

GEOSCHULE PAYERBACH

BARBARA - GESPRÄCHE

Payerbach 1997

EVENTS UND EVOLUTION

Katastrophen und Entwicklung in der Erdgeschichte

KARSTHYDROLOGIE UND WASSERHAUSHALT

Kalkalpen und südliches Wiener Becken



Payerbach, 4. u. 5. Dezember 1997

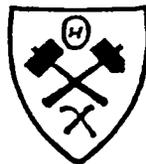
veranstaltet von: Geoschule Payerbach, Geol.Dienst des Landes NÖ, Geotechn.Institut des BFPZ Arsenal, Geolog.Bundesanstalt

FACHBEIRAT DER GEOSCHULE PAYERBACH

- Dir. Edith BEDNARIK* ○ *Wr. Neustadt*
- Dr. Wolfgang DEMMER* ○ *Konsulent f. Baugologie, Bisamberg*
- Univ.Prof. Dr. Wolfgang FRANK* ○ *Universität Wien, Geozentrum*
- Univ.Prof. Dr. Heinz-Detlef GREGOR* ○ *Umweltbundesamt Berlin*
- Univ.Prof. Dr. William W. HAY* ○ *Geomar Kiel; Boulder, Colorado, USA*
- Dr. Michael JAUMANN* ○ *Klinik am Eichert, Göppingen*
- em. Univ.Prof. Dr. Heinrich KALLENBACH* ○ *Technische Universität Berlin*
- Univ.Prof. Dr. German MÜLLER* ○ *Universität Heidelberg*
- Prof. Dipl.Ing. Walter MÜLLER* ○ *HTL Krems*
- Dir. Univ.Prof. Dr. Jörg W. NEGENDANK* ○ *Geoforschungszentrum Potsdam - Berlin*
- Dr. Julian PISTOTNIK* ○ *Geologische Bundesanstalt, Wien*
- Dir. Mag. Georg POHLER* ○ *HLA Wr. Neustadt*
- Univ.Prof. Dr. Eduardo SEMENZA* ○ *Università degli studi di Ferrara*
- Dir. Univ.Prof. Dr. Erich SCHROLL* ○ *Universität Wien, BVFA Arsenal (i.R.)*
- Dir. Univ.Prof. Dr. Peter SCHÖNLAUB* ○ *Geologische Bundesanstalt, Wien*
- Univ.Prof. Dr. Werner TUFAR* ○ *Philipps-Universität Marburg/Lahn*
- Dipl.Ing. Dr. Georg M. VAVROVSKY* ○ *Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG Wien*
- Univ.Prof. Dr. Walter VORTISCH* ○ *Montanuniversität Leoben*
- Min.Rat. Doz. Dr. Leopold WEBER* ○ *Montanbehörde, BMWA*
- Dr. Godfried WESSELY* ○ *ÖMV Geologie (i.R.), Wien*
- Univ.Prof. Dr. Heinrich ZANKL* ○ *Philipps-Universität Marburg/Lahn*

*Alle Rechte vorbehalten
Für den Inhalt sind die Verfasser verantwortlich
Herausgeber, Eigentümer und Verleger:
Geoschule Payerbach*

*Redaktion:
Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH
Bearbeitung:
P. CARNIEL, M. HACKENBERG
Lektorat:
Th. RIEHL-HERWIRSCH*



ΘΕΟΛ̄Σ
ΧΥΘΟΝΙΟΛ̄Σ

Den unterirdischen Mächten geweiht

*Diese Weiheformel in griechischer Schrift aus keltisch römischer Zeit
stammt von einer Inschrift, die im Zuge der Ausgrabungen am
Magdalensberg in Kärnten entdeckt wurde.*

*Auf dieser Basis steht die heilige Barbara als christliches Symbol,
als Schutzheilige für Bergleute
und Vertreter der Erdwissenschaftler.*

VORWORT

Mit dieser Veröffentlichung werden die Vorträge der Barbara-Gespräche 1997 als vierter Band der gleichnamigen Reihe übergeben.

Erstmals fanden die Barbara-Gespräche 1993 statt. Sie hatten als Motto "GRENZEN DER GEOTECHNIK" mit den Themen Staumauern (u.a. mit Prof. Dr. E. SEMENZA "Vajont/Longarone, 30 Jahre nach der Katastrophe") und "ABFALL-LAGERUNG". Danach folgten 1995 "GEOGEN - ANTHROPOGEN, Wertstoffe - Schadstoffe, Entstehung und Wirkung auf die Umwelt" sowie "HAUSMÜLLVERSUCHSANLAGE BREITENAU - 8 Jahre Untersuchungsergebnisse", 1996 folgten die Themenpaare "VERKEHRSWEGE IM OSTEN ÖSTERREICHS - nach Ostöffnung und EU-Beitritt" und "WASSER-BODEN-LUFT - GRENZWERTE - RICHTWERTE - Sinn oder Unsinn.

Im vorliegenden Band wurde mit "EVENTS UND EVOLUTION" ein sehr aktuelles Thema angeschnitten, das durchaus einen Paradigmenwechsel im geologischen Denken herbeiführen kann und das den alten Streit zwischen Aktualismus und Katastrophismus neu entflammt hat. Auch das Thema "KARSTHYDROLOGIE UND WASSERHAUSHALT" ist in unserer Zeit aktueller denn je.

Im Gegensatz zu anderen Fachtagungen mit zahlreichen Referenten, die ihr Thema in Kurzbeiträgen behandeln, bleiben wir bei den Barbara-Gesprächen dem bisherigen Veranstaltungsstil treu: Eine eher begrenzte Zahl von Vortragenden nimmt zu einem vorgegebenen, aktuellen Thema Stellung; nach den Referaten wird im Kreise der Teilnehmer umfassend und offen diskutiert. Auch "heiße Eisen" werden angefaßt.

Die Diskussionen zu den einzelnen Vorträgen werden auf Tonträger aufgezeichnet und zur Unterscheidung auf grünem Papier gedruckt. Die Beiträge stehen mit dieser Veröffentlichung der Allgemeinheit zur Verfügung.

*Im heurigen Band wurde in Bezug auf die Publikationen insoferne etwas variiert, als er zwei Arbeiten enthält, die nicht als Vortrag gehalten worden sind (Im Inhaltsverzeichnis mit * bezeichnet. Es schien uns als Veranstalter nach dem Ausfall eines Vortragenden aber angeraten zum Thema „EVENTS“ der Paläontologie und der Stratigraphie mehr Raum zukommen zu lassen und wir danken den Autoren dafür besonders.*

Wien, im Juli 2000

Dr. P. Gottschling

Dr. G. Riehl-Herwirsch

INHALT

Vorwort der Herausgeber	4
INSERATE UND UNTERSTÜTZUNGEN	7

EVENTS UND EVOLUTION*Katastrophen und Entwicklung in der Erdgeschichte*

T. CERNAJSEK	11
Plutonismus contra Neptunismus - ein historischer Rückblick zur Entwicklung der Geowissenschaften	
G. KURAT	37
Materie aus dem All	
E. FLÜGEL	49
Die Perm/Trias-Grenze als Umbruch in der Lebensentwicklung	
A. PREISINGER	57
Die Kreide/Tertiär-Grenze	
W. FRANK	73
Meteoriteneinschläge und ihre Altersbestimmung, Diskussion ohne Artikel	
H. P. SCHÖNLAUB	79
Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick	
A. TOLLMANN	87
Impakte (kosmische Einschläge) - ihre Auswirkungen auf die Erde und das Leben	
W. STINNESBECK *	109
Klastische Sedimente im Umkreis von Chixculub (Yukatan, Mexico), Zur Altersstellung des Impakt-Events und anderer Ereignisse an der Wende Kreide/Tertiär	
D. NAGEL, G. RABEDER *	135
Impaktismus und Paläontologie	

KARSTHYDROLOGIE UND WASSERHAUSHALT*Kalkalpen und südliches Wiener Becken*

G. VÖLKL	145
Neue Wege in der karsthydrologischen Forschung	
G. WESSELY	155
Tiefenwässer - Kalkalpen und Wiener Becken	
H. ZANKL, M. FELLEHNER	181
Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am Beispiel der Region Reichenhall	
G. KUSCHNIG	197
Karstforschungen der Wiener Wasserwerke zur Sicherung der Wasserversorgung	
G. RIEHL-HERWIRSCH, P. GOTTSCHLING, D. RANK	201
Schwankungen im oberflächennahen Grundwasser und Wasserhaushalt im südlichen Wiener Becken	
M. HACKENBERG, G. RIEHL - H.	209
Geologische Zeittabelle mit Anmerkungen Die geologische Zeittabelle liegt dem Band nochmals gesondert bei.	
Bisher erschienene Barbara-Bände, Bände in Vorbereitung	213
Vorschau: Barbara-Gespräche 2000	218
Inserate (Aufstellung p. 7)	219

Inserate und Unterstützungen zum vorliegenden Band

Unterstützende Unternehmen:

READY MIX - KIES-UNION GmbH <i>Kiesabbaubetriebe</i>	219
DOUBRAVA GmbH & CoKG <i>Industrieanlagen</i>	220
RAIFFEISENBANK <i>Payerbach - Reichenau - Schwarza im Gebirge</i>	220
GEOINERT Umwelttechnik GmbH <i>nachsorgefreie und ökologische Deponierungstechnologien</i>	221
Franz BAMBERGER <i>Steinmetzbetriebe</i>	222

*Die Herausgabe dieses Bandes wurde durch Inseratschaltungen und Druckkostenbeiträge möglich.
Wir danken unseren Förderern.*

EVENTS UND EVOLUTION

Katastrophen und Entwicklung in der Erdgeschichte



Payerbach,
4. Dezember 1997

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Plutonismus contra Neptunismus -
ein historischer Rückblick zur Entwicklung der
Geowissenschaften

T. CERNAJSEK



INHALT

Zusammenfassung	13
1. Warum Geschichte der Geowissenschaften ?	13
2. Der Beitrag der GBA zur Geschichte der Geowissenschaften	15
3. Neptunismus - Vulkanismus - Plutonismus	18
4. 1800 Jahre erfassbare Entwicklung neptunistischer Anschauungen	18
5. Vulkanistische - Plutonistische Theorien vor der Kontroverse Neptunismus - Plutonismus	20
6. Abraham Gottlob WERNER	21
7. James HUTTON (1726 - 1797)	24
8. Sintflutbericht gegen Evolution: eine parallel verlaufende Kontroverse zum Neptunisten - Plutonisten/Vulkanistenstreit	24
9. Die Kontroverse in den Alpenländern, im Machtbereich der habsburgischen Erblände	26
Literatur	27
Diskussion	29

Anschrift des Verfassers:

*Dr. Tülfried CERNAJSEK
Geologische Bundesanstalt Wien*

*Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien*

Plutonismus contra Neptunismus - ein historischer Rückblick zur Entwicklung der Geowissenschaften

T. CERNAJSEK

Zusammenfassung

Die Neptunismus - Plutonismus - Kontroverse steht heute noch im Zentrum wissenschaftsgeschichtlicher Betrachtungen. Sie ist sicherlich dafür verantwortlich zu machen, daß sich die "Geologie" zu einer seriösen Wissenschaft herausbilden konnte. Der Fall des Neptunismus blieb nicht allen Zeitgenossen gleichgültig, was GOETHE in seinen Dichtungen (Faust) sehr geistreich niedergelegt hat. Doch der biblische Schöpfungsgedanke blieb noch lange in der populären Literatur erhalten. Für besonders Vorsichtige war die Diskussion kein Thema, um eine öffentliche Stelle nicht zu verlieren. Gegenwärtig erleben wir wieder eine rückläufige Bewegung, die von fundamentalistischen Strömungen ausgeht. Das bedeutet, daß sich die Geowissenschaftler um die Akzeptanz ihrer Wissenschaft bemühen müssen. Die Notwendigkeit und Nützlichkeit der Geowissenschaften für die Gesellschaft muß permanent vor Augen gehalten werden. Dafür kann das nötige "Rüstzeug" im Wesentlichen auch durch das Studium der Geschichte der Geowissenschaften erreicht werden.

1 Warum Geschichte der Geowissenschaften ?

"Die Aufgabe des Wissenschaftshistorikers erfordert, daß er auch der Gegenseite gerecht wird und sich aus dem Gefecht der Meinungen heraus hält. Er genießt den Vorteil auf mehr als einem Klavier spielen zu dürfen" (R.HOOYKAAS 1963).

Die Geschichte der Wissenschaften wird vom verständnislosen Fachwissenschaftler, der den

Umgang zu seiner Umgebung und zu der ihn berührenden Fachwelt verloren hat, all zu oft als Schmeichelei belächelt. Diese Einstellung beweist eindeutig, daß der Verlust zum Ausgangspunkt der Geowissenschaften verloren gegangen und das Verstehenlernen der eigenen Disziplin völlig abhanden gekommen sind. Die Erkenntnisfortschritte der Naturwissenschaften seit der Renaissance haben zu einer Aufgliederung verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen geführt, ein Prozeß, der bis heute anhält. Studien über die Entstehung von Wissenschaftsdisziplinen gewannen in der Geschichte aktuelle wissenschaftstheoretische Bedeutung. Die wissenschaftlichen Studien über diese Vorgänge führen zu einem tieferen Verständnis dieser Entwicklungsvorgänge. Die Erarbeitung allgemeiner Erkenntnisse über die Disziplingenese setzt viele konkrete Detailstudien über den Entstehungsvorgang von Einzelwissenschaften voraus. Ist sich der Fachwissenschaftler bewußt geworden, welche steinigten Wege zur Entwicklung seiner Fachdisziplin bisher zurückzulegen waren, dann steigt auch sein Interesse an der Geschichte der Wissenschaft, weil er dann seine Forschungsergebnisse verstehen lernt und in der Folge auch befähigt ist, sie dieser seiner Fachwelt mit mehr Verständnis mitzuteilen. Er muß nicht nur das Verständnis in seiner Fachwelt einbringen. Er muß sich auch darum bemühen, den Sinn, die Nützlichkeit und Notwendigkeit geowissenschaftlicher Forschung zu beweisen.

Zum Studium der Genese einer Wissenschaft ist ein Quellenstudium unerlässlich. Die Zahl der Quellen ist nun schon so unüberschaubar angewachsen, daß selbst die historische Disziplin einer Einzelwissenschaft sich zu einem eigenen Wissenschaftszweig entwickelt

hat. So gibt es schon in vielen Ländern Institute und Lehrstühle, an denen die Geschichte der Wissenschaft oder gar einer Einzeldisziplin geforscht und gelehrt wird. Nicht nur die gedruckte wissenschaftliche Literatur, sondern auch das in Zahlen nicht erfassbare schriftliche Material, Briefe, Tagebücher u.a., sind Grundlagen für die Forschungstätigkeit auf dem Gebiete der Wissenschaftsgeschichte.

So sind Personen, die sich wissenschaftlich betätigten, die Wissenschaftsdisziplinen selbst und die Institutionen, wo geforscht und gelehrt wurde, in den letzten Jahrzehnten zum Gegenstand einer Forschungsdisziplin geworden: Die Geschichte der Wissenschaften. In Österreich hat die Österreichische Akademie der Wissenschaften schon vor Jahrzehnten eine Kommission für die Geschichte der Naturwissenschaften, Medizin und Mathematik ins Leben gerufen. Aus ihr hat sich 1980 die Österreichische Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte <ÖGW> (zunächst als Österreichische Gesellschaft für die Geschichte der Naturwissenschaften gegründet) entwickelt, die eine wissenschaftliche Zeitschrift herausgibt.

Auf nationaler Ebene haben sich im Rahmen der jeweiligen geologischen Gesellschaft Arbeitsgruppen für die Geschichte der Geologie gebildet. So bestanden in Deutschland bis zur Wiedervereinigung in der BRD und DDR einschlägige Fachgruppen, die Tagungen abhielten und Veröffentlichungen darüber herausbrachten. In Ungarn besteht schon seit Jahrzehnten eine sehr aktive Arbeitsgruppe bei der Ungarischen Geologischen Gesellschaft, die in unregelmäßigen Abständen auch Veröffentlichungen herausgibt. In Österreich steht die Gründung einer derartigen Arbeitsgruppe noch in Diskussion. Daneben besteht der Montanhistorische Verein für Österreich, der auch die Geschichte der Geowissenschaften mit einbezieht. Seine Zeitschrift „res montanarum“ hat inzwischen große Verbreitung innerhalb der wissenschaftsgeschichtlich Interessierten gefunden.

Auf internationaler Ebene hat sich eine Gesellschaft für die Geschichte der Geo-

wissenschaften gebildet. Die "History of Earth Sciences Society (HESS) besteht seit 1982 und gibt auch eine Zeitschrift heraus. Im Rahmen der International Union of Geological Sciences (IUGS) und der Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences hat sich 1967 das International Committee on the History of Geological Sciences (INHIGEO) gebildet. Diese Kommission hält alle zwei Jahre eine internationale Tagung ab. Die Tagungsbände werden in der Regel publiziert. Daneben gibt der jeweilige Generalsekretär Newsletter heraus. Zuletzt hat sich aus der Kooperation der Universitätsbibliothek Leoben und der Universitätsbibliothek Freiberg (Bergakademie) eine neue Form von Symposium ergeben. Es wird vor allem von den Bibliothekaren, Archivaren und Kustoden aus den geowissenschaftlichen und montanistischen Bereich getragen. GUNTAU gab 1996 einen Überblick über nationale und internationale Aktivitäten, welche die Geschichte der geologischen Wissenschaften betreffen.

