

In eigener Sache: Im Laufe der vergangenen zwei Jahre hat sich gezeigt, dass sich die beiden Rubriken «Aktuelle Notizen» und «Hochschul-Nachrichten» überschneiden. Sie werden deshalb von nun an in der Rubrik «Aktuelles in Kürze» zusammengefasst.

ELEMENT 106 ERSTMALS CHEMISCH UNTERSUCHT

Im Rahmen einer grossen internationalen Zusammenarbeit ist es erstmals gelungen, die chemischen Eigenschaften des Elements 106 zu studieren. Möglich machte dies eine Technik, die am Paul Scherrer Institut und an der Universität Bern entwickelt worden war.

Bisher sind 111 chemische Elemente bekannt. Während 90 Prozent des Universums aus Wasserstoff bestehen, sind die restlichen 110 Elemente zum Teil äusserst selten. Einige kommen in der Natur gar nicht vor – sie müssen an Beschleunigern künstlich hergestellt werden und leben nur kurze Zeit. Weshalb aber interessieren sich Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus Physik und Chemie für etwas, das normalerweise nicht existiert und zudem oft extrem kurzlebig ist? Sie hoffen, aus den Eigenschaften dieser Elemente wertvolle Informationen für ihre Modelle der Atomkerne und Atomhüllen zu gewinnen. Dies ist sowohl für das Verständnis der «normalen» Chemie als auch für das Verständnis der Chemie im Weltraum von Nutzen.

Dank «OLGA»-Technik erfolgreich

Wegen der kurzen Halbwertszeiten der schwersten Elemente war es bisher nur möglich, chemische Eigenschaften bis zum Element 105 zu studieren. Wie das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen und die Universität Bern vor kurzem mitteilten, ist es nun im Rahmen einer grossen internationalen Zusammenarbeit erstmals gelungen, chemische Studien mit dem Element 106 durchzuführen. Dies war möglich dank einer an diesen Institutionen entwickelten Methode – der sogenannten «OLGA»-Technik (On-Line Gaschemie Apparat) – mit der sich einzelne Atome untersuchen lassen. Diese Anlage hat sich bereits beim Studium der Elemente 104 (Rutherfordium) und 105 (Hahnium) bewährt (GÄGgeler, 1994).

Die Experimente mit dem Element 106 wurden am Schwerionen-Beschleuniger UNILAC in Darmstadt (D) durchgeführt. Forscherteams aus 8 verschiedenen Nationen, darunter die Schweizer Gruppen unter der Leitung von Heinz W. Gäggeler, waren daran beteiligt. Gäggeler ist Professor am Institut für Anorganische Chemie der Universität Bern

und leitet zudem am PSI eine Forschungsabteilung. Die Studien wurden durch den Schweizerischen Nationalfonds und das PSI unterstützt.

Das Element 106 wurde in einer Fusionsreaktion zwischen einem hochradioaktiven Target aus Curium-248 und hochenergetischen Neon-22-Projektilen hergestellt. Dabei wurden pro Tag nur wenige Atome synthetisiert. Diese zerfallen mit einer Halbwertszeit von etwa 10 Sekunden über die Emission eines Alphateilchens zu einem bekannten Isotop des Elements 104 (Rutherfordium).

Weil das Element 106 mit Molybdän und Wolfram zur Gruppe 6 des Periodensystems gehört, war es naheliegend, es auf der Basis von Analogien zu Wolfram zu charakterisieren. Für den Nachweis eignet sich deshalb das flüchtige Oxychlorid besonders gut. Auf der Basis von nur vier zerfallenden Atomkernen konnten die Forscher mit Hilfe der «OLGA»-Technik zeigen, dass sich das Element 106 ähnlich verhält wie Wolfram – es bildet mit Chlorgas und Sauerstoff Oxychloride, die sich bei 350 °C verflüchtigen.

Kontroversen bei der Namensgebung

Als Name für das Element 106 wurde 1994 von der Amerikanischen Chemischen Gesellschaft «Seaborgium» (Sg) vorgeschlagen. Damit sollte der amerikanische Radiochemiker und Nobelpreisträger Glenn T. Seaborg geehrt werden. Dieser hatte zusammen mit seinen Mitarbeitern zwischen 1942 und 1961 das Plutonium und weitere Elemente der Actinidenreihe synthetisiert und charakterisiert. Doch dieser Vorschlag führte zu Kontroversen mit jenem Gremium, das die chemische Namensgebung überwacht – die IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Die Regeln der IUPAC besagen nämlich, dass ein Element nur nach einem verstorbenen Wissenschaftler benannt werden darf. Und Seaborg wird dieses Jahr 84-jährig.

