

TUNNELSCHUTT ALS ROHSTOFF FÜR DIE BETONHERSTELLUNG

Moderne Untertagebauten erzeugen grosse Mengen mineralischer Rohstoffe, die bis anhin aber eher wie lästiges Entsorgungsmaterial behandelt wurden. Bis vor kurzem schätzten Fachleute die Aufbereitung von Tunnelschutt für die Betonproduktion als weder wirtschaftlich noch qualitativ vertretbar ein. Eine am Geologischen Institut der ETH Zürich durchgeführte Dissertation liefert nun überraschend günstige Ergebnisse. Eine Wiederverwertung des Ausbruchmaterials – insbesondere für die Tunnelbauwerke selbst – ist sowohl aus umweltpolitischen wie auch aus wirtschaftlichen Gründen interessant.

Sand und Kies stellen weltweit mengenmässig die wichtigsten Rohstoffe dar und werden vorwiegend zu Bauzwecken abgebaut. Der Marktwert der Sand- und Kiesrohstoffe liegt nach den Energieträgern Erdöl, Steinkohle und Erdgas an vierter Stelle. Doch in vielen Gebieten gehen die Kiesvorräte langsam zur Neige; zudem ist der Abbau heute aufgrund unterschiedlicher Nutzungsansprüche oftmals eingeschränkt. Gemäss pessimistischen Berechnungen reichen beispielsweise in der Schweiz die Reserven noch für 20 bis 30 Jahre, optimistische Schätzungen rechnen mit rund 130 Jahren. Um die noch vorhandenen Ressourcen zu schonen, wird deshalb seit einigen Jahren verstärkt nach Alternativen geforscht. Recyclingprodukte aus Bauabfällen, Schlacke oder Glas sind bereits auf dem Markt. Ein nicht zu unterschätzendes Potential an Kiesersatzstoffen stellt in der Schweiz das Ausbruchmaterial der Untertagebauten dar (Tunnelbau für Strasse und Bahn, Stollensysteme für elektrische Wasserkraftwerke, militärische Anlagen, Durchführungen für elektrische Leitungen usw.).

Eine am Geologischen Institut der ETH Zürich durchgeführte Dissertation zeigt nun, dass sich in vielen Fällen auch Tunnelschutt zur Herstellung von qualitativ hochwertigem Beton (Gemisch aus Kies, Sand, Zement und Wasser) eignet (THALMANN, 1996). Die von Cédric Thalmann durchgeführte Arbeit wurde durch die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und die Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn (BLS) im Hinblick auf den Bau der «Neuen Eisenbahn-Alpen-Transversale» (NEAT) finanziell unterstützt.

Vielversprechende Feldversuche

Um möglichst breite Aussagen machen zu können, sammelte der ETH-Geologe Gesteinsmaterial aus 14 verschiedenen Untertagebauten. Dabei konzentrierte er sich auf Werke, die

nicht im Sprengverfahren, sondern mit modernen Tunnelbohrmaschinen (TBM) erstellt wurden. Solche Geräte mit rotierenden Bohrscheiben in Form eines Schildes von bis zu zwölf Metern Durchmesser zerkleinern den Fels beim Vortrieb und sind heute Standard bei längeren unterirdischen Bauwerken. Schon bald stellte sich heraus, dass beim Untertagebau mit TBM nicht genügend grobe Bestandteile anfallen (Korndurchmesser >32 mm). Zudem sind die Gesteinsbruchstücke eckig und nicht gerundet wie beim klassischen Betonkies. In Schweden durchgeführte Feldversuche ergaben dann, dass sich besser geeignete Bruchstücke gewinnen lassen, wenn der Abstand zwischen den Bohrmeisseln am Vortriebsschild vergrössert wird. Zusammen mit Spezialisten der TBM-Herstellerfirma (Robbins Atlas Capo) konnte Cédric Thalmann zeigen, dass dieses Vorgehen die Vortriebsleistung kaum verändert.