Nach Martin GUNTAU (1984) haben die disziplinären Formen der Wissenschaft in der Geschichte einen Anfang und durchlaufen in ihrer Entwicklung bestimmte Stadien, die sich gliedern und charakterisieren lassen. Aus den Phasen der Disziplingeschichte läßt sich eine Periodisierung erkennen:

1. Vorgeschichte oder Frühgeschichte
2. Disziplinbildung oder Emanzipierung
3. Konsolidierung bzw. klassische Phase
4. moderne Phase der Disziplinentwicklung

Auch bei den Geowissenschaften läßt sich eine derartige Periodisierung feststellen.

A. TOLLMANN (1986) gliedert für den mitteleuropäischen Raum den Werdegang der geologischen Wissenschaften folgendermaßen:

1. Die Sammlung erdwissenschaftlicher Erfahrung durch den Bergbau - vom Neolithikum bis zur ersten großen wissenschaftlich fundierten Veröffentlichung durch G. AGRICOLA (1556).

2. Das Zeitalter der Autodidakten und Alleingänger ohne Ausbildung bis zum Beginn der Lehrtätigkeit von A.G.WERNER 1788 in Freiberg/Sachsen.

3. Die Pionierzeit, in welcher eine kleine Zahl von in- und ausländischen Forschern, z.T. auch Schüler WERNER's, die Alpen vor und nach der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert zu erforschen begannen.

4. Die Gründerzeit von Organisationen und die zielbewußte Förderung der erdwissenschaftlichen Forschung durch selbst begeisterte adelige Mäzene in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

5. Die Gründung der Geologischen Reichsanstalt im Jahr 1849.

6. Die Gründung einschlägiger Hochschulinstitute in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts.

7. Das Ringen um die Klärung der alpinen Stratigraphie von der Auflösung des "Alpenkalk" im Jahr 1847 bis zu ARTHABER's "Lethaea" 1906.

8. Der Siegeszug der Deckenlehre in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

9. Forschung erhält globale Dimensionen, die Plattentektonik bestimmt die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Als 10. Stufe könnte man die Aufsplitterung der Geologie in selbständige Wissenschaftszweige ansehen, die sich vor allem in praktisch orientierten Bereichen entwickelt haben.

Den ersten Höhepunkt des Herausbildungsprozesses der Geologie, der geologischen Wissenschaften einschließlich der Schwestern-disziplinen bildet zweifellos die Diskussion um die Entstehung der Gesteine, die in der Kontroverse zwischen Neptunisten und Plutonisten bzw. zwischen ihren Vertretern gegen Ende des 18. Jahrhunderts und Anfang 19. Jahrhundert "tobte".

Nicht zu vernachlässigen ist auch der historische Hintergrund der politischen und weltanschaulichen Geschichte. So haben zweifellos die Überwindung der theologischen Bevormundung durch die Kirche und die Aufklärungsbemühungen der Freimaurerei im 18. Jahrhundert zu einer neuen naturwissenschaftlich begründeten Weltanschauung geführt, die zum Weg der Freiheit der

Wissenschaft und ihrer Lehre geführt haben. Sie ist auch seit 1867 in der österreichischen Verfassung verankert.

2. Der Beitrag der Geologischen Bundesanstalt zur Geschichte der Geowissenschaften

Die Wissenschaft "Geologie" hat nun schon eine mehr als 250 - jährige Geschichte aufzuweisen. Abertausende Personen haben sich auf ihrem Gebiete betätigt und damit ihren Beitrag zur Entwicklung ihrer Wissenschaftsdisziplin erbracht. Eine wesentliche Rolle spielen in Österreich die einschlägigen Abteilungen der Landesmuseen (z.B. Landesmuseum Joanneum in Graz, Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten), die geowissenschaftlichen Institute an den Universitäten und der Geologische Staatsdienst, die Geologische Bundesanstalt. Letztere kann nun auf eine mehr als 150 - jährige Geschichte zurückweisen, schließt man die Vorläuferorganisation, das Montanistische Museum in Wien (gegr. 1835), mit ein. In einer Vorerhebung zu einem Projekt für die Erstellung einer Biobibliographie von Geowissenschaftlern und Sammlern, die seit etwa 250 Jahren in Österreich tätig waren, wurden fast 2000 Namen erfaßt! Leider kann dieser Fundus noch nicht geschlossen weder als Kartei noch als Datei der interessierten Fachöffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Grundlagen einer wissenschaftshistorischen Forschung sind die Veröffentlichungen, Biographien und Nachrufe. Eine ganz wesentliche Rolle spielt die Kenntnis über wissenschaftliche Nachlässe und deren intensive Bearbeitung. Hier sind es vor allem die Manuskripte bestehend aus Briefen, Tagebüchern und die Manuskriptkarten der Geologen, die zu den wichtigsten Dokumenten für die Wissenschaftsgeschichte gehören.

Die Bearbeitung der Nachlässe für praktische Zwecke läßt sich in Anlehnung an Martin GUNTAU (1996) durch vier Aspekte rechtfertigen:

1) praktischer Aspekt:

In der täglichen geologischen Arbeit beginnt jeder Schritt nach vor mit einem Blick in die Vergangenheit. Jede neu aufgeworfene Frage oder Problemstellung hat historische Voraussetzungen oder ein durch bestimmte Faktoren in vorangegangenen Zeiten bestimmtes Bedingungsgefüge. So beginnt jegliche Feldarbeit mit der Sichtung früherer Arbeiten. Jedes Forschungsgebiet setzt das Studium der veröffentlichten und auch der unveröffentlichten Literatur voraus. So ist die Kenntnis früher gewonnener Informationen und Daten für die Ergebnisse moderner Wissenschaft undenkbar geworden. Auf genügend erfolgreiche Resultate kann hingewiesen werden. Das ist zum Beispiel die historische Erdbebenforschung (siehe die Arbeiten von GUT-DEUTSCH und HAMMERL). Der Wert der wissenschaftshistorischen Arbeiten gewinnt vor allem für Gebiete der Angewandten Geologie immer mehr Bedeutung. Für solche Leistungen ist ein gut funktionierendes Archivwesen Voraussetzung.

2) theoretischer Aspekt:

Die Geschichte der Geologie trägt zum wissenschaftlichen Selbstverständnis der Geowissenschaftler bei. Nach GUNTAU ist es für den Geologen von großer Bedeutung, über die Mechanismen der Veränderung und die Entwicklung des geologischen Wissens informiert zu sein. Auch die Triebkräfte für derartige Prozesse, wie zum Beispiel für Umbrüche im wissenschaftlichen Denken, für die Grenzen "richtiger" Vorstellungen oder Nutzen "falscher" Theorien, müssen vermittelt werden. GUNTAU meint, daß nur so die Entwicklung der Geowissenschaften im geschichtlichen Kontext verstanden werden kann.

3) kulturgeschichtliche Aspekt:

Nicht zuletzt muß es ein Anliegen sein, das wissenschaftliche Erbe einer Disziplin zu bewahren und weiter zu vermitteln. Das setzt das Verständnis der Entscheidungsträger für die Unterhaltung von Bibliotheken, Sammlungen und Archiven voraus. Die gewollte Bewahrung von Kulturgütern muß die Erhaltung der Nachlässe auch von Geowissen-

schaftlern einbeziehen. So dient die Nachlaßbearbeitung auch einer vertiefenden charakterlichen Beschreibungen eines Geologen. Somit stellt die Aufarbeitung von Geologen-nachlässen nicht nur Wissenschaftsgeschichte, sondern auch ein Stück Kultur - und Geistesgeschichte dar. Sie soll zur Abrundung des Gesamtbildes der Geschichte Österreichs beitragen.

4) Der gesellschaftliche Aspekt:

Seit mehr als 200 Jahren ist moderne wissenschaftliche Forschung frei von ideologischen und theologischen Zwängen möglich geworden. Die Neptunismus - Plutonismus - Kontroverse war so ziemlich die letzte Auseinandersetzung zwischen biblisch fundierter Theologie und den aufstrebenden modernen Naturwissenschaften. Die wissenschaftliche Forschung hat der Menschheit große Fortschritte, besonders in der Medizin, der Technik, und auch in den Naturwissenschaften gebracht. Vielfach werden an die Naturwissenschaften zu hohe Erwartungen gestellt, um das eine oder andere brennende Problem rasch lösen zu können. Demgegenüber steht oft der unüberlegte Verzicht auf die fundamentalen Errungenschaften von Wissenschaft und Technik. In einer Welt der Globalisierung, wo Profit mehr zählt als wissenschaftliche Erkenntnisse, drohen die modernen Naturwissenschaften in eine schon lange nicht dagewesene Akzeptanzkrise zu schlittern.

"(...) ein Verzicht auf die Potenzen der Naturwissenschaften hätte eine Katastrophe für die gesamte Menschheitsentwicklung zur Konsequenz. In einer solchen Situation sind historische, aber auch philosophische und soziologische Untersuchungen, etwa zur Rolle der Naturwissenschaft, für die Menschheitsentwicklung unverzichtbar. Unsere heutige Gesellschaft braucht die Resultate der Naturwissenschaften und der Technik. Ebenso notwendig ist kompetent orientierendes Wissen über Wissenschaft und Technik als Bestandteile der modernen Kultur und als wichtige Elemente ihrer Entwicklung und ihres Wandels" (REMANE 1997).

Dazu können die geologischen Dienste ihren wertvollen Beitrag für die menschliche Gesellschaft leisten, indem sie sämtliche existierenden Informationen sammeln und zur Verfügung stellen. Die Informationsgesellschaft des ausgehenden 20. Jahrhunderts lechzt nach Lösungen ihrer Probleme und stützt sich auf weltweit vernetzte Informationssysteme. Die Erschließung von Informationen aus nicht publizierter oder nicht verbreiteter Literatur, vielfach auch als "graue" oder "schwarze" Literatur abgetan, ist die Aufgabe von Bibliotheken, Archiven und Dokumentationsstellen, deren Tätigkeit dem Nutzer und Steuerzahler plausibel gemacht werden muß. Es ist daher eine gezielte Überzeugungsarbeit bezüglich der Notwendigkeit wissenschaftlicher Tätigkeit erforderlich, um Medien und Entscheidungsträger zu einer positiven Akzeptanz der Naturwissenschaften zu bewegen.

In Bibliotheken, Archiven oder Fachbehörden wurde und wird bewußt oder unbewußt Nachlaßbearbeitung betrieben. Doch meistens hat man sich der Literatur des Nachlassers bedient, um Lücken der Bibliotheksbestände dort und da aufzufüllen oder auch nur den testamentarisch belegten letzten Willen zu vollziehen. Manuskripte, Briefe, Tagebücher, Bilder, Lebensdokumente u.a. blieben meist unbeachtet. Vielfach war man ratlos, was mit diesem Material zu geschehen habe. Generationen scheuten sich davor, Manuskripte in ihre Sammlungsbestände aufzunehmen. Wenn eine Art Archiv vorhanden war, so hat man die ererbten Materialien nach einem bereits bestehenden Ordnungssystem eingeordnet und war froh, daß auf diese Art und Weise wichtige wissenschaftliche Erkenntnisse für die Nachwelt erhalten geblieben sind. So sind die "Archive" an der Geologischen Bundesanstalt auch als geordnete Sammlungen von sogenannten Kryptonachlässen zu betrachten.

An der Geologischen Bundesanstalt hat sich im Laufe der Jahrzehnte viel Material angehäuft, das nun reif für eine wissenschaftsgeschichtliche Erforschung ist. Sie stützt sich nicht nur auf den großen Bestand von verschiedenen Medien der Bibliothek, sondern auch auf die stets anwachsende Sammlung von

Nachlässen der verstorbenen Geologen der Geologischen Bundesanstalt u.a. Zu den wichtigsten Sammlungen zählen die von Ami BOUÉ <1794 - 1880>, Josef STINY <1880 - 1958>, Franz KAHLER <1900 - 1995> und Alois KIESLINGER <1900 - 1975>. Vom letzteren wurde für den Nachlaß im Rahmen eines Projektes ein Nachlaßverzeichnis erstellt. Die Bibliothek der Geologischen Bundesanstalt ist derzeit vor die große Aufgabe gestellt, diese Materialien nicht nur zu sichten, sondern auch so aufzubereiten, daß alle Dokumente erfassbar und damit der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden können. Allerdings steht im Vordergrund des Interesses der Geologischen Bundesanstalt, alle erfassbaren geowissenschaftlichen Informationen für die Praxis bereit zu stellen.

Ab Jänner 1998 läuft an der Geologischen Bundesanstalt zum erstenmale ein FWF - (Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich) - Projekt, das sich mit der Geschichte der Geologie von Österreich befassen wird und sich schwerpunktmäßig auf die in der Bibliothek der Geologischen Bundesanstalt gesammelten Unterlagen stützen wird. Leider ist der Aufarbeitung der Geschichte der Geologie in Österreich bis heute kaum Bedeutung zugemessen worden. Zwar verändert sich in den letzten Jahren langsam das Bewußtsein der Fachwelt, die erkennt, daß die Erforschung der Geschichte eines Wissenschaftszweiges für die Weiterentwicklung einer Disziplin sehr wichtig ist, dennoch ist es bisher noch nie zu einer umfassenden Bearbeitung des sehr umfangreichen geowissenschaftlichen Archivmaterials gekommen. In dem nun vom FWF genehmigten Projekt sollen die an der Geologischen Bundesanstalt lagernden Nachlässe (vorwiegend Korrespondenz und Feldtagebücher) mehrerer bedeutender Geologen, die zwischen 1849 (Gründungsjahr der Geologischen Reichsanstalt) und 1903 (9. Internationaler Geologenkongreß in Wien) an der Geologischen Reichsanstalt gewirkt haben, aufgearbeitet werden. Ziel dieser Arbeiten ist nicht nur die Transskription des schwer lesbaren Materials. Der besondere Schwer-

punkt liegt darin, geologische, historische und politische Informationen aus dem Quellenmaterial herauszufiltern und, miteinander verwoben, einen Beitrag zur bisher stark vernachlässigten österreichischen Geschichte der Geowissenschaften und auch der Kulturgeschichte zu liefern.

3. Neptunismus - Vulkanismus - Plutonismus

"Die Vulkanismus - Neptunismus - Kontroverse steht am Beginn der Entwicklung der Geologie zur modernen Naturwissenschaft. Im engeren Sinn bezeichnet sie die Diskussion um die Rolle der geologischen Kräfte Feuer und Wasser, im umfassenderen Sinn steht sie gewissermaßen stellvertretend für den Prozeß der Herausbildung der Geologie als Wissenschaft, d.h. für die Auseinandersetzung um die grundlegenden Prinzipien geologischer Forschung (FRITSCHER 1991)."

Meiner Ansicht nach haben mehrere Wege zur Herausbildung der Geologie als seriöse Naturwissenschaft geführt:

- Die Suche nach einem wissenschaftlichen Weltbild, Erkenntnis der geologischen Umwelt

- Die Beobachtung geologischer Erscheinungen wie beispielweise Erdbeben und Vulkanausbrüche. Sie zogen die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich, die angeregt wurden ihren Ursachen nachzuspüren. Schon im Altertum (z.B. PLINIUS) werden geologische Erscheinungen beschrieben .

- Die "theologische Bevormundung" hindert an einem naturwissenschaftlichen Weltbild zu arbeiten. Die Erklärung geologischer Vorgänge wird aus der Genesis der Bibel apriori erklärt.

- Die Jahrtausende alte Erfahrung der Bergleute, die praktischen Erfahrungen der Bergleute führte doch zur Erkenntnis, daß die geologische Erforschung der Erdkruste notwendig ist und nützlich sein kann.

- Wunderkammern und Museen: Kuriosa werden zum Gegenstand einer musealen Erforschung, die mit den Mineralien beginnt. Sie waren schon bei den alten Alchemisten von besonderem Interesse. Es entstehen reich illustrierte Werke von den Museumsinhalten, die von weltlichen und geistlichen Fürsten im Laufe der Jahrhunderte zusammen getragen worden waren.

