für einen Löwen bedeutet dies, dass Yonath die erste war, die einen Proteincomplex innerhalb einer lebenden Zelle per Röntgenstrahlen darstellen konnte. Aufgrund dieser bahnbrechenden Forschung konnten neue Antibiotika entwickelt werden. Die Wissenschaftlerin ist seit 1964 in Rehovot tätig, davor studierte sie in Jerusalem. Obwohl einige Auslandsaufenthalte in den USA und in Berlin folgten, ist sie ein Urgestein des Weizmann-Instituts.

Das ist seit jeher eine höhere Forschungsanstalt, in der etwa 2500 Wissenschaftler den Naturwissenschaften auf dem Grund gehen. Aus aller Welt kommen die Forscher, sogar aus Pakistan und dem Irak, und wegen der hohen Anzahl an internationalen Studenten ist es das

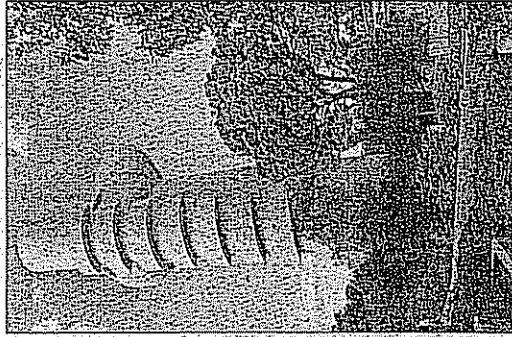
einzig akademische Institut in Israel, an dem Englisch die offizielle Lehrsprache ist. Anfangs war die sich heute auf 125 Hektar befindende Forschungseinrichtung lediglich ein Institut verteilt und beschäftigte lediglich 75 israelische Mitarbeiter. Mit der Zeit wuchs der „Machon“, wie er hier genannt wird, 1955 wurde in Rehovot der erste Computer Israels gebaut, einer der ersten Universarechner außerhalb Europas und der USA. Damit wurden unter anderem Berechnungen über Tidenhub, Erdbeben und Atompektroskopie ange stellt. 2006 wurde dieser raumgroße Rechner vom Weltverband der Elektroingenieure und Informatiker als ein Meilenstein in der Elektronikgeschichte anerkannt.

Weltweit führend in Elektronik

1983 legte ein weiterer Forscher des Instituts, Prof. Mordchai Milgrom, eine bahnbrechende physikalische

Theorie vor, mit der man das Rotationsverfahren ganzer Galaxien besser erklären konnte. 20 Jahre später wurde hier der erste biologische Computer entwickelt, der unterschiedliche Krebszellen erkennen kann.

Optimale Forschungsbedingungen werden nicht immer gegeben. Yonaths erstes Büro war eine nicht fertig umgebaute Toilette, in dem das Klo als Sitzplatz fungierte und das abgedeckte Waschbecken als Tisch herhalten musste. Erst als die Präsidenz Gelder einbrachten und jüdische Philanthropen aus Amerika ihre Herzen und Portemonnaies öffneten, kamen auch bessere Arbeitsbedingungen. Als bekannt wurde, dass Yonath den Nobelpreis bekommt, wurde es zwar ein wenig voller, hinter dem weißen Tor aber nicht hektisch. Denn das weiße Material an Eingang ist kein Elfenbein, und die Forscher stehen mit beiden Beinen im Leben – wie Yonaths Beispiel zeigt.



Der Teilchenbeschleuniger-Turm in der Parkanlage des Weizmann-Instituts ist das Wahrzeichen Rehovots. Foto: Archiv

1. BOTANIK: Formel für Turbopflanzen vom 26.04.2010 - 1085

Zeichen

DER SPIEGEL Seite 145

BOTANIK

Formel für Turbopflanzen

Ron Milo, Biophysiker am israelischen Weizmann Institute, will die Photosynthese neu erfinden. Der biochemische Vorgang, bei dem Pflanzen aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser mit Hilfe von Licht Traubenzucker herstellen, den sie für ihr

Wachstum brauchen, lässt sich effektiver gestalten, als dies die Evolution hervorgebracht hat. Das berichtet der Forscher im Fachblatt „PNAS“. Sind genug Wasser, Licht und Nährstoffe vorhanden, ist die Aufnahme von CO₂ der limitierende Faktor beim Pflanzen-

wachstum. Unter Verwendung mathematischer Modelle hat Milo nun einen Stoffwechselweg identifiziert, bei dem die sogenannte CO₂-Fixierung bis zu dreimal effektiver abläuft als in der Natur. Gelänge es, diesen Prozess durch gentechnische Methoden einzuschleusen, könnte dies Nutzpflanzen zu gewaltigem Wachstum verhelfen.

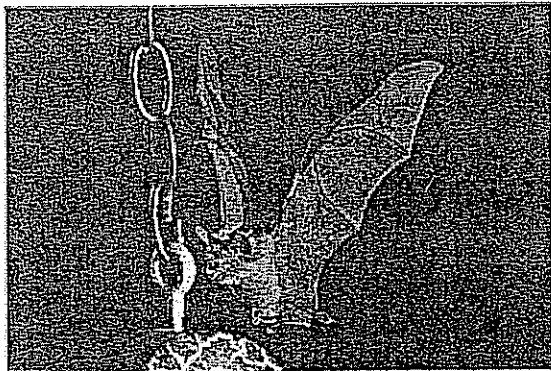


Weizenfeld

ERSTAUNLICH

Flughunde wenden die Gesetze der Sonarphysik an

06. Februar 2010, 18:50



Israelische Forscher haben den Anflug von Flughunden untersucht (Symbolbild).

Die Fledertiere visieren ein Objekt im besten Winkel an, ergaben Berechnungen

Rehovot/Wien - Dass sich Fledertiere auch bei absoluter Dunkelheit mittels Echo-Ortung orientieren können, ist bekannt. Wissenschaftler des Weizmann-Instituts in Rehovot (Israel) haben nun die Winkel untersucht, in denen Flughunde Objekte anvisieren. Das Ergebnis: Ein Ingenieur - in Kenntnis mathematischer Formeln zur Optimierung - könnte es nicht besser; die Tiere wenden die Gesetze der Sonarphysik an.

Einfach ausgedrückt senden Flughunde zur Orientierung hochfrequente Töne aus und schließen dann aus den zurückgeworfenen Schallwellen auf die Beschaffenheit der Umgebung. Zur Verfolgung eines sich bewegenden Objekts ist direktes Anvisieren bei der Echo-Ortung nicht immer günstig. Aus physikalischen Gründen ist eine Beschallung am Rande des Schallkegels besser, da hier die Intensität bei einer Bewegung rascher abnimmt; der Gradient ist steiler.

Versuche im Labor

Die Forscher um Nachum Ulanovsky und Yossi Yovel haben Versuche mit Flughunden unternommen, die darauf trainiert wurden, eine Kugel anzufiegen. Mittels Mikrofonen konnten im Labor genau die Schallkegel vermessen werden, mit welchen die Flattertiere die Kugeln anvisierten. Es zeigte sich rasch ein Muster der für die Nilflughunde typischen Schall-Doppelklicks zur Orientierung.

Beim ersten Set wurde links und dann rechts, beim nächsten Doppelklick dann zuerst rechts und dann links am Objekt vorbeigezielt. "Als sich die Tiere für die Landung näherten, sendeten die Tiere weiterhin ihren Schallkegel zu abwechselnden Seiten der Kugel, exakt so, wie es eine mathematische Formel für Sonar-Ortung als am effektivsten vorhersagt", erklärten die Wissenschaftler. Wenn es dagegen darum geht, überhaupt etwas zu lokalisieren, während es etwa störende Signale von anderen Gegenständen gibt, so visieren die Fledertiere das fragliche Objekt direkt an. (APA/red)



euro argus

International Media Monitoring
& Analyses

Südostschweiz Graubünden

17.09.2009

Auflage/ Seite 36139 / 2

Ausgaben 300 / J.

23198 Weizmann Institute of Science

In Samedan dreht sich alles ums Wasser

Morgen Freitag und am Samstag finden die dritten Wassertage in Samedan statt. Die zentrale Frage lautet dieses Jahr: «Wer trägt die Verantwortung für das Wasser?»

Samedan. – In den vergangenen Jahren war insbesondere das Wassersymposium am Freitagnachmittag beim Publikum beliebt. Dieses Jahr sind unter den Referenten klanghafte Namen aus dem Forschungsbereich zu finden. Daniel L. Vischer, früherer Direktor der Forschungsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich, spricht über das Thema Wasser als Medium und Lebenselixier. Joel Gat, Professor am Weizmann-Institut in Rechovot in Israel, ist Spezialist für Isotope im Wasserkreislauf und wird den Konflikt der Wasserverteilung am Beispiel von Israel und dessen Nachbarländern erläutern. Rik I. L. Eggen, stellvertretender Direktor der Forschungsanstalt Eawag der ETH Zürich, redet über das Thema «Von der Quelle bis zum Vorfluter – Schadstoffe im Wasser».

In der nachfolgenden Wasserarena wird die Runde mit Fachpersonen er-

weitert – namentlich mit Werner Balderer, Privatdozent an der ETH Zürich, Jürg Kappeler von der Kappeler Umwelt Consulting und Albert A. Stahel von der Universität Zürich.

Wasserfestival für Gross und Klein

Morgen und am Samstag werden am Wasserfestival öffentliche Präsentationen und Informationsmodule durchgeführt. Ziel der Wassertage ist es, alle Generationen für das Thema Wasser zu sensibilisieren. Kinder und Erwachsene können beim so genannten Wasser-Parcours selber experimentieren und ihr Wissen unter Beweis stellen. Für das leibliche Wohl der Gäste ist ebenso gesorgt wie fürs kulturelle Rahmenprogramm. Während des Anlasses sowie in den nächsten zwei Wochen wird im Foyer des Gemeindesaals Samedan zudem eine Ausstellung des Bundesamtes für Umwelt zu Themen wie sanitäre Grundversorgung und Mikroverunreinigung zu sehen sein. (ft)

Das Symposium beginnt morgen um 15 Uhr, die Arena um 19.30 Uhr im Gemeindesaal Samedan. Das Wasserfestival bei der Chesa Planta findet morgen und am Samstag von 9 bis 18 Uhr statt.