Qualitätskontrollen an Ort

Ein zentraler Punkt der geologischen Forschungsarbeit war die Entwicklung von Prüfkriterien und Prüfverfahren (z. B. nach dem sogenannten Brechbarkeitsindex, dem Punktlastindex und dem Los Angelesindex), welche eine zeitsparende Beurteilung von TBM-Ausbruchmaterial im Hinblick auf die Betonproduktion ermöglichen. Um Ausbruchmaterial zu Betonaggregaten verarbeiten zu können, muss einerseits die petrographische Eignung bestätigt und andererseits eine minimale Gesteins Härte nachgewiesen werden (für eine gute Betonqualität darf das Material insbesondere nicht zuviel Glimmer enthalten). Entsprechende Tests laufen gegenwärtig im Sondierstollen für den NEAT-Gotthardbasistunnel in Sedrun (GR) und in Sigirino (TI). Rund 150 an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in Dübendorf durchgeführte Laborversuche und diverse Baustellenversuche dokumentieren schliesslich, dass es möglich ist, einen hochwertigen Beton für den Untertagebau zu produzieren. Die Analysen ergaben erfreulicherweise keine grundlegenden Qualitätsunterschiede zum Beton mit Rundkies – sofern das Tunnelmaterial eine genügend hohe Gesteinsfestigkeit und nicht zuviel Glimmer enthält.

Beträchtliche Kosteneinsparungen

Nicht zuletzt aufgrund dieser positiven Ergebnisse sieht das NEAT-Projekt beispielsweise vor, dass rund 20% der anfallenden rund 24 Millionen Tonnen Ausbruchmaterial am Gotthard-Basistunnel als Betonzuschlagstoffe genutzt werden sollen. Eine Weiterverwertung von Ausbruchmaterial im Tunnel selbst ist sowohl aus Kostengründen als auch aus der Sicht von Landschafts- und Umweltschutz interessant.

Einerseits wird das Volumen der zu entsorgenden Ausbruchmaterialien vermindert, womit teure Transport- und Deponiekosten entfallen, andererseits müssen weniger Sand- und Kiesprodukte eingekauft werden. Die NEAT-Planer schätzen, dass sich dadurch bei der Gotthard-Alpentransversalen Einsparungen von rund 275 Millionen Franken erzielen lassen.

Literatur

THALMANN, C. 1996. Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Dissertationsschrift ETH Zürich Nr. 11721. Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission.

NEUE ANTIDEPRESSIVE SUBSTANZ IM JOHANNISKRAUT ENTDECKT

Das Johanniskraut wird seit Jahrhunderten zur Behandlung von leichten Depressionen eingesetzt. Eine interdisziplinäre Studie der ETH Zürich und der Universität Basel kommt nun zum Schluss, dass die antidepressive Wirkung vermutlich einem anderen Inhaltsstoff zuzuschreiben ist, als bisher angenommen wurde. Diese Erkenntnisse benützen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, um nach jenen Johanniskraut-Pflanzen zu suchen, welche eine möglichst grosse pharmazeutische Wirkung haben.

Im Vergleich zu anderen Medizinalpflanzen ist die pharmazeutische Wirkung des Johanniskrauts (*Hypericum perforatum*) wissenschaftlich gut dokumentiert. So veröffentlichte beispielsweise die britische Fachzeitschrift «British Medical Journal» im August 1996 eine Zusammenfassung von rund 20 klinischen Studien, an denen mehr als 1700 Patienten mit verschiedenen Formen leichter Depression teilnahmen (DE SMET & NOLEN, 1996). Die Autoren kamen zum Schluss, dass eine Behandlung mit Johanniskraut tatsächlich eine mit den herkömmlichen Antidepressiva vergleichbare Wirkung hat, aber deutlich seltener unerwünschte Nebenwirkungen verursacht.

Hypericin im Test

Bis vor kurzem nahm man an, dass die antidepressive Wirkung dem Hypericin zuzuschreiben sei, das in den Blüten und Blättern des Johanniskrauts vorhanden ist (chemische Formel vgl. Abb.). Wie die Abteilung Öffentlichkeitsarbeit und Aussenbeziehungen der ETH Zürich mitteilte, ist diese Substanz nun durch die Forschungsarbeit von Agronomen der

ETH Zürich und Pharmazeuten der Universität Basel «enthront» worden (BAUREITHEL et al., 1997).

