



## Ernst Zinner (1937-2015) Astrophysiker und Kosmochemiker Von St. Peter in der Au an die Washington University in St. Louis (USA)

redaktionelle Bearbeitung: Mag. Daniel Brandstetter

2015 emeritierte der gebürtige St. Peterer Dipl.-Ing. Dr. Ernst Zinner als Professor an der Washington University in St. Louis. Wenige Wochen vor seinem Tod besuchte er zum letzten Mal seine Heimat St. Peter in der Au. 2014 verfasste er die folgenden Erinnerungen an seine wissenschaftliche Laufbahn, die er auch den St. Peterer Geschichte(n) zur Verfügung gestellt hat:

Wenn mich jemand nach meinem Beruf fragt, so antworte ich, ich sei Astrophysiker, der die Zusammensetzung der Sterne studiert. Dann füge ich aber hinzu, dass ich dies auf sehr ungewöhnliche Weise mache: ich studiere nämlich die chemische und isotopische Zusammensetzung von winzigen Staubteilchen, die von verschiedenen Sternen in der Milchstraße stammen, in meinem Labor an der Washington University in St. Louis.

Viele Jahrhunderte lang war das sichtbare Licht die einzige Informationsquelle, die wir über Sterne hatten. Erst in den letzten Jahrzehnten wurden Beobachtungen von Sternen auch mit Radiowellen, ultravioletten und infraroten Strahlen, sowie mit Röntgen- und Gammastrahlen durchgeführt.

Erstaunlicherweise kam in den letzten 25 Jahren eine neue Methode hinzu: das Studium von Sternenstaub, d.h. Materialproben von Sternen, in terrestrischen wissenschaftlichen Laboratorien. Der Sternenstaub, den wir im Labor analysieren können, kondensierte ursprünglich (vor mehr als 4,6 Milliarden Jahren) aus der Atmosphäre von vielen verschiedenen Sternen und gelangte dann nach einer langen Reise im interstellaren Raum in jene Molekularwolke, aus der unser Sonnensystem gebildet wurde. Unser Sonnensystem ist 4,6 Milliarden Jahre alt und besteht aus *unserem* Stern (d.h. der Sonne) und aus den Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, aber auch aus Monden, Asteroiden, Kometen und interplanetaren Staubteilchen.

Manchmal können Stücke von anderen Körpern unseres Sonnensystems auf die Erdoberfläche in Form von Meteoriten fallen. Diese Meteoriten können verschiedene Größen haben (von wenigen mm zu einigen km Durchmesser) und können verschiedene chemische Zusammensetzungen besitzen (Eisenmeteorite und Steinmeteorite). Die Meteoritical Society hat einige hundert Mitglieder in allen Kontinenten und diese Wissenschaftler (ich bin einer davon) beschäftigen sich hauptberuflich damit, die chemische Zusammensetzung, die Mineralogie, die Herkunft und das Alter von einzelnen Meteoriten

### Pressemeldung (APA) vom 4. August 2015

St. Louis/Wien

Der österreichische Astrophysiker und Kosmochemiker Ernst Zinner ist am vergangenen Donnerstag (30. Juli) im Alter von 78 Jahren in St. Louis (US-Staat Missouri) in Folge von Komplikationen bei einer medizinischen Behandlung verstorben. Das teilte die Washington University in St. Louis mit, wo Zinner 1972 sein Physik-Doktorat abschloss und als Forschungsprofessor tätig war.

Zinner studierte zunächst Physik an der Technischen Universität (TU) Wien und setzte seine Forschungskarriere dann in den USA fort. Sein besonderes Interesse galt den Mechanismen der Entstehung des Sonnensystems und der Bildung der Elemente in Sternen. Dabei konzentrierte er sich am Labor für Weltraumwissenschaften der Washington University auf die Analyse der Zusammensetzung von Meteoriten und interplanetarem Staub und den Einfluss der interplanetaren Umgebung auf Himmelskörper. Von 1984 bis 1990 fungierte er als Leiter eines internationalen Forschungsteams im Rahmen der Satellitenmission „Long Duration Exposure Facility“ (LDEF).

Auslandsaufenthalte führten Zinner an das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, die Universität von Pavia (Italien), die Universität Bern, die Australian National University in Canberra, das Max-Planck-Institut für Kosmochemie in Mainz sowie das Musée National d'Histoire Naturelle in Paris. An die TU Wien kehrte er von 1980 und 1982 zurück. Zinner erhielt zahlreiche Auszeichnungen und wurde zum Mitglied mehrerer wissenschaftlicher Vereinigungen ernannt, darunter die American Physical Society oder der weltgrößte Wissenschaftsverband AAAS (American Association for the Advancement of Science). Seit 2002 war er korrespondierendes Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse im Ausland der Akademie der Wissenschaften (ÖAW).



zu erforschen. Meteoriten fallen überall auf die Erde, aber es ist wesentlich leichter, sie in Wüsten oder in der Antarktis zu finden als in anderen Plätzen, wo sie schneller verwittern. Ich verbrachte Dezember und Jänner 1985-86 in Antarktika, darunter sechs Wochen in einem kleinen Zelt am Eisplateau mit 2 km Eis unter mir, um Meteoriten zu suchen. Verschiedene Länder haben Programme, um in der Antarktis Meteorite zu sammeln, die USA hat eines (ANSMET – the Antarctic Search for Meteorites) seit 40 Jahren. Die meisten Meteorite, die wir heute besitzen und studieren, wurden in der Antarktis gefunden.