Literatur

GÄGgeler, H. W. 1994. On-line gas chemistry experiments with transactinide elements. – J. Radioanal. and Nucl. Chem. 183, 261–271.

VULKANFORSCHUNG AN DER ETH ZÜRICH: ANTIGORIT ALS «WASSERTRÄGER»

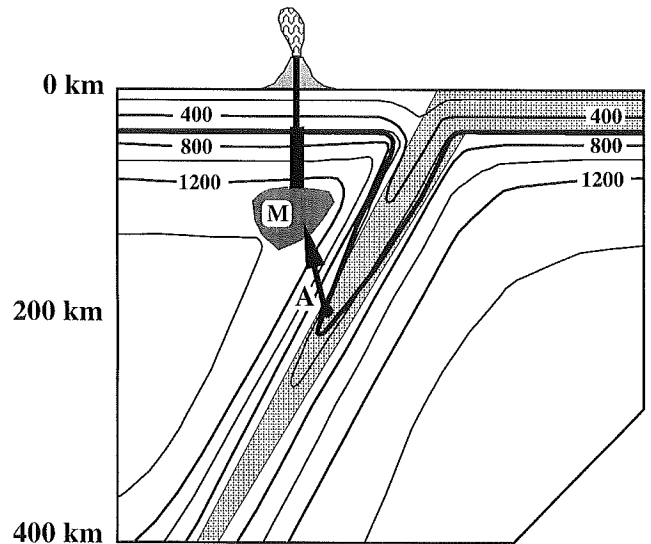
Vulkaneruptionen sind dann besonders heftig, wenn das freigesetzte Magma grosse Mengen Wasser enthält. Wissenschaftler des Instituts für Mineralogie und Petrographie der ETH Zürich konnten nun mit Laborexperimenten zeigen, dass

das Mineral Antigorit als Transportmittel für Wasser dienen kann.

Beispiele für Vulkanausbrüche, bei denen das freigesetzte Magma grosse Mengen Wasser enthielt, sind die Ausbrüche des Mount St. Helens (USA) im Jahr 1980, des Pinatubo auf den Philippinen 1991 sowie des Unzen auf der südjapanischen Insel Kyushu 1991. Alle drei Vulkane liegen über einer Subduktionszone, wo Ozeanboden mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr in die Tiefe verfrachtet wird. Dabei gelangen auch grosse Wassermengen ins Erdinnere, von wo sie dann bei einem Vulkanausbruch wieder an die Oberfläche befördert werden.

Verschiedene Mineralien wurden als mögliche H₂O-Transportmittel diskutiert: So zum Beispiel Amphibol, Glimmer und Calcium-Aluminium-Silicat. Doch alle diese Mineralien kommen nicht in Frage, weil sie entweder zuwenig stabil oder mengenmässig unbedeutend sind. Wie die Zeitschrift «Horizonte» des Schweizerischen Nationalfonds im Dezember 1995 berichtete, haben Peter Ulmer und Professor Volkmar Trommsdorff vom Institut für Mineralogie und Petrographie (IMP) der ETH Zürich, im Labor die extremen Bedingungen bis zu mehreren 100 Kilometern Tiefe rekonstruiert. Sie setzten verschiedene Gesteine den dort herrschenden Drucken und Temperaturen aus. Dabei fanden sie heraus, dass das wassertransportierende Mineral Antigorit ist (ULMER & TROMMSDORFF, 1995). Antigorit kann bis zu 30 Volumenprozent Wasser enthalten.