Bernd Büter, Agronom am Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich, ist zusammen mit seiner Forschergruppe auf der Suche nach Johanniskraut-Pflanzen, die sowohl gute Anbau- als auch pharmazeutische Eigenschaften besitzen. Dabei kann er auf die Unterstützung seiner Frau Karin Berger Büter zählen, die als Wissenschaftlerin an der Universität Basel arbeitet. In Zürich wurden Johanniskraut-Pflanzen ganz verschiedener Arten und Herkünfte mit unterschiedlichem Hypericin-Gehalt ausgewählt, darunter auch eine Art, die kein Hypericin enthält. Anschliessend analysierte die Arbeitsgruppe von Willi Schaffner, Professor am Departement für Pharmazeutische Biologie der Universität Basel, die Wirkung dieser Pflanzen anhand eines Hirnrezeptortests (Benzodiazepin-Rezeptor des GABA_A-Komplexes). Dieser Test dient als Modellsystem, um den angstlösenden Effekt verschiedener Medikamente zu studieren. Zur grossen Überraschung der Forscher und Forscherinnen liess sich kein entscheidender Unterschied zwischen den verschiedenen Johanniskraut-Extrakten feststellen – auch Extrakte ohne Hypericin waren wirksam. Folglich kann diese Substanz nicht der gesuchte Wirkstoff gegen Depressionen sein.

Amentoflavon als Arbeitshypothese

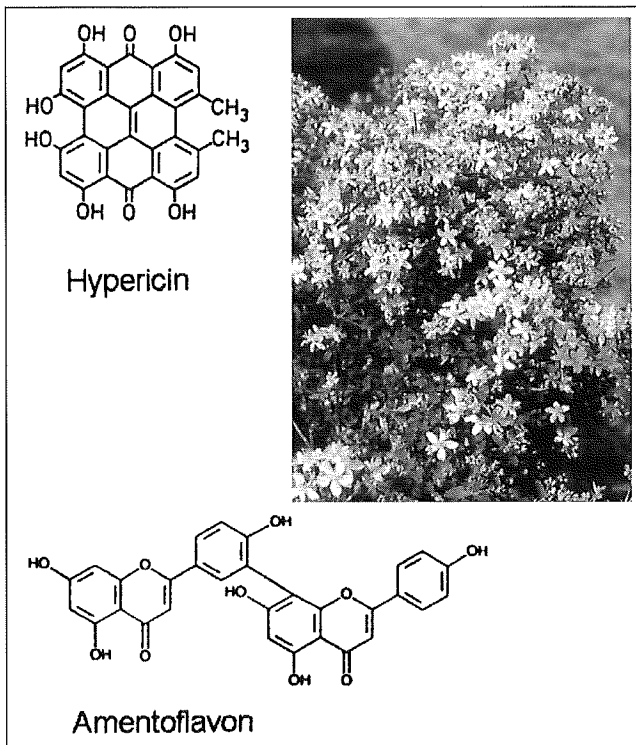
Welches ist nun aber die aktive Wirksubstanz? Die Basler Wissenschaftler glauben, mit der Entdeckung der Substanz Amentoflavon (chemische Formel vgl. Abb.) auf der richtigen Spur zu sein. Zwar kommt dieser Wirkstoff in Johanniskraut-Extrakten nur in geringer Konzentration vor, doch zeigt er eine ausserordentlich hohe Aktivität im Rezeptor-Test. Weitere Versuche müssen nun zeigen, ob Amentoflavon die Blut-Hirn-Schranke passieren kann. Zudem geht die Arbeitsgruppe von Willi Schaffner davon aus, dass noch weitere, im Johanniskraut-Extrakt vorkommende Substanzen zur antidepressiven Wirkung beitragen – doch um dies zu beweisen, sind zusätzliche Experimente nötig.

Diese Erkenntnisse benützt Bernd Büter als Grundlage für seine Arbeiten zur Selektion von Johanniskraut-Pflanzen, die sich für einen Feldanbau in der Schweiz eignen würden. Dazu untersucht er Johanniskraut-Pflanzen aus verschiedenen Ländern, welche an unterschiedlichen Standorten in den Kantonen Zürich, Basel-Land und Wallis angebaut werden. Je nach Herkunft der Pflanzen unterscheiden sich diese sehr stark voneinander: so etwa in ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten, in ihrem Blühtermin sowie in ihrer chemischen Zusammensetzung. Gemäss Bernd Büter beeinflussen genetische Faktoren den Pflanzen-

ertrag und den Gehalt an Wirkstoffen weit stärker als Umweltfaktoren.