Seit ungefähr 25 Jahren wissen wir, dass Meteorite nicht nur Material von unserem Sonnensystem, sondern auch Material von anderen Sternen enthalten können. Dieses Material von anderen Sternen nennen wir „Sternenstaub“ oder „präsolare Körnchen“, weil wir erforscht haben, dass der Staub älter als unser Sonnensystem ist, d.h. die „präsolaren Körnchen“ entstanden, bevor unser Sonnensystem entstanden ist. Der präsolare Sternenstaub, dessen Isotopenzusammensetzung ich seit 25 Jahren im Labor mit komplizierten Instrumenten studiere, wird auf umständliche Weise aus ungewöhnlichen Steinmeteoriten (sogenannten „primitiven Meteoriten“) chemisch isoliert. Diese präsolaren Körnchen sind winzig; sie haben einen Durchmesser von nur einigen Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ). Zum Vergleich, ein menschliches Haar ist 20-180  $\mu\text{m}$  dick. Auf Grund der Forschungsergebnisse, die von mir und meinen Studenten, Mitarbeitern und Kollegen in den letzten 25 Jahren erhalten wurden, wissen wir heute, dass der präsolare Sternenstaub hauptsächlich von zwei Arten von Sternen stammt, nämlich von so genannten „AGB Sternen“ und von „Supernovae“. Wenn mich also jemand nach meinem Beruf fragt, dann sage ich, dass ich ein Astrophysiker bin, der die Zusammensetzung der Sterne studiert. Dann füge ich aber meistens hinzu, dass ich dies auf sehr ungewöhnliche Weise mache.

Aber bevor ich mein Studium des Sternenstaubs im Labor weiter im Detail erkläre, möchte ich die (Um)Wege schildern, die mich dazu geführt haben. Ich wurde 1937 geboren und war schon als Kind sehr an der Wissenschaft interessiert. Ich verschlang alle Bücher, die mir in die Hände fielen, die nur irgendetwas mit Physik, Chemie oder Biologie zu tun hatten. Das waren allerdings in der ersten Nachkriegszeit nur wenige Bücher, aber trotzdem stellte ich mir mit 10 oder 12 Jahren vor, einmal in einem Forschungslabor zu arbeiten. Mein erstes „wissenschaftliches“ Unternehmen in diesem Alter war das Sammeln von Schmetterlingen. Ein pensionierter Beamter in St. Peter in der Au, Leo Schwingenschuß, war ein begeisterter Schmetterlingssammler und er nahm mich unter seine Fittiche.

Er erklärte mir, wo ich welche Schmetterlinge finden würde und was das Lieblingsfutter von Raupen ist. Zusätzlich versorgte er mich mit einem Glas mit Zyankali, damit ich die gefangenen Schmetterlinge töten konnte. Meine Mutter traf fast der Schlag als sie dies herausfand; sie erlaubte ihrem erstgeborenen Sohn nicht, mit Gift (Zyankali) in der Tasche herumzulaufen, und so war meine erste „wissenschaftliche Karriere“ als Schmetterlingssammler relativ kurzlebig.

Meine Zeit im Stiftsgymnasium Seitenstetten (1949-1955) verlief relativ ereignislos was meine wissenschaftliche Fortbildung betraf. Zwar war Mathematik mein Lieblingsgegenstand, aber ich war etwas gelangweilt während des Unterrichts. Ich fand ein Buch, das mein Urgroßvater über Kristallographie geschrieben hatte, und die Skripten eines älteren Tennispartners, der bereits in Wien an der Universität studierte, wesentlich interessanter. Nach der Matura studierte ich in Wien Physik an der Technischen Hochschule am Karlsplatz (1955-1960), was zu dem Titel Dipl.-Ing. führte. Das Studium verlief glatt, hatte aber ein etwas unglückliches Ende, da der Professor, mit dem ich am liebsten an einem anschließenden Doktorat gearbeitet hätte, frühzeitig verstarb. Aus Frustration entschloss ich mich dann, in die USA auszuwandern (1965), um dort ein Doktorat in Physik zu erlangen. Zusätzlich hatte meine Emigration in die USA den Vorteil, dass ich dem Militärdienst in Österreich entkommen konnte.

Obwohl ich ursprünglich in den USA ein Doktorat in Festkörperphysik geplant hatte, änderte ich meine Pläne, sobald ich an der Washington University in St. Louis, Missouri ankam. Dort wurde gerade eine Gruppe für experimentelle Elementarteilchenphysik aufgebaut und ich entschloss mich, für meine Dissertation auf diesem Gebiet zu arbeiten. Ich studierte experimentell den Zerfall eines instabilen Elementarteilchens (eines so genannten Kaons) in einem Teilchenbeschleuniger (Synchrotron) in Princeton, New Jersey und anschließend simulierte ich den Zerfallsprozess am Computer in St. Louis. Der „main frame“ Computer, den es damals an der Washington University gab, hatte 175 kB Memory und war so groß wie ein Lastauto. Obwohl dies alles sehr interessant war und jahrelang gedauert hatte, wollte ich nach meinem Doktorat nicht unbedingt auf diesem Gebiet weitermachen. Zu dieser Zeit (1972) machte die experimentelle Elementarteilchenphysik gerade den Übergang zu Riesengruppen durch, was zu Publikationen mit 100-200 Autoren führte. (Die Größe der Forschungsteams auf diesem Gebiet der Physik erreichte schließlich gigantische Ausmaße; z.B. am Large Hadron Collider in Genf, wo vor zwei Jahren das so genannte Higgs Boson entdeckt wurde, arbeiten mehr als 5000 Physiker mit!)