4. 1800 Jahre erfaßbare Entwicklung neptunistischer Anschauungen (nach FRITSCHER 1996)

Es herrscht die weit verbreitete Meinung, daß die Vulkanismus - Neptunismus - Kontroverse am Beginne der Entwicklung der Geologie zur modernen Naturwissenschaft stehe. Folgt man FRITSCHER's tabellarischer Zusammenstellung der Geschichte der Geowissenschaften, so muß man eine Jahrhunderte lange Entwicklung unserer Wissenschaftsdisziplin bis zum lehrbaren und erlernbaren Hochschulfach Geognosie bzw. Geologie bzw. Geowissenschaften erkennen

Der Streit zwischen Neptunisten und Plutonisten geht eine jahrhundert lange Entwicklung von Spekulation und Interpretation von Beobachtungen voraus. Die neptunistische Weltanschauung - ohne daß sie sich selbst als solche bezeichnete - ist schon seit der Spätantike vorhanden, da die neptunistischen Anschauung sich leichter in das biblische Schöpfungsmodell der Genesis eingliedern ließ. Außerdem war die Macht der Kirche so stark, daß jede Abweichung von dieser theologisch vorgeschriebenen Linie unweigerlich am Scheiterhaufen geendet hätte. Gehen wir nach FRITSCHER 1996 einzelne Stationen bzw. Autoren bis ins 18. Jahrhundert durch:

200 n.Chr.Geb.: ALEXANDROS von APHRODISIAS entwickelt in einem Kommentar zur Meteorologie des ARISTOTELES eine neptunistische Theorie, nach welcher die Erde ursprünglich vollkommen von Wasser bedeckt war und die Festlandsmassen erst allmählich auftauchten, indem jenes durch die Einstrahlung der Sonne verdunstete.

um 1180: ZHU XI betrachtet die Erde als eine Ablagerung aus Wasser, dessen Wirkungen er zugleich wesentlich die Entstehung der Berge zuschreibt. Er postuliert eine beständige Veränderung der Lage von Land und Meer und verweist dazu auf die Erosion durch die Meereswellen an den Küsten.

1625: N. CARPENTER nimmt an, daß die frühe Erde ein vollkommen mit Wasser bedecktes Spähroid war und daß die heutige Topographie wesentlich bei der ersten Trennung von Land und Wasser vorgezeichnet wurde. Einstmals werde die Erde wieder genauso mit Wasser bedeckt sein wie zu Beginn.

1669: N.STENO entwickelt in seinem Prodomus die Vorstellung einer ursprünglich horizontalen Ablagerung der Gesteinsschichten im Wasser auf jeweils älteren darunterliegenden und bereits verfestigten Schichten, ein Vorgang, der noch heute andauert.

1691: G.W.LEIBNIZ nimmt einen doppelten Ursprung der Gesteine an: eine erste Entstehung aus der ursprünglich glutflüssigen und sich abkühlenden Erde sowie eine spätere vielfache Umgestaltung und Umlagerung der Gesteine durch die Arbeit des fließenden Wassers.

1714: D.S.BUETTNER beschreibt in seiner Coralliographia subterranea zahlreiche Versteinerungen von verschiedenen Orten, meist Tiere, die im Meer gelebt haben. Die weite Verbreitung dieser Zeugen interpretiert er als Indiz für eine allgemeine Überflutung der Erde durch die Sintflut.

1716 B. DE MAILLET gibt in seinem (1715/1716 verfaßten und 1748 veröffentlichten Werk "Tellamed" eine - vor allem in Hinblick auf den Fossilinhalt der Schichten - entwickelte neptunistische Theorie der Erde. Das Festland entstand durch Ablagerung im Meer und wurde später durch dessen beständiges Zurückweichen freigelegt.

1723: L. BOURGUET entwickelt eine wesentlich am mosaischen Schöpfungsbericht (Sintflut) orientierte neptunistische Theorie der Erde (Ähnlich von J. WOODWARD). Die

bestimmenden Vorgänge sind: Verwitterung ältere Ablagerungen und kontinuierliche Sedimentation und Hebung der horizontal abgelagerten Schichten.

1728: L. BOURGUET nennt als eine Ursache der Gesteinsentstehung (neben der wässerigen Kristallisation, die er für Salze und Granit annimmt) eine Art von Schmelzung (z.B. für Bitumen, Feuerstein und Marmor). 1742 lehnt er die Schmelzung als Entstehungsursache der Gesteine jedoch ab und schließt sich ganz der neptunistischen Theorie an.

1746: C. von LINNÉ arbeitet insbesondere während seiner Reise nach Westgotland (1746) eine neptunistische Theorie der Entstehung der Gesteine aus, die er 1749 in seiner "Oeconomia naturae" weiter ausführt. Er behandelt dabei auch die Verwitterung der Gesteine und postuliert so indirekt einen (allerdings rein neptunistischen) Kreislauf der Gesteine.

1776: A.G.WERNER besucht den Stolpener Basalt und spricht sich, da er dort keine Merkmale "vulkanischer Erzeugung" findet, gegen dessen magmatische Entstehung aus. Er wird zum führenden Vertreter des Neptunismus, demzufolge alle Gesteine durch chemischen oder mechanischen Niederschlag aus einem Urozean entstanden sind. Abraham Gottlob WERNER wird so zum wichtigsten Vertreter der neptunistischen Theorie. Er sah sein Wissenschaftsmodell noch im Rahmen der biblischen Schöpfungsgeschichte. Nach dem er den Scheibener Basaltbruch besichtigt hatte, prägt er den berühmten Satz in der Jenaer Literaturzeitung 1788 " Aller Basalt in nassen Ursprungs und von einer und zwar sehr neuen Formation".

1795: J.C.LAMÉTHÉRIE formuliert eine umfassende neptunistische Theorie der Erde: Die ursprünglichen Gesteine kristallisieren aus wässriger Lösung, das Meer zieht sich in unterirdische Hohlräume zurück; die Berge und Kontinente tauchen aus dem Ozean auf und das Leben beginnt sowie die Verwitterung und damit die Bildung fossilführender Schichten.

1802: In Antwort auf J. PLAYFAIRS Erläuterung der HUTTON'schen Theorie, veröffentlicht J. MURRAY seinen "Comparative View of the Huttonian and Neptunian Systems of Geology". Er macht deutlich, daß eigentlich die WERNER'sche Theorie nach wie vor mit den Beobachtungen und vor allem dem chemischen Wissen der Zeit besser übereinstimmt.

1802: In Erweiterung und Fortsetzung einer Abhandlung von 1799 sowie seiner paläontologischen Studien gibt J.B. de LAMARCK in seiner "Hydrogéologie" eine Physik der Erde, welche meteorologische, geologische und biologische Aspekte zusammenfaßt. Er betont die Bedeutung lang-samer Veränderungen in langen Zeiträumen nach einheitlichen Prinzipien der Natur.

1805: G.B.GREENOUGH unternimmt eine ausgedehnte Reise durch Schottland. Er diskutiert kritisch die Theorien J. HUTTON's und A.G. WERNER's und kommt zu dem Ergebnis, daß beide einer Reihe von Phänomenen nicht gerecht werden. Er untersucht auch die Parallel Roads von Glen Roy und deutet sie richtig als Strandterrassen eines ehemaligen Sees.

1837: Der Münchner Chemiker und Mineraloge J.N. v. FUCHS entwickelt eine neue Theorie der Erde, die wesentlich auf den Gesetzen der chemischen Verwandtschaft basiert. Er verweist auf die zahlreichen Widersprüche der vulkanistischen Theorie zu diesen Gesetzen und wird zum Begründer des (später vor allem von C.G.BISCHOF weitergeführten) Neoneptunismus.

5. Vulkanistische - Plutonistische Theorien vor der Kontroverse Neptunismus - Plutonismus (nach FRITSCHER 1996)

Auch die vulkanistischen und plutonistischen Anschauungen waren im 18. Jahrhundert nicht mehr ganz neu. Sie lassen sich bis zum Anfang der Neuzeit zurück verfolgen. Folgen wir zunächst der tabellarischen Aufzählung von FRITSCHER 1996

1691: G.W. LEIBNITZ nimmt einen doppelten Ursprung der Gesteine an: eine erste Entstehung aus der ursprünglich glutflüssigen und sich abkühlenden Erde sowie eine spätere vielfache Umgestaltung und Umlagerung der Gesteine durch die Arbeit des fließenden Wassers.

1740: Ausgehend von zeitgenössischen und historischen Berichten über die Neubildung vulkanischer Inseln (Nea Kameni bei Santorin, 1707 - 1711; Monte Nuovo im Golf von Neapel, 1538) führt der Mönch A.L. MORO die Entstehung von Bergen und Inseln auf vulkanische Hebungen zurück (welche somit zugleich die eigentliche Ursache für das Vorkommen mariner Fossilien auf Bergen sind).

1744: G.L.L. DE BUFFON nimmt an, daß die Erde sich ursprünglich als (glutflüssiger) Komet von der Sonne losgerissen hat und seither in beständiger Abkühlung begriffen ist. Meeresüberflutungen, Zerbrechungen der Erdkruste und Erosion des Landes bestimmten die weitere Entwicklungsgeschichte der Erde, was BUFFON vor allem 1778 in seinen *Epoques de la nature* weiter ausführt.

1785: Am 7. März und am 4. April trägt J. HUTTON vor der Royal Society in Edinburgh seine plutonistische Theorie der Erde vor, die er 1788 und in stark erweiterter Fassung 1795 veröffentlicht. Ein kurzes gedrucktes Abstract zirkuliert bereits 1785.

1802: J. PLAYFAIR trägt mit seinen "Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth" wesentlich zu deren Akzeptanz bei. Er beschreibt insbesondere eine Reihe weiterer Diskordanzen und unterstützt so nachdrücklich J. HUTTON's Konzept des geologischen Zyklus. Das Werk PLAYFAIR's bezeichnet gewissermaßen die Grenze zwischen der Geologie des 18. und der des 19. Jhdts.

1802: J. MURRAY macht deutlich, daß die WERNER'sche Theorie nach wie vor mit den Beobachtungen und vor allem dem chemischen Wissen der Zeit besser übereinstimme.

1805: G.B.GRENNOUGH unternimmt eine ausgedehnte Reise durch Schottland. Er diskutiert kritisch die Theorien J. HUTTON's und A.G.WERNER's und kommt zu dem Ergebnis, daß beide einer Reihe von Phänomenen nicht gerecht werden. GRENOUGH untersucht auch die Parallel Roads von Glen Roy und deutete sie richtig als Strandterrassen eines ehemaligen Sees.

1811: S. BREISLAK entwickelt in seiner Introduziona alle Geologia ein umfassendes geologisches Weltbild auf vulkanistischer Grundlage. Er geht von einer ursprünglich glutflüssigen Erde aus (mit Granit, Syenit, Gneis usw. als Erstarrungsprodukten dieser Urerde) und weist dem Magma eine aktive Rolle bei tektonischen Vorgängen zu.

1822: Der Wahlösterreicher Ami BOUÉ nennt als Ursachen der Gesteinsmetamorphose (den Ausdruck hat er 1820 eingeführt) die Erdinnere Wärme sowie Gase aus dem Erdinneren. Unter Druck wird eine Art Schmelzung eingeleitet, welche eine kristalline Textur der Sedimente erzeugt, dabei aber die ursprünglich schiefrige Struktur der Sedimente beibehält. BOUÉ beendet mit seinen Arbeiten den Streit zwischen Neptunismus und Plutonismus.

1833 übernimmt C. LYELL die Theorie der Gesteinsmetamorphose von Ami BOUÉ. Als deren Ursachen nimmt er hohe Temperaturen, hohen Druck und elektrische Wirkungen u.a. an.

1840 Erklärt der Schweizer Geologe B. STUDER alle kristallinen Gesteine zu Umwandlungsprodukten von Sedimentgesteinen, wobei er allerdings den Umwandlungsprozeß selbst für gegenwärtig chemisch noch nicht erklärbar hält.

6. Abraham Gottlob WERNER

WERNER knüpfte an die neptunistischen Auffassungen der Schweden J.G. Wallerius (1708 - 1785) und T. Bergman (1735 - 1784) an. Er befreite sie von den Elementen des Bibelglaubens und verband sie mit seiner

eigenen deistischen Konzeption, die in weltanschaulicher Hinsicht der religiösen Aufklärung entsprach. Es ist zu berücksichtigen, daß WERNER im wesentlichen nur das mittlere Deutschland (Sachsen) kannte, wo der Basalt hauptsächlich in schichtförmigen Decken auftritt und damit scheinbar die Auffassung der Neptunisten belegte.

Nicht wegzuleugnende vulkanische Erscheinungen führte WERNER auf lokale Erdbrände zurück: Vulkanische Gesteine seien umgeschmolzene Sedimente, und Tektonik beruhe auf Einstürzen im Erdinnern. Aber die meisten Gesteine sind - so meinte er - gar nicht gestört, sondern befinden sich vornherein in nicht horizontaler Lagerung, eine Auffassung, die gegenüber STENO einen Rückschritt bedeutete. Die Gesteinsserien FÜCHSEL's (Formationen) gelten ihm als gesetzmäßige Bildungsabfolgen, die jeweils in einem besonderen Abschnitt der Erdgeschichte entstanden sind. Mit dem vorhin zitierten Satz aus der "Jenaer Literatur - Zeitung 1788" löste er einen erbitterten Wettstreit mit den Vertretern der Vulkanisten und Plutonisten aus. WERNER's Theorie vom Urmeer und der sich in diesen bildenden Gesteinen, darunter auch Basalt oder Granit, blieb vom Anfang an nie unwidersprochen.

Die Gliederung der Erdgeschichte, deren Beginn er vor mehr als 1 Million Jahren vermutete, erfolgt auf petrographischer Grundlage: Die Fossilien zog WERNER dazu nicht heran, obwohl er als einer der ersten Vorlesungen zur Petrefaktenkunde (Paläontologie) hielt. Neben den Vereinseitigungen, denen WERNER durch Verabsolutierung des neptunistischen Prinzips in verschiedene Fragen verfiel, offenbarten seine Vorstellungen echtes erdgeschichtliches Verständnis, das zu Vorbereitung des Entwicklungsdenkens in den Geologischen Wissenschaften maßgeblich beitrug. So übernahm WERNER in sein System FÜCHSEL's und LEHMANN's Ergebnisse als endgültig und entwickelte auf dieser Grundlage sein in sich geschlossenes geologisches Weltbild.

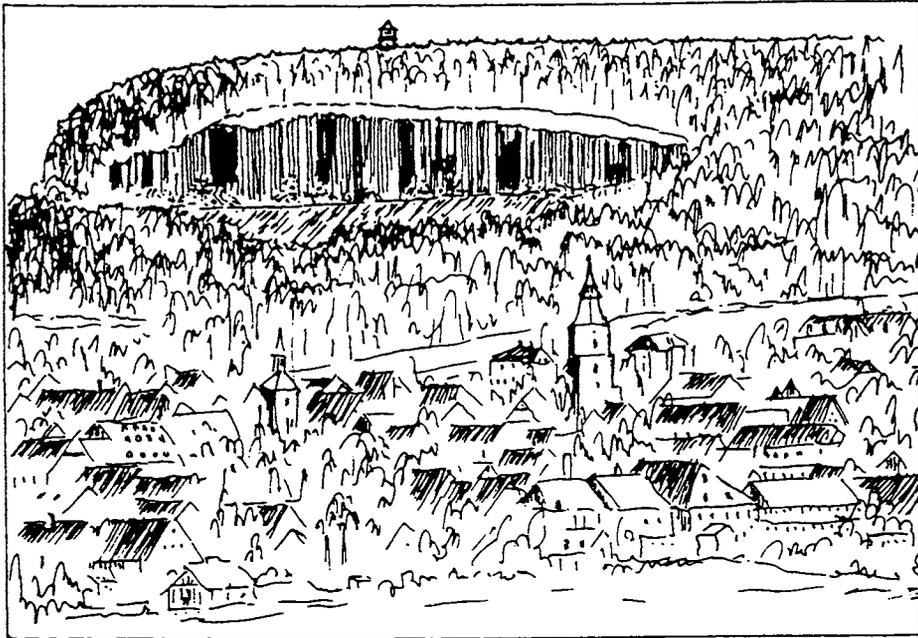


Abb. 1: Die Basaltkuppe des Scheibenberges über dem gleichnamigen Städtchen im Erzgebirge. Skizze nach einer Photographie ("Fundgrube" 15.Jg., 1979 und schematisches Profil aus O. WAGENBRETH 1955 nach R. BECK 1917. Die Grenze zwischen tertiärem Sand und Glimmerschiefer ist in der Landschaftsskizze nicht erkennbar.

Die Bedeutung WERNER's besteht vor allem in der Ausarbeitung einer exakten, allein auf Beobachtung beruhenden geologischen Methodik, die seine zahlreichen Schüler erfolgreich anwandten und in alle Welt trugen. Er brachte auf der Basis des Neptunismus die verschiedenen Erkenntnisse stratigraphischer, tektonischer, paläontologischer, petrographischer und selbst lagerstättenkundlicher Art in einen systematischen Zusammenhang und trug so zur Formierung des Wissenschaftsinhaltes der neuen Disziplin bei. Sein Verdienst war es, die Geologie lehrbar zu machen.