Feldanbau hat Zukunft

Da immer mehr Pharmahersteller Medizinalpflanzen aus dem Feldanbau gegenüber gesammelten Wildpflanzen bevorzugen, bietet sich hier für die schweizerische Landwirtschaft eine zusätzliche Marktnische. Denn der Anbauer kann die pharmazeutisch wirksamsten Pflanzen verwenden und ihr Wachstum durch anbautechnische Massnahmen optimieren. Somit steht der pharmazeutischen Industrie ein homogener, qualitativ hochwertiger pflanzlicher Rohstoff zur Verfügung.



Die antidepressive Wirkung des gelbblühenden Johanniskrauts ist vermutlich laut neusten Forschungsergebnissen nicht auf Hypericin zurückzuführen, sondern auf den Inhaltsstoff Amentoflavon (Bild Bernd Büter).

Literatur

BAUREITHEL, K.H., BERGER BÜTER, K., ENGESSER, A., BURKARD, W., SCHAFFNER, W. 1997. Inhibition of benzodiazepine binding in vitro by amentoflavone, a constituent of various species of *Hypericum*. – *Pharmaceut. Acta Helv.* 72, 153–157.

DE SMET, P.A. & NOLEN, W.A., 1996. St. John's wort as an antidepressant. *British Med. J.* 313, 241–242.

MIKROBIELLES LEBEN TIEF UNTER DER ERDOBERFLÄCHE

Rund 200 Forscher – Mikrobiologen, Geologinnen, Hydrologen und Umweltwissenschaftlerinnen – aus 24 Ländern trafen sich vom 15. bis 20. September 1996 in Davos zum dritten Internationalen Symposium über «Subsurface¹ Microbiology», um sich mit diesem noch jungen, faszinierenden Teilgebiet der Mikrobiologie auseinanderzusetzen. Organisiert wurde dieser Anlass durch die Abteilung Mikrobiologie des Institutes für Pflanzenbiologie der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit Kollegen der EAWAG und der ETH Zürich. Nun liegen die Kongressberichte in gedruckter Form vor.

Nachdem bereits im letzten Heft der Vierteljahrsschrift Judith A. McKenzie und Mitarbeiter darüber berichtet haben «Wie Bakterien Steine bauen», können sich Interessierte nun in der Zeitschrift «FEMS Microbiology Reviews» vom Juli 1997 über die ganze Bandbreite des Themas «Mikrobiologie der tieferen Erdschichten» informieren. Dieses Spezialheft mit den «Proceedings» des 3. Internationalen Symposiums «Subsurface Microbiology» bildet eine gute Grundlage für die Beschreibung des Ist-Zustandes und der offenen Fragen dieses noch jungen Wissenschaftszweiges.

Die ersten Hinweise, dass Mikroorganismen in tiefen Zonen der Erdkruste vorkommen und aktiv sind, liegen mehr als 50 Jahre zurück. Damals untersuchten ZoBell und andere Geomikrobiologen in den USA Sediment-Bohrkerne und Bohrlöcher, welche für die Erdöl-Förderung angelegt wurden. Russische Wissenschaftler leisteten auf diesem Gebiet ebenfalls Pionierarbeit. Einer der ersten, welcher bakterielles Leben im Alpen-Gestein studierte, war der Schweizer Geologe Johannes Neher. Da Neher diese Arbeiten aber nie publiziert hat, blieben seine Erkenntnisse unbeachtet. Der erste Beitrag dieses Sonderheftes würdigt nun seine Verdienste.

Viele neue Erkenntnisse wurden in den letzten Jahren in ein bis zwei Kilometern Tiefe – sowohl im Erdinnern wie auch in der Tiefsee – gewonnen. An Standorten also, wo vor einem oder zwei Jahrzehnten noch niemand überhaupt Leben (auch nicht mikrobielles) erwartet hätte. Heute gibt es sogar Hinweise für einfaches Leben auf dem Mars, müssen doch dort Verhältnisse vermutet werden, die gewissen «Subsurface»-Standorten ähnlich sein dürften.