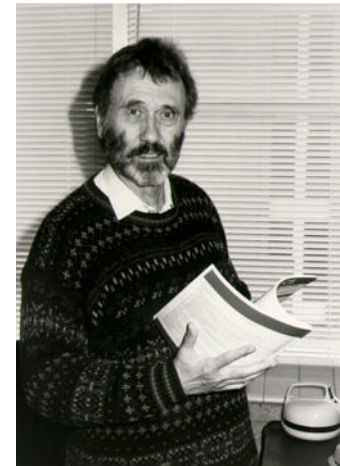
Und so machte ich einen Karrierewechsel zu „Space Sciences“ (Weltraumphysik) und wurde als „Postdoctoral Assistant“ am McDonnell Center for Space Sciences an der Washington University angestellt. Ich kam gerade zurecht, einen Detektor zu bauen, der von den Astronauten des letzten Apollofluges (Apollo 17 im Jahr 1972) auf den Mond mitgenommen wurde und auf der Mondoberfläche nach der Landung für drei Tage aufgehängt wurde. Die NASA Apollo Astronauten sammelten verschiedene Steine von der Mondoberfläche ein und brachten diese dann gemeinsam mit unserem Metalldetektor zurück auf die Erde. Unsere Hoffnung war, sowohl in den Mondgesteinen als auch in unserem Detektor kosmische Strahlen (d.h. Atome) von der Sonne im Labor messen zu können. Im Gegensatz zu unserer Erde besitzt der Mond weder ein magnetisches Feld noch eine Atmosphäre, und ist daher dem ununterbrochenen Bombardment von kosmischen Strahlen von der Sonne und aus dem Weltraum ausgesetzt. Die von der Sonne emittierte Strahlung ist eine Teilchenstrahlung mit geringer Energie und wird „Sonnenwind“ genannt. Der Sonnenwind besteht aus allen Elementen, die in der Sonne vorkommen: hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium, aber auch aus allen schwereren Elementen wie Kohlenstoff, Magnesium, Eisen etc. Wir berechneten theoretisch, dass die Atome dieser Elemente im Sonnenwind sowohl im Mondgestein als auch in unserem Detektor etwa 0,02 Mikrometer tief implantiert sein sollten. Und der Versuch, den Sonnenwind in den Proben, die vom Mond zurückgebracht worden waren, zu finden, führte zu Entwicklungen, die den Rest meines wissenschaftlichen Lebens bestimmen sollten.

Wir wussten, dass verschiedene Elemente des Sonnenwinds in nur sehr geringen Konzentrationen in einer hauchdünnen Schicht in den Mondproben existierten. Es gab zu dieser Zeit keine analytische Methode, die derart geringe Konzentrationen in so ungewöhnlichen Proben analysieren konnte. Aber unsere Hoffnung war, dass die Sonnenwindatome mit einem neuen analytischen Instrument, einer sogenannten „Ionenprobe“, detektiert werden könnten. Das NASA Johnson Space Center in Houston hatte eine der wenigen Ionenproben, die es zu diesem Zeitpunkt in der Welt gab. Und von 1972 bis 1979 verbrachte ich viele Wochen und Monate in den wissenschaftlichen Labors in Houston, um die ersten Erfahrungen mit dieser komplizierten Analysentechnik zu sammeln.

Die Technik der Ionenprobe („Ionprobe“) heißt Sekundärionenmassenspektrometrie („Secondary Ion Mass Spectrometry“ oder SIMS). In diesem komplizierten Instrument wird die Probe mit einem fein fokussierten Strahl ( $\sim 1 \mu\text{m}$ ) von Primärionen (z.B. Sauerstoffionen) bombardiert. Diese Primär-

ionen schlagen aus der Probenoberfläche Atome heraus („sputtern“), von denen ein Bruchteil elektrisch geladen ist, d. h. aus Ionen besteht. Diese sogenannten Sekundärionen werden durch elektrische Felder beschleunigt und durch ein Massenspektrometer geschickt. Dieses wiederum besteht im Wesentlichen aus einem Magneten, in dessen Feld die Sekundärionen entsprechend ihrer Masse separiert werden. Auf diese Weise kann man durch Änderung des Magnetfeldes nicht nur ein bestimmtes Element, sondern sogar ein bestimmtes Isotop eines Elements, auswählen. Verschiedene Isotope werden dann mit dem Detektor der Ionenprobe Atom für Atom gezählt.

Weil Isotope in meinem wissenschaftlichen Leben eine große Rolle gespielt haben, möchte ich hier erklären, was Isotope sind: Der Atomkern eines Elements besteht aus Protonen (elektrisch geladen) und Neutronen (elektrisch neutral). Ein Element ist durch die Anzahl der Protonen charakterisiert, da das Atom dieselbe Anzahl von



Ernst Zinner (1996/97)

Elektronen besitzt und das chemische Verhalten eines Elements durch die Anzahl der Elektronen bestimmt wird. Ein Atomkern eines bestimmten Elements kann jedoch eine verschiedene Anzahl von Neutronen haben, d.h. es gibt von den meisten Elementen verschiedene Isotope. Die Isotopennummer ist die Summe von Protonen und Neutronen, und diese Nummer bestimmt die atomare Masse eines Isotops (welches mit der Ionenprobe gemessen werden kann). Zum Beispiel hat der Sauerstoffkern 8 Protonen, kann aber 8, 9, oder 10 Neutronen haben und die Wissenschaftler nennen dies Sauerstoff-16, Sauerstoff-17 oder Sauerstoff-18 ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ). Manche Isotope sind stabil und zerfallen nie und andere Isotope zerfallen (z.B. Uran-235 und Uran-238) und deren Konzentration ändert sich mit der Zeit.

Nun möchte ich mit meiner persönlichen Ionenproben (SIMS) Geschichte fortsetzen: Zwar gelang es mir 1975-79 im NASA Labor in Houston vom Sonnenwind implantiertes Magnesium und Eisen in Mondproben im Mineral Feldspat zu analysieren, leider gelang es mir damals aber nicht, die Isotopenzusammensetzung dieser Elemente zu messen. Der Triumph dieser Methode kam erst viele Jahre später, als einer meiner ehemaligen