Nicht allen Zeitgenossen war der Fall des Neptunismus gleichgültig

Schon zu WERNER's Zeiten entbrannte der Kampf um sein neptunistisches Weltbild. Johann Wolfgang GOETHE konnte die Abkehr von der WERNER'schen Lehre nicht verwinden, was er geistreich erst 1820 - das war drei Jahre nach dem Tode von WERNER - , in Versen (ein Zitat aus den "Zahmen Xenien") wie folgt ausdrückte:

*Wie man die Könige verletzt,
wird der Granit auch abgesetzt,
Und Gneis, der Sohn, ist nun Papa!
Auch dessen Untergang ist nah:*

*Denn Plutos Gabel drohet schon
dem Urgrund Revolution;
Basalt, der schwarze Teufels - Mohr,
Aus tiefster Hölle bricht hervor,
Zerspaltet Fels, Gestein und Erden,
Omega muß zum Alpha werden.
Und so wäre denn die liebe Welt
Geognostisch auf den Kopf gestellt.*

*Kaum wendet der edle Werner den Rücken,
Zerstört man das Poseidonische Reich;
Wenn all sich auch vor Hephästos bücken,
Ich kann es nicht sogleich,*

*Ich weiß nur in der Folge zu schätzen.
Schon hab ich manches Credo verpaßt;
Mir sind alle gleich verhaßt,
Neue Götter und Götzen.*

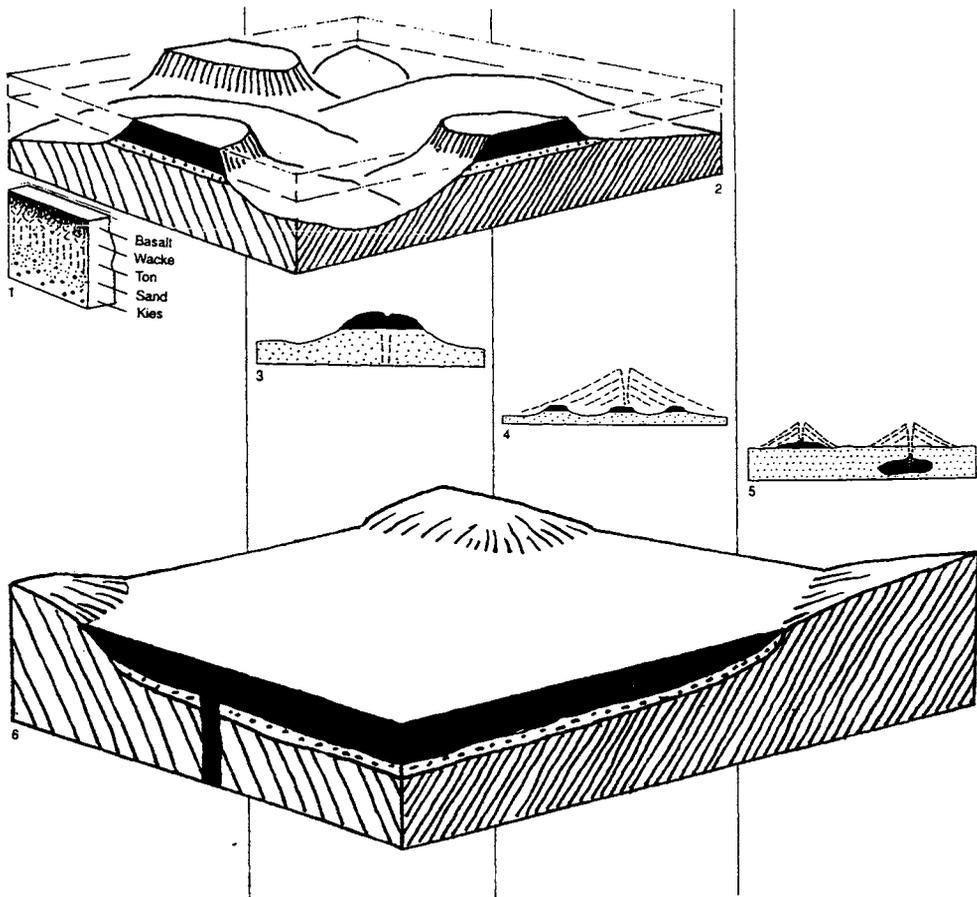


Abb.2 (nach O. WAGENBRETH 1955): Der Scheibensberg im Erzgebirge erregte 1789 die Aufmerksamkeit der Geologen und gab Anlaß zum "Neptunistenstreit". Vor 1789 wurde der Basalt von den meisten Naturforschern als vulkanisches Gestein, von einigen aber auch als Sediment betrachtet. Abraham Gottlob WERNER, der für die geologische Forschung das Primat der Beobachtung im Gelände forderte, beobachtete am Scheibensberg einen allmählichen Übergang der Sedimentationsfolge Kies, Sand, Ton in Wacke und Basalt (1).

Wir wissen heute, daß dieser Übergang nur scheinbar und durch die Verwitterung des Basaltes bedingt ist. WERNER schloß aber aus dem allmählichen Übergang auf die Entstehung des Basaltes als Sediment, wie es für Kies, Sand, Ton allgemein anerkannt war. Er fand diese Anschauung durch die Möglichkeit, den Scheibensberg und die benachbarten Basaltberge als Reste einer flachen Basaltschicht zu betrachten, bestätigt (2).

Nur war diese Schicht kein Sediment, sondern ein vulkanischer Deckenerguß, der erst durch die "Reliefumkehr" durch Abtragung der ursprünglichen Landschaft heute einzelne Berge bildet. WERNER's Gegner deuteten den Basalt zwar richtig als Vulkanit, doch sie hatten von den ursprünglichen Lagerungsverhältnissen völlig abwegige Vorstellungen. Die einen erklärten kleine Vertiefungen als ehemalige Vulkankrater (3), die anderen betrachteten mehrere Basaltberge als Überreste eines einzigen Vulkankegels (4). Die dritten sahen in den Basaltbergen den inneren Kern von Vulkanen (5), entweder an der Basis des Kegels oder in der Erdkruste.

Alle drei Vorstellungen weichen von der richtigen Deutung des Basaltes als flachem, schichtähnlichem Deckenerguß ab (6), sodaß der Sieg des Neptunisten WERNER über seine vulkanischen Gegner verständlich wird. Von den Lagerungsverhältnissen her entsprach WERNER's Deutung (2) mehr dem wahren Sachverhalt.

7. James HUTTON (1726 - 1797)

Die Gegner des Neptunismus leugneten die Wirkungen des Wassers nicht, wiesen aber mit Nachdruck auf die vulkanischen Erscheinungen hin. Der hervorstechendste Gegner von WERNER's Neptunismus kam aus Landschaften mit vulkanischen Ursprung. HUTTON unterschied in Schottland bereits Ergußgesteine von Tiefengesteinen. Beide wurden als vulkanisch zusammengefaßt, wie man damals überhaupt alles, was sich im Erdinnern abspielte, mit Begriff "Vulkanisch" bezeichnete. Auch tektonische Vorgänge gehen nach HUTTON auf vulkanische Vorgänge zurück, soweit es sich nicht um Einstürze von Hohlräumen handelt.

Die Einbeziehung chemischer, physikalischer und vor allem experimenteller Methoden in die geologische Theorienbildung (vor allem auch wegen ihrer engen Bindung an die Herausbildung der aktualistischen Methode) ist wesentlich als das Verdienst des Plutonismus anzusehen, der von James HUTTON u.a. Ende des 18. Jahrhunderts entwickelten geologischen Theorie, wonach die Gesteine zum Teil magmatischen Ursprungs, zum Teil durch hohe Temperaturen und Drücke verfestigte Sedimente sind. Einen Vorläufer hatte diese Theorie im Vulkanismus, der den Basalt und einige ähnliche Gesteine als magmatische Produkte deutete. (FRITSCHER 1991)".

James HALL (1762 - 1831) experimentierte schon mit Schmelzflüssen und gewann kristalline Gesteine. So war einer der wichtigsten Gegensätze zwischen Plutonisten/Vulkanisten und Neptunisten darin zu sehen, daß sich die Plutonisten/Vulkanisten im Wesentlichen auf 'feldgeologische Methoden' stützten (d.h. auf die Beschreibung der Lagerungsverhältnisse der Gesteine im Gelände) und die Neptunisten dagegen - und hier wieder vor allem die Neoneptunisten des 19. Jahrhunderts - sich in erster Linie auf 'Labormethoden', d.h. auf chemische und experimentelle Erfahrungen stützen (FRITSCHER 1991). Die französischen Geologen beobachteten den erloschenen Vulkanismus der Auvergne, den auch Leopold von BUCH 1802

studierte, nachdem er sich nach einem Besuch des Vesuvs von der Lehre seines Lehrers WERNER abgewandt hatte. Joh. K. Wilh. VOIGT (1752 - 1821) und Alexander von HUMBOLDT erkannten auf Grund ihrer Studienreisen die Unhaltbarkeit um die Genese des Basalts in Deutschland (Sachsen). Die Stellung VOIGT's in der Auseinandersetzung um 1790 kann von seinem Standpunkt aus zusammenfassend mit seinen eigenen Worten gekennzeichnet werden: " Es ist mit vielen Schwierigkeiten verknüpft, den Basalt als eine vulkanische Gebirgsart geltend zu machen, aber mit noch weit mehr, ihn als Flözgebirgsart zu behaupten".

8. Sintflutbericht gegen Evolution: Eine parallel verlaufende Kontroverse zum Neptunisten - Plutonisten / Vulkanistenstreit

Völlig unberührt bleibt in der Auseinandersetzung Neptunismus - Plutonismus/Vulkanismus die Frage nach der Natur der Fossilien. Sie sind selbst dem Menschen der Vorzeit nicht entgangen. Was sich der vorgeschichtliche Mensch darüber dachte ist uns leider bisher verborgen geblieben.

Aus der überlieferten Literatur wissen wir, daß sich eine Reihe von Gelehrten aus der heutigen Sicht richtige Gedanken über Fossilien machten, welche diese als einstige echte Meerestiere ansahen. Schon OVID, PLINIUS der Ältere, PLUTARCH, STRABO, HERODOT, ANAXIMANDER und XENOPHANES sind zur Ansicht gekommen, daß es sich um Reste vorzeitiger Lebewesen gehandelt haben muß und das Meer früher eine andere Ausdehnung hatte als heute.

Im Mittelalter vertraten der arabische Gelehrte AVICENNA (um 1000) und der chinesische Philosoph CHU-HSI (um 1200) die gleichen Ansichten der antiken Gelehrten.

Schon am Beginn der Neuzeit hielten der Sohn eines Bergmannes der Reformator MARTIN LUTHER die Kupferschieferfische, der italienische Arzt FRACASTORO (1517), der französische Forscher BERNARD PALISSY (1580) und LEONARDO DA VINCI (um

1500 usw.) in seinen Tagebüchern die auf dem Lande und auf den Bergen vorkommenden Muscheln für echt organischer Natur.

LEONARDO DA VINCI selbst entwickelte zwischen 1478 - 1518 eine Fülle von erdwissenschaftlichen Vorstellungen. Um 1500 schreibt er, daß alle Täler durch Erosion der Flüsse entstehen, wofür er um 1506 als Beleg die Konkordanz der Schichtenfolge auf beiden Seiten der Täler nennt, später auch die Proportionalität von Flußgröße und Talbreite. Die Ablagerungen der Flüsse an ihren Mündungen seien für die Vergrößerung der Landmasse und für das Entstehen von Ebenen verantwortlich. LEONARDO DA VINCI nimmt auch an, daß die Berge durch Erosion leichter werden, sich deshalb heben und dabei versteinerte marine Schichten einschließlich ihrer dazugehörigen fossilen Fauna und Flora mit nach oben bringen. Solche Entlastungen können auch durch die Entwässerung großer Seen und Meere (Bedingt durch die erosive Tätigkeit der Flüsse) erfolgen. LEONARDO DA VINCI entwickelte erste Gedanken über jene Kräfte, welche tektonische Bewegungen in der Erdkruste verursachen könnten. 1506 erklärt LEONARDO DA VINCI Fossilien eindeutig als Reste ehemaliger Lebewesen und entwickelte konkrete Vorstellungen über den natürlichen Prozeß der Versteinerungen. Die Ansicht, daß sie von der Sintflut abgelagert wurden, lehnt er mit dem Hinweis auf ihr regelmäßiges Vorkommen ab (FRITSCHER 1996). LEONARDO DA VINCI erkennt auch erstmals fazielle Verschiedenheiten der Gesteinsschichten, deren wesentliche Ursache in der abnehmenden Transportkraft des Wassers bedingt sei. 1514 gibt LEONARDO DA VINCI auch eine richtige Erklärung von der Entstehung der Flüsse bzw. vom hydrologischen Kreislauf. So modern LEONARDO DA VINCI's Meinungen auch waren, sie blieben in seinen Tagebüchern verborgen. Zu nahe stand er im Machtbereich seines geistlichen Arbeitgebers und des römischen - päpstlichen Kirchenstaates. Ein Widerspruch zur biblischen Schöpfungsgeschichte hätte für ihn sicher unabsehbare Folgen gehabt. Vielleicht gab es hin und wieder mündliche Wieder - und Weitergaben von LEONARDO

DA VINCI's Ansichten. Bei späteren Autoren tauchen seine Gedanken wieder auf. So hat der naturkundige Neapolitaner FABIO COLONNA in seiner Arbeit über Haifischzähne 1611 behauptet, daß (zumindest einige) Fossilien ehemalige Lebewesen sind. Er beschreibt sie zoologisch und unterscheidet Süßwasser - und Seewassertiere (FRITSCHER 1996).

Es darf daher nicht verwunderlich sein, daß sich die wundervolle Idee durchsetzen konnte, die Fossilien seien Zeugen für die Sintflut. Einem italienischen Mönch aus dem 13. Jahrhundert namens RISTORO D'AREZZO wird manchmal dieser Einfall zugeschrieben. Kein Wunder, waren doch im Mittelalter alle Gelehrten damals auch Geistliche. In der intellektuellen Schicht des Mittelalters, die diese anachronistischen Schulen noch widerspiegeln, wurde dies erwartungsgemäß bald zur herrschenden Theorie über die Entstehung der Fossilien. Sie war auch eine fundamentale Stütze des Neptunismus. Diese für die moderne Wissenschaft nicht mehr aufrecht zu erhaltene Meinung wird in einigen unter kirchlicher bzw. religiöser Obhut stehenden Schulen und Universitäten der Vereinigten Staaten noch heute als feststehende Wahrheit gelehrt. Sie hat aber auch in Europa in fundamentalen religiösen Kreisen weitreichenden Eingang gefunden, das sich auch durch zahlreiche Veröffentlichungen auch in deutscher Sprache belegen läßt.

Mit der Abklärung der Neptunismus - Plutonismus Kontroverse waren und sind die Meinungsverschiedenheiten noch lange nicht beendet worden. Seit ERASTOTHESENES (um 284 - 202) hat man angenommen, daß langgestreckte Gebirgsgürtel geradlinig seien und durch plutonische Aktivität aus dem Meer emporsteigen. Noch 1818 und 1822 erklärt Leopold von BUCH ausgehend von seinen zahlreichen Beobachtungen zu Vulkanen und vulkanischen Vorgängen die Dolomiten in Südtirol als Ergebnis einer vulkanischen Hebung, d.h. als gehoben durch den unterlagernden Augit - Porphyry (FRITSCHER 1996). Die Zuschreibung tektonischer Vorgänge auf vulkanistisch - plutonistische Erscheinungen in der Erdkruste sollte erst durch die Ideen von Eduard SUESS begraben

werden. Die Hypothese der Geosynklinale und die Erkenntnis über die verschiedenen Eigenschaften der Gebirge und der sie umgebenden Krustenteile führten zur Theorie der geologischen Tethys. Aus ihr konnte sich erst die Theorie der Plattentektonik in unserem Jahrhundert entwickeln, welche die tektonische Entwicklung unseres Planeten in einem neuen Licht erscheinen lassen sollte.