¹ Für einige Forscher und Forscherinnen beginnt «Subsurface» schon wenige Zentimeter unterhalb der Erdoberfläche, für andere beginnt dieses Ökosystem erst in 10 bis 20 Metern Tiefe.

Anpassungen an extreme Bedingungen

Einen wichtigen Platz am Symposium nahmen methodische Aspekte ein. Wie kann man die Biomasse, ihre Aktivität, die physiologische und phylogenetische Entwicklung der Mikroorganismen sowie die Artendiversität in «Subsurface»-Standorten überhaupt erfassen? Daneben diskutierten die Fachleute aber auch ökologische Fragestellungen wie beispielsweise die physikalische und chemische Heterogenität dieser Standorte und der dort angesiedelten Mikroorganismen oder deren Überleben an diesen bezüglich Druck, Nährstoffen und Wassergehalt doch sehr extremen Standorten. Im weiteren kamen die möglichen biogeochemischen Prozesse zur Sprache, so etwa die Eisen(III)-Reduktion unter anoxischen Bedingungen, autotrophes Leben in über 1000 Metern Tiefe in Basalt mit geogenem Wasserstoff und Kohlendioxid, die mikrobiologische Laugung von Gestein und Erzen und die mikrobiell stimulierte Korrosion. Viele der präsentierten Forschungsarbeiten sind mit praktischen Fragestellungen verknüpft, die sich z. B. bei der Verschmutzung von «Subsurface»-Standorten oder bei der Suche nach Erdöl ergeben. Von grossem Interesse ist auch die Bedeutung der Mikroorganismen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in grosser Tiefe. Wie verändern Mikroorganismen diese Abfälle und deren Behältnisse?

In situ-Messungen gefragt

Einerseits machte das Symposium deutlich, dass seit dem ersten «Subsurface»-Kongress 1990 ein enormer Wissenszuwachs stattgefunden hat. Andererseits gibt es immer noch viele offene Fragen. So sind beispielsweise Methoden, mit denen sich mikrobielle Prozesse ungestört *in situ* messen lassen, noch sehr beschränkt. Deshalb wurde am Kongress das Schlagwort geprägt «das Labor zu den Mikroorganismen bringen und nicht die Mikroorganismen ins Labor nehmen». Ebenso ist noch unklar, ob sich die zur Verfügung stehenden Methoden der «Subsurface»-Mikrobiologie auch adaptieren lassen, um mögliches Leben auf andern Planeten zu studieren. Antworten dazu sind sicher am nächsten Symposium zu hören, welches in Vail (Colorado, USA) vom 22. bis 27. August 1999 durchgeführt wird.

Literatur

Special Issue: Proceedings of the 1996 International Symposium on Subsurface Microbiology 15–21 September 1996 in Davos, Switzerland. Guest Editor: Reinhard Bachofen. – FEMS Microbiology Reviews, 20, 179–638 (1997). Restexemplare erhältlich zu Fr. 60.– bei R. Bachofen, Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zürich.