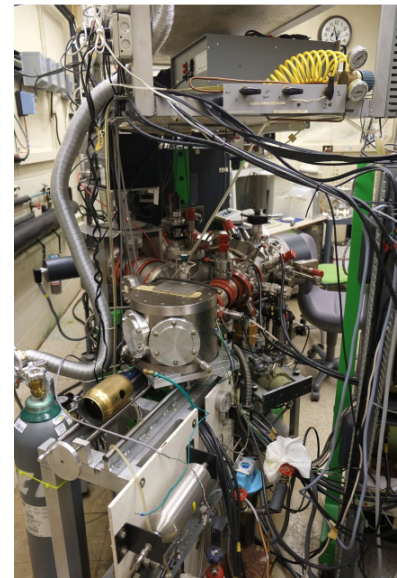
Studenten, Kevin McKeegan, an der University of California in Los Angeles sein eigenes SIMS Instrument baute (MegaSIMS) und damit 2011 die Isotopenzusammensetzung von Sauerstoff im Sonnenwind bestimmen konnte. Das heißt, dass wir erst seit 2011 die Isotopenzusammensetzung von Sauerstoff in der Sonne kennen. Diese Messungen wurden an Proben durchgeführt, die in einem Satellitenexperiment („Genesis“) einige Jahre lang im Welt-raum außerhalb der Erde dem Sonnenwind ausgesetzt waren, bevor sie im Labor meines ehemaligen Studenten landeten. Damit löste Kevin ein Problem, das seit Jahrzehnten von Kosmochemikern und Astrophysikern heftig diskutiert wurde. Leider waren meine ursprünglichen jahrelangen Experimente mit der NASA Ionensonde in Houston in den 70er-Jahren ein Kampf mit einem sehr komplizierten aber leider inadäquaten Instrument, das in seiner technischen Entwicklung noch „in den Kinderschuhen“ steckte. Manchmal frage ich mich im Rückblick, warum ich nicht aus Frustration einfach mit SIMS aufgehört habe. Dieser Dickschädel in mir führte jedoch letzten Endes zu wunderbaren Ergebnissen.

Um 1979 hatte eine französische Firma (Cameca) ein wesentlich verbessertes Modell einer Ionensonde, die Cameca IMS-3f, entwickelt. Bob Walker, der damalige Direktor des McDonnell Centers for Space Sciences an der Washington University, unterstützte meinen Dickschädel und wir beide waren überzeugt, dass ich die Ionensondentechnik nur dann „zähmen“ könnte, wenn wir unser eigenes SIMS Instrument an der Washington University bekommen würden. So entschieden wir uns, unser Glück zu versuchen und Geldmittel für ein solches Instrument aufzutreiben. Diese Entscheidung basierte auf der damals nicht bewiesenen Intuition, dass die Natur unvermutete Schätze auf kleinstem Raum verberge und diese mit SIMS ans Tageslicht gebracht werden könnten. Während wir auf die bestellte Ionensonde für unser Labor in St. Louis warteten, konnte ich mit einem SIMS Gerät in Wien arbeiten und weitere Versuche anstellen. Ich wurde nämlich für eineinhalb Jahre als Gastprofessor an der Technischen Universität Wien angestellt. Am Institut für Analytische Chemie wurde im Herbst 1980 eine der ersten Cameca IMS-3f Ionensonden in Europa installiert. Ich kam gerade zu den Wiener Eröffnungsfeierlichkeiten für die neue Ionensonde mit Kaviar und Sekt zurecht. Während meiner Zeit in Wien (1980-1982) konnte ich gute Erfahrungen mit dem neuen Instrument sammeln, die mir bei Verhandlungen mit der Firma Cameca in Paris für den Bau unseres Geräts in St. Louis sehr zugute kamen. Außerdem lernte ich die Wienerin Dipl.-Ing. Brigitte Wopenka kennen, die am Analytischen-Chemie-Institut gerade ihre Dissertation in Technischer Chemie finalisierte, und mich bald darauf heiratete. Glücklicherweise konnte ich sie

überreden, mit mir Ende 1982 nach St. Louis zu übersiedeln, wo sie als Analytische Chemikerin für die nächsten 30 Jahre im Geologieinstitut an der Washington University forschte. Bevor sie 2013 in Pension ging, erlangte sie auf dem Gebiet der mikroskopischen Ramanspektroskopie einen weltweiten Ruf. Unsere IMS-3f Ionensonde wurde in Paris gebaut und im Mai 1982 an unser Labor an der Washington University geliefert.

Nach meiner Rückkehr von Österreich wurde ich zum Professor der Forschung an der Washington University ernannt. Ich fand gleich zu Beginn zwei äußerst talentierte Physikstudenten vor, die mit der neuen Ionensonde an ihren Dissertationen arbeiten wollten. Mit Student Kevin McKeegan machte ich die erste wichtige Entdeckung mit dem neuen Instrument, nämlich Anomalien in der Wasserstoff-Isotopenzusammensetzung von interplanetaren Staubeilchen („interplanetary dust particles“ = IDPs). IDPs sind klein (etwa 10  $\mu\text{m}$ ) und werden mit hoch fliegenden (20 km Höhe) Flugzeugen in der Atmosphäre eingesammelt.

IDPs kommen von Asteroiden und Kometen und manche sind „primitiv“, d.h. sie haben die chemische Zusammensetzung, die man für das ursprüngliche Sonnensystem annimmt. (IDPs sind allerdings nicht mit prä-solaren Körnern



*Detail der IMS-3f Ionensonde*

identisch; das sind zwei verschiedene Arten von extraterrestrischem Staub). Wasserstoff hat zwei stabile Isotope,  $^1\text{H}$  und  $^2\text{H}$  (Deuterium = D). In IDPs konnten Kevin und ich D/H Verhältnisse messen, die doppelt so hoch waren wie das von terrestrischem Wasser; dieses Resultat war ein eindeutiger Nachweis des primitiven Charakters und der extraterrestrischen Herkunft des interplanetaren Staubs. Zusammen mit Student Albert Fahey entdeckte ich extreme Isotopenanomalien (Abweichungen von terrestrischen Isotopenverhältnissen) von Kalzium und Titan in Hochtemperaturmineralien von Einschlüssen in primitiven Meteoriten. Diese Einschlüsse sind die ältesten Festkörper im Sonnensystem und in ihnen sind die Beiträge von verschiedenen stellaren Quellen noch nicht vollkommen vermischt geworden. Weiters entwickelte ich in den frühen 80er-Jahren Methoden, mit



der Ionensonde die Konzentration von Spurenelementen wie z.B. die der seltenen Erden zu messen.