Antigorit (typische Zusammensetzung Mg_{2,82}Si₂O₅(OH)_{3,64}) gehört zur Gruppe der Serpentine. Gemäss Peter Ulmer ist es wichtig, für die Experimente möglichst homogenen, natürlichen Antigorit zu verwenden. Denn je nach der Struktur des Ausgangsmaterials, das heisst der Anzahl Fehlstellen im Mineral, ist die Druck-Temperatur-Stabilität verschieden. Der weltweit homogenste und bestgeordnete Antigorit aus dem Serpentin von Poschiavo-Val Malenco stand dank langjähriger Forschung am IMP als Ausgangsmaterial für die Experimente zur Verfügung. Die Resultate der Hochdruck-Versuche im ETH-Labor zeigten, dass Antigorit bei 720 °C bis zu 2 GigaPascal (19740 Atmosphären), bei 690 °C bis zu 3 GPa (29610 atm) und bei 620 °C bis zu 5 GPa (49350 atm) stabil ist. Erst bei noch stärkeren Belastungen gibt das Mineral sein gebundenes Wasser frei. Dies entspricht in der Natur einer Tiefe von 150 bis 200 km (vgl. Abb.). Nach der Freisetzung steigt das Wasser langsam empor und spielt auf zwei Arten eine Rolle. Erstens senkt es die Schmelztemperatur der Mantelgesteine (Granat-Lherzolite) um mehrere 100 °C. Dies führt zur partiellen Aufschmelzung und Entste-



Szenario für die Rolle des Antigorits bei Vulkanausbrüchen über einer Subduktionszone. Gefälle der Subduktionszone: 60°, Geschwindigkeit der Subduktion: 4,5 cm/Jahr. Die Zerfallskurve des Antigorits ist als dicke Linie dargestellt. In der Subduktionszone, in einer Tiefe von ca. 200 km (Punkt A) gibt Antigorit sein gebundenes Wasser frei. Dieses kann dann in die Magmaregion (Zone M, Tiefe 120 ± 35 km, Temp. 1325 °C) aufsteigen und die Eruptionen verstärken (nach ULMER & TROMMSDORFF, 1995).

hung von basaltischen Magmen. Zweitens expandiert das im Magma gelöste H₂O bei der Druckentlastung während des Aufstiegs vom Erdmantel in die Erdkruste und führt letztlich zu explosiven Eruptionen.

Literatur

ULMER, P. & TROMMSDORFF, V. 1995. Serpentine stability to mantle depths and subduction-related magmatism. – Science 268, 858–861.

WINDWURF IM BERGWALD: AUFFORSTEN ODER AUF NATÜRLICHE VERJÜNGUNG SETZEN?

Wie entwickeln sich Sturmschadenflächen im Gebirgswald mit und ohne Räumungs- und Wiederbewaldungsmassnahmen? Um Antworten auf diese Frage zu finden, beobachten Fachleute der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft seit 5 Jahren verschiedene Versuchsflächen. Am Schluss des langfristig angelegten Forschungsprojekts soll eine ökologische und ökonomische Bilanz der verschiedenen Massnahmen gezogen werden. Ende des letzten Jahres präsentierten die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen erste Ergebnisse.

Die Winterstürme «Vivian» und «Wiebke» richteten im Februar 1990 in der Schweiz grosse Schäden an. Viele Schutzwälder bestanden nach den Orkanböen nur noch aus entwurzelten oder gebrochenen Bäumen. Der Sturm und seine Folgen haben zu heftigen Kontroversen geführt. Viele bisher übliche Handlungsweisen wurden in Frage gestellt. Bergbewohner fragten sich, wie es künftig um ihre Sicherheit bestellt sei und wie die vom Sturm verwüsteten Wälder am schnellsten wiederbewaldet werden könnten.

Um den Praktikern in Zukunft bessere Entscheidungshilfen geben zu können, starteten Forscher und Forscherinnen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf ein langfristiges und interdisziplinäres Forschungsprojekt. Dazu wurden 4 Windwurfflächen – in Zweisimmen (BE), Pfäfers (SG), Schwanden (GL) und Disentis (GR) – ausgeschieden und mit Ausnahme von Zweisimmen in je 3 verschiedene Behandlungsvarianten unterteilt. Die eine Variante wurde geräumt und mit verschiedenen Baumarten bepflanzt, die andere wurde geräumt und der natürlichen Verjüngung überlassen, und in der dritten wurde überhaupt nicht eingegriffen – das Sturmholz blieb liegen, und der Wald sollte sich selbst verjüngen. Um eine grössere geographische und standörtliche Vielfalt der Flächen zu erreichen, erweiterten die Fachleute die Untersuchungen durch 16 weitere unberührte Windwurfflächen im Alpenraum.

Liegendes Holz: Schutz vor Lawinen und Erosion?