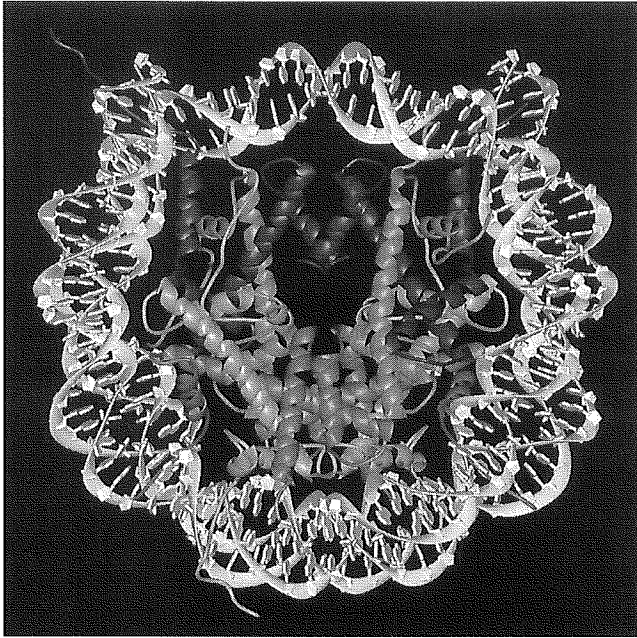
ARCHITEKTUR VON CHROMOSOMEN BIS INS ATOMARE DETAIL SICHTBAR

Wissenschaftler des Instituts für Molekularbiologie und Biophysik der ETH Zürich haben die atomare Struktur der Grundeinheit von Chromosomen aufgeklärt. Diese sich ständig wiederholende Einheit, der sogenannte Nucleosomen-Kern, ist in nahezu identischer Form in allen höheren Lebewesen – von der Hefe bis zum Menschen – vorhanden. Erstmals lässt sich dadurch das Aussehen der DNA in der Form zeigen, wie sie in lebenden Zellen vorkommt. Mit dieser Arbeit erhoffen sich die Forscher beispielsweise eine verbesserte Konstruktion von künstlichen menschlichen Chromosomen, welche einen wichtigen Beitrag zur Gentherapie leisten könnten.

Jede Zelle mit Zellkern ist mit der Frage konfrontiert: Wie bringe ich die fünf bis sechs Milliarden Basenpaare lange DNA, welche insgesamt über zwei Meter lang wäre, im Zellkern auf einem Millionstel dieser Dimension unter. Dieses Problem wurde im Laufe der Evolution mit Hilfe von Histon-Proteinen gelöst. Laut der gängigen Modellvorstellung werden Abschnitte der DNA um die Histone gewickelt. Die entstehenden Gebilde nennt man Nucleosome, die aus dem Nucleosomen-Kern, einem DNA-Verbindungsstück und einem weiteren Histon-Protein bestehen. Millionen wie Perlen an einer Schnur aneinandergereihte Nucleosomen bilden dann das Chromatin (wobei die Nucleosomen im Chromatin wiederum lange, in sich verwundene Spiralen ausbilden, welche 6–8 Nucleosomen pro Windung enthalten).

An der ETH Zürich haben nun Wissenschaftler unter der Leitung von Timothy J. Richmond, Professor am Institut für Molekularbiologie und Biophysik der ETH Zürich, mit Hilfe der Röntgenkristallographie die atomare Struktur des Nucleosomen-Kerns aufgeklärt (LUGER et al., 1997). Die für die Experimente benötigte Röntgenstrahlung von extrem hoher Intensität stand an der «European Radiation Synchrotron Facility» in Grenoble zur Verfügung. Mit dieser Methode konnten die ETH-Forscher zeigen, dass die DNA in einer linkshändigen Superhelix um das Histon-Octamer (vier verschiedene Histone, die jeweils doppelt vorkommen) gewickelt ist (vgl. Abb.). In jeder Proteinkette können zwei Regionen unterschieden werden: starre, kompakte Faltungsmodule sowie lange, flexible Schwänze, welche über und zwischen die Windungen der DNA-Superhelix hinausreichen. Während die starren Module für die Organisation der DNA verantwortlich sind, sind die flexiblen Schwänze der Histone hauptsächlich für die Ausbildung der Chromatin-Fasern ver-

antwortlich (indem sie mit der Proteinspule eines benachbarten Nucleosoms Verbindungen herstellen).



Frontalansicht der atomaren Struktur des Nucleosomen-Kerns: Die DNA (weiss, strickleiterähnliches Gebilde) ist in einer linkshändigen Superhelix um das Histon-Octamer gelegt (Bild Timothy J. Richmond).

Verschiedene Arten von Wechselwirkungen

Bisher ging man davon aus, dass der Nucleosomen-Kern durch einfache elektrostatische Wechselwirkungen zwischen der negativ geladenen DNA und den positiv geladenen Histon-Spulen zusammengehalten wird. Wie die ETH-Forscher nun aber zeigen konnten, spielen neben dieser Art von Wechselwirkungen beispielsweise Wasserstoff-Brückenbindungen eine ebenso grosse Rolle.