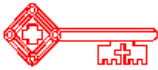
Der Höhepunkt der Anwendung der Ionensonde und meiner wissenschaftlichen Laufbahn kam jedoch 1987 mit der Entdeckung von präsolaren Körnchen („presolar grains“ = Sternenstaub) in primitiven Meteoriten. Aber um die Bedeutung dieser Entdeckung zu erklären, muss ich etwas weiter ausholen. Kernreaktionen haben durch die Atombombe einen schlechten Ruf erlangt, aber es muss einem bewusst sein, dass es ohne Kernreaktionen kein Leben auf der Erde gäbe. Erstens sind Kernreaktionen (z.B. die Fusion von Wasserstoff in Helium) die Energiequelle für das lebensspendende Licht der Sonne. Zweitens wurden alle Elemente auf der Erde (beginnend mit Kohlenstoff), ohne die jede Art von Leben unmöglich wäre, durch Kernreaktionen in Sternen synthetisiert. Astrophysiker wie ich sind überzeugt, dass das Universum mit dem Urknall („Big Bang“) entstanden ist. Als sich nach dem Urknall die ersten Sterne bildeten, hatten sie als Bildungsmaterial nur Wasserstoff und Helium, welche beide vom Urknall stammen. Diese ersten Sterne waren sehr massiv und durchliefen ihre Evolution in nur wenigen Millionen Jahren. Während dieser Zeit synthetisierten sie im Innern schwere Elemente und schleuderten diese in einer ungeheuren Explosion als Supernovae in den interstellaren Raum. Die nächste Generation von Sternen bildete sich vermutlich aus einem Gemisch, das durch die Explosionen der Supernovae bereits an schweren Elementen angereichert war, und das resultierte in den Galaxien, darunter unserer Milchstraße („Milky Way“). Die Häufigkeit der schweren Elemente nahm im Laufe der Zeit in Galaxien stetig zu. Die Astrophysiker und Astronomen nennen dies „die galaktische Evolution der chemischen Elemente“. Allerdings war bis zum Beginn der Fünfzigerjahre diese Theorie (d.h., dass schwere Elemente in den Sternen gebildet werden) nicht allgemein akzeptiert. Manche Astrophysiker vertraten bis dahin die Theorie, dass die schweren Elemente (z.B. Kohlenstoff, Sauerstoff, Silizium, Eisen,...) ursprünglich während des Big Bangs entstanden sind. Die entscheidende Beobachtung, um zwischen diesen verschiedenen Theorien zu entscheiden, war die Entdeckung von Technetium in Sternen im Jahr 1952 durch spektroskopische Analyse des von den Sternen ausgesandten Lichts. Technetium besitzt keine stabilen Isotope und daher wussten wir, dass es nicht im Urknall entstanden sein konnte, sondern dass es erst später in Sternen synthetisiert wurde. Ein paar Jahre danach wurde die stellare Nukleosynthese von amerikanischen und englischen Astrophysikern auf ein sicheres theoretisches Fundament gestellt.

Die individuellen Beiträge der verschiedenen stellaren Quellen zu unserem Sonnensystem hatten

zwar verschiedene Element- und Isotopenzusammensetzungen, aber infolge der sehr homogenen Isotopenzusammensetzungen von allen uns bekannten Sonnensystemmaterialien (Erde, Mond, Meteorite) nahm man ursprünglich an, dass diese Beiträge so gut vermischt worden waren, dass kein ursprüngliches Material von individuellen Sternen überleben konnte. Die ersten Anzeichen, dass dies nicht so war, erhielten die Wissenschaftler Ende der Sechzigerjahre, als Isotopenanomalien der Edelgase Neon und Xenon in „bulk measurements“ von gewissen Meteoriten gefunden wurden. Obwohl die meisten Wissenschaftler diese Anomalien ignorierten, versuchten Ed Anders und seine Mitarbeiter an der University of Chicago herauszufinden, in welchen Mineralien der primitiven Steinmeteoriten diese anomalen („exotischen“) Edelgase enthalten sind. Um die Träger dieser anomalen Komponenten zu finden, wurden etwa 100 Gramm von Meteoritenmaterial einer Serie von chemischen Behandlungen unterworfen. Und nach fast 20-jähriger „Sisyphosarbeit“ konnten 1987 Ed Anders und seine Mitarbeiter Nano-Diamanten, die nur einige Nanometer groß sind, als Träger von Xenonanomalien identifizieren.

Die Stickstoffisotopenverhältnisse von individuellen präsolaren SiC Körnchen sind gegen ihre Kohlenstoffisotopenverhältnisse aufgetragen. Der Plot verwendet eine logarithmische Skala. Die Isotopenverhältnisse des Sonnensystems sind durch punktierte Linien angezeigt. Basierend auf die Isotopenverhältnisse verschiedener Elemente (besonders Kohlenstoff, Stickstoff, Aluminium und Silizium) können wir die Körner in verschiedene Gruppen einteilen, die verschiedenen stellaren Quellen entsprechen. So kommen z.B. die „C“ und „X“ Körner von Supernovae und die „Mainstream“, „Y“ und „Z“ Körner kommen von verschiedenen Arten von AGB Sternen. Die stellaren Quellen der „AB“ Körner sind noch nicht eindeutig bestimmt.