9. Die Kontroverse in den Alpenländern, im Machtbereich der habsburgischen Erblande

Die habsburgischen Erblande, das spätere Kaisertum Österreich (gegründet 1804 durch Franz I) stand wohl im Interesse geowissenschaftlicher Forschung. Seitens des Landesherren gab es seit 1748 das Hofmineralien - Cabinet in Wien, wo nicht nur eifrig gesammelt worden war, sondern auch Unterricht über Mineralogie usw. geboten wurde. Hier waren F. BORN und Karl HAIDINGER, der Vater Wilhelm HAIDINGER's u.a. tätig. Der Freimaurer BORN öffnete den Weg der Naturwissenschaften in den österreichischen Erblanden zu einer Zeit, wo die Beschäftigung mit ihnen als nützlich und notwendig erkannt worden war. Die Gründung der Bergakademie in Schemnitz (Banská Štiavnica) 1762, die Einführung der Schulpflicht durch Maria Theresia waren Kinder der Aufklärung, die der Entwicklung der Naturwissenschaften und Medizin zunehmend förderlich wurden. Zur gleichen Zeit bereisten einige vermögende Adelige die habsburgischen Erblande. Der Engländer TOWNSON und der Franzose BEUDANT veröffentlichten umfangreiche Monographien über das Königreich Ungarn. Gregor RASUMOVSKY führte Untersuchungen in der Schweiz, Österreich und Böhmen durch. Friedrich MOHS beschrieb die Villacher Alpe. A.G.KARSTEN entwarf ein Profil zwischen Wien, Triest und Salzburg. Graf MARZARI - PENCATI besuchte das Fassatal und Predazzo. Leopold von BUCH besuchte ebenfalls diese Lokalität, aber äußerte sich darüber erst nach WERNER's Tod. BUCH (1821) bezweifelte die Lagerung des

Granits über den Kalkstein, stellt aber zum ersten Male die Metamorphose des Kalksteins fest und hielt Südtirol für den Schlüssel der Alpengeologie (ZITTEL 1899). Doch direkte Stellungnahmen in den spärlichen Veröffentlichungen zu neptunistischen oder plutonistischen Deutungen fehlen. Der Nachfolger BORN's im Hof - Mineralien - Cabinet, Abbé STÜTZ, vermied offensichtlich klugerweise kontroversielle Themen (HÄUSLER 1996): "Ich mische mich nicht in die Streitfrage, ob der Obsidian, der Basalt, u.s.w. vulkanischen Ursprunges seyen oder nicht ... es müsse dem Mineralogen gleich viel seyn, ob ein Mineral im Wasser oder im trockenen Wege erzeugt, oder umgeändert sei." Dieser Ausspruch illustriert die geistige innenpolitische Lage der österreichischen Erblande, die vorwiegend katholisch orientiert waren. Neuerungen, welche die Beweglichkeit des Geistes anregten, kamen eher aus den protestantischen Ländern, obwohl HUTTON auch seine Ideen gegen die Anglikanische Hochkirche verteidigen mußte. Möglicher Weise haben viele Forscher wie z.B. MARZARI - PENCATI viele ihrer Beobachtungen wohl schriftlich festgehalten, aber ihre Ergebnisse nie veröffentlicht (VACCARI 1997). Dies lag auch darin, daß es zu diesen Zeiten kaum wissenschaftliche Publikationsorgane gab. MOLL's Publikationsreihen waren noch eine Ausnahme. So war es daher unmöglich, eine Diskussionsplattform für wissenschaftliche Information und Kommunikation zu nutzen. Die Kommunikation der Wissenschaftler um die Wende 18. Jahrhundert und 19. Jahrhundert wurde noch dazu durch die politische Lage in Europa schwer behindert. Die Kontinentalssperre und die napoleonischen Kriege bis 1815 machten jeden persönlichen und brieflichen Kontakt schwierig. Auch hatten die Landesherren andere Sorgen als die Förderung der Wissenschaften im eigenen Lande. Daher muß angenommen werden, daß WERNER seine Theorie unangefochten verteidigen konnte und erst nach seinem Tode und nach dem Wiener Kongreß der Neptunismus allmählich begraben werden konnte, wenn es auch dort und da noch weit ins 19. Jahrhundert Anhänger WERNER's gab.

Der Neptunismus - Plutonismus - Streit kann als Geburtsschrei der sich in dieser Zeit herausbildenden wissenschaftlichen Geologie angesehen werden. Das Ende dieser Kontroverse beendete auch das Ende des heroischen Zeitalter der Geologie (1790 - 1820).

Literatur:

- ACCORDI, B.: Storia della geologia . - Bologna (Zanichelli) 1984, 60 Fig., 114 S.
- ALBRECHT, J.: Ins Innere der Erde . - Braunschweig (Westermann) 1992. - 168 S., Ill.
- BAUMGARTEN, B.: Leopold von Buch - Streitbarer Geognostiker und früher Erforscher des südlichen Tirol - Stoansucher 11/2, S.43 - 44, 1 Abb., Bozen 1997
- FRITSCHER, B.: Vulkanismusstreit und Geochemie. die Bedeutung der Chemie und des Experiments in der Vulkanismus - Neptunismus - Kontroverse. - Boethius, Bd 25, 346 S., Stuttgart 1991
- FRITSCHER, B.: Tabellarische Übersicht der Geschichte der Geowissenschaften von Plinius bis auf Charles Lyell, nach Jahren geordnet . - München: Eigenverl., 1996. - 276 S.
- GUNTAU, M.: Die Genesis der Geologie als Wissenschaft . - Schriftr.f.geol.Wiss. 22, 131 S., Ill., Berlin 1984
- GUNTAU, M.: Arbeiten zur Geschichte der geologischen Wissenschaften im Rahmen nationaler und internationaler Gremien. - Comparativ 1996, S.203 - 224, Leipzig 1996
- HÄUSLER, W.: Die geognostische Landesaufnahme Niederösterreichs durch Paul Maria Partsch (1791 - 1856) und ihre Bedeutung für die Entwicklung der Erdwissenschaften- Jb.f.Landeskunde v. N.Ö. 62, S. 465 - 506, 5 Abb., St. Pölten 1996
- HALLAM, A.: Great geological controversies . - New York: Oxford Univ. Press, 1986. - 182 S.
- HERNECK, F.: Der Beitrag zur Herausbildung eines wissenschaftlichen Weltbildes.-In: Beiträge zur geowissenschaftlichen Tradition in der DDR. - Wiss.-techn. Informationsdienst, hrsg. ZGI, R. A, H. 1, S.8 - 14, Berlin 1987
- HÖLDER, H.: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. - Berlin: Springer-Verl., 1989. - 244 S., Ill.
- HOHL, R. (Hrsg.): Die Entwicklungsgeschichte der Erde. - 6. Aufl.. - Hanau: Werner Dausien. - 703 S.: Ill.
- KEFERSTEIN, Chr.: Geschichte und Literatur der Geognosie . - Halle: Johann Friedrich Lippert, 1840 . - 281 S.
- LEITMEIER; H, Goethe als Neptunist. - Anz.Österr.Akad.Wiss.phil.-hist.1950
- MATHE, G.: Horace Benedict de Saussure und die geologische Erforschung der Hochgebirge. - Z.geol.Wiss. 20, S.505 - 515, 5 Abb., Berlin 1992
- PILGER, A.: Die tektonische Erforschung der Alpen zwischen 1787 und 1915 . - Clausthaler geol. Abh.32, 81 S., 8 Bilder, 52 Abb., Clausthal - Zellerfeld 1978
- REMANE, H.: Briefe als wissenschaftshistorische Quelle. der Briefwechsel des Nobelpreisträgers für Chemie Emil Fischer (1852 - 1919) . - Nova Acta Leopoldina Suppl.14, S.15 - 29, 3 Abb., 4 Tab., Halle/Saale 1997
- STUMPFL, E.F.: Neptunismus in der Lagerstättenforschung: Mode des Jahrzehnts oder letztes Wort. - Berg - u. Hüttenmänn. Mh. 132, S. 278, Wien 1987
- STUMPFL, E.F.: Neptunismus in der Lagerstättenforschung - Mode des Jahrzehntes oder letztes Wort?- In: Bergbau im Wandel: Leobener Bergmannstag 1987, S.193 - 197, Graz 1988

- TOLLMANN, A. : Geschichte der geologischen Erforschung Österreichs. - In: Tollmann A.: Geologie von Österreich, Bd 3, S.3 - 43, 10 Abb., 1 Tab., Wien 1986
- VACCARI, E.: Il contributo di Giuseppe Marzari Pencati alla geologia veneta dell'ottocento. - In: Le scienze della terra nel Veneto dalla caduta della Sesenissima all'Unità d'Italia. Venezia 25.10.1997 [Vortrag in italienischer Sprache]
- WAGENBRETH, O.: Der Scheibenberg. - In: Abraham Gottlob Werner und sein Werk [Kalender 1999, Bl. 11] / Hrsg.v.P. SCHMID. - Freiberg/Sachsen 1998
- WERNER, A.G.: Neue Entdeckung [am Scheibengerger Hügel]. - Intelligenzbl. d. Allg. Literatur-Zeitung 57(1788), S. 484 - 485, Jena, Leipzig u. Wien 1788
- WILLE, H.H.: Vorstoß ins Innere der Erde . -
- WYLLIE, P.J.: Hutton and Hall on theory and experiments: view after 2 centuries. - Episodes 21/1, S.3 - 10, Peking etc. 1998
- ZITTEL, K.A.: Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. - München u. Leipzig (Oldenbourg) 1999, S.

DISKUSSION :

Plutonismus contra Neptunismus - ein historischer Rückblick zur Entwicklung der Geowissenschaften

ZANKL: Ich glaube, daß Sie in Ihrer Sammlung viele wertvolle historische Schätze besitzen, und es ist wichtig, daß man an die Wurzeln der eigenen Wissenschaft zurückgeht. Wenn wir ins 19. Jh. zurückgehen, sehen wir, wie modern viele Ideen im vorigen Jahrhundert gewesen sind, die zum Teil wieder in der Versenkung verschwunden sind. Goethe etwa ist ein ausgezeichnete Naturbeobachter gewesen und er hat an einer Beschreibung des Granites sehr klar dargestellt, daß der Granit aus einer fluiden Phase entstanden sein muß; er wußte nicht, was das ist, aber er hat gesehen, die Kristalle müssen nacheinander in einer fluiden Phase auskristallisiert sein. Das beschreibt er wunderschön und skizziert es auch entsprechend. Die Beobachtungsgabe der Leute war hervorragend und das, glaube ich, sieht man in der Literatur des vorigen Jahrhunderts in ganz ausgezeichneter Weise.

Wir haben heute verlernt, ganz speziell zu beobachten. Dieses Verlernen beginnt bereits in der Schule. Ich habe den Eindruck, daß man den Kindern nicht mehr das Beobachten von klein auf beibringt und das spüren wir bis hinein in die Hochschulen. Wir haben große Probleme, den angehenden Studenten das Beobachten überhaupt erst einmal nahe zu bringen; da sollte man bereits in der Schule eine ganz wesentliche Grundlage legen und das wieder fördern, was im vorigen Jahrhundert offensichtlich ganz selbstverständlich war und sehr sehr intensiv gefördert wurde. Aber ich will der Diskussion nicht vorgreifen.

CERNAJSEK: Weil Sie gerade von Goethe gesprochen haben: Goethe hat mit fast jeden Naturwissenschaftler Zeit seines Lebens Kon-

takte gehabt und einen Briefwechsel geführt und ein österreichischer Bergmann namens RIEPL hat die erste Karte für Böhmen gemacht, mehr eine Manuskriptkarte, und diese Karte hatte er dann Johann Wolfgang Goethe gewidmet. Leider Gottes haben wir über diesen Schriftwechsel nur sehr wenig Information. Es ist an der Anstalt nur das erhalten geblieben, was von unseren Geologen geschrieben und gezeichnet wurde, von dem, was vor 1849 war, haben wir außer den Karten nichts. Wir hoffen, daß wir im Hofkammerarchiv fündig werden, aber das werden wir erst sehen. Das ist das Problem, daß sich noch niemand wirklich ernsthaft mit der Geschichte der Geologie in Österreich auseinandergesetzt hat, es ist alles so nebenbei, auch ich mache es nur als Abendbeschäftigung.

SCHROLL: Der Tag ist in der Schöpfungsgeschichte irrtümlicherweise mit 1000 Jahren festgelegt worden. Dieser Irrtum pflanzt sich bis heute immer noch fort, nicht nur in der römischen Kirche, im Protestantismus, vor allem im anglikanischen Bereich, ist dies noch viel ärger verbreitet. Da gibt es Sekten, und die Verfolgung der Wissenschaft beginnt schon wieder. Eine bekannte Chronologin hat in der Schweiz großen Streit mit so einer Gruppierung. Und noch ein kurioser Fall, Prof. BLEIMANN, ein bekannter Lagerstättenforscher, wurde in Australien zu einer Geldbuße verurteilt, weil er diesen Ansichten entgegengetreten ist. Ich weiß nicht aus welchem Rechtsgrund er verurteilt worden ist, aber daß ein Wissenschaftler, wenn er die Wahrheit sagt, verurteilt wird und Geld zahlen muß, ist das mehr als ein Kuriosum.

CERNAJSEK: Das ist kein Kuriosum. Wenn Sie in einzelnen Staaten der USA als Professor die Evolution vertreten, werden sie unter Umständen entlassen. Ein Kollege von mir, alle kennen ihn, hat einen Brief einer Studentin erhalten, und die hat ihm vorgeworfen, wieso er überhaupt die Evolution lehren kann, in der Bibel steht etwas ganz anderes drinnen.

Und es gibt eine religiöse Gruppe, die eine Art Comicheft herausgibt (Manche stammen von den Affen ab.../von J.T.C. - Chick Publications, 419/A German, Chino/California, 1970). Ich habe eines, wo ein Professor seine Vorlesung über Evolution hält. Steht ein Student auf und sagt, daß ist ganz anders und geht in der Diskussion bildchenweise vor, bis der Professor zugibt, seine Theorie ist falsch und den Hörsaal verläßt und das alles ist biblisch.

Es ist nicht zum Lachen. Vor 10 Jahren mußten wir ein Gutachten machen, ich glaube, Koll. AUGUSTIN hat auch eines machen müssen, das war eine sehr peinliche Angelegenheit. Ich habe mich auch damit befaßt - GATTINGER hat gesagt, mache das halt - und dieser Mann hat uns sogar einen Devolutionsantrag gestellt, weil wir nicht gleich ein Gutachten parat gehabt haben. Wir haben monatelang gebraucht, seine obskuren Theorien wissenschaftlich zu widerlegen.

UNBEKANNT: Worum ist es gegangen?

AUGUSTIN: Es ist um die Schrumpfung bzw. Dehnung gegangen, ich habe es noch irgendwo und kann es Dir geben.

SCHROLL: Wir haben uns gestern im Vorstand unterhalten, wie wichtig es ist, die erdwissenschaftliche Bindung in die Schule zu bringen. Auch wir Naturwissenschaftler und Geologen werden immer noch vor etwas Neues gestellt, wir kennen unsere Erde noch nicht immer ganz genau. Aber viel wichtiger ist, daß hier ein Wandel kommt. Die Geologie ist die Grundlage der ganzen Umweltgeschichte, aber man lehrt hier eben nur die Biologie, das ist statisch, das ändert sich für die Leute nicht, die Blüten und Bienen bleiben immer gleich. Ist ja auch nicht wahr, das werden wir ja heute hören, aber im Prinzip ist das so. Man muß

immer darauf hinweisen und gerade die Erdwissenschaftler hätten die Verpflichtung, dies den Politikern beizubringen.

ZANKL: Ich glaube aber, in Österreich sind sie noch in der glücklichen Lage, daß die Erdwissenschaften einen Bestandteil des Unterrichtes, zumindest im gymnasialen Bereich, bilden.

MEINDL: Noch!

ZANKL: Dann sollten die Geowissenschaftler Einspruch erheben. Mein alter Freund Schlager in Salzburg, ein Gymnasiallehrer, war ein hervorragender Geologe und aus seinem Gymnasium sind etliche Schüler hervorgegangen, die ausgezeichnete Geologen geworden sind. Man sollte an den Schulen diesen Stoff nicht ohne Not über Bord werfen.

CERNAJSEK: Wir als Bundesanstalt geben Prospekte heraus und wenn wir die an die Lehrer verteilen wollen, an den Gymnasien, an die Hauptschulen, brauchen wir eine in einem langwierigem Verfahren bewirkbare Genehmigung des Unterrichtsministeriums, daß diese Druckschrift überhaupt verteilt werden darf. Und dadurch sind uns schon die Hände gebunden, es sei denn, derjenige Lehrer kommt zu uns, wird als Kundschaft festgehalten, und dann bekommt er natürlich automatisch jedes neue Informationsmaterial von uns. Aber über 99%, die auch Biologie unterrichten, haben überhaupt nicht die Chance am regelmäßigen Weg informiert zu werden. Das Material wird stoßweise gesammelt vom Direktor und bis das o.k. kommt, ist es schon lange weggeworfen.

RIEHL - H. Bei dieser Gelegenheit möchte ich gleich die Professoren, Studenten oder Schüler begrüßen, die heute hier sind, einige Schüler und Professoren vom Gymnasium Neunkirchen, morgen kommt Prof. Müller mit seinen Studenten der HTL Krems, und es sollte ja ein Teil unserer Aktivitäten sein, mit den Schulen und den Mittelschulprofessoren hier etwas weiter zu kommen. Prof. Ziegler, ich bitte Sie, zu diesem Thema kurz Stellung zu nehmen, einige wenige Worte vielleicht, wir haben gestern eine umfassende Diskussion über diese Möglichkeiten geführt und wir haben heute ein

bißchen mehr Zeit.

Ich muß gleich eine Hiobsbotschaft verbreiten, Prof. Flügel konnte aus hochschultechnischen Problemen nicht kommen, wir haben daher einen Ausfall eines Vortrages. Dir. Schönlaub hat sich aber bereit erklärt, die Diskussion zu führen, er hatte seine Kurzfassung geschickt.

Wir haben hier in der letzten halben Stunde von Koll. Cernajsek vorgeführt bekommen, wie der Vernunft entgegengesetzt Diskussionen noch vor wenigen Jahren oder sozusagen noch gestern geführt wurden und wie heute für uns skurrile Vorstellungen sogar von Goethe eigentlich geglaubt worden sind. Wir sollten nicht in Hybris verfallen, wie gut wir heute schon sind, denn es werden sicher morgen schon neue Erkenntnisse kommen, und die Nachfahren werden sagen, waren die damals blöd. Ich glaube wir sollten schon eine gewisse Bescheidenheit an den Tag legen.