Der Duft der Kindheit

Warum wir uns an frühe Gerüche bis an unser Lebensende erinnern

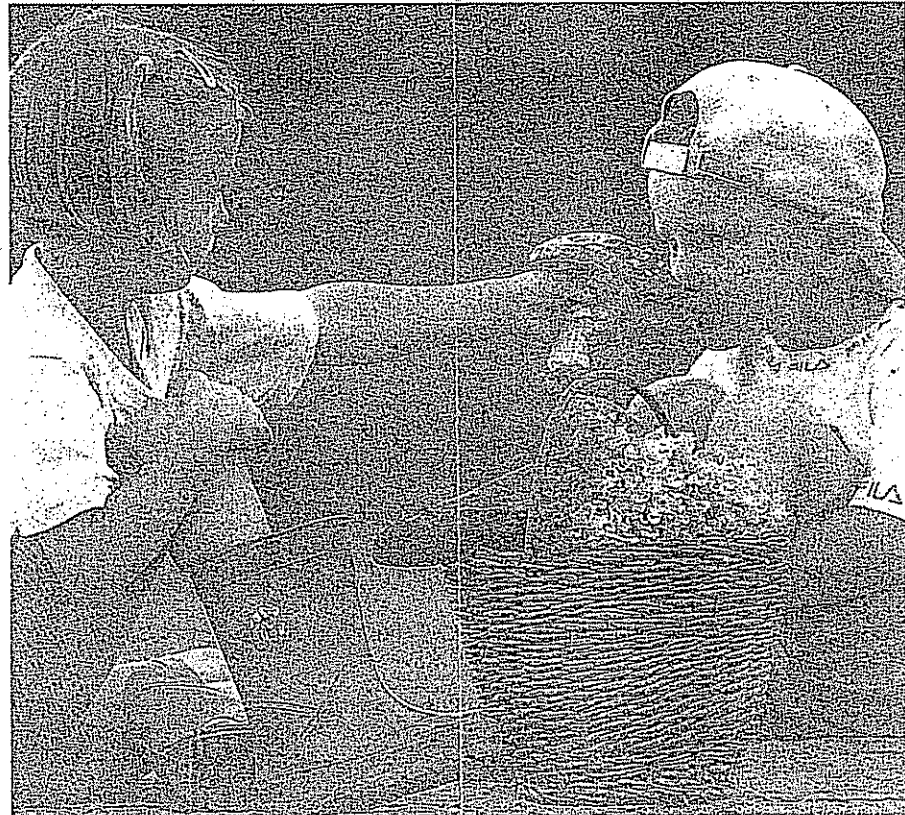
VON SUSANNE DONNER

Die Nase ist ein unbestechlicher Zeitzeuge. Der Geruch des Schulflures oder der Duft des ersten Weihnachtsfestes lassen sofort einen persönlichen Kinofilm vor dem geistigen Auge ablaufen. Wie dominant der Geruchssinn unser Denken bestimmt und wie wenig die übrigen Sinne wie das Hören im Vergleich dazu zu sagen haben, beschreiben israelische Forscher um Yaara Yeshurun vom Weizmann Institute of Science in Rehovot in „Current Biology“.

Sie unterzogen acht Männer und sieben Frauen von durchschnittlich 25 Jahren einem Experiment. Die Testpersonen wurde jeweils ein Bild eines Gegenstandes etwa eines Stuhls gezeigt. Dazu wurde ein Duft in die Luft abgegeben. Pfirsich-, Zitrone-, Stall- und Fischgeruch standen zur Auswahl. Jedes Motiv wurde danach mit einem zweiten Geruch kombiniert. Tauchten also zuerst Stallmief und Stuhl zusammen auf, so wurde später Zitronenduft mit dem Stuhl kombiniert.

In einem zweiten Durchgang wurde das Experiment mit Gegenständen und verschiedenen Geräuschen wiederholt. Eine Woche nach diesen Hör- und Riechtests wurden die Fotos denselben Personen erneut gezeigt. Sie lagen nun in einem Magnetresonanztomografen, sodass die Forscher direkt in ihr Gehirn blicken konnten. Bei jedem Bild sollten sich die Probanden an den zugehörigen Geruch oder Laut erinnern. Der Gedanke an den zuerst wahrgenommenen Stallmief beim Stuhl regte dabei den Geist weitaus mehr an als an der nachfolgend gerochene Zitrusluft. Vor allem im Erinnerungs- und Gedächtniszentrum feuerten die Nervenzellen eifrig, wenn das initiale Dufterlebnis hervorgekramt wurde. „An die erste Begegnung mit einem Geruch erinnern wir uns sehr stark, viel stärker als an alle folgenden Erlebnisse mit demselben Geruch“, interpretiert Yeshurun die Befunde.

Gehörtes hinterlässt dagegen beim ersten Mal keine stärkeren Spuren im Gehirn, als beim zweiten Mal. Geräusche graben sich al-



Mhmm, das riecht gut! Was wir in jungen Jahren gerne schnuppern, mögen wir meist bis ins hohe Alter

so nicht so tief ins Gedächtnis ein. Die Beobachtung deckt sich mit der Alltagserfahrung.

Düfte katapultieren uns direkt zurück in die Kindheit und lassen die erste Begegnung wieder in den Sinn kommen. Diese Zeitreise in die Vergangenheit funktioniert bis ins hohe Alter. „Wenn man als 83-Jähriger zum ersten Mal Popcorn isst, wird man bei jeder weiteren Tüte immer in diesen Augenblick zurückversetzt“, sagt Yeshurun. Dabei ist die Erinnerung hoch emotional. Wahrscheinlich lässt sich nach einiger Zeit nicht einmal mehr sagen, welchen Film man zum Popcorn sah. Aber das Gefühl und die Neugierde auf den unbekanntem Geschmack werden sofort wieder präsent sein. Für Geruchsforscher Hanns Hatt passen diese Erkenntnisse in das bisherige Bild

über die Nase: „Der Geruch ist das Sinnessystem mit dem schnellsten und direktesten Zugang zu den emotionalen Kerngebieten des Gehirns, den Erinnerungs- und Ge-

Was stinkt, das stinkt

☒ Unangenehme Gerüche bleiben länger im Gedächtnis hängen als angenehme. Fischgestank beispielsweise warnt uns zuverlässig vor verdorbenem Essen.

☒ Gerüche, die man einmal als unangenehm abgestempelt hat, haben kaum eine Chance, rehabilitiert zu werden. Wenn einem das Lieblingsgericht zum Beispiel einmal schlecht bekommt, wird man sich danach schon vor dem bloßen Essensgeruch ekeeln.

dächtniszentren.“ Kein anderer Sinn ist so direkt und schnell ans Hirn angebunden.

Der Geruchssinn ist deshalb der wichtigste Sinn. Jede Entscheidung und jedes Gefühl ist vom bisherigen Gerucherleben geprägt. „Wir glauben, dass die bewusste Wahrnehmung auf Hören und Sehen beruht. Dem ist aber nicht so“, sagt Hatt. Weshalb sich einmal Gerochenes so hartnäckig im Kopf niederlässt, wissen die Forscher nicht genau. Einleuchtend erklärt sich die Vormachtstellung der Nase alleine aus der Evolution. Der Gestank nach faulen Eiern warnt vor giftigen Schwefelverbindungen. „Deswegen ist es besonders wichtig, dass man sofort unangenehme Empfindungen bekommt und die Gerüche meidet“, erklärt Hatt.

Der Duft der Kindheit

Israelische Forscher entschlüsseln, warum wir uns an frühe Gerüche bis an unser Lebensende erinnern

Von Susanne Donner

REHOVOT – Die Nase ist ein unbestechlicher Zeitzeuge. Der Geruch des Schulflores oder der Duft des ersten Weihnachtsfestes lassen sofort einen persönlichen Kinofilm vor dem geistigen Auge ablaufen. Wie dominant der Geruchssinn unser Denken bestimmt und wie wenig die übrigen Sinne wie das Hören im Vergleich dazu zu sagen haben, beschreiben israelische Forscher um Yaara Yeshurun vom Weizmann Institute of Science in Rehovot in „Current Biology“.

Sie unterzogen acht Männer und sieben Frauen von durchschnittlich 25 Jahren einem Experiment. Die Testpersonen wurde jeweils ein Bild eines Gegenstandes etwa eines Stuhls gezeigt. Dazu wurde ein Duft in die Luft abgegeben. Pfirsich-, Zitronen-, Stall- und Fischgeruch standen zur Auswahl. Jedes Motiv wurde danach mit einem zweiten Geruch kombiniert. Tauchten also zu-

erst Stallmief und Stuhl zusammen auf, so wurde später Zitronenduft mit dem Stuhl kombiniert.

In einem zweiten Durchgang wurde das Experiment mit Gegenständen und verschiedenen Geräuschen wiederholt.

Eine Woche nach diesen Hör- und Riechtesten wurden die Fotos denselben Personen erneut gezeigt. Sie lagen nun in einem Magnetresonanztomografen, sodass die Forscher direkt in ihr Gehirn blicken konnten. Bei jedem Bild sollten sich die Probanden an den zugehörigen Geruch oder Laut erinnern.