Die Arbeitsgruppen der WSL erforschen beispielsweise, wie sich Vegetation, Erosion, Schneebewegungen und Insektenpopulationen in den verschiedenen Varianten verhalten. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Hälfte aller Bodenwunden erst durch die Holzernte entstanden sind. Dadurch verstärkt sich auf den geräumten Flächenteilen die Gefahr von Erosion und Steinschlag sowie von Lawinenanrissen. Wird hingegen auf eine Räumung verzichtet, dürfte die Schutzwirkung gegen Naturgefahren auf vielen Windwurfflächen ausreichen. Bei nicht extrem steilen Verhältnissen gehen die Forscher davon aus, dass die liegenden Stämme so lange als Lawinen- und Erosionsschutz wirken, bis die aufkommende Verjüngung diese Aufgabe wieder übernehmen kann (FREY et al., 1995).

Gute Chancen für die natürliche Waldverjüngung

Die Sturmschadenflächen haben sich erstaunlich schnell wiederbegrünt. Fast alle ehemals vegetationslosen Stellen sind heute dicht bewachsen. Die Zusammensetzung der Schlagflora in den ersten 2 bis 3 Jahren war je nach Wind-

wurffläche unterschiedlich. Ein häufiger Vertreter war der Gemeine Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit* L.). Mittlerweile dominiert die Himbeere (*Rubus idaeus* L.). Zwischen den Kräutern und Sträuchern wachsen bereits viele junge Bäumchen. Besonders auf den umgekippten Wurzeltellern und mitten in Moospolstern nutzen Baumsamen die günstigen Keimbedingungen. Neben verschiedenen Laubbaumarten wie zum Beispiel dem Vogelbeerbaum (*Sorbus aucuparia* L.) und dem Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) ist auch die Fichte (*Picea abies* L.) überall an der Verjüngung beteiligt (WOHLGEMUTH et al., 1995).

Die gesetzten Pflanzen haben bislang gegenüber der natürlichen Verjüngung einen deutlichen Wachstumsvorsprung. Trotz Schutzmassnahmen hat das Wild jedoch viele Bäumchen stark verbissen. Dadurch dürfte der erhoffte Zeitvorsprung bei der Wiederbewaldung zugunsten der artenreichen Naturverjüngung wieder schrumpfen. Denn diese scheint weniger unter Frassschäden zu leiden: beim Bergahorn waren die Endtriebe der natürlich aufgewachsenen Bäumchen nur zu 14% (Pfäfers) bzw. 17% (Schwanden) verbissen, während die gepflanzten Bäumchen zu 59 bzw. 67% betroffen waren (LÄSSIG et al., 1995).

Günstige Ausgangslage für Borkenkäfer?

Windwurfholz bietet bei warmer und trockener Witterung ideale Voraussetzungen für eine Massenvermehrung der Borkenkäfer. Dabei ist vor allem der Buchdrucker (*Ips typographus*) gefürchtet. Diese Borkenkäferart erreichte in den ungeräumten Flächen viel höhere Dichten als in geräumten. In den ungeräumten Windwürfen wurde das Maximum 2 Jahre nach dem Sturm erreicht, danach nahm die Käferdichte wieder ab. Heute empfehlen die WSL-Fachleute den Praktikern, kleinere Windwürfe möglichst rasch und vollständig aufzuräumen. So wird das Befallsrisiko von Nachbarbeständen wirksam verringert. Nach grossen Sturmschäden hingegen kann die immense Holzmenge meist nicht rechtzeitig (das heisst vor dem Ausfliegen der ersten Generation von Borkenkäfern) geräumt werden. Weil das Holz auf grossen Flächen schneller austrocknet, sei das Liegenlassen eher zu rechtfertigen (FREY et al., 1995; WERMELINGER et al., 1995).

Gewinner der Februarstürme 1990 sind eindeutig die Tier- und Pflanzenwelt. Windwurfflächen, ob geräumt oder ungeräumt, sind wesentlich artenreicher als die benachbarten Bestände. So sehr die Sturmschäden aus forstwirtschaftlicher Sicht zu beklagen sind, für die Natur sind solche Ereignisse eine Chance zur Erneuerung und zur Erhaltung der natürlichen Vielfalt.

Keine Patentlösung, sondern Abwägen empfohlen

Vergleicht man die Schutzwirkung geräumter und ungeräumter Windwurfflächen, so schneiden die Flächen, auf denen das Holz liegengelassen wurde, vielfach besser ab. Auch in ökologischer Hinsicht sind die Prognosen für die im Ausgangszustand belassenen Flächen recht günstig.