Die Wissenschaftler interessieren sich aber nicht nur für das Aussehen von Nucleosomen. Genauso spannend ist die Frage, wie die DNA abgelesen werden kann. Die Arbeitsgruppe von Timothy Richmond konnte zeigen, dass zwischen der DNA und den Histon-Proteinen 14 voneinander unabhängige Kontaktstellen bestehen. Diese Konstruktion ermöglicht eine nur teilweise Ablösung der DNA innerhalb eines einzelnen Nucleosomen-Kerns, während andere Regionen immer noch fest gebunden sind. Dadurch kann die in der DNA gespeicherte genetische Information abgerufen werden, ohne dass die Struktur komplett zerstört wird.

Literatur

LUGER, K., MÄDER, A.W., RICHMOND, R.K., SARGENT, D.F. & RICHMOND, T.J. 1997. Crystal structure of the nucleosome core particle at 2.8 Å resolution. – *Nature* 389, 251–260.

WIRBEL UM ANTIBIOTIKA-RESISTENZEN IN ROHMILCH

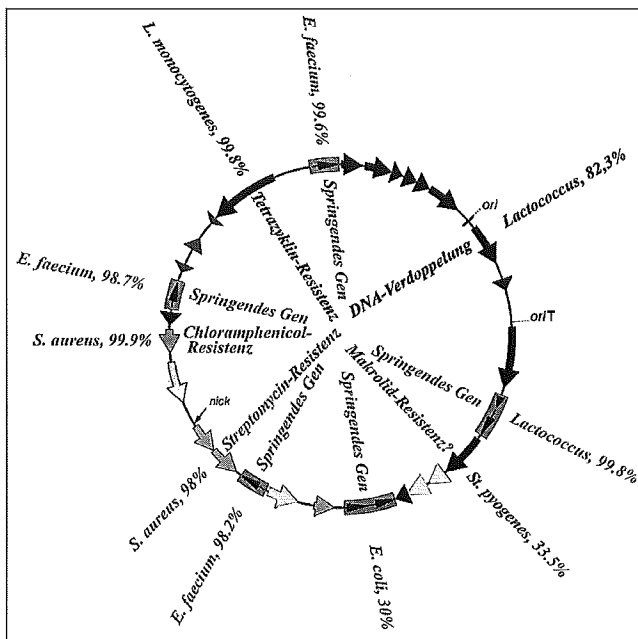
Mit ihrer am 23. Oktober 1997 in der Zeitschrift «Nature» publizierten Arbeit über die Verbreitung von Antibiotika-Resistenzen via Nahrung haben die Forscher und Forscherinnen des Instituts für Lebensmittelwissenschaft der ETH Zürich ein enormes Medieninteresse ausgelöst. In der Folge mussten die verschiedensten Verbände und Institutionen zu dieser Problematik Stellung nehmen. Um Wiederholungen möglichst zu vermeiden, beschränkt sich der nachfolgende Text auf wissenschaftliche Details dieser Arbeit sowie auf die Meinung eines Experten aus der Humanmedizin.

Seit 7 Jahren befasst sich das Labor für Lebensmittelmikrobiologie des Instituts für Lebensmittelwissenschaft der ETH Zürich mit antibiotikumresistenten Keimen, die sich vom Tier kommend in den daraus hergestellten Nahrungsmitteln halten oder sogar vermehren können. Die Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Michael Teuber, Professor am Institut für Lebensmittelwissenschaft der ETH Zürich, haben ergeben, dass Krankheitserreger wie Enterokokken und Staphylokokken in Rohmilchkäse und Rohwürsten regelmässig anzutreffen sind. Zudem zeigen diese aus dem Darm bzw. von der Haut der Tiere stammenden Keime häufig verschiedenste Antibiotikum-Resistenzen (TEUBER et al., 1996). Die Forscher und Forscherinnen beobachteten zudem, dass vor allem die Enterokokken in der Lage waren, diese Resistenzen im Labor z.B. durch Konjugation auch an andere Keime weiterzugeben.