Der Gedanke an den zuerst wahrgenommenen Stallmief beim Stuhl regte dabei den Geist weitaus mehr an als an der nachfolgend gerochene Zitrusluft. Vor allem im Erinnerungs- und Gedächtniszentrum feuerten die Nervenzellen eifrig, wenn das initiale Dufterlebnis hervorgekramt wurde. „An die erste Begegnung mit einem Geruch erinnern wir uns sehr stark, viel stärker

als an alle folgenden Erlebnisse mit demselben Geruch“, interpretiert Yeshurun die Befunde.

Gehörtes hinterlässt dagegen beim ersten Mal keine stärkeren Spuren im Gehirn, als beim zweiten Mal. Geräusche graben sich also nicht so tief ins Gedächtnis ein.

Die Beobachtung deckt sich mit der Alltagserfahrung. Düfte katalysieren uns direkt zurück in die Kindheit und lassen die erste Begegnung wieder in den Sinn kommen. Diese Zeitreise in die Vergangenheit funktioniert bis ins hohe Alter. „Wenn man als 83-Jähriger zum ersten Mal Popcorn isst, wird man bei jeder weiteren Tüte immer in diesen Augenblick zurückversetzt“, sagt Yeshurun. Dabei ist die Erinnerung hoch emotional. Wahrscheinlich lässt sich nach einiger Zeit nicht einmal mehr sagen, welchen Film man zum Popcorn sah. Aber das Gefühl und die Neugierde auf den unbekanntesten Geschmack werden sofort wieder präsent sein.

Für Geruchsforscher Hanns Hatt passen diese Erkenntnisse in das bisherige Bild über die Nase: „Der Geruch ist das Sinnessystem mit dem schnellsten und direktesten Zugang zu den emotionalen Kerngebieten des Gehirns, den Erinnerungs- und Gedächtniszentren.“ Kein anderer Sinn ist so direkt und schnell ans Hirn angebunden. Der Geruchssinn ist deshalb der wichtigste Sinn. Jede Entscheidung und jedes Gefühl ist vom bisherigen Geruchserleben geprägt. „Wir glauben, dass die bewusste Wahrnehmung auf Hören und Sehen beruht. Dem ist aber nicht so“, sagt Hatt.

Weshalb sich einmal Gerochenes so hartnäckig im Kopf niederlässt, wissen die Forscher nicht genau. Einleuchtend erklärt sich die Vormachtstellung der Nase alleine aus der Evolution. Der Gestank nach faulen Eiern warnt vor giftigen Schwefelverbindungen. „Deswegen ist es besonders wichtig, dass man sofort unangenehme Empfindun-

gen bekommt und die Gerüche meidet“, erklärt Hatt. Dazu passt auch, dass es Stankmoleküle gibt, die keine Menschenseele mag. Die Schwefelsubstanzen zählen dazu.

In dieses Bild passt auch ein weiteres Ergebnis aus Yeshuruns Studie. Bewusst erinnern kann man sich zuallererst an unangenehme Gerüche. Fischgestank warnt den Menschen somit zeitlebens zuverlässig vor einer verdorbenen Speise. Dagegen verblasst die Erinnerung an positive Wahrnehmungen viel rascher. „Da bleibt immer die Möglichkeit, die Meinung zu ändern“, sagt sie. Tatsächlich ereift einen der Sinneswandel dann meist urplötzlich. Wenn das Lieblingsgericht eines Tages schlecht bekommt, wird man sich danach schon vor dem bloßen Essensgeruch ekeln. Diese Ablehnung hält sich hartnäckig. Gerüche, die man einmal als unangenehm abgestempelt hat, haben kaum eine Chance, rehabilitiert zu werden.



Eiweißfabriken aller Lebewesen analysiert

Chemie-Nobelpreis an drei Forscher

Stockholm (dpa) – Der Nobelpreis für Chemie geht in diesem Jahr an drei Zellforscher für die Analyse der Eiweißfabriken aller Lebewesen. Ada Jonath, Thomas Steitz und Venkatraman Ramakrishnan haben Form und Funktion des Ribosoms aufgeklärt. Diese Maschine übersetzt in der Zelle die Erbinformation in die universellen Werkzeuge allen Lebens, die Proteine (Eiweiße). Die höchste Auszeichnung für Chemiker ist mit umgerechnet knapp einer Million Euro (zehn Millionen Schwedischen Kronen) dotiert; die Forscher erhalten sie zu gleichen Teilen.

„Ribosomen machen irgendwie alles möglich“, sagte Mans Ehrenberg, Mitglied des Nobelpremie-Komitees. Zu den wichtigsten praktischen Anwendungen gehören neue Antibiotika: Wer damit die Übersetzungsarbeit der Ribosomen in krank machenden Bakterien stört, kann die Keime töten.

„Es hat die Richtigen getroffen“, sagte der Leiter der Ribosomen-Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik in Berlin, Knud Nierhaus, voller Freude. Alle drei

seien führende Persönlichkeiten des Gebietes. Jonath habe viele ihrer Entdeckungen in Berlin und am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg gemacht.

Die Israelin Jonath ist Molekularbiologie-Professorin am Weizmann-Institut in Rehovot. „Ich bin immer noch ziemlich durcheinander. Aber sehr, sehr glücklich“, sagte sie nach dem Anruf aus Stockholm. Sie ist die erste Israelin, die in die Annalen der Preisträger eingeht.

Der in Indien geborene US-Bürger Ramakrishnan ist Gruppenleiter am Molekularbiologie-Labor des britischen Medical Research Councils in Cambridge. „Ich schulde all meinen brillanten Kollegen, Studenten und Mitarbeitern großen Dank“, erklärte er. Sein Landsmann Steitz arbeitet als Professor für molekulare Biophysik und Biochemie am Howard Hughes Medical Institute der Yale-Universität in den USA. „Das ist sehr aufregend. Man denkt oft, dass es passieren könnte, aber kann sich nicht sicher sein“, sagte der Wissenschaftler gestern zur Nachricht aus Stockholm.

Schnappschüsse aus dem Kernprozess allen Lebens

AUSZEICHNUNG Chemie-Nobelpreise für drei Wissenschaftler – Erste israelische Preisträgerin

STOCKHOLM/DPA – Die diesjährigen Chemie-Nobelpreisträger haben einen „Kernprozess“ des Lebens entdeckt: Die „Übersetzung der Erbinformation in alles Lebendige“, wie es das Nobel-Komitee ausdrückte. Winzige Eiweißfabriken in den Zellen lesen die Information, die in den Genen steckt, und produzieren mit Hilfe dieser Bauanleitung dann etwa Hormone, Verdauungsenzyme oder Muskelbestandteile. Für ihre Arbeiten zur Struktur und Funktion der Eiweißfabriken (Ribosomen) erhalten drei For-

ÜBERREICHUNG AM 10. DEZEMBER

Die feierliche Überreichung der Nobel-Auszeichnungen findet traditionsgemäß am 10. Dezember statt, dem Todestag des

schwedischen Erfinders, Chemikers und Preisstifters Alfred Nobel (1833–1896).
→ @ info: www.nobel.se

scher aus Israel und den USA den Chemie-Nobelpreis. Ihre Arbeit hat schon vielen Menschen das Leben gerettet, denn ein großer Teil der Antibiotika basiert auf ihren Erkenntnissen.

Die Israelin Ada Jonath

(70), die viele ihrer wesentlichen Arbeiten in Deutschland gemacht hat, gilt als Pionierin der Ribosomenforschung. Heute arbeitet die Molekularbiologie-Professorin am Weizmann-Institut in Rehovot (Israel). Die beiden anderen

Preisträger haben als erste die Struktur der zwei Ribosomenbestandteile erkannt: Venkatraman Ramakrishnan (57), heute im britischen Cambridge, analysierte die kleinere, Thomas Steitz (69) von der Yale-Universität (USA) die größere Einheit.

Das Prinzip der Ribosomen funktioniert in Bakterien ebenso wie in Pflanzen und Tieren. Da die Ribosomen von Bakterien etwas anders aufgebaut sind als die von Menschen, steckt dort ein wertvoller Ansatz für Antibiotika. Rund vier Jahrzehnte hat

das Rennen gedauert, bis alle Rivalen Ende der 1990er Jahre auf die Zielgerade einbogen: Die Aufdeckung der Struktur von Ribosomen.

Mit Strukturaufnahmen der Eiweißherstellung (Proteinsynthese) hatten die Forscher ein lang verfolgtes Ziel erreicht. Mittels der Röntgenkristallographie gelang es den Wissenschaftlern, verschiedene Teile der Ribosomen in Schnappschüssen darzustellen. Dabei werden Kristalle von aufgereinigten Ribosomen gezüchtet und mit Röntgenstrahlen beleuchtet.