Sofern Schutzaspekte dies zulassen, bietet sich das Liegenlassen des Holzes vor allem in abgelegenen Tälern und steilen Hanglagen an (grosse Unfallgefahr beim Räumen und hohe Kosten). In gut erschlossenen Lagen dagegen sprechen ökologische sowie volkswirtschaftliche Gründe für die Nutzung des einheimischen und erneuerbaren Rohstoffes. Denn das Holz aus den Gebirgswäldern ist qualitativ hochwertig und daher bei vielen holzverarbeitenden Betrieben begehrt. Ausserdem sichert die Nutzung des einheimischen Holzes in den oft strukturschwachen Bergregionen Arbeitsplätze.

Für eine abschliessende Beurteilung ist der Untersuchungszeitraum aber noch zu kurz – verlässliche Ergebnisse dürften erst in 20 bis 30 Jahren vorliegen. «Als vorläufiges Fazit lässt sich zusammenfassen, dass das Liegenlassen der geworfenen Bäume für die Natur als Chance zur Erhaltung bzw. Förderung ihrer Vielfalt anzusehen ist. In sehr steilem Gelände allerdings dürfte der Verzicht auf die Holzräumung mit Risiken verbunden sein. Weil die Verhältnisse in der Natur und die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald sehr vielfältig sind, muss auf den Windwurfflächen beim Tun oder Unterlassen entsprechend differenziert vorgegangen werden. Konkrete Massnahmen nach grösseren Sturmschäden sollten möglichst viele Ansprüche mitberücksichtigen», schreiben die Fachleute.

Literatur

FREY, W., FORSTER, B., GERBER, W., GRAF, F., HEINIGER, U., KUHN, N. & THEE, P. 1995. Risiken und Naturgefahren auf Windwurfflächen. – Schweiz. Z. Forstwes. 146, 863–872.

LÄSSIG, R., EGLI, S., ODERMATT, O., SCHÖNENBERGER, W., STÖCKLI, B. & WOHLGEMUTH, T. 1995. Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. – Schweiz. Z. Forstwes. 146, 893–911.

WERMELINGER, B., DUELLI, P., OBRIST, M., ODERMATT, O. & SEIFERT, M. 1995. Die Entwicklung der Fauna auf Windwurfflächen mit und ohne Holzräumung. – Schweiz. Z. Forstwes. 146, 913–928.

WOHLGEMUTH, T., KUHN, N., LÜSCHER, P., KULL, P. & WÜTHRICH, H. 1995. Vegetations- und Bodendynamik auf rezenten Windwurfflächen in den Schweizer Nordalpen. – Schweiz. Z. Forstwes. 146, 873–891.

JODMANGEL INFOLGE MODERNER ERNÄHRUNGSGEWOHNHEITEN

Trotz jodiertem Kochsalz ist in der Berner Bevölkerung wieder ein Jodmangel festzustellen – dies zeigt eine Studie der Universität Bern. Die Forschergruppe kommt zum Schluss, dass der Grund in den veränderten Lebens- und Ernährungsgewohnheiten liegt. Um einer neuen Kropfgeneration vorzubeugen, wird diskutiert, ob die Jodierung des Kochsalzes in der Schweiz bereits zum vierten Mal angehoben werden soll.

Je weniger Jod im Boden vorhanden ist, desto jodarmer sind Nahrungsmittel und Trinkwasser. Nimmt der Mensch zu wenig Jod auf, vergrössert sich die Schilddrüse – es kommt zum Kropf. Dadurch kann das spärlich vorhandene Jod zwar bestmöglichst ausgenützt werden, doch drohen mögliche Spätkomplikationen wie Verdrängung anderer Halsorgane, Schilddrüsenüberfunktion (Plummer-Hyperthyreose) oder -unterfunktion sowie gut- oder bösartige Tumoren. Die schlimmste Folge des Mangels an Jod und damit an Schilddrüsenhormonen ist der Kretinismus bei Neugeborenen.

Um dem Übel des Jodmangels beizukommen, hat die Schweiz weltweit eine Pionierrolle gespielt, indem sie von 1922 an jodiertes Kochsalz (5 mg Kaliumjodid/kg Salz) herstellte. 1965 wurde die Jodierung des Kochsalzes verdoppelt. Diese Massnahmen bewirkten, dass die Kröpfe abnahmen und der Kretinismus verschwand.