Wir haben in die Tagungsunterlagen eine Zeittabelle für Sie zusammengetragen, sie steht auch beim Podium, und ich bitte Sie, diese kritisch durchzusehen und uns Rückmeldungen über allfällige Fehler und Verbesserungen etc. zu geben.

Darf ich jetzt vielleicht einen der Damen oder Herren der Mittelschule bitten, einige Worte dazu zu sagen.

ZIEGLER: Ich komme vom Gymnasium Neunkirchen und bin mit 10 Schülern da. Ich bin ein Gloggnitzer, sozusagen ein Lokalmatador, und immer schon an den Aktivitäten der Geoschule in Payerbach interessiert gewesen und der Herr Dr. RIEHL weiß das, ich habe die Aktivitäten um die Geoschule nur gelobt und habe sogar auch Briefe an zuständige Stellen geschrieben, möchte mich aber trotzdem ganz kurz fassen.

Wie weit jetzt die Geologie als Grundlage, wie schon von Herrn Prof. SCHROLL gesagt, angesehen ist, auch als Grundlage für Umweltprobleme und ähnliche mehr, und wie weit die Demontage gediehen ist, sieht man daran, daß der Lehrplan zwei Stunden in der 5. Klasse vorsieht. Welchen Stellenwert für die Geologie in den Lehrplänen der österr. AHS hat, darauf haben wir Lehrer recht wenige

direkte Einflußmöglichkeiten, da sind jene Geologen gefragt, seien sie von der Universität oder von der Bundesanstalt, die auch die politischen Verbindungen dazu haben und die Bewußtseinsheiligkeit auf dieser direkten wichtigen Schiene vorantreiben können. Die Lehrpläne haben alle schon einen symbolischen Stellenwert, und das läuft ja auf anderen Schienen.

Zum Abschluß: wie sehr praktisch real die Geologie im Unterricht vorkommt, das entscheidet immer noch die einzelne Person. Nach knapp 20 Dienstjahren hat für mich ein Lehrplan wirklich sehr oft nur einen blassen Rahmencharakter evtl. als Orientierung, und nach 20 Jahren kommt man dann - leider erst nach so langer Zeit - darauf, was für die Praxis bedeutsamer ist, denn wenn man alle Lehrpläne liest, fallen einem die letzten Haare aus.

RIEHL - H.: Wir haben gestern diese Sache ausführlich diskutiert und hatten sowohl Geologen als auch Leute von den Hochschulen. Es ist sicher in den letzten 20 oder 30 Jahren der Hochschulausbildung der Fehler passiert, daß Lehramtskandidaten zu wenig an dieses faszinierende Thema herangeführt worden sind, und dann können sie natürlich auch selbst nicht viel Initiative haben, daß sie dieses Wissen auch weiter führen und zu den Schülern weiter tragen. Man kann sehr viel, gerade von unserer Seite, von der Geoschuleseite aus, mit Geländeübungen und mit Geländekursen bewirken, um den Leuten zu zeigen, wie faszinierend das ist, was wir da sehen, wie ein Goethe oder Nachfolger mit dem Hammer vor dem Felsen stehen und was man da alles herauslesen kann. Und gerade über diesen historischen Schlüssel könnte man es weitergeben.

MEINDL: Ich möchte die Stimmung nicht negativ beeinflussen, aber die neue Studienordnung die jetzt in Planung ist, streicht die Stunden für die Lehramtskandidaten zur Hälfte zusammen. Die Ausbildungszeit wird halbiert, es geht nur darum, was wird gestrichen. Und da sind es, vermute ich, die Erdwissenschaften, die wieder ganz extrem beschnitten werden.

SCHROLL: Ich glaube, wir haben eine Chance, das haben wir gestern noch in Erwä-

gung gezogen. Auf der Universität Wien gab es Fortbildungskurse, Weiterbildungskurse für Gymnasiallehrer, und das hat sich auch ganz gut bewährt, aber das scheint abgekommen zu sein. Wenn wir alle von der Weiterbildung sprechen, hätte man auch hier die Aufgabe, diese Naturwissenschaftler, die ja meistens Biologen sind, fachlich zu betreuen. Wir haben ja auch in den Erdwissenschaften immer wieder neue Erkenntnisse, etwa die Katastrophentheorie, die Beeinflussung durch Astroideneinschläge und so weiter, das ist ja relativ neu und ist nicht einmal in unserem Wissenschaftskreis als Erkenntnis richtig feststehend. Vielleicht sollte man an das Unterrichtsministerium herantreten, vielleicht kann man auch hier lokal mit Kursen etwas tun.

CERNAJSEK: Ist ja keiner kompetent!

PAWLITSCHKEK: Ich bin von der Mikrographischen Gesellschaft in Wien und möchte darauf hinweisen, daß es viele Vereine gibt, die in der Allgemeinbildung tätig sind und nicht zuletzt die Volkshochschulen in Wien. Prof. BECHERER etwa macht seit Jahrzehnten in der Urania Mineraliekkurse, sehr erfolgreich, und ich möchte die Lehrer, die an Hauptschulen, Mittelschulen tätig sind, ersuchen, auch Eigeninitiativen zu ergreifen. Kinder sind dazu bereit, und mit Begeisterung, wie man an vielen Beispielen sieht, und man kann sie mit praktischen Arbeiten draußen im Feld motivieren und sie auch darauf aufmerksam zu machen, in diese Vereine zu gehen und dort mit Gleichinteressierten weiter an diesen Fächern zu arbeiten. Dort kann sich jeder dieser Fortbildungsschiene unterziehen, die immer wieder sehr gute Leute bringt, die sehr gute Arbeit leisten.

ZANKL: Ganz sicher eine Schlüsselfunktion in dieser Kette von Entscheidungen haben die Studienpläne über die Studienordnung für die Lehramtskandidaten an den Hochschulen. Und da muß ich an die eigene Klientel auch appellieren, daß wir von Seiten der Geologie wirklich die Lehrerausbildung an der Hochschule so ernst nehmen, daß wir den jungen Studenten, die zu uns kommen, Begeisterung weitergeben für unser Fach, sodaß sie selbst Interesse bekommen und sich selbst in der Sache wei-

terbilden. Es gibt sicher in den Hochschulen Nachholbedarf, weil manchmal etwa der Lehramtskandidat der Geographie, der da das Wissen mitnehmen soll, nicht entsprechend in der Ausbildung berücksichtigt wird.

PAWLITSCHKEK: Ich möchte nur anführen, daß zum Beispiel bei uns Absolventen der Lehrerbildungsakademie von Prof. STEINER unterrichtet werden und die Schüler in Mikroskopie, in der Analyse von Gesteinsschliffen unterwiesen werden, und das ist leider Gottes ...*unverständlich*... Die Teilnehmer an solchen Kursen sind mit großer Begeisterung dabei, während Lehrer, die mit an der Bildung unserer Jugend arbeiten sollen, sich später überhaupt nicht mehr darum kümmern. Es ist kurze Begeisterung da, wie ein Strohfeder, und keine spätere Wirkung, sei es aus Zeitmangel, sei es aus Interesse-mangel, das konnten wir noch nicht analysieren.

Wenn die Begeisterung nicht da ist, ist es auch nicht möglich auch diese an die heranwachsende Jugend weiterzugeben. Und das persönliche Engagement ist unbedingt notwendig, ohne dem geht nichts.

SCHÖPFER: Welche Schule kann sich schon ein Polarisations-system leisten? Ein Dünnschliff kostet mittlerweile 300 bis 400,-Schilling, welche Schule kann sich das leisten?

PAWLITSCHKEK: Mit dem Primitivhilfsmittel einer Glasscheibe und etwas Korundpulver kann ich mir meinen Dünnschliff selbst machen.

SCHÖPFER: Das weiß ich.

PAWLITSCHKEK: Wir haben an der Universität Wien Aushänge über unsere Gesellschaft gemacht und, leider Gottes, auf diese Reklame ist ein einziger innerhalb von zwei Jahren gekommen. Jetzt weiß ich nicht, ist das Interessenlosigkeit oder ist das nur Informationsmangel?

RIEHL-H.: Darf ich sie kurz bitten, daß sie ihre Gesellschaft noch einmal nennen und die Adresse angeben.

PAWLITSCHKEK: Mikrographische Gesellschaft in Wien, und wir haben unser Lokal im 2. Bezirk in der Marinelligasse 10a und jeden

Dienstag ist bei uns Treffen, also jede Woche einmal.

RIEHL-H.: Natürlich gibt es außerhalb von Wien auch noch Menschen in Österreich und die kommen nicht dazu .

PAWLITSCHKEK: Es ist keine sehr junge Gesellschaft, gegründet wurde sie 1910 und war eine der ersten mit volksbildnerischem Engagement

SCHROLL: Das sind natürlich Details, aber wesentlich erscheint mir, daß man sich letztlich des Gedankens an die Evolution der Erde bewußt ist, Evolution letztlich auch des Geistes des Menschen. Das ist ein ganz wichtiger Gedanke, der eigentlich von den Geologen kommt. Es ist eine Entwicklung die wir haben, die, wie man sieht, nicht gestört werden kann, aber ich glaube die Gedanken sollte man bringen. Die Leute glauben, es ist alles so, wie es ist, und so ist es immer gewesen. Doch der Dynamik, der unterliegen wir auch als Menschen. Es ist eine ganz wichtige Sache, daß das irgendwie stärker Allgemeingut wird. Es würde vieles bringen, eine Art weltanschauliche Grundlage auf naturwissenschaftlicher Basis.

ZANKL: Es freut mich, wenn die Jugend heute noch etwas hört, wo sie sich angesprochen fühlt und wo sie Wünsche haben wo sie gerne mehr Initiative erwarten.

DEMMEK: Unser junger Kollege, der das Thema der Kosten für Schulen angeschnitten hat, es geht darum, Dünnschliffe zu betrachten, nicht um Forschung. Die Forschung ist natürlich ganz etwas anderes. Wer einen Blick auf einen Dünnschliff machen will, in Österreich gibt es tausende die nicht mehr gebraucht werden und da kann wahrscheinlich auch unsere Organisation hier in der Geoschule jede Woche jede beliebige Mittelschule beliefern, die Anschauungsmaterialien von meiner eigenen Disertation können Sie auch jederzeit haben.

ZIEGLER: Das Problem liegt ja nicht in Dünnschliffen, das Hauptproblem liegt darin, was auch schon ein paarmal angeklungen ist, einfach Interesse zu wecken und da möchte ich ein zweites Mal schnell noch meinen Dank der

Veranstaltung aussprechen. Der Herr Dir.Prof. SCHÖNLAUB ist heute auch da, ich hatte vor 8 Jahren das absolute Vergnügen, ihn in einem knapp einwöchigen Lehrerfortbildungsseminar am Wolajensee , wo einer von 6 oder 7 Geotrails von ihm initiiert worden ist zu erleben, und das war fast ein Schlüsselerlebnis. Es geht eigentlich glaube ich darum, und auch die Geoschule bemüht sich sehr darum, daß jede Menge Highlights, Besonderheiten von internationaler Qualität in Österreich herumliegen, herumstehen und zu beobachten sind. Es ist gesagt worden, wir sollten den Kindern viel mehr das genauere und interessierte Beobachten nahebringen. Wenn das von den Universitäten auf die Lehrer gelingt, dann ist die Hoffnung sehr groß , daß es doch von den Lehrern auf die Schüler geht, und wenn ich dort einhake, sollte es dazu kommen, daß Sie dann auch Politiker davon überzeugen können, wie interessant, wichtig und nützlich das ist. Und dann wird es leichter sein, daß sich der Stellenwert der geologischen Grundausbildung anders entwickelt.

RIEHL-H.: Es sind zwei Zielpunkte, die wir anstreben. Einerseits möchte ich die Kollegen, wie Koll. DEMMEK, und andere, bereits im Ruhestand befindlichen Kollegen, die noch Interesse haben und die ihre Erfahrung einbringen wollen, bitten, hier mit uns zusammenzuarbeiten und auf der anderen Seite Prof. ZIEGLER und die Kollegen, die in den Mittelschulen stehen, diese Rückkoppelung zu bringen. Ich bin gerne bereit von mir aus eine "Drehscheibe" zu bieten, einerseits die Begeisterung für das Gelände, für die Geologie weiterzugeben und auf der anderen Seite auch entsprechende Mikroskope etc. zur Verfügung zu stellen. Denn Wien ist nicht für jeden Neunkirchner oder Gloggnitzer so einfach zu erreichen. Wenn wir hier eine Außenstelle haben und ich möchte da auch Ihrer Anregung folgend den Herrn Dir. SCHÖNLAUB bitten, daß wir hier eine weitere kooperative Zusammenarbeit haben. Du hast ja in Kärnten diese Geotrails erstellt, und es wäre doch möglich, daß man das weiterspinnt man von hier aus sozusagen eine Brücke hinaus zu dem Nachwuchs, zu den interessierten Mittelschulleuten findet.

SCHÖNLAUB: Ich möchte auch ein paar Worte dazu sagen. Das Krankjammern hilft uns wirklich nicht und da kommt man nicht weiter. Herr ZIEGLER hat schon diese Veranstaltung angesprochen, die vor einigen Jahren stattgefunden hat, so etwas ist sicher keine Einzelveranstaltung. Die geologische Bundesanstalt bemüht sich natürlich nach besten Kräften hier unterstützend zu wirken und verschiedene Einrichtungen zu schaffen, die der interessierten Allgemeinheit zugute kommen, Karten, Publikationen, populärwissenschaftliche Broschüren u.s.w. Wir haben gerade eine populärwissenschaftliche Broschüre in Arbeit, die den geologischen Werdegang Österreichs von den ältesten Spuren bis zur Gegenwart zeigt in einer Form, die jeder verstehen kann, und diese Broschüre, ungefähr 60 Seiten, ist in erster Linie für Schulen gedacht und für Laien geschrieben worden, sehr verständlich, mit ausgezeichnete bunter Graphik und auch einfachen geologischen Karten von Österreich. Aber zu dem möchte ich noch weiteres sagen: es wurde auch schon dieser Informationsmangel angesprochen, dieser Informationsmangel besteht tatsächlich, auch hier in diesem Kreis. Es gibt in Österreich das Österreichische Nationalkomitee für Geologie, das trifft sich zweimal im Jahr an der Geologischen Bundesanstalt und in diesem Komitee sind alle Redner von allen erdwissenschaftlichen Institutionen Österreichs inkl. Vereinen, der freischaffenden Geologen usw. vertreten. Im Rahmen dieses Komitees gibt es auch eine Arbeitsgruppe, die nennt sich Erdwissenschaften und Schulen und da sind auch interessierte Lehrer, Mittelschullehrer vertreten, dann auch Universitätsangehörige, eine sehr aktive Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. HÖCK in Salzburg und Dr. SUMMESBERGER vom Naturhistorischen Museum. Und sie ist sehr initiativ auch und gerade zu der jetzigen Studienordnung hat es darüber Eingaben gegeben beim Ministerium. Ob sie berücksichtigt werden, das entzieht sich meiner Kenntnis, aber auf jeden Fall konnte größerer Schaden durch die Initiative dieser Arbeitsgruppe für die Geowissenschaften abgewendet werden. Auch wurde bereits diese Lehrertagung angesprochen. Es gibt also solche von den pädagogischen Institu-

ten organisierte Weiterbildungsveranstaltungen, ursprünglich haben die jedes Jahr stattgefunden, weil das nun nicht mehr vom Unterrichtsministerium finanziell unterstützt wird, wird es nur mehr alle zwei Jahre abgehalten. Da gibt es sehr wohl eine Art Weiterbildungsseminare, wo AHS-Lehrer die Möglichkeit haben, den letzten Stand der Wissenschaft vermittelt zu bekommen. Ganz abgesehen davon gibt es ja auch die Österr. geologische Gesellschaft, da ist die Mineralogische-, die Paläontologische-Gesellschaft und wir haben an der GBA sehr viele Referate und diese werden zum Großteil auch in den Medien angekündigt; ihr Besuch läßt leider allerdings sehr zu wünschen übrig. Wir sind dazu übergegangen, für alle Interessenten eine Adressenkartei anzulegen, und jeder Interessierte bekommt eine persönliche Einladung zum Vortrag, der man den Titel des Vortrages und den Namen des Vortragenden entnehmen kann, über den dann auch kurz Biographisches vermerkt ist, und dann eine Kurzfassung des Inhaltes, sodaß man sich wirklich ein Bild machen kann, was wir angesichts dieser Veranstaltung präsentieren. Wir wollen also an den Interessierten herantreten und ihn sozusagen fangen, wir wollen ihn für unsere Veranstaltung gewinnen, und dieser neue Weg hat sehr gut eingeschlagen, denn es hat sich die Besucherzahl für solche Vorträge verdreifacht, vervierfacht. Gerade am Dienstag haben wir einen Vortrag über den Vredfortimpakt in Südafrika gehabt und 65 Besucher gezählt, das war früher überhaupt nicht möglich. Das Naturhistorische Museum macht ähnliche Vortragseinladungen, ich glaube jeden Monat kommt so eine Broschüre heraus, in der auf die Vorträge hingewiesen wird. Es liegt natürlich an den Einzelpersonen, sich zu bequemen zu den Vorträgen zu gehen. Es wird in Österreich einiges gemacht, man soll nicht immer nur kritisieren. Auf der Seite der Geowissenschaften und von den verschiedenen Vereinen ist man bemüht an den Interessierten heranzutreten. Aber es ist leider eine Zeitfrage, ob man vor dem Fernseher sitzt oder ob man sich aufrappelt und zu so einer Veranstaltung geht.