Fax: 089/2183-9809
Eiweiß vom Fließband

Chemie-Nobelpreis 2009: Zwei Amerikaner und eine Israelin haben entdeckt, wie Ribosomen arbeiten

Wenn Frank Schlünzen sich an seine Zusammenarbeit mit Ada Yonath erinnert, klingt er ehrlich bewundernd. „Ich glaube nicht, dass es in ihrer Zeit bei uns am Elektronen-Synchrotron eine Nacht gab, in der sie länger als eine Stunde geschlafen hat“, sagt der Physiker. „Sie hatte nur eine Matratze neben dem Laborliegen.“

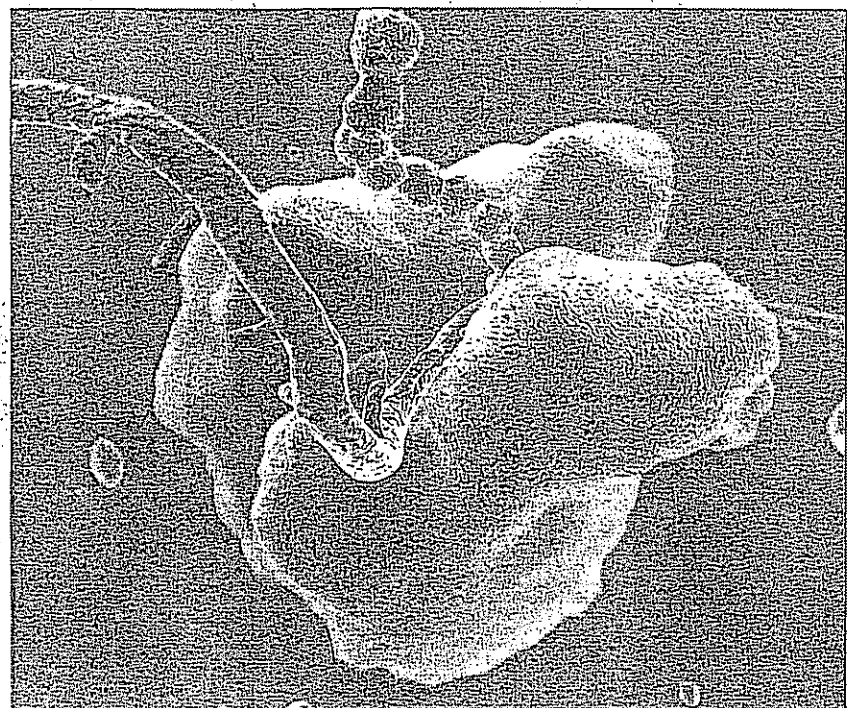
Nicht nur Frank Schlünzen ist von der unermüdbaren Arbeit seiner ehemaligen Chefin am Hamburger Teilchenbeschleuniger Desy beeindruckt. Die Königl. Schwed. Akademie der Wissenschaften würdigt Yonaths Forschung nun mit der höchsten Auszeichnung, die in den Naturwissenschaften zu bekommen ist. Die Israelin Ada Yonath erhält zusammen mit den Amerikanern Thomas Steitz und Venkatraman Ramakrishnan den diesjährigen Chemie-Nobelpreis. Die drei haben Struktur und Funktion der Ribosomen aufgeklärt. Sie finden sich in je-

Ada Yonath schlief auf einer Matratze im Labor

der lebenden Zelle, unabhängig davon, ob es sich um einen Cholera-Erreger, eine Rose, einen Regenwurm, einen Tiger oder einen Menschen handelt. Jedes Ribosom besteht aus hunderttausenden Atomen. Mit Hilfe der sogenannten Röntgenstrukturanalyse haben die drei Laureaten die Position jedes einzelnen dieser Atome ermittelt.

Das klingt nach zähen, sehr theoretischen und vielleicht sogar etwas langweiligen Experimenten. Doch die Arbeiten von Yonath, Steitz und Ramakrishnan haben dazu beigetragen, eine der zentralen Fragen des Lebens zu beantworten: Wo und wie entstehen aus dem Erbgut gespeicherten Informationen zehntausende von Eiweißstoffen, die das Leben ausmachen? Hämoglobin zum Beispiel, das Sauerstoff von den Lungen im Blut durch den ganzen Körper transportiert, Antikörper, die Krankheitserreger abwehren oder Keratin, aus dem Haare und Nägel bestehen. Ribosomen sind die Übersetzungsmaschine, die aus dem Erbgut Eiweißstoffe macht.

Lange haben Forscher nicht verstanden wie die Informationen der DNS, die sich bei den meisten Tieren und Pflanzen im Zellkern, einem abgeschlossenen Bereich der Zelle, befindet, zu den Ribosomen kommen. Anfang der 1960er Jahre



Ein Ribosom bei der Arbeit: Es übersetzt die Information der Gene in Proteine, ohne die kein Leben möglich ist. Wie dieser Vorgang im Detail funktioniert, haben die drei Nobelpreisträger entdeckt. Bild: Hybrid Medical Animation / S

entdeckten Wissenschaftler, dass die Zellen Kopien des Bauplans auf der DNS anfertigen. Die Kopien, die die Forscher als Boten-RNS bezeichneten, schwimmen aus dem Zellkern hinaus. Gleitet ein solcher Bote an einem Ribosom vorbei, wird er von diesem quasi eingefangen. Ähnlich wie das Erbgutmolekül DNS besteht auch die Boten-RNS aus einer Kette mit nur vier verschiedenen „Perlen“: den Aminosäuren Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Uracil (U).

Zunächst war es den Wissenschaftlern ein Rätsel, wie lediglich vier Bausteine die Information für die verschiedenen Arten von Eiweißstoffen enthalten können, die sich aus immerhin 20 verschiedenen Aminosäuren zusammensetzen. Doch dann knackten sie den genetischen Code. Jeweils drei „Perlen“ auf der Boten-RNS stehen für eine Aminosäure. Liest das Ribosom auf der eingefangenen Boten-RNS beispielsweise „UUU“, sucht es die Aminosäure Phenylalanin; kommt danach die Perlenfolge „GCCU“, hängt es als nächstes die Aminosäure Alanin an den entstehenden Eiweißstoff. Wie am Fließband liest das Ribosom eine Dreierkombination nach der anderen von der Boten-RNS ab. Je weiter es dabei vorankommt, umso länger wird die Aminosäurekette, die am anderen Ende des Ribosoms entsteht – solange, bis die gesamte Boten-RNS abgelesen und der Eiweißstoff fertig ist. Wissenschaftler bezeichnen diesen Produktionsprozess in der Zelle als Translation.

Die Arbeitsweise der Ribosomen zu verstehen, hat Jahrzehnte gedauert. 20 Jahre lang forschte allein Yonath an der Aufklärung ihrer Struktur, ohne Ergebnisse zu erhalten. Für sie war das kein Grund, aufzugeben: „Ihr hervorstechendster Charakterzug ist ihre Beharrlichkeit“, sagt Frank Schlünzen über die Preisträgerin, die insgesamt 22 Jahre in Deutschland geforscht hat.

Erst vor fünf Jahren kehrte sie vom Hamburger Teilchenbeschleuniger Desy zurück zu ihrer Professur für Molekularbiologie am israelischen Weizmann-Institut. Dank der Arbeiten der drei Preisträger versteht man inzwischen bis ins kleinste Detail, wie die Eiweißmaschine der Ribosomen arbeitet. Ein Ribosom besteht aus zwei Unterheiten – Tho-

mas Steitz und Venkatraman Ramakrishnan haben jeweils die Struktur einer dieser Komponenten aufgeklärt.

Der Amerikaner Venkatraman Ramakrishnan, den die meisten Kollegen nur Venki nennen, ist der jüngste der drei Preisträger. Geboren wurde er 1952 im südlichsten Zipfel Indiens, und nicht nur geographisch war es für ihn ein weiter Weg bis zur Ribosomenforschung. In den USA promovierte er in theoretischer Physik, bevor er, nun wieder als Student, Kurse in Biologie belegte. Es schien die richtige Entscheidung gewesen zu sein, denn seither ist er seinem Forschungsthema treu geblieben. Am Labor für Molekularbiologie, das zur Universität Cambridge gehört, ist Ramakrishnan in bes-

Warum Antibiotika gegen Keime wirken

ter Gesellschaft: 13 weitere Laureaten, unter ihnen Francis Crick und James Watson, die die Struktur des Erbgutmoleküls DNS aufgeklärt haben, stammen von hier.

Die Karriere des dritten Chemie-Nobelpreisträgers zeigt, wie sehr in der modernen Wissenschaft die Grenzen zwischen den Disziplinen verschwimmen: Der 1940 in den USA geborene Steitz promovierte in Molekularbiologie, hat heute eine Professur für Molekulare Biophysik

in Yale inne – und arbeitet nebenher als Unternehmer. Denn die Arbeiten der drei Forscher haben auch ganz praktische Folgen. Da funktionierende Ribosomen für jedes Lebewesen, also auch für Krankheitserreger überlebenswichtig sind, bieten sie einen idealen Angriffspunkt für Medikamente. Wie sich das in der Praxis umsetzen lässt, daran arbeitet unter anderen die Firma Rib-X-Pharmaceuticals, deren Mitgründer Thomas Steitz ist.

Es gibt bereits verschiedene Antibiotika, die Bakterien abtöten, indem sie ihre Ribosomen blockieren. Das funktioniert, weil sich Bakterien- und Menschen-Ribosomen in ihrem Aufbau unterscheiden. Alle drei Preisträger haben gezeigt, auf welche Weise verschiedene Antibiotika die Bakterien-Ribosomen lahmlegen: manche verstopfen den Tunnel, durch den die wachsende Aminosäurekette das Ribosom verlässt, andere hindern die Eiweißmaschine daran, Aminosäuren miteinander zu verknüpfen.

Allerdings werden immer mehr Krankheitserreger unempfindlich gegen die bereits existierenden Antibiotika. Doch seit man die Struktur der Ribosomen bis ins kleinste Detail kennt, ist es möglich, Antibiotika mit neuen Angriffspunkten zu entwickeln. Einige dieser Medikamente, die etwa multiresistente Krankheitserreger abtöten sollen, gegen die keines der herkömmlichen Mittel mehr hilft, werden bereits am Menschen erprobt.

TINA BAIER / KATRIN BLAWAT



Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz und Ada Yonath (von links) teilen sich den Chemie-Nobelpreis. Foto: Reuters

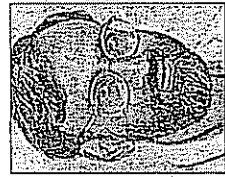
Wie aus Genen Leben wird

Chemie-Nobelpreis geht an drei Forscher, die den Aufbau der Eiweißfabriken in den Zellen aufklärten – Große Bedeutung für die Medizin

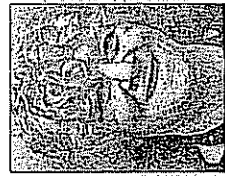
Von Wolfgang W. Merkel

Stockholm – Wie werden aus den Erbinformationen im Zellkern die Werkzeuge des Lebens – die Eiweiße? Zentrale Organe in diesem Geschehen sind die Ribosomen in jeder Zelle. Ihren Aufbau haben eine israelische und zwei US-wissenschaftler erforscht. Sie erhalten dafür den mit rund einer Million Euro dotierten Chemie-Nobelpreis 2009.