Die tägliche Ausscheidung von Jod im Urin des Menschen ist ein Spiegel der Jodzufuhr. Gemäss der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist die Jodzufuhr bei Erwachsenen dann genügend, wenn der 24-Stunden-Urin mindestens 100 µg Jod/g Kreatinin enthält; bei Kindern und schwangeren Frauen sollte dieser Wert mindestens 150 µg/g Kreatinin betragen. Als man in den 70er Jahren in der Schweiz noch immer eine ungenügende Jodzufuhr feststellte, hob man die Jodierung des Kochsalzes ein drittes Mal an (20 mg/kg). Daraufhin wurde in den 80er Jahren in mehreren wissenschaftlichen Studien eine genügende Jodzufuhr über die Ausscheidung im Urin gemessen.

Wie die Ärztin Claudine Als vom Pathologischen Institut des Inselspitals der Universität Bern in der Zeitschrift «Unipress» letzten Dezember schrieb, zeigt eine anfangs der 90er Jahre durchgeführte Studie erneut Jodwerte unterhalb der von der WHO empfohlenen Norm. Nur ein Drittel bis ein Viertel aller Messungen lagen im genügenden Bereich (ALS et al., 1995). Die Forscher und Forscherinnen kommen in ihrer Studie zum Schluss, dass der Jodmangel vor allem auf die veränderten Essgewohnheiten zurückzuführen ist. Der

moderne Mensch verbraucht weniger Salz, verzehrt weniger Brot und isst dafür mehr industriell zubereitete Gerichte. Das vom Konsumenten eigenhändig zugefügte Kochsalz beträgt heute nur noch 15–30% des täglichen Salzkonsums. Hinzu kommt, dass ein Teil der Schweizer Lebensmittelhersteller nicht- oder nur wenig jodiertes Kochsalz verwendet, damit die Nahrungsmittel exportiert werden können. Vor allem in Nordeuropa, wo natürlicherweise eine genügende Jodversorgung vorhanden ist, ist die Einfuhr von mit jodiertem Kochsalz zubereiteten Lebensmitteln erschwert.

Die Arbeit der Berner Forschergruppe hat bereits Auswirkungen gezeigt: Um einer neuen Kropfgeneration vorzubeugen, hat die Fluor- und Jodkommission der Schweizerischen Akademie der medizinischen Wissenschaften dem Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG) einen Antrag gestellt, den Jodgehalt des Kochsalzes zum vierten Mal anzuheben (auf 25 bis 30 mg/kg). Das BAG will noch 1996 an Bundesrätin Ruth Dreifuss gelangen und die Änderung beantragen.

Literatur

ALS, C., LAUBER, K., BRANDER, L., LÜSCHER, D. & RÖSLER, H. 1995. The instability of dietary iodine supply over time in an affluent society. – *Experientia* 51, 623–633.

SUSANNE HALLER-BREM

DER APFEL UND DER SCHORF

Die meisten Apfelsorten sind anfällig für den Apfelschorf. Auch steht die Resistenz der wenigen resistenten Handelssorten auf schmaler Basis. Sie muss erweitert werden. Der Einsatz von genetischen Markern für die Resistenzgene würde die Züchtung von resistenten Sorten beträchtlich erleichtern. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe Phytomedizin an der ETH Zürich haben bisher zwei Marker gefunden und sind auf der Suche nach weiteren.

Tafeläpfel müssen mit grossem Aufwand vor dem Schorf (*Venturia inaequalis*) geschützt werden: etwa zehn bis zwölf Behandlungen pro Jahr mit Fungiziden sind nötig, damit die Äpfel mit makelloser Haut auf den Markt kommen, aber auch zum Schutze der Bäume. Eine bessere Strategie als der Einsatz von Chemie wäre die Züchtung schorffresistenter Sorten. Dieses Ziel verfolgt die Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau in Wädenswil (FAW), wobei weitere Eigenschaften des Apfels wie Qualität, Geschmack und Ertrag zu berücksichtigen sind. Obwohl die Apfelzüchter weltweit bereits im Jahre 1912 damit anfangen,

Resistenz gegen die häufigsten Apfelkrankheiten in die Züchtung einzubeziehen, sind die Ergebnisse bis heute eher mager. Die Schwierigkeit bei der konventionellen Apfelszüchtung liegt darin, dass der Apfel als Fremdbestäuber in hohem Grade heterozygot ist. Das bedeutet, dass die Abkömmlinge aus Kreuzungen zweier Sorten immer andere Eigenschaften aufweisen als die Eltern. Deshalb ist für eine erfolgreiche Selektion eine grosse Nachkommenschaft nötig: nur eine einzige neue Handelssorte kann aus ganzen 15000 Sämlingen erwartet werden!