Im selben Jahr war unsere Cameca Ionensonde an der Washington University installiert und kalibriert und speziell präparierte, extrem kleine Meteoritenproben wurden von Chicago nach St. Louis geschickt, um daran weitere Messungen durchzuführen. In St. Louis konnten wir nicht nur Kohlenstoff (Diamant), sondern auch Siliziumkarbid (SiC) als Träger von Neon- und Xenonanomalien in den von Ed Anders präparierten Proben identifizieren. Dabei spielten Messungen meiner Ehefrau Brigitte Wopenka von Ramanstreuung (Laser Raman Microprobe Spectroscopy) von SiC eine wichtige Rolle. Weiterhin konnten wir mit der IMS-3f Ionensonde Kohlenstoff und Silizium Isotopenverhältnisse in einzelnen SiC Körnern messen und fanden, dass diese vollkommen anomal waren und nur durch stellare Nukleosynthese erklärt werden konnten. Obwohl die Körnchen nur einige  $\mu\text{m}$  Durchmesser haben, ist es mit der Ionensonde



möglich, nicht nur die Hauptelemente in SiC zu analysieren, sondern auch viele Nebenelemente und Spurenelemente (z.B. N, Al etc.). Heute existieren Messungen an mehr als 17000 individuellen SiC Körnern. Und es besteht kein Zweifel, dass diese Körnchen bereits existierten, bevor unser Sonnensystem gebildet wurde, d.h. dass diese Körnchen älter als 4,6 Milliarden Jahre sind. Und deshalb nennen wir diesen Staub presolar grains („präsolare Körnchen“). Durch die mit SIMS gemessenen Isotopenverhältnisse können wir die stellaren Quellen feststellen und Information über die Nukleosynthese in den Sternen erhalten. Betrachten wir zum Beispiel das Kohlenstoffisotopenverhältnis. Kohlenstoff hat zwei stabile Isotope,  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$ . Das  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  Verhältnis im Sonnensystem ist 89, d.h. es gibt 89 mal mehr  $^{12}\text{C}$  Kerne als  $^{13}\text{C}$  Kerne. Dies ist allerdings ein Durchschnitt von vielen verschiedenen stellaren Quellen. In einzelnen Mikrometer großen SiC Körnern messen wir Verhältnisse von 2 bis fast 10000. Diese Verhältnisse können durch verschiedene Kernprozesse erklärt werden.  $^{12}\text{C}$  entsteht durch Fusion von drei  $^4\text{He}$  Kernen (triple- $\alpha$  Reaktion), d.h. hat eine hohe Konzentration in Gebieten, in denen Helium verbrennt. Andererseits entsteht  $^{13}\text{C}$  durch Protoneneinfang an schon existierendem  $^{12}\text{C}$  mit nachfolgendem  $\beta$ -Zerfall von  $^{13}\text{N}$ . Als Folge ist die  $^{13}\text{C}$  Häufigkeit hoch, bzw. das  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  Verhältnis niedrig, in jenen Gebieten, in denen Wasserstoff verbrennt. Auf ähnliche Weise kann man durch Isotopenverhältnisse anderer Elemente in präsolaren Körnern verschiedene Kernreaktionen in Sternen verfolgen.

Aus den Isotopenverhältnissen der verschiedenen Elemente konnten wir schließen, dass die meisten dieser Körner von zwei stellaren Quellen stammen, nämlich von massiven Sternen mit mehr als zehn Sonnenmassen, die am Ende ihres Lebens als Supernovae explodieren, und von so genannten „Asymptotic Giant Branch Stars“ (AGB Sterne). Diese sind eher kleine Sterne von nur einigen Sonnenmassen, in denen im Kern aller Wasserstoff und Helium in Kohlenstoff und Sauerstoff umgewandelt wurde, und die am Ende ihrer Entwicklung die äußere Hülle des Sternes abwerfen. Die Astrophysiker und Kosmochemiker nehmen an, dass in dem sich abkühlenden expandierenden Gas von beiden stellaren Quellen verschiedene Mineralien, darunter SiC, kondensierten. Diese Körnchen landeten nach einer langen Reise, die wahrscheinlich bis zu mehreren hundert Millionen Jahren dauerte, in primitiven Meteoriten. In anderen Worten, Meteorite können Staub von anderen Sternen enthalten, den wir durch seine anomalen („exotischen“) Isotopenverhältnisse als Sternestaub im Labor identifizieren und im Detail studieren können. Seit der Entdeckung von Sternestaub in primitiven Meteoriten konzentrierte ich mich

hauptsächlich auf dessen Studium und hatte dabei eine ganze Reihe von Erfolgen aufzuweisen.

1990 entdeckten Postdoc Sachiko Amari und ich Graphit als einen weiteren Typ von Sternestaub. Vier Jahre später entdeckten Dissertant Larry Nittler, Postdoc Conel Alexander und ich präsolaren Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und wir dehnten diese Ergebnisse auf andere Oxydphasen aus. Im Jahre 2000 wurde an unser Labor das erste Instrument eines neuen Typs von Ionensonde, die NanoSIMS geliefert. Dieses Instrument wurde auch von der Firma Cameca in Paris in Zusammenarbeit mit uns gebaut („custom-made“), wobei mein wissenschaftlicher Mitarbeiter Frank Stadermann besonders involviert war. Diese neue Art von SIMS Instrument (NanoSIMS) hat einen feineren Primärstrahl (Cäsium kann auf einen Durchmesser von weniger als  $0,1\ \mu\text{m}$  fokussiert werden) und eine bis zu 50mal höhere Empfindlichkeit als die IMS-3f Ionensonde. Das ermöglicht die Analyse von noch kleineren Körnern als es bisher möglich war. Mit der NanoSIMS konnten Dissertantin Ann Nguyen und ich präsolare Silikate entdecken.