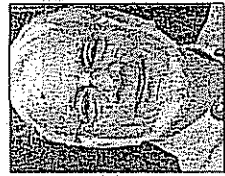
Die Auszeichnung geht zu gleichen Teilen an Ada E. Jonath (70) vom Weizmann-Institut in Rehovot, den in Indien geborenen und am Medical Research Council im britischen Cambridge arbeitenden Venkataran Ramakrishnan (57) sowie Thomas A. Steitz (69), der am Howard Hughes Medical Institute der Yale-Universität in New Haven arbeitet. Jonath hat zwischen 1979 und 1983 sowie 1986 bis 2004 als Gastprofessorin am Berliner Max-Planck-Institut (MPI) für Molekulare Genetik geforscht. Die Arbeiten der drei sind Grundlagenforschung, können aber auch zu neuen Medikamenten und zu deren effizienteren Herstellung führen. Tausende Enzyme in jedem Organismus kontrollieren als Biokatalysatoren biochemische Reaktionen. Sie zerlegen im Darm Nähr-



Venkataran Ramakrishnan, Cambridge (GB)



Thomas A. Steitz, Yale University, New Haven (USA)



Ada E. Jonath, Weizmann-Institut, Rehovot (Israel)

stoffe und stellen daraus neue Bausteine für den Organismus her, sie aktivieren Hormone und Botenstoffe und regeln die Energieproduktion. Kurz: Enzyme sind die Arbeiter des Lebens. Nach ihrer chemischen Struktur gehören sie zu den Eiweißen (Proteinen). Auch Haare, Haut und Muskeln enthalten Eiweiß. Hämoglobin sind Eiweiße.

Wie sie in den Ribosomen hergestellt werden (vom Einzeller bis zum Mammutbaum oder Menschen), ist das Lebensstigma der drei Forscher. Ihre Erkenntnisse könnte man auch überschreiben mit „Wie aus Genen Leben wird.“

Denn Grundlage des Eiweißaufbaus sind die genetischen Baupläne im Zellkern, gespeichert in Form

genkristallogramme zuwandten. Nahezu gleichzeitig, im August und September 2008, publizierten sie – Steitz, einerseits und Jonath zusammen mit Ramakrishnan – die ersten scharfen Bilder, die die Positionen der Atome in den Untereinheiten des Ribosoms zeigten. Die Eiweißfabrik war entschlüsselt.

Vor allem Mediziner und Pharmakologen interessieren sich dafür. So haben einige Forscher ein Ribosom künstlich hergestellt. Sie wollen Eiweiße effizienter als bisher synthetisieren. Das könnte für die Herstellung von Impfstoffen und Medikamenten bedeutsam sein. Heute schafft man biologische Medikamente mit genteilich unpräparierten Bakterien und Hefen. Doch 90 Prozent der Biomasse sind nutzlos, für ein paar Gramm Medizinemeinprotein wird ein Kilogramm Biomasse produziert. Mit künstlichen Ribosomen könnte das effizienter gelingen.

Eine andere nicht minder wichtige Seite der nobelpreisgekrönten Arbeit

beiten: Viele gängige Antibiotika zerstören pathogene Bakterien, indem sie deren Ribosomen knacken. Die genaue Kenntnis der Ribosomenstruktur – beim Bakterium und beim Menschen – könnte zu neuen Antibiotika führen, die die menschlichen Proteinfabriken schonen und die bakteriellen zerstören.

In Pharmafabriken synthetisch hergestellte Medikamente haben zudem einen gravierenden Nachteil: Oft entstehen zwei Formen, die zwar dieselben Atome enthalten, aber einen spiegelbildlichen Aufbau besitzen. Sie verhalten sich wie Original und Spiegelbild zueinander. In Organismen ist in der Regel nur eine von beiden aktiv, nur eine Substanzform ist medizinisch relevant. Die andere ist im besten Fall irrelevant, im schlimmsten Fall aber toxisch, erbgut- oder fruchtenschädigend. Das hat der Fall Contergan in den 60er-Jahren dramatisch gezeigt.

Heute umgehen Arzneiersteller dieses Risiko, indem sie die gewünschte Variante von der unerwünschten technisch aufwendig abtrennen. Künstliche Ribosomen könnten dieses Problem umgehen, indem sie – dem Leben nachempfunden – nur noch das eine relevante Eiweiß herstellen würden.

WELT ONLINE

Wichtige Neuerungen aus Naturwissenschaften und Technik.
welt.de/meldung

NOBELPREIS FÜR CHEMIE

Die Bakterienpeiniger

VON NORA SCHLÖTER, HAMBURG

Eitel Sonnenschein klingt anders. Zeitweise habe ein „erbitterter Wettbewerb“ geherrscht zwischen Ada Yonath, Thomas Steitz und Venkatraman Ramakrishnan, sagte der Sprecher des Nobelpreis-Komitees – und ergänzte hastig: „Aber es ging immer freundlich zu.“ Seit gestern eint die Konkurrenten der Nobelpreis für Chemie.

Ihre gemeinsame Leistung: Die Entschlüsselung des Ribosoms, der Proteinfabrik der Zelle. Ihre Arbeiten haben zur Entwicklung neuer Antibiotika geführt, diese blockieren die Ribosomen im Bakterium. Besonders im Kampf gegen multiresistente Erreger suchen Forscher und Pharmaindustrie nach neuen Stoffen, die Bakterien-Ribosomen lahmlegen, auch Preisträger Steitz hat dafür eine Firma gegründet.

Ada Yonath ist nach 45 Jahren die erste Frau, die den Chemie-Nobelpreis erhält. Als die Israelin sich Ende der 70er-Jahre daran machte, die Struktur des Ribosoms aufzuklären, wurde sie noch von vielen Kollegen belächelt. Sie hielten das Molekül für zu groß und zu kompliziert, um mit dem Röntgenmikroskop verwertbare Bilder davon machen zu können. „Ich habe selbst nicht immer daran geglaubt“, gestand die 70-jährige Preisträgerin, die heute am renommierten Weizmann-Institut in Rehovot arbeitet.

Das Ribosom stellt in der Zelle Proteine her. Als Vorlage bekommt es aus dem Zellkern Kopien von DNA-Abschnitten, liest sie wie einen Bauplan ab und fügt Schritt für Schritt Aminosäuren zum gewünschten Protein zusammen. „Proteine sind dafür verantwortlich, dass wir sehen, hören, riechen, gehen und sprechen können“, sagte Nobelkomitee-Mitglied Mans Ehrenberg und folgerte: „Ribosomen machen irgendwie alles möglich. Auch diese Pressekonferenz.“

Lange Zeit sei es sehr einsam gewesen um Yonath, sagte Nobelprejuror Claes Gustafsson. Erst als sie zeigen konnte, dass eine Strukturanalyse des Ribosoms grundsätzlich möglich ist, entdeckten auch andere Wissenschaftler das Forschungsgebiet für sich. Am Max-Planck-Institut für strukturelle Biologie in Hamburg, wo Yonath von 1985 bis 2004 eine



Aufbruch: Ada Yonath (l.) ist erst die vierte Frau, die den Chemie-Nobelpreis erhält. Sie bereitete den Weg, auf dem Thomas Steitz (o. r.) und Venkatraman Ramakrishnan (u. r.) folgten

WEIBLICHE PREISTRÄGER

1911 Marie Curie für die Entdeckung und Erforschung der Elemente Radium und Polonium. Bereits 1903 hatte sie gemeinsam mit ihrem Mann Pierre den Physik-Nobelpreis für ihre Pionierarbeit im Bereich der Radioaktivität erhalten.

1935 Irène Joliot-Curie für die Synthese neuer radioaktiver Elemente. Die Tochter von Marie Curie trat mit ihrer Forschung in die Fußstapfen ihrer Eltern. Den Nobelpreis erhielt sie gemeinsam mit ihrem Mann, Frédéric Joliot.

1964 Dorothy Crowfoot Hodgkin für die Entschlüsselung der Struktur wichtiger biologischer Substanzen. Um den Aufbau von Penicillin, Vitamin B und Insulin zu erforschen, durchleuchtete Hodgkin Kristalle dieser Substanzen mit einem Röntgenstrahl. Aus dem Muster der ausfallenden Strahlung errechnete sie den atomaren Aufbau.

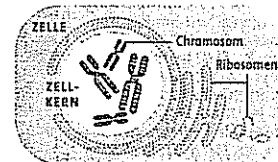
Forschungsgruppe leitete, erinnern sich Kollegen an den unermüdlichen Einsatz der ersten israelischen Nobelpreisträgerin: „Sie hat während der Experimente oft im Labor geschlafen.“ Yonath wurde gestern indes von der Flut der Glückwünsche überrollt: „Ich bin in den Untergrund gegangen“, witzelte sie.

Thomas Steitz, der wie seine Frau Joan an der US-Eliteuniversität Yale forscht, entschlüsselte 2000 erstmals die Struktur der größeren von zwei Untereinheiten des Ribosoms. Yonath und Ramakrishnan schafften es beinahe zeitgleich, auch die kleinere Einheit zu entschlüsseln. Der in Indien geborene Ramakrishnan, heute Forscher beim Medical Research Council in Cambridge, fand außerdem heraus, wie das Ribosom Fehler korrigiert. „Das Spannende an meiner Arbeit besteht darin, etwas sichtbar zu machen, das noch kein Mensch auf diesem Planeten gesehen hat“, sagt der 57-jährige. Knud Nierhaus vom Berliner Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik bezeichnet Ramakrishnan als genial: Mehrfach habe er das Forschungsfeld gewechselt und jedes Mal schnell zu dessen führenden Köpfen gehört.