Zu schmale Resistenzbasis

Die Resistenz gegen den Apfelschorf wurde von wilden Apfelsorten eingekreuzt, meist vom Zierapfel *Malus floribunda*. Die resistenten Kultursorten wie Florina, Liberty oder Rewena haben wahrscheinlich nur ein Resistenzgen gegen den Apfelschorf, das V_f -Gen (V steht für *V. inaequalis*, f für die Herkunft des Resistenzgens aus *M. floribunda*). Ein-Gen-Resistenzen aber sind gefährlich, denn der Schadenserreger kann sie evolutiv leicht überwinden und sich dann schlagartig ausbreiten. Bereits hat man im deutschen Ahrensburg einen spezifischen Schorftypus entdeckt, der die V_f -Resistenz überlistet hat. Dieser Pathotyp könnte sich bis in die Schweiz ausbreiten, oder auch hierzulande könnte ein solcher Typ entstehen.

In den Genen steht's geschrieben

Die Wissenschaftler stehen somit vor der Aufgabe, mehrere funktionell verschiedene Resistenzen in den Apfel einzukreuzen, um die Hürden gegen den Erreger zu erhöhen. Phänotypisch sind die verschiedenen Resistenzen aber nur als das Einzelmerkmal «resistent gegen Apfelschorf» sichtbar. Zwar können die Wissenschaftler mittels Infektionsversuchen die verschiedenen Typen von Resistenz auseinandertreten und die Nachkommenschaft daraufhin überprüfen; aber diese Versuche sind zeitraubend, aufwendig und nicht immer eindeutig. Funktionell verschiedene Resistenzen werden durch unterschiedliche Gene codiert. Die entsprechenden Gene zu markieren ist ein weitaus eleganterer Ansatz für die Selektion der Nachkommen aus einer Kreuzung als die Methoden zur Charakterisierung des Phänotyps. Deshalb sucht die Arbeitsgruppe um Cesare Gessler von der Phytomedizin der ETH Zürich, in Zusammenarbeit mit der FAW, nach genetischen Markern für die Resistenzgene.

Wie findet man Marker für Resistenzgene?

Das Prinzip besteht darin, unterschiedliche DNA-Sequenzen zwischen resistenten und anfälligen Pflanzen zu finden

(genetischer Polymorphismus). Polymorphismen kann man als genetische Marker einsetzen. Ein Marker ist in diesem Falle also eine bestimmte DNA-Sequenz, welche in der Region des Resistenzgens im Genom der resistenten Pflanze vorkommt, nicht aber in der anfälligen (oder umgekehrt). Der Marker muss nicht im Resistenzgen liegen, aber in seiner Nähe, so dass er zusammen mit dem Gen vererbt wird.

Um die gewünschten Polymorphismen zu finden, sucht man nach dem Kreuzen einer resistenten mit einer anfälligen Pflanze phänotypisch die Sämlinge aus, die eindeutig resistent oder anfällig sind. DNA von je zehn Individuen jeder Gruppe wird vereinigt, so dass man einen «resistenten» und einen «anfälligen» Ansatz erhält. DNA-Sequenzen, die für Resistenz codieren, sind also im ersten Ansatz angehäuft, jene für Anfälligkeit im zweiten. Alle übrigen Polymorphismen, welche für andere Merkmalsunterschiede verantwortlich sein können, sind zufällig über die individuellen Genome der beiden Ansätze verteilt und treten somit in den Hintergrund.