Da kohlenstoffreiche Phasen wie SiC und Graphit nicht im interplanetaren Raum unseres Sonnensystems kondensieren, sind fast alle dieser Körnchen in Meteoriten stellaren Ursprungs. Man kann Ansammlungen von SiC und Graphit Körnchen herstellen, indem man alle anderen Mineralien chemisch mit Säuren zerstört (das hat Ed Anders in Chicago nach 20-jähriger Arbeit geschafft hat!). Mit Silikaten ist dies nicht möglich, weil Meteorite vornehmlich aus Silikaten bestehen, die in unserem Sonnensystem entstanden sind. Die Identifizierung von Silikaten von anderen Sternen erfordert daher Isotopenmessungen von Sauerstoff an tausenden bis zehntausend einzelnen Körnchen, bis isotopisch anomale Körner gefunden werden können. Wie Ed Anders sagen würde, „die Nadel im Heuhaufen zu finden“ ist nicht einfach. Mit der NanoSIMS sind jedoch automatische Messungen möglich geworden, und zwar von noch viel kleineren Körnern als jemals zuvor. Bisher wurden mehr als 500 präsolare Silikatkörner in Meteoriten und interplanetaren Staubteilchen gefunden.

Die NanoSIMS ermöglichte viele andere Messungen an präsolaren Körnern, über die alle im Detail zu berichten zu weit führen würde. Mit meinen Mitarbeitern bin ich noch immer voll drinnen inmitten dieser Forschungsarbeiten und bin noch nicht pensioniert. Ich muss feststellen, dass ich die Arbeit mit Studenten, Postdocs und anderen Mitarbeitern (zu viele um sie alle zu nennen) immens genossen habe. Zwar hatte ich am Beginn der Siebzigerjahre beschlossen, dass ich nicht Elementarteilchenphysik in Riesengruppen betreiben wollte, aber Forschung mit einer Handvoll von Leuten war für mich ideal. Forschung wird nicht im Vakuum betrieben und für mich war Zusammenarbeit im



experimentellen Labor immer wichtig. Für die Interpretation der an präsolaren Körnern gemessenen Isotopenverhältnisse war zusätzlich die Zusammenarbeit mit nuklearen Astrophysikern unumgänglich. Das sind Wissenschaftler, die von fundamentalen physikalischen Gesetzen ausgehend, und mit Daten von Kernreaktionen ausgestattet, Modelle von Sternen berechnen und theoretische Voraussagen machen. Diese theoretischen Modelle werden dann mit den im Labor gefundenen SIMS und NanoSIMS Daten verglichen. Meine Zusammenarbeit mit Kollegen von der theoretischen Seite erstreckte sich über viele Länder und Kontinente.



*Ernst Zinner mit seiner Frau Brigitte Wopenka und Sohn Max Giacobini Zinner in ihrem Haus in St. Louis, Missouri, USA (Dezember 2012)*

Neben der Wissenschaft hatte ich Zeit für meine Familie, mein Interesse an Musik und Photographie, Reisen und vieles mehr. Unser Sohn Max Giacobini Zinner wurde 1988 geboren. Entgegen der Erwartungen vieler schlug er keine wissenschaftliche Laufbahn ein. Er studierte intellektuelle Geschichte und Mathematik an der Columbia University in New York City und lebt in Manhattan, wo wir ihn regelmäßig besuchen.

Im Laufe der Jahre erhielt ich verschiedene Ehrungen wissenschaftlicher Organisationen. Darunter sind die Leonard-Medaille der Meteoritical Society, die Smith Medaille der US National Academy of Sciences, und die Antarctic Service Medaille der US National Science Foundation zu erwähnen. Auch bin ich korrespondierendes Mitglied der österreichischen Akademie der Wissenschaften.

2007 ehrte mich zu meinem siebzigsten Geburtstag die Washington University mit einem Symposium: *SIMS in the Space Sciences: The Zinner Impact*. Heute haben viele meiner ehemaligen Studenten und Postdocs ihre eigenen Labors und andere SIMS Labors auf dem Gebiet der Kosmochemie bauen auf

meinen Vorarbeiten auf. Viele dieser Wissenschaftler berichteten bei dem Zinner-Impact-Symposium über ihre Arbeiten mit SIMS auf verschiedensten Gebieten. In meiner Dankesrede beim Bankett des Symposiums zitierte ich aus einem Buch des Physikers Freeman Dyson „The most important things in my life are my family, my friends, and my work“. So möchte ich mich hier bei meiner Familie und meinen vielen Freunden und Mitarbeitern für ein volles Leben, das hauptsächlich der Wissenschaft gewidmet war, herzlich bedanken.

\* \* \*

#### **Nachruf der Washington University in St. Louis**

*Obituary: Ernst K. Zinner,*

*astrophysicist and cosmochemist, 78.*

*A pivotal figure in extraterrestrial materials research, he pioneered the study of stardust in the laboratory August 6, 2015, by Diana Lutz*

Ernst K. Zinner, PhD, research professor emeritus of physics and earth and planetary sciences in Arts & Sciences at Washington University in St. Louis, died Thursday, July 30, of complications of the mantle cell lymphoma he had battled for more than 19 years. He was 78.

Zinner had been a member of the university community for 50 years. He earned his PhD at Washington University in 1972 in high-energy particle physics, the last person at the university to graduate with a degree in experimental particle physics. The same year, fellow physicist Robert M. Walker invited him to work for the newly established Laboratory for Space Physics (later part of the McDonnell Center for the Space Sciences) as a research associate. In 1989 he was named a research professor in physics and earth and planetary sciences, a position he held until assuming emeritus status earlier this year.

Among many other accomplishments, in 1987 Zinner identified for the first time material in the laboratory that predated the formation of the solar system 4.6 billion years ago. By analyzing grains they boiled out of primitive meteorites, Zinner and his team proved they were minute amounts of stardust – diamond and silicon carbide – that originated outside our solar system.

This work involved a measurement technique called secondary-ion mass spectrometry (SIMS), conducted with an instrument called an ion probe. Zinner dedicated more than a decade to getting reliable results with SIMS and became one of the leading authorities on the instrument, training scientists worldwide in its use.