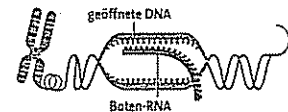
MIT DPA

Eiweißshaker

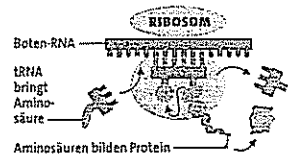
Wie Zellen Proteine bilden



Übersetzer Die Ribosomen (hier als kleine schwarze Punkte dargestellt) produzieren die lebenswichtigen Proteine, zum Beispiel Enzyme, die den Stoffwechsel steuern. Die Baupläne dafür sind auf den Chromosomen gespeichert.



Vermittler Zum Auslesen der Erbinformation entknüpft sich die DNA an einer Stelle. Von der hier gespeicherten Information wird eine Kopie erstellt, die Boten-RNA. Sie wandert aus dem Zellkern in das Zellplasma.



Bastler Die Boten-RNA wird stückweise durch das Ribosom gezogen und Aminosäure für Aminosäure abgelesen. Kleine Transportmoleküle, genannt tRNA, bringen die zu der Vorlage passenden Aminosäuren in die große Untereinheit des Ribosoms. Dort werden die Aminosäuren zu einer Kette verbunden, die sich zum Protein faltet.

Schnappschüsse von den Eiweißfabriken der Zelle

Vom Gen zum Protein: Chemie-Nobelpreis für Forschung an Ribosomen

Industriespionage gilt zu Recht als verwerflich. Wer ertappt wird, muss mit Strafe rechnen. Auch die Zelle, der Grundbaustein des Lebens, ähnelt einer Fabrik. Es ist die komplizierteste, die man sich vorstellen kann. Die Maschinen und Betriebsabläufe dieses Wunderwerks auszuspionieren ist glücklicherweise nicht strafbar, sondern höchst erwünscht. Es winken hohe wissenschaftliche Auszeichnungen. So wird der diesjährige Chemie-Nobelpreis für Forschungen vergeben, die dazu geführt haben, dass man den Aufbau und die Funktion der zellulären Proteinfabriken, der Ribosomen, besser verstehen kann. Die Amerikaner Venkatraman Ramakrishnan und Thomas Steitz sowie die israelische Forscherin Ada Yonath haben in mühevoller, von Rückschlägen geprägter Arbeit das Konstruktionsprinzip dieser Nanomaschinen entschlüsselt.

Das Gen ähnelt einem Buch, das in einer Bibliothek im Regal verstauben würde, käme nicht ab und zu ein Leser, der Nutzen aus dem Text zieht. In der Zelle übernehmen die Ribosomen diese Rolle. Sie sind es, die dem in der DNS kodierten genetischen Text einen Sinn geben, indem sie den Anweisungen gemäß Eiweißmoleküle zusammenbauen. Wie diese Nanomaschinen aufgebaut sind und wie sie arbeiten, war eine der drängenden Fragen, die sich den Molekularbiologen seit ungefähr der Mitte des vergangenen Jahrhunderts stellte. Man versuchte, sich ein Bild von den Eiweißfabriken zu machen. Als Werkzeug zur Strukturaufklärung im atomaren Maßstab bietet sich die Röntgenkristallographie an. Hierbei wird das Brechungsmuster ausgewertet, das entsteht, wenn Röntgenstrahlen durch die zu untersuchenden Moleküle geschickt werden. Voraussetzung ist, dass die Moleküle als reine Kristalle vorliegen. Ribosomen sind komplexe, aus zwei Untereinheiten bestehende Gebilde. Derart große Gebilde in Kristallform zu überführen galt als praktisch aussichts-

los. Aber Ada Yonath vom Weizmann-Institut in Rehovot (Israel) ließ sich nicht abschrecken. In den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts begann sie mit der Züchtung von Ribosomen-Kristallen. Es war ein dorniger, von ständigen Rückschlägen gekennzeichneter Weg. Manche Kollegen quittierten die scheinbar unsinnigen Experimente mit Kopfschütteln. Aber die Forscherin blieb beharrlich, zumal sie bei einem Aufenthalt am Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik in Berlin auf eine Goldader stieß – auf große Mengen aufwendig gereinigter Kristalle von bakteriellen Ribosomen. Im Jahr 1980 wurde Ada Yonath ein kleiner Triumph zuteil, als es ihr gelang, Kristalle von der großen Ribosomen-Untereinheit zu züchten. Die Kristalle waren freilich alles andere als rein. Erst zu Beginn der neunziger Jahre hatte die Forscherin endlich Kristalle von ausreichender Qualität zur Hand.

Im Laufe der Zeit hatten sich auch andere Forscher den Ribosomen zugewandt. Zu ihnen zählen die Gruppen um Thomas Steitz und Venkatraman Ramakrishnan. Die Aufklärung der genauen Struktur stand allerdings weiterhin nur auf der Wunschliste. Das lag an einer

Schwäche der Röntgenstrukturanalyse – dem Umstand, dass man die Phase der Röntgenstrahlen nach dem Durchdringen des Kristalls nicht kennt. Das erschwert die Lokalisierung der Atome erheblich. Einen Ausweg aus dem „Phasenproblem“ bildet die Behandlung der Kristalle mit Schwermetall-Ionen. Weil Ribosomen aber so groß sind, lagern sich zu viele Ionen an. Diese Hürde konnte Steitz nehmen. Anhand elektronenmikroskopischer Bilder ermittelte er die Ausrichtung der Ribosomen im Kristall. Das half, das Phasenproblem zu überwinden.

In den Jahren 1999 und 2000 legten Ramakrishnan, Steitz und Yonath exakte „Bilder“ von Ribosomen vor, auf denen die Lage der einzelnen Atome abzulesen war. Man darf daher sagen, dass die drei geehrten Forscher gleichzeitig die Ziellinie überschritten haben. Inzwischen konnte man sogar Schnappschüsse von der Arbeit der Proteinfabriken machen. Hierzu frieren die Forscher die Ribosomen in verschiedenen Stadien blitzschnell ein und ermittelten dann die genaue Struktur.

Vom Wissen um Struktur und Funktion der Ribosomen profitiert auch die Medizin, denn viele Antibiotika zur Bekämpfung von Bakterien hemmen die Proteinsynthese. Allerdings wächst die Zahl der Resistenzen. Dass man jetzt den Aufbau und die Arbeitsweise der Ribosomen genauer kennt, lässt sich möglicherweise bei der Entwicklung von neuen Antibiotika nutzen.

Venkatraman Ramakrishnan, 1952 in Chidambaram (Indien) geboren, ist 1976 promoviert worden. Er forscht derzeit am Medical Research Council in Cambridge (England). Ada Yonath, 1939 in Jerusalem geboren, wurde 1968 am Weizmann-Institut in Rehovot promoviert, wo sie nach wie vor forscht. Thomas Steitz, geboren 1940 in Milwaukee, ist 1966 promoviert worden. Seit 1970 ist er an der Yale University tätig. REINHARD WANDTNER



Venkatraman Ramakrishnan, Ada Yonath und Thomas Steitz

Fotostep

Computer aus DNS und Molekülen

Forscher entwickeln erfolgreich
biomolekulare Computer.

(fa.) Die Verknüpfung von Nanotechnologie und Molekularphysik macht eine bislang unvorstellbare Miniaturisierung von Computern möglich. Am Weizmann Institut in Rehovot, Israel, entwickelten Wissenschaftler biomolekulare Computer, die aus DNS und anderen biologischen Molekülen bestehen. Das geht aus einem Bericht hervor, der in «Nature Nanotechnology» publiziert wurde.

Die Forschungsstudenten *Tom Ran* und *Shai Kaplan* haben im Labor von *Prof. Ehud Shapiro* am Weizmann Institut einen Weg gefunden, um winzigste Computergeräte zu entwickeln, die komplexe Berechnungen und komplizierte Datenabfragen durchführen können. In einem Robotersystem werden mehrere DNS-Stränge vereinigt, die einem eigenen, einfachen Computercode folgen. Ein spezielles Programm stellt eine Überbrückung von einer höheren Programmiersprache zu dem DNS-Computercode her.

Heute existieren weltweit nur in wenigen Speziallabors biomolekulare Computer. Der erste autonome, programmierbare biomolekulare Computer war 2001 von Ehud Shapiro und seinem Team vorgestellt worden. Er konnte einfache Kalkulationen wie die Überprüfung von zwei verschiedenen Ziffern durchführen. Er war so klein, dass eine Billion davon in einen Wassertropfen passen würden.

Im Jahr 2004 hatten die Wissenschaftler am Weizmann Institut diesen biomolekularen Computer bereits so weiterentwickelt, dass er in einem Reagenzglas Krebszellen aufspüren und ein Molekül absondern konnte, das diese vernichtete.

Es besteht die Möglichkeit, dass solche biologischen Geräte eines Tages in

den Körper injiziert werden könnten – als eine Art «Körperzellenarzt», der die Krankheit lokalisiert und ihre Verbreitung verhindert.

Tödliches Problem mit dem Gewicht

*Astronomen beobachten
Explosion eines Riesensterns*

VON THORSTEN DAMBECK

Ein internationales Team von Astronomen hat eine außergewöhnliche Sternexplosion beobachtet. Die besonders leuchtstarke Supernova flammte bereits im Frühjahr 2007 auf, das damalige Himmelspektakel dürfte das Ende eines extrem massiven Sterns gewesen sein. Erstmals eröffnet sich mit SN 2007bi, so der Name der Supernova, die Möglichkeit, einen enger Verwandten der allerersten Sterne im jungen Universum zu studieren.