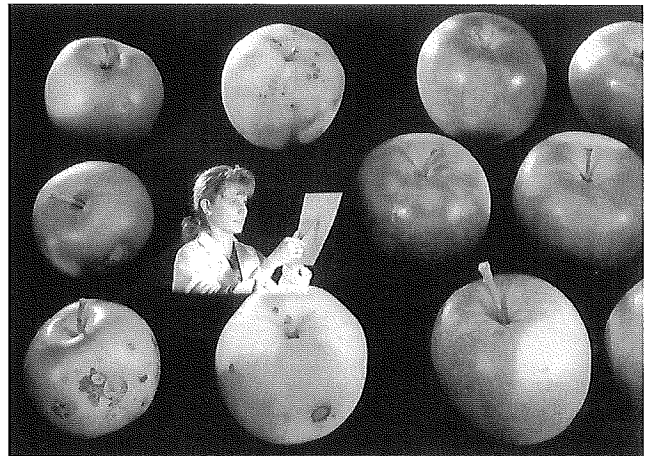
Nun analysiert man die beiden Ansätze mit Hilfe der RAPD-Technik (random amplified polymorphic DNA), die auch unter dem Namen «willkürlich gestartete Polymerasen-Kettenreaktion» bekannt ist. Mit dieser Methode lassen sich Polymorphismen nachweisen, selbst wenn die Sequenz der Gene nicht bekannt ist. Man tastet die Erbsubstanz in den beiden Ansätzen mit Hilfe von beliebig zusammengesetzten Primern gewissermassen blind ab, bis man zufällig auf Basensequenzen stösst, die in den beiden Ansätzen verschieden sind. Primer sind die Starthilfen für die Polymerase. Hier, bei diesem Nachweisverfahren, setzt man kurze Primer ein. Sie bestehen aus nur zehn beliebigen Nucleotiden. Ein bestimmter Primer bindet an komplementären Stellen der denaturierten einzelsträngigen DNA und wird durch die Polymerase von dieser Startstelle aus verlängert, indem sie den Einzelstrang als Matrize benutzt. Die verlängerten Primer werden durch die Kettenreaktion vervielfältigt und nach der Auftrennung in der Elektrophorese als Bandenmuster sichtbar.

Bindet ein Primer zufällig an eine polymorphe Stelle der DNA in der Region des Resistenzgens, fallen die Bandenmuster von «resistenten» und «anfälligen» Ansätzen unterschiedlich aus. Ein solcher Primer lässt sich als Marker verwenden, der für den Nachweis von Resistenzgenen geeignet ist.

Zwei Marker aus vielen Versuchen

Die Gruppe Phytomedizin hat bisher 800 Primer geprüft. Nur zwei davon (M18 und U1) eignen sich als Marker für das

V_r-Gen. Ihre «Produkte», DNA-Fragmente mit 900 und 400 Basenpaaren, erscheinen mit grosser Wahrscheinlichkeit bei DNA-Proben von resistenten Pflanzen, nicht aber von anfälligen. Da die Marker einen gewissen Abstand vom Resistenzgen haben, können Marker und Gen bei der Vererbung durch Rekombination ausgetauscht werden, so dass bei wenigen Individuen falsch-positive oder falsch-negative Resultate auftreten.



Das Bild zeigt schorf-anfällige (links) und schorf-resistente Apfelsorten. In der Bildmitte ist eine Forscherin der ETH Zürich beim Betrachten einer Genkarte eingeblendet (Bild H.R. Bramaz, Adliswil, für Schweiz. Nationalfonds, NFP/SPP-Pressestelle, Bern).

Nun sind die Wissenschaftler daran, brauchbare Marker für weitere Resistenzgene zu suchen, auch für solche, die noch unbekannt in alten Sorten vorhanden sind. Ein ganzes Set von DNA-Markern für verschiedene Resistenzgene würde bei der Züchtung die Auswahl von Abkömmlingen mit mehrfachen Resistenzen wesentlich erleichtern. Die Analyse wäre einfacher und klarer, und sie könnte frühzeitig durchgeführt werden. Marker für die Resistenzgene könnten darüber hinaus bei einer Genkartierung nützlich sein, um die betreffenden Resistenzgene zu orten.

Literatur

KOLLER, B., GIANFRANCESCHI, L., SEGLIAS, N., McDERMOTT, J. & GESSLER, C. 1994. DNA markers linked to *Malus floribunda* 821 scab resistance. – *Plant Mol. Biol.* 26, 597–602.

KELLERHALS, M. & GESSLER, C. 1995. Apfelzüchtung vor neuen Herausforderungen. – *Agrarforschung* 2, 61–64.

JOK BODENMANN