ZANKL: Bei dieser Gelegenheit weise ich

darauf hin, daß im Untergeschoß Karten, Poster und Broschüren der Geologischen Bundesanstalt zur Einsichtnahme aufliegen.

HERBST: Ich studiere Geologie in Salzburg und habe relativ engen Kontakt mit Lehramtsstudenten in Salzburg, die ja praktisch den gesamten ersten Abschnitt der Erdwissenschaften gemeinsam mit dem Fachstudium absolvieren. Jetzt habe ich zum einen den Eindruck, daß das von vielen als Ballast gesehen wird und zwar deswegen, weil das Studium für sie an sich schon sehr umfangreich ist, zum Biologiestudium kommen noch die erdwissenschaftlichen Fächer hinzu. Ich glaube, daß eine gediegenere Auswahl der verpflichtenden Vorlesungen für Lehramtskandidaten wesentlich mehr Begeisterung schaffen würde. Ich halte es nicht für notwendig, daß ein Lehramtskandidat eine 4-stündige Vorlesung über Kristallographie hört. Das ist unnötiger Ballast und das ist ein großer Aufwand für die Studierenden, und zusätzlich möchte ich auch anmerken, daß sehr viel am Interesse des jeweiligen Lehrers in den Schulen liegt. Im Stift Kremsmünster in Oberösterreich wird da sehr aktiv gearbeitet, da waren Oberstufenschüler auf Kartierungsübung, vier Tage in einem Stollen, und sind mit großer Begeisterung dabei. Also einerseits vielleicht im Studium mehr Motivation durch möglicherweise Reduktion oder bessere Adaptierung und andererseits persönliches Interesse. Das sind vielleicht zwei Voraussetzungen.

ZANKL: Vielen Dank, ich kann das sehr unterstützen, was sie ausgeführt haben speziell bei der Gestaltung der Studienordnung für die Lehramtskandidaten, wo wir von unserem Fach her uns scheinbar wenig Mühe geben. Es müßten eigentlich eigene Veranstaltungen sein, oder wir müßten die Leute zu solchen Veranstaltungen zusammenbringen, wo sie für einen breiten Kreis auch gedacht sind. Die Spezialvorlesungen, zum Beispiel Mineralogie, Tektonik, die sind sicher für viele sehr frustrierend, das ist mir klar.

WEISSENBACH: Diese permanente Reformation der Hochschulen kenne ich seit 1958, und die Idee, durch Reduktion von Lehr-

plänen, von Information, das Interesse zu wecken, ist hirnrissig. Das ist völlig unmöglich. Außerdem sind die Hochschulen heutzutage generell ein Zirkel für sich, die haben keine Ausstrahlung mehr nach ganz unten. Woran das liegt, das ist ein weites Feld. Nur, das Interesse für Dinge, auch für die, auf denen man rumrennt, das wird nicht an der Schule, nicht an der Oberschule und schon gar nicht an der Hochschule geweckt, weil die Schüler heutzutage - und nicht nur heutzutage sondern seit 500 Jahren, dafür gibt es Literaturbeweise - interessiert sind, das zu machen, was sie wollen, nur nicht das, was der Lehrer will.

Es ist also ganz verkehrt, an die Kinder oder an die jungen Leute etwas von oben herunter ranzubringen, sondern es muß die Freizeit dasein und die wird a.) von den Lehrern, b) meistens und eigentlich von den Freunden und von Bekannten, die nicht in der Erziehungsfunktion da sind, herangetragen. Hier wäre die Funktion z.B. der naturwissenschaftlichen Vereine einzusetzen; die sind enorm groß, ich kenne den in Klagenfurt. Nur, wenn ich dann da anschau, was da mittlerweile passiert, dann ist das zur Plattform der Publikation von Spezialisten geworden; damit man etwas sieht und versteht, dazu bräuchte man ein Elektronenmikroskop. Das geht natürlich auch nicht. Man muß Werbung machen für junge Leute, Werbung, Werbung, Werbung. Da nützt nichts heutzutage. Wir können natürlich keinen Werbungsspot sonst etwas produzieren aber die Werbung muß von den interessierten Leuten völlig weg von ihrem beruflichen Engagement erfolgen, sonst läuft das alles im Kreis und läuft tot.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. Katalin AUGUSTIN - GYURITS
ÖFPZ - Arsenal, Bereich Umwelt
Faradaygasse 3
A - 1031 Wien

Dr. Tilfried CERNAJSEK
Geologische Bundesanstalt Wien
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien

Dr. Wolfgang DEMMER
Rosengasse 12
A - 2103 Bisamberg

Paul HERBST
Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg

Mag. Ruth MEINDL
GRG 16
Maroltingergasse 69 - 71
A - 1160 Wien

H. PAWLITSCHKE
Mikrographische Gesellschaft Wien
Marinelligasse 10a
A - 1020 Wien

Dr. Georg RIEHL - H
Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf

Univ.Prof. Dir. Dr. H.P. SCHÖNLAUB
Geologische Bundesanstalt
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien

Martin SCHÖPFER
Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg

Univ.Prof. Dr. Erich SCHROLL
Haidbrunnengasse 14
2700 Wr. Neustadt

Dr. Norbert WEISSENBACH
Steelerstraße 167
D - 45138 Essen

Univ.Prof. Dr. H. ZANKL
Philipps-Universität Marburg/Lahn
Hans Meerwein Straße
D - 35032 Marburg/Lahn

Mag. Walter ZIEGLER
BG u. BRG Neunkirchen
Otto Glöckel Weg 2
A - 2620 Neunkirchen

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Materie aus dem All

G. KURAT



Payerbach,
4. Dezember 1997

Anmerkung der Redaktion:

Da das Originalmanuskript der Langfassung zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht vorgelegen ist, findet hier die beim Vortrag aufgelegte Kurzfassung Verwendung

Anschrift des Verfassers:

*Univ.Prof. Dr. Gero KURAT
Naturhistorisches Museum Wien*

*Burgring 7
A - 1010 Wien*

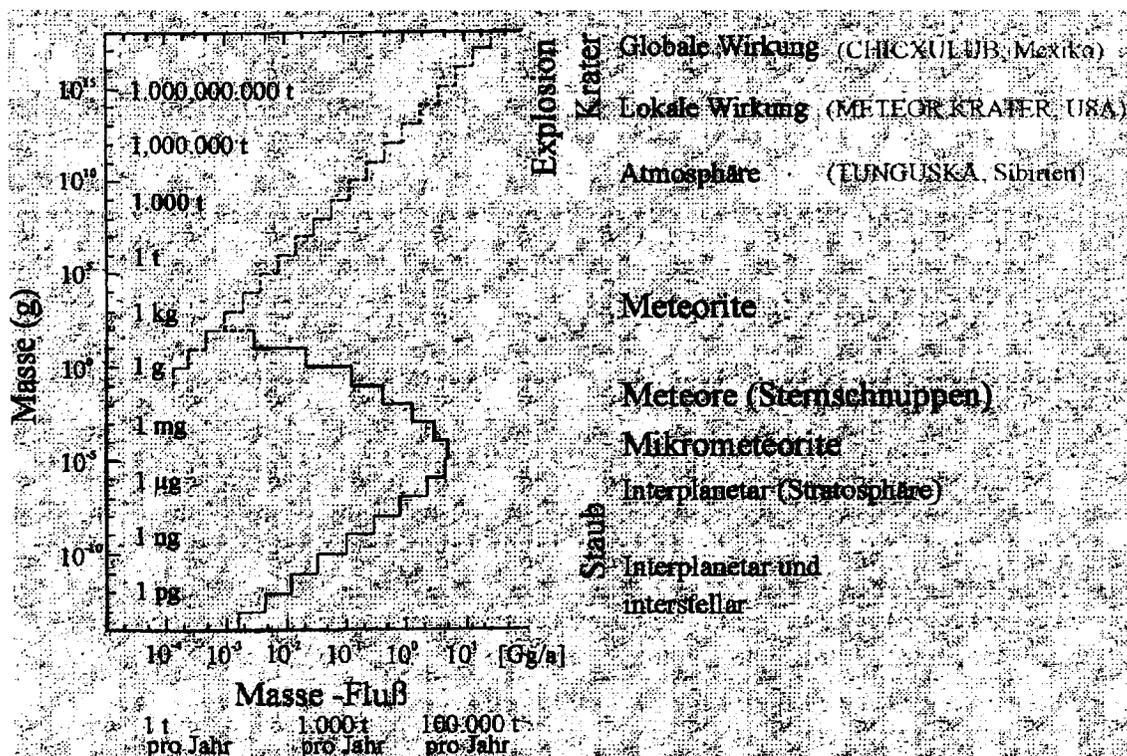
Materie aus dem All

G. KURAT

BOTEN aus dem WELTALL

MASSEFLUSS auf die ERDE

Auf dem Weg um die Sonne sammelt die Erde ständig außerirdische Materie in Form von Atomkernen (Galaktische Kosmische Strahlen, Sonnenwind), Staub (interstellar und interplanetar) und größeren Körpern mit Massen bis zu über 10.000.000 t. Die Häufigkeit der Objekte nimmt naturgemäß mit zunehmender Masse ab. Abgesehen von Neutrinos und den Photonen (beider Fluß, von der Sonne kommend, ist sehr hoch) treffen etwa 10 Atomkerne der galaktischen kosmischen Strahlung pro cm² und Sekunde die Erde. Der Sonnenwind bringt ein Vielfaches dessen. Vom feinen interplanetaren Staub fallen etwa 1 Stück pro m² und Tag. Meteore (Millimeter bis Zentimeter) gibt es durchschnittlich alle 30 Sekunden und Meteorite einige wenige pro Jahr. Ereignisse vergleichbar mit jenen des Meteor-Krater-Einschlages (100 m Projektildurchmesser, 1.000 m Krater) sind alle 10.000 - 20.000 Jahre zu erwarten, globale Katastrophen (verursacht von Objekten über 5 km im Durchmesser) jedoch nur alle 20 - 30 Millionen Jahre.



Der Massefluß variiert stark mit der Masse der einfallenden Objekte (Abbildung). So wird die Hauptmasse des täglichen Einfalles (~ 100 t/Tag, ~ 40.000 t/Jahr) von Teilchen mit etwa 10⁻⁵g Masse (oder ~0,2 µm Durchmesser) getragen. Diese Partikel und die ganz großen Körper, welche nur alle 20-30 Millionen Jahre die Erde treffen, tragen den Hauptteil des Wachstums der Erde. Die Meteoriten in unseren Sammlungen repräsentieren Objekte welche nur sehr wenig zum Wachstum der Erde beitragen (nur ~10 t/Jahr).

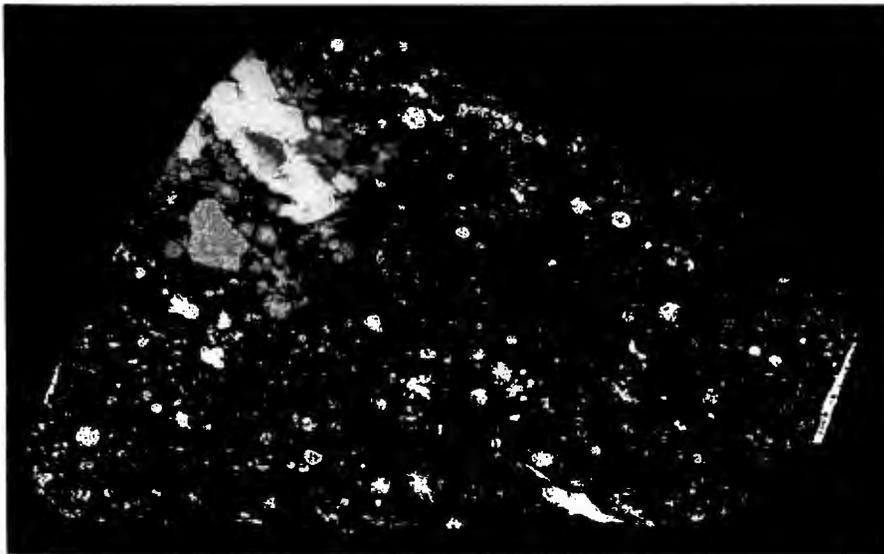
Gero Kuret, Naturhist. Museum, Wien

CHEMISCHE und MINERALISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Die chemische Zusammensetzung der außerirdischen Materie offenbart ihre Verwandtschaft mit der Sonne: sie entspricht dem kondensierbaren Anteil der Sonnenmaterie. Das heißt, daß die relativen Häufigkeiten der kondensierbaren Elemente (die meisten Elemente außer H, He und die übrigen Edelgase) in der Sonne und in der auf die Erde fallenden außerirdischen Materie ident sind. Der Chemismus "erinnert" sich an die Herkunft aus derselben Quelle: dem solaren Urnebel (die Erde tut das übrigens auch). Dies ist die chemische Zusammensetzung der Chondrite (siehe unten).

Die mineralogische Zusammensetzung der außerirdischen Körper kann in einem weiten Rahmen variieren. Sie ist abhängig von den örtlichen physikalisch-chemischen Bedingungen im solaren Nebel. Unter reduzierenden (sauerstoffarmen) Bedingungen bildeten sich Olivin (Mg_2SiO_4), Pyroxen ($MgSiO_3$), Feldspat ($NaAlSi_3O_8$), Troilit (FeS) und Ni-Fe Metall (Mineralogie der gewöhnlichen Chondrite). Unter oxidierenden Bedingungen bildeten sich (OH)- und wasserhaltige Silikate (Serpentin und Tonminerale), verschiedene Monosulfide, Magnetit (Fe_3O_4), Karbonate (z.B. $MgCO_3$) und Sulfate. Dies ist die Mineralogie der kohligten Chondrite und des interplanetaren Staubes.

Die Chondrite dominieren die einfallende außerirdische Materie. Sie erhielten ihren Namen von einem ihrer charakteristischen Bestandteile, den Chondren (Abb.). Diese sind runde, etwa mm-große, kristallisierte Schmelztröpfchen.



*Bild 1. Chondrite sind chaotische Brekzien und enthalten Chondren (runde Objekte). Die weißen Einschlüsse sind refraktäre (nur bei sehr hoher Temperatur schmelzende) Objekte, welche anomale Isotopenhäufigkeiten haben. Die schwarze Matrix enthält organische Verbindungen und prä-solaren Staub (Diamanten, SiC, Al_2O_3).
Natürliche Länge : ~10 cm..*

Neben den Chondriten findet sich allerdings eine überraschend große Vielfalt an Objekten, welche eine von den Chondriten abweichende Zusammensetzung haben

Campbell

KLASSIFIKATION der METEORITE

Wir klassifizieren diese Materie üblicherweise nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung und insbesondere nach ihrem Anteil an Silikaten und Metall. Danach unterscheiden wir: Steinmeteorite, Stein-Eisen-Meteorite und Eisenmeteorite

Die Steinmeteorite werden hauptsächlich von Silikaten (+ Sulfid, Metall) aufgebaut. Dazu zählen wir die Chondrite und eine heterogene Gruppe von Achondriten (Steinmeteorite ohne Chondren). In dieser Gruppe finden sich auch Basalte und mit diesen verwandte Gesteine, ähnlich jenen, wie wir sie von der Erde kennen. Darunter befindet sich Gesteinssuiten, welche möglicherweise vom Asteroiden Vesta (Eukrite) oder vom Mars (SNC-Meteorite) stammen. Mit Sicherheit haben wir Meteorite vom Mond. Dreizehn, meist kleine, Stücke wurden bisher überwiegend im antarktischen Eis gefunden.

Die Eisenmeteorite bestehen überwiegend aus Fe-Ni Metall (Abb.3, Vitrine) mit etwas Fe-Sulfid und (selten) untergeordnet Silikaten.

Die Stein-Eisen-Meteorite bestehen zu etwa gleichen Teilen aus Metall und Silikaten.

Die Achondrite, Eisenmeteorite und Stein-Eisen-Meteorite haben eine von der primitiven (= solaren) Zusammensetzung der Chondrite abweichende chemischen Zusammensetzung (sie sind "chemisch fraktioniert").

Die chemische Zusammensetzung ändert sich mit der Objektmasse. Der Staub und die Mikrometeorite haben eine chemische und mineralogische Zusammensetzung, welche ähnlich jenen kohlig chondritischer Meteorite ist, Meteorite großer Seltenheit. Die Meteorite (Gramm bis einige Tonnen Masse) werden von einem Gesteinstyp dominiert (~85%), welchen wir "gewöhnliche Chondrite" nennen. Große Körper (> 1000 Tonnen), welche Einschlagkrater erzeugen, scheinen in der Mehrzahl eine Zusammensetzung ähnlich jener der Eisenmeteorite zu haben. Die ganz großen Körper (> 5 km Durchmesser) sind wahrscheinlich kometarer Natur (Eis-Staub-Gemenge).