Das Aufleuchten einer Supernova ist an sich nichts Besonderes, in Tausenden Galaxien registrierten die Astronomen so etwas. Wenn solche Sterne mindestens achtmal mehr Gewicht als die Sonne auf die Waage bringen, ist ihr Weg vorgezeichnet: Am Lebensende angekommen, erzeugen sie in ihrem Zentrum immer mehr Eisen – die Asche der Kernfusion. Wenn schließlich der nukleare Brennstoff ganz verbraucht ist, sind die Konsequenzen dieser Energiekrise dramatisch: Der Eisenkern stürzt in sich zusammen und die äußeren Schichten des Sterns werden von einer gewaltigen Explosion zerrissen.

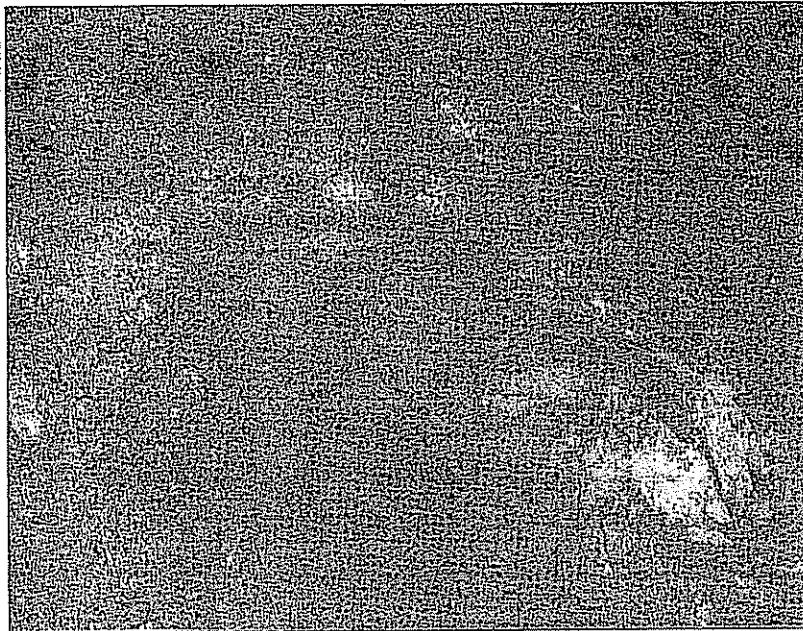
Nuklearer Sprengstoff

Nach Auswertung ihrer Beobachtungen sind Avishay Gal-Yam vom israelischen Weizmann Institut und seine Kollegen jedoch davon überzeugt, dass bei SN 2007bi ein anderer Mechanismus am Werk war:

Wie sie in der aktuellen Ausgabe von Nature schildern, soll sich der Vorgängerstern der Supernova derart stark erhitzt haben, dass durch spezielle Elementarteilchen (sogenannte Paarbildung) das innere Gleichgewicht empfindlich gestört wurde. Die Folge: Der todgeweihte Stern kollabiert und zündet explosionsartig seinen verbleibenden nuklearen Brennstoff. Die Nature-Autoren bescheinigen dem Vorgängerstern ein massives Gewichtsproblem: Sie taxieren ihn auf 200 Sonnenmassen.

Solche Schwergewichte, über die bislang nur theoretisiert wurde, dürften den mysteriösen ersten Riesensternen ähneln, die heute längst erloschen sind. Diese Sterne verzehrten ihren Brennstoff im Eiltempo und waren deshalb extrem kurzlebig. Noch fehlt von ihnen jede direkte Beobachtung.

„Diese Generation von Sternen soll vor der Bildung der ersten Galaxien existiert haben“, erklärt Norbert Langer, Astronom an der Uni Bonn. Der Experte für Sternphysik sieht in den jüngsten Resultaten den bisher besten Beleg, dass die hungrigen Riesen tatsächlich den frühen Kosmos bevölkerten. Er erwartet, dass bald die erste Explosion eines solchen Ur-Sternriesen beobachtet wird.



Die Reste von 60 Sternexplosionen können Astrophysiker in dieser Aufnahme erkennen, die vom Hubble-Weltraumteleskop stammt und die „Geburt“ eines neuen Sterns einfängt. Foto: afp/Nasa

Stern erlischt mit hellem Leuchten

Erstmals beobachten Astrophysiker seltene Sternexplosion

London. (ddp/tlz) Ein internationales Team von Astronomen hat eine Sternexplosion der Superlative beobachtet: Die sogenannte Supernova zerriss einen Stern, der ursprünglich 200 Mal so schwer war wie unsere Sonne, in seine Bestandteile. Eine solche Explosion ist als besonders helles Aufleuchten sichtbar und markiert sozusagen das Lebensende eines Sterns.

Bei dem Ereignis handelte es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um eine sogenannte Paarinstabilitäts-Supernova – einen Typ von Supernova, der von Astrophysikern bisher noch nie sicher beobachtet, jedoch seit langem theoretisch vorhergesagt wurde. Von der Auswertung der Daten des Ereignisses erhoffen sich die Forscher neue Erkenntnisse über die Entwicklung des frühen Universums. Ihre Ergebnisse stellen die Wissenschaftler um Avishay Gal-Yam vom Weizmann-Institut der Wissenschaft in Rehovot, Israel, in der aktuellen Ausgabe des Fachmagazins „Nature“ vor.

Auf das helle Aufleuchten der Supernova mit der Bezeichnung „2007bi“ waren die Astronomen bereits im April 2007 gestoßen. In den folgenden Monaten sammelten sie weitere Daten des Ereignisses und verfolgten den Verlauf der ausgesandten Strahlung.

Ein Himmelskörper verschwindet völlig

Die extreme Helligkeit der Explosion und die zeitliche Entwicklung dieses Leuchtens ließ die Forscher darauf schließen, dass der explodierende Stern mit ursprünglich rund 200 Sonnenmassen ein Schwergewicht in seiner viele Millionen Lichtjahre von der Erde entfernten Galaxie gewesen sein muss.

Auch sein Ende in der Supernova muss anders abgelaufen sein als das der meisten Sterne, die von einer solchen Explosion in Stücke gerissen werden: Die Messdaten deuten klar auf eine Paarinstabilitäts-Supernova, berichten die

Wissenschaftler: Bei einem solchen Ereignis kommt es aufgrund von Paar-Reaktionen von Elektronen und Positronen im Kern des Sterns zu einem rasanten Temperaturanstieg. In dessen Folge explodiert der Stern schließlich komplett, ohne dass im ursprünglichen Zentrum des Himmelskörpers ein Rest übrigbleibt – wie es bei der Supernova eines leichteren Sterns der Fall wäre.

Dass eine solche Paarinstabilitäts-Supernova theoretisch möglich ist, hatten Astrophysiker bereits vorhergesagt. Da jedoch die Zahl von Sternen in der entsprechenden Gewichtsklasse im Universum sehr gering ist, wurden Paarinstabilitäts-Supernovae bisher vor allem als Phänomen des frühen Universums betrachtet, in dem solche schweren Sterne noch häufiger waren. Die Forschung geht davon aus, dass die Explosionen in dieser Frühzeit des Universums einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Sternen und Galaxien geleistet haben.

Ein Trainingslager für Abwehrzellen

Autoimmunkrankheiten Eines Tages, so hoffen Forscher, kann die Nanotechnik helfen, wenn Körper sich selbst angreifen. *Von Rainer Klütting*

Normalerweise ist das Immunsystem des Menschen darauf trainiert, unter den Zellen im Körper zwischen Freund und Feind zu unterscheiden. Eigene Eiweißstoffe werden toleriert, fremde attackiert. Eine wichtige Polizistenrolle spielen dabei die sogenannten T-Zellen oder T-Lymphozyten. Finden sie auf ihrer Patrouille auf den Oberflächen anderer Zellen Veränderungen oder Fremdartiges, werden sie aktiv. Einige von ihnen greifen das Fremde an, andere rufen weitere Immunzellen zur Hilfe – und wieder andere führen dazu, dass die Immunreaktion nicht über ihr Ziel hinausschießt.

Diese Letzteren, die sogenannten regulatorischen T-Zellen, könnten, so hoffen Forscher, eines Tages ein Ansatzpunkt sein, Autoimmunkrankheiten zu behandeln. Krankheiten wie etwa Diabetes, Typ 1 oder die chronische Darmentzündung Morbus Crohn entstehen, weil das Immunsystem überreagiert und körpereigene Zellen als Feinde identifiziert. Die Ursachen können in den Genen liegen oder auf Umwelteinflüsse zurückgehen. Sie können aber auch darin liegen, dass das Immunsystem irgendwann in seiner Entwicklung etwas Falsches gelernt hat. Das Fatale ist, dass es solche einmal gelernten Fehler nicht wieder vergisst. Doch für den Kranken wäre es eine große Hilfe, wenn es gelänge, die regulatorischen T-Zellen dazu zu bringen, ihre Rolle als Friedensstifter auf diesen körpereigenen Streit auszudehnen.

Dem ein Stück näherzukommen ist das Ziel eines von zwei Forschungsprojekten, mit denen sich Joachim Spatz und einige seiner Mitarbeiter vom Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart-Büsnau in den nächsten vier Jahren intensiv

beschäftigen werden. Wie berichtet, hat die Europäische Union Spatz' Abteilung „Neue Materialien und Biosysteme“ zum Koordinator von zwei Forschungsprojekten gemacht, für die sie insgesamt 9,1 Millionen Euro in vier Jahren zur Verfügung stellen wird. Beteiligt sind zwanzig Partner aus Europa und Israel, darunter außer den Wissenschaftlern um Spatz Forscher der Universität Tübingen und ein Biotechnologie-Unternehmen in Heidelberg. Weitere Forschergruppen und Firmen haben ihren Sitz in Deutschland, Italien, Norwegen, Schweden, der Schweiz, Frankreich und Israel.