Mehrfachresistenzen in französischem Rohmilchweichkäse

Am Beispiel eines an sich harmlosen Milchsäurebakteriums (*Lactococcus lactis*) hat die Arbeitsgruppe von Michael Teuber die «Evolution» solcher resistenter Bakterien nun besonders deutlich veranschaulicht (PERRETEEN et al., 1997). Die Forscher isolierten *Lactococcus lactis* aus einem französischen Rohmilchweichkäse. Das Bakterium kommt auf Pflanzen, im Maul von Kühen, auf dem Euter und in der Rohmilch vor und ist normalerweise gegenüber Antibiotika empfindlich. Die molekularbiologische Charakterisierung hat nun aber gezeigt, dass dieses Bakterium gegen mindestens drei

Antibiotika gleichzeitig resistent ist, nämlich gegen Tetrazyklin, Chloramphenicol und Streptomycin (vgl. Abb.). Die für die Resistenzen verantwortlichen Gene wurden von anderen, zum Teil pathogenen Mikroorganismen wie Enterokokken, Staphylokokken und Listerien erworben. Das Einsammeln dieser Gene ist offensichtlich mit Hilfe springender Gene erfolgt: fünf Insertionselemente sind zusätzlich auf dem Plasmid vorhanden. Drei dieser Insertionselemente stammen aus *Enterococcus faecium*. Obwohl der genaue Übertragungsweg nicht bekannt ist und auch noch nicht bewiesen ist, dass im menschlichen Darm ebenfalls ein solcher Gen-Austausch stattfinden kann, zeigt dieses Beispiel doch, was in der Natur unter einem entsprechenden Selektionsdruck geschehen kann.



Anordnung der Gene auf einem 29 871 Basenpaare grossen zirkulären Plasmid aus *Lactococcus lactis* von einem Rohmilchweickäse. Das Plasmid trägt die Erbinformationen für drei verschiedene Antibiotika-Resistenzen. Die identifizierten Gene sind als Pfeile eingezeichnet. Im Innenraum sind die für die Antibiotikumresistenzen wichtigen Gene, aussen ist der Grad der Identität mit bekannten Genen aus anderen Mikroorganismen angegeben. Die vollständige Gensequenz ist bei der Genbank des Europäischen Labors für Molekularbiologie in Hinxton/UK unter dem Code X92946 hinterlegt und über Internet abrufbar (<http://srs.ebi.ac.uk>) (Bild ETH Zürich).

Fritz H. Kayser, Professor für medizinische Mikrobiologie am Universitätsspital Zürich, findet die Reaktion einiger Medien übertrieben. Er betont, dass schon lange bekannt ist, dass Antibiotika in der Landwirtschaft – ähnlich wie in der Humanmedizin – die Anreicherung resistenter Bakterien för-

dern. Nichts Neues sei auch, dass Bakterien Resistenzgene untereinander austauschen können. Er weist weiter darauf hin, dass die drei Resistenzen schon vor Jahrzehnten bei Staphylokokken, Enterokokken und Streptokokken gefunden wurden und auch bei Isolaten, die Infekte bei Mensch und Tier verursachen, gar nicht selten sind. Sowohl Michael Teuber wie Fritz H. Kayser sind sich einig: Will man das Problem der Antibiotika-Resistenzen in den Griff bekommen, muss nicht nur in der Humanmedizin Zurückhaltung bezüglich des Antibiotika-Einsatzes gefordert werden. Vielmehr müssen auch in der Landwirtschaft entsprechende Massnahmen (z. B. Verzicht auf Antibiotika als Leistungsförderer und zurückhaltende Anwendung von Antibiotika im Krankheitsfall) getroffen werden. Eine konkrete technische Massnahme wäre die Abtötung resistenter Keime durch Pasteurisierung, sofern die betroffenen Lebensmittel bzw. Rohstoffe dies zulassen.

Literatur

TEUBER, M., PERRETEEN, V. & WIRSCHING, F. 1996. Antibiotikumresistente Bakterien: eine neue Dimension in der Lebensmittelmikrobiologie. – Lebensmittel-Technol. 29, 182–199.
 PERRETEEN, V., SCHWARZ, F., CRESTA, L., BOEGLIN, M., DASEN, G. & TEUBER, M. 1997. Antibiotic resistance spread in food. – Nature 389, 801–802.

SUSANNE HALLER-BREM