In 2007, to honor Zinner's "stellar" career completing 70 "orbits", his colleagues organized a symposium entitled "SIMS in the Space Sciences: The Zinner Impact", at Washington University. More than 100 scientists from all over the globe attended, and the talks were later published in a special issue of the journal *Meteoritics & Planetary Science* that was dedicated to Zinner.

In 1997, Zinner received the J. Lawrence Smith Medal of the National Academy of Sciences, the top award in this field from that body, and the Leonard Medal from the Meteoritical Society, an international scientific group. He became a fellow of the Meteoritical Society in 1988, a fellow of the American Physical Society in 1990, and a



fellow of the American Association for the Advancement of Science in 2011.

“Zinner’s leading characteristic, beside his scientific prowess, was his generosity”, Larry Nittler, who was a graduate student in Zinner’s lab in the 1990s and is now a staff scientist at the Carnegie Institution in Washington D.C. “He was very generous with everyone he worked with but especially with young people, with graduate students and postdocs.”

“His role in mentoring lots and lots of people cannot be overstated”, Nittler said. “In addition to the many graduate students and postdocs that came through the lab, he hosted legions of visitors from all over the world, both students and senior scientists. He would open up his lab to them and he and his wife would open up their home. If you came to work with Ernst, you knew you would be staying with the Zinners and they would be feeding you breakfast.”

**Born in St. Peter in der Au**, Austria, a small medieval town about 100 miles west of Vienna, Zinner obtained an undergraduate degree in physics from the Technical University in Vienna, moving to the United States in the mid-1960s to attend Washington University.

In 1980, on sabbatical in Vienna, he met Brigitte Wopenka, a young faculty member at the Institute for Analytical Chemistry, and brought her to St. Louis where they were married. For the next 30 years, she worked as a senior research scientist in earth and planetary sciences at Washington University, developing an international reputation in the field of micro-Raman spectroscopy.

A passionate lover of classical music, Zinner was an accomplished pianist. For many years he met weekly with his friends to play the harpsichord in a baroque music ensemble. At the age of 55, he took up the cello so that he could play it with his son, Max, who was then learning it himself as a four-year-old.

Ernst is survived by his wife and his son, Max Giacobini Zinner, who lives in New York City, as well as by many relatives in Austria, including all four of his younger siblings.

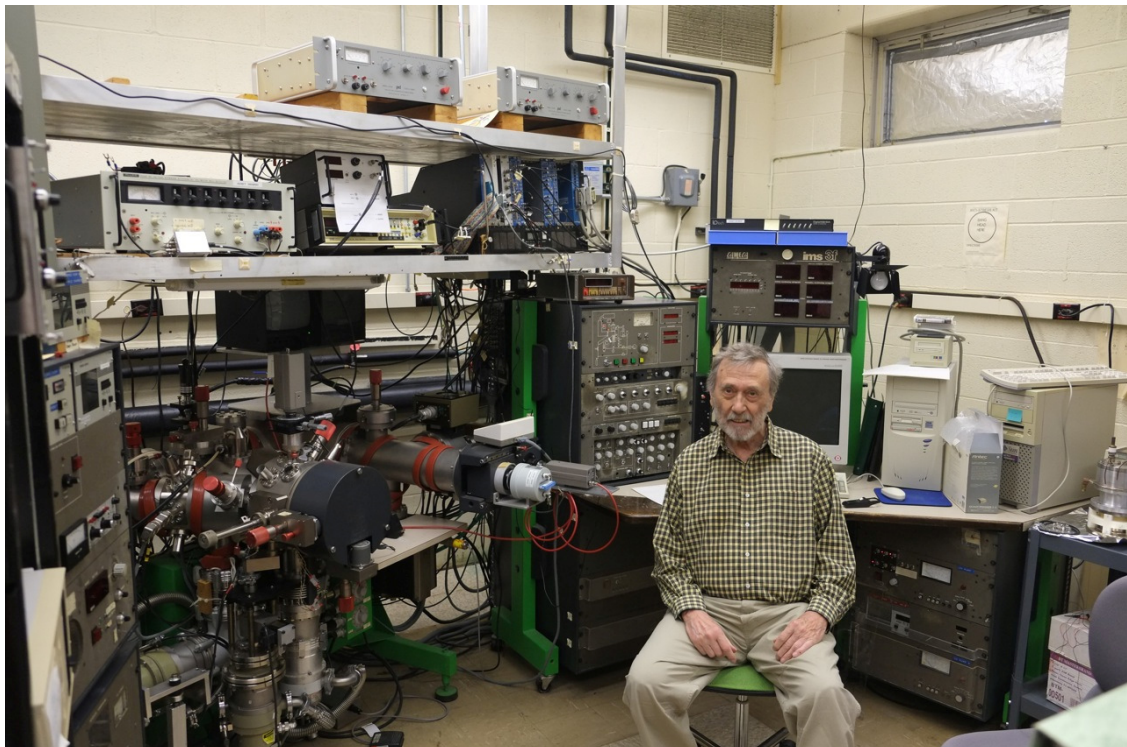


*Ernst Zinner mit Sohn Max beim Cellospielen*

There will be an open house in his honor at the Saint Louis Art Museum Sunday, Aug. 16, from 6-10 p.m. Zinner’s family will create an endowed “Ernst Zinner Memorial Cello Scholarship Fund” dedicated to advanced cello students at the Community Music School at Webster University in St. Louis.

**Quellen:**

APA-Meldung vom 4.8.2015: vgl.: [www.derstandard.at](http://www.derstandard.at)  
Erinnerungen und Bilder von Ernst Zinner; auch in: *StettnerSeiten* 3/14  
<http://news.wustl.edu/news/Pages/zinnerobot.aspx>  
Cello-Schule vgl.: [www.crowdrise.com/ernstzinner](http://www.crowdrise.com/ernstzinner)



*Die Cameca IMS-3f Ionensonde wurde 1982 im Laboratory for the Space Sciences an der Washington University in St. Louis installiert. Dieses Foto entstand 32 Jahre später im Juni 2014.*