Zu einem ersten Treffen haben sich die Beteiligten in dieser Woche in Stuttgart versammelt, um einander ihre Interessen und Forschungsfragen vorzustellen. Eine besonders aktive Gruppe war aus dem Weizmann-Institut in Rehovot, Israel, angereist. Bei der Vorstellung des T-Zellen-Projekts bestätigte Spatz, dass die Israeli um seinen Kollegen Benjamin Geiger „das Projekt vorangetrieben“ hätten. Der Verdienst, die EU überzeugt zu haben, gehe neben den Mitarbeitern seiner Arbeitsgruppe an die Israeli. Sie hätten „die meisten Anträge geschrieben“, und „der Löwenanteil des Ruhms“ gehe an sie. Letztlich, sagte er der StZ, sei die gute Infrastruktur des Max-Planck-Instituts ausschlaggebend für die Wahl Stuttgarts als Koordinationsstelle gewesen.

Eine Stärke der Arbeitsgruppe um Spatz ist die Herstellung von Oberflächen mit Strukturen im Nanobereich, also in Größenbereichen von Millionstel Millimetern. So ist es etwa möglich, Goldpartikel derart zu formen, dass bestimmte biologische Mo-

leküle an ihnen andocken. Diese Goldpartikel lassen sich dann in einem vorgegebenen Muster auf einer biologisch nicht aktiven Unterlage unterbringen. Zwischen die Goldpartikel können Spatz und seine Mitarbeiter unterschiedlich dicht gepackte Partikel etwa aus Titandioxid platzieren, an denen andere Moleküle andocken. So lassen sich Reaktionen zwischen Biomolekülen gezielt steuern und beobachten. Und so, das hoffen die Forscher, könnten sich bald auch T-Zellen gezielt trainieren lassen.

Daher hat das Projekt seinen Namen. Das Kürzel „Nano-II“ ist abgeleitet aus der englischen Bezeichnung für „Nanoskopisch-gestützte Zuführung und Vermehrung von regulatorischen Zellen zum Zwecke der Behandlung von Autoimmun- und entzündlichen Prozessen“. Die beiden „I“

stehen für „immune“ und „inflammatory“ (entzündlich). Nano-II würde von der EU als bestes europäisches Projekt ausgezeichnet. „Die EU-Behörden erhoffen sich eine Menge guter Ergebnisse“, sagte Spatz.

Das zweite Projekt, ausgestattet mit dem kleineren Budgetanteil von 3,8 Millionen Euro, heißt Nano-Card, abgeleitet aus „Nanostrukturierte Gerüste für aktive Herzmuskelimplantate (myocardial implants)“. Ziel ist, mit Hilfe der beschriebenen Nano-Oberflächen aus Stammzellen eines herzkranken Menschen neue Herzmuskelzellen zu züchten. Eine im Labor gewachsene Matte aus solchen Zellen könnte man dann etwa auf das nach einem Herzinfarkt vernarbte Gewebe legen. Die Hoffnung ist, dass neues, funktionsfähiges Herzgewebe entsteht und die Aufgabe des abgestorbenen Gewebes übernimmt. Vier Jahre, meint Spatz, werden dafür aber nicht ausreichen. Bis das Verfahren reif die Klinik sei, würden, so schätzt er, und gerne zehn Jahre vergehen.

„Die EU-Behörden erhoffen sich eine Menge guter Ergebnisse.“

Joachim Spatz,
Max-Planck-Institut

NOBELPREIS FÜR CHEMIE

Antibiotikaentwicklung gefördert

Für die Entschlüsselung der räumlichen Struktur der Ribosomen sind drei Wissenschaftler ausgezeichnet worden. Ihre Arbeiten hätten wesentlich zur Entwicklung und Optimierung von Antibiotika beigetragen, so das Nobelpreiskomitee.

Ohne sie geht nichts in der Zelle: Ribosomen sind das Kernstück der Eiweißsynthese, in ihnen wird der genetische Code, verschlüsselt in der Boten-RNA, in die Aminosäuresequenz der Proteine umgesetzt. Der diesjährige Chemie-Nobelpreis geht an drei Wissenschaftler, die Struktur und Funktionsweise der Ribosomen aufgeklärt haben: Prof. Dr. rer. nat. Venkatraman Ramakrishnan vom MRC Laboratory of Molecular Biology im britischen Cambridge, an den US-amerikanischen Biophysiker Prof. Dr. rer. nat. Thomas A. Steitz von der Yale University in New Haven und an Prof. Dr. rer. nat. Ada E. Yonath, Direktorin des Helen-und-Milton-A.-Kimmelman-Zentrums für Biomolekulare Struktur und Komplexe am Weizmann-Institut im israelischen Rehovot.

Jede Sekunde verlässt ein neu gebildetes Protein ein Ribosom, wie am Fließband. Die Makromolekülkomplexe, von denen jede Zelle Hunderttausende besitzt, sind äußerst produktiv, und deshalb sind bakterielle Ribosomen eine wichtige Zielstruktur für Antibiotika: für Aminoglykoside, Makrolide, Streptogramine, aber auch neuere Substanzklassen wie Oxazolidinone (Linezolid), die lebensrettend sein können, wenn ältere Antibiotika nicht mehr wirken.

Gezielte Blockade

Die drei Wissenschaftler haben unabhängig voneinander Modelle für die dreidimensionale Struktur der Ribosomen erstellt und damit „entscheidend zur Entwicklung moderner Antibiotika beigetragen, die die

Ribosomen von Bakterien blockieren“, begründet das Nobelpreiskomitee die Auszeichnung. Die Entwicklung neuer Substanzen sei notwendiger denn je.

Ribosomen enthalten Ribonucleinsäuren und Proteine. Zwei verschieden große Untereinheiten arbeiten dabei zusammen. Herzstück der Ribosomen ist das Peptidyltransferasezentrum (PTC), dort findet die Katalyse statt. Wie durch eine Röhre wird die wachsende Peptidkette Schritt für Schritt nach außen geschoben. Die kleinere Ribosomenuntereinheit steuert die „Dechiffriereinheit“ bei und kontrolliert die korrekte Übersetzung der Basenpaarabfolge in die Aminosäuresequenz. Hauptarbeit leisten RNA-Moleküle (Ribozyme), nicht Proteine – auch das ein Ergebnis der Forschung der Nobelpreisträger.

Die dreidimensionale Form der Ribosomen ist mit der Röntgenstrukturanalyse dargestellt worden. Voraussetzung für deren Anwendung war die Kristallisation, die bei den Ribosomen lange wegen ihrer Größe, Flexibilität und funktionellen Heterogenität als unmöglich galt. Die endgültige atomare Struktur lag erst im Jahr 2000 vor.

„Etwa 15 Jahre hat Yonath versucht, gute Kristalle zu erzeugen, die eine hohe Strukturaufklärung im Röntgenstrahl brachten“, erinnert sich der ehemalige Mitarbeiter Dr. Frank Schlünzen vom Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik in Berlin im Gespräch mit dem Deutschen Ärzteblatt. Schlünzen hat mit Yonath in der Max-Planck-Arbeitsgruppe am DESY in

Hamburg geforscht, wo Röntgenstrahlen in einem Synchrotron erzeugt werden.

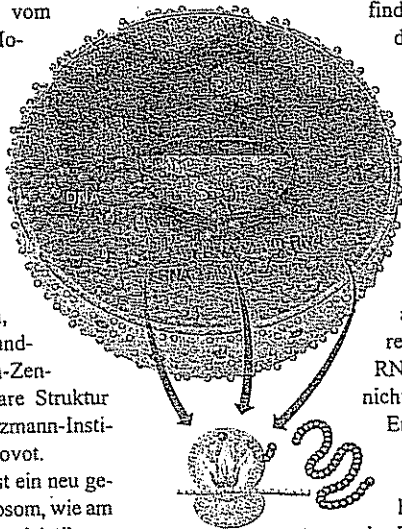
Mit der von Yonath etablierten Methode der Kryokristallografie bei Temperaturen von -185 Grad Celsius gelang es, ribosomale Komplexe in verschiedenen Phasen der Proteinsynthese zu kristallisieren und die genaue dreidimensionale Struktur und Architektur der kleinen ribosomalen Untereinheit zu bestimmen. Yonath und ihr Team verwendeten unter anderem schwere Atome als Markierungen. Diese stehen aufgrund ihrer hohen Elektronendichte wie Fähnchen auf der ribosomalen Elektronendichtekarte und erlauben eine exakte Lagebestimmung bestimmter Funktionseinheiten innerhalb des Ribosoms. Mithilfe dieser Methode konnte nachgewiesen werden, dass sich Makrolide, Lincosamide und Chloramphenicol nur an die RNA im PTC binden und nicht in Wechselwirkung mit ribosomalen Proteinen treten.

Ada Yonath (Jahrgang 1939) stammt aus Jerusalem, studierte Chemie und Biochemie an der Hebräischen Universität und promovierte am Weizmann-Institut in Rehovot. Nach Aufenthalt in den USA kehrte sie 1970 nach Jerusalem zurück.

Venkatraman Ramakrishnan wurde 1952 in Indien geboren. Ab 1976 studierte er in den USA, zunächst Physik, dann Biologie. 1995 wurde er Professor am Institut für Biochemie der Universität Utah, 1999 wechselte er nach Cambridge.

Thomas Steitz, 1940 in Wisconsin geboren, studierte Chemie. Er promovierte an der Harvard University in Boston, Massachusetts. Seit 1970 arbeitet er an der Yale University in New Haven, Connecticut.

Dr. rer. nat. Nicola Siegmund-Schultze



Ribosomen, hier aus einem Zellmodell vergrößert, produzieren wie am Fließband: ein Protein pro Sekunde.
Abbildung: picture-alliance/medical picture