Bild 2. Meteorite sind typischerweise von einer Schmelzkruste überzogen (Allende kohlig Chondrit, 7.5cm natürliche Größe).



Bild 3. Mount Edith, angeätzte Schnittfläche zeigt Widmanstätten'sche Figuren und runde Sulfideinschlüsse (ca. 40 cm natürliche Länge).

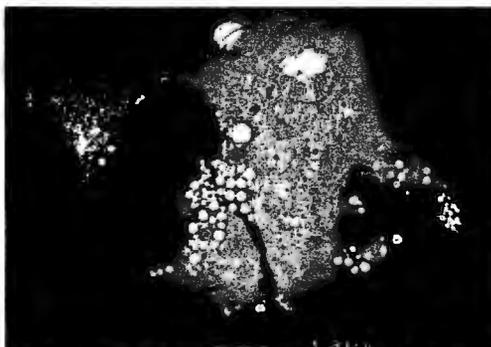


Bild 4. Mikrometeorit (~75 µm lang) im Anschließf. Vollständig erhaltene wasserhaltige Silikate (dunkelgrau) und Magnetit (weiß) in zwei verschiedenen Ausbildungen, beide typisch für kohlige Chondrite. REM-Aufnahme.

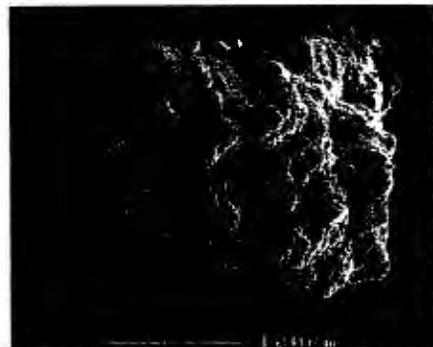


Bild 5. Mikrometeorit (~230µm lang) aus dem antarktischen Eis. Die Oberfläche ist angeschmolzen (Rundungen) und mit feinkörnigem Magnetit bedeckt. REM-Aufnahme.

URSPRUNG und WECHSELWIRKUNG der KOSMISCHEN KÖRPER mit der ERDE

Der einfallende Staub stammt sehr wahrscheinlich größtenteils von Kometen und das heutige Wachstum der Erde wird hauptsächlich von kometarer Materie gespeist. Dies gilt wahrscheinlich auch für die vergangenen 4 Milliarden Jahre, der Zeit nach der abklingenden Akkretion der Erde. Dieser Materie verdanken wir das Wasser und den Kohlenstoff auf der Erde.

Die außerirdischen Körper erfahren ihr Treffen mit der Erde in höchst unterschiedlicher, von der Masse abhängigen Art und Weise.

Da alle Körper mindestens mit der irdischen Entweichgeschwindigkeit (11 km/sec) mit der Erde kollidieren, treten sie aufgrund der hohen Geschwindigkeit mit der Atmosphäre in mehr oder weniger heftige Wechselwirkung. Diese ist von der Masse (und der Geschwindigkeit) des einfallenden Objektes abhängig. So werden die kleinen Staubteilchen (< 10 µm Durchmesser) schon in der hohen Atmosphäre (> 100 km) durch die Kollision mit Molekülen der Luft gebremst, können den Eintritt in die Atmosphäre praktisch unverändert überleben und können in der Stratosphäre gesammelt werden (Flugzeug, Ballon).

Von den etwas größeren Partikeln des Hauptmassenflusses (~ 0.2 mm oder 200 µm) überleben nur noch wenige. Die meisten werden - wie auch alle Sternschnuppen-erzeugenden millimetergroßen Partikel - aufgeschmolzen. Die Endprodukte sind Dampf und Schmelztröpfchen, welche als "Kosmische Kügelchen" gesammelt werden können. Zentimeter- bis Meter-große Körper erzeugen einen Feuerball, werden zum Großteil aufgeschmolzen, ein Rest (5-20%) überlebt jedoch die feurige Reise durch die Atmosphäre vollständig unverändert. Wir sammeln diesen als Meteorite.

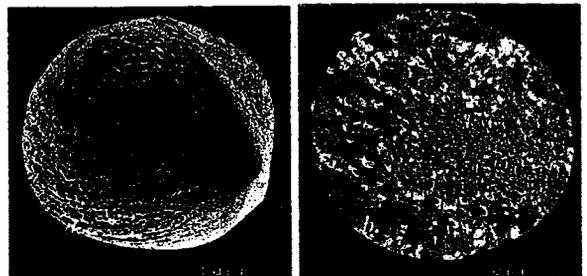


Bild 6. Die Produkte der Sternschnuppen: aufgeschmolzene chondritische Materie, rasch abgekühlt und unterkühlt kristallisiert. (a): Skelettkristalle von Olivin an der Oberfläche. (b): Skelettkristalle von Olivin (grau) und Magnetit (weiß) im polierten Schnitt. Beide Aufnahmen: REM

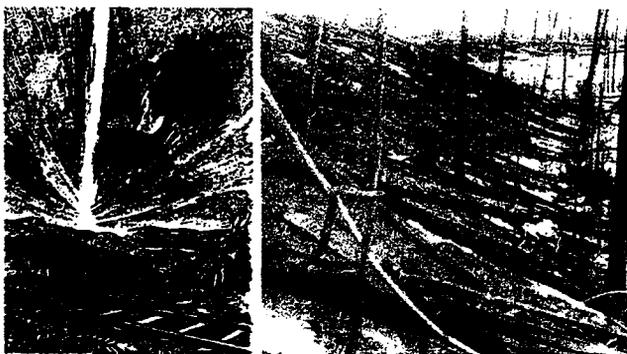


Bild 7. Das Tunguska-Ereignis vom 30. Juni 1908. Ein (vermutlich steiniges) Meteoroid (60 m Durchmesser) explodierte in etwa 10km Höhe.

Bild 8. Die Explosion legte Bäume auf vielen km² der Taiga um. Die freigesetzte Energie entsprach der Explosion von etwa 30 Millionen Tonnen TNT (~ 2.000-fache Hiroshima-Bombe).

Körper mit Durchmessern zwischen 20 und 200 m werden durch den enormen Streß zwischen atmosphärischem Frontstau und Heckvakuum zerlegt und explodieren in der tieferen, dichten Atmosphäre (5 - 20 km Höhe). Das bekannteste Ereignis dieser Art ist das Tunguska-Ereignis im Jahre 1908. Noch größere Körper (> 200 m Durchmesser) werden durch die Atmosphäre nicht aufgehalten und treffen mit unverminderter kosmischer Geschwindigkeit auf die Erdoberfläche. Ihre gesamte kinetische Energie wird in Sekunden umgesetzt, wobei Krater gebildet werden.

Sehr, sehr große Objekte (> 5km Durchmesser) verursachen weltweite Katastrophen - wie der Körper, welcher den Chicxulub-Krater in Mexiko bildete und dessen Einschlag zum Aussterben vieler Tierarten führte (siehe K/T-Impakt von CHICKULUB und Folgen für die Evolution).

Comp. G. P. P. P.

DISKUSION :

Materie aus dem All

UNBEKANNT: Ich habe viele Fragen, möchte aber nur zwei stellen. Sie haben eine Art Tabelle chemischer Umweltverschmutzung im Weltraum gezeigt und ich beziehe mich auf diese kleinen Einschläge in den Metallplatten. Die Salze waren präsentiert mit 19% und aufgliedert in Abfälle der Astronauten und Seewasserspray. Da würde ich sie bitten, mir das zu erklären, wie Seewasserspray in diese Höhen kommt.

KURAT: Genauso wie der Saharastaub in die Stratosphäre kommt. Durch bestimmte Wetterbedingungen ist es möglich, diese Teilchen in die hohe Atmosphäre zu bekommen.

UNBEKANNT: Hat das nicht großen Einfluß auf die Salzbilanz der Meere? Was passiert mit dem Salz?

KURAT: Das kommt ja auch wieder runter. Es hat oben keine lange Lebenserwartung, und die Masse, gemessen an der Masse des Salzes im Meer, ist völlig vernachlässigbar.

UNBEKANNT: Und die zweite Frage, was ist von der Theorie dieser großen Eisbrocken zu halten, die ja mit relativ großer Häufigkeit in die Erdatmosphäre eintreten? Wenn das der Fall wäre, hätte das nicht relativ große Auswirkungen auf die Wasserbilanz?

KURAT: Die Erde verliert ständig Wasser und bekommt auch ständig welches nachgeliefert. Ich weiß gar nicht, wie die Bilanz ausschaut, aber gemessen an der Gesamtmasse des Wassers, das wir schon haben, ist das, was wir dazubekommen und das, was wir verlieren, auch wieder vernachlässigbar klein. Was diese großen Eisbrocken betrifft, ich bin da sehr sehr skeptisch, man müßte mehr davon sehen, man müßte die Explosionen ja sehen sowie etwa beim Tunguska - Ereignis. Das passiert zwar etwas höher oben, aber trotzdem können sich diese Dinge nicht völlig unbemerkt von uns abspielen. Wenn ich die

nur mit einem bestimmten Auge, dem Ultravioletteauge, sehen kann und mit keinem anderen, dann stimmt irgend etwas nicht, dann ist die Idee vielleicht noch nicht ausgereift. Ein hausgroßer Eisbrocken muß viel mehr bewegen, als nur einen schwarzen Fleck im ultravioletten Bereich, das ist zu wenig. Ich weiß nicht, was es ist, aber ich bin sicher, das kann kein hausgroßer Eisbrocken sein. Wie dem auch sei, es muß Eis herunterfallen, es gibt auch uralte Berichte, da wird berichtet von Eisfällen, das können auch nicht nur Eisklumpen wie Hagelschloßen gewesen sein, das waren sicher etwas größere Dinger, und damals hat es auch keine Flugzeuge gegeben, also da muß etwas dagewesen sein. Halten Sie bitte die Augen offen, und glauben Sie, so etwas gefunden zu haben, ab damit ins Tiefkühlfach und dann zu mir. Aber auch bitte jeden Stein, nicht nur das Eis.

UNBEKANNT: Voriges Jahr im Sommer haben wir die NASA-Meldung gehört, daß in einem Meteoriten, der angeblich vom Mars stammen sollte, Bakterienreste gefunden worden sind. Mich hat immer gewundert, wie man bestimmen kann, daß ein Meteorit vom Mars kommt. Sie haben das kurz angerissen, könnten Sie das bitte etwas ausführlicher aufzeigen, welche Argumente dafür sprechen? Sind das chemische Spektren, sind das bestimmte exotische Elemente, mineralogische Besonderheiten, was sind die Kriterien, auf Grund derer man glaubt, einen bestimmten Meteoriten dem Mars zuzuordnen zu können?

KURAT: Alle Meteoriten sind 4,5 Milliarden Jahre alt. Eine kleine Gruppe, die sogenannten SNC-Meteorite, sind nur 180 Millionen bis 1,3 Milliarden Jahre alt, extrem jung. Und extrem junge Steine können nicht von Asteroiden stammen, weil die Asteroiden seit 4,5 Milliarden Jahren kalt sind. Da kann es keine geologische und auch keine vulkanische Tätig-

keit geben. Das heißt, diese Steine mit so jungem Alter müssen von einem Planeten stammen.

Nun ,vom Mond stammen sie mit Sicherheit nicht, denn den Mond kennen wir, und da passen sie nicht dazu, was kommt also noch in Frage? Venus ist mit ihrer extrem dichten Atmosphäre behaftet und es ist äußerst schwer vorstellbar, daß ein Stein unverändert durch diese Atmosphäre hinausgelangt. Gläser wären vorstellbar, aber so völlig unveränderte basaltische Gesteine sind sehr wahrscheinlich nicht möglich. Merkur ist zu nahe an der Sonne, wenn ich dort etwas los klopfe, fällt alles gleich in die Sonne, die ist wie ein Magnet, ein großes schwarzes Loch, das alles ansaugt. Bleibt dann in der "Nähe" nur mehr Mars, sonst müßte man auf Monde von den großen Planeten zurückgreifen, die sind aber wieder sehr weit weg. Der beste Kandidat ist Mars, der hat nur eine dünne Atmosphäre, ist klein, und die Fluchtgeschwindigkeit beträgt nur etwas über 5 Kilometer pro Sekunde, das ist machbar mit Einschlägen.

Dann gibt es noch eine Beobachtung an diesen Meteoriten, die ausschlaggebend für den Glauben vieler meiner Kollegen ist, daß die Meteorite vom Mars sind: die Messung von Edelgasen. In Gläsern solcher Meteorite, die übrigens bei so einem Zusammenstoß ein Schockerlebnis erlebt haben, kommen Gase vor, die ähnliche Spezieshäufigkeiten haben wie in der Marsatmosphäre. Und das ist an sich schon ein relativ starkes Argument, allerdings nicht völlig überzeugend, denn Argon 40 hat man überall, das ist nicht nur auf dem Mars in großen Mengen vorhanden, es ist die Tochter vom radioaktivem Kalium 40, und CO₂ haben wir praktisch auch überall, ebenso ein bißchen Stickstoff, wir haben viel Stickstoff, die anderen haben etwas weniger Stickstoff. Es ist also nicht so einfach, ich bin da skeptisch, ich sehe in diesen Meteoriten viele Details, die ich auch im wesentlich älterem Material sehe, z.B. die Karbonate, die auch groß in der Zeitung gestanden sind.

UNBEKANNT: Woher glauben sie, daß sie dann kommen würden, was wäre, wenn die

Altersbestimmung falsch ist, was halten sie davon?

KURAT: Nein, nein, die ist nicht falsch, die Altersbestimmungen sind richtig, aber die Alter sind durch irgendeinen Prozeß gestört worden, den wir noch nicht kennen. Vor 190 Millionen Jahren und einer Milliarde Jahre hat es eine Störung gegeben und die Uhren sind neu gestellt worden. Aber die Steine sind an sich alte Gesteine und der letzte, der jetzt identifiziert wurde, hat überhaupt ein primitives Alter, gehört aber geochemisch und mineralogisch zu der SNC-Gruppe.

UNBEKANNT: Wenn man annimmt, daß die vom Mars kommen, wie wahrscheinlich oder möglich ist es, daß Bakterienabgüsse diese Reise überleben würden?

KURAT: Abgüsse sind ja schon tot-

UNBEKANNT: Nein ich meine jetzt vom Aufschmelzen oder sonstigen Umformungen.

KURAT: Es sind überraschend wenige dieser Steine umgeformt gelandet. Das ist ja auch eine Überraschung, wenn sie vom Mars kommen, müssen sie ja doch ein relativ großes Einschlagereignis erlebt haben, denn um sich von dort mit über 5 Kilometer pro Sekunde wegzubeschleunigen, muß ihnen einen ganz schöner Impaktstoß verabreicht werden, Um einen Stein von der Oberfläche wegzuschleusen, muß ich ihn komprimieren. Mit Schockwellen kann ich jeden Stein auf 50% seines Volumens komprimieren, dann läuft die Schockwelle durch und er geht wieder auf seine ursprüngliche Größe zurück und springt wie eine Feder, springt von alleine weg. Man muß sich vorstellen, was es heißt, einen festen Stein auf weniger als 50% seines Volumens zu verkleinern. Das sind Schockwellen, die können das, und können solche Steine von der Oberfläche des Mars wegschleudern.

ZANKL: Aber das könnten ja auch extra Marskomponenten sein, die reingehen und auf diese Weise zurückspringen wie ein Tennisball.

KURAT: Wie ein Tennisball geht das sicher nicht. Das Projektil bringt ja die Energie mit, das ist ja der Energieträger und im Projektil

wird diese Energie zunächst umgesetzt in kinetische und andere Energieformen. Das Projektil erleidet die allergrößten Veränderungen. Viel mehr als die Steine, die von ihm getroffen werden. Und überlicherweise bleibt vom Projektil überhaupt nichts übrig, die Restwärme nach dieser Naturkatastrophe ist so hoch, daß das Projektil praktisch verdampft und nichts mehr übrig bleibt. Zumindest wird es geschmolzen.

Aber diese Steine sind ja ganz normale Basalte, da ist keine Schmelze, nichts, nicht einmal Hochdruckminerale sind drin, die wir in irdischen Impaktgesteinen, die durch die Schockwellenkompression entstanden sind, immer finden. Keine Hochdruckminerale, keine Gläser, null. Es ist sehr sehr komisch.

Aber eines hat man gefunden, man hat isotropisierte Feldspäte gefunden. Sehen aus wie Feldspäte, schöne Leisten, sind aber nicht doppelbrechend, sondern isotropisiert, und die Theorie sagt, diese isotropisierten Feldspäte sind durch Schockwellen isotropisiert worden. Auch das bezweifle ich, ich arbeite gerade mit einem Kollegen in Heidelberg an der Widerlegung dieser Geschichte.

ZANKL: Ausschleuderungsprodukte eines großen Vulkans, wir kennen ja auf dem Mars den Olympus Mons, haben hier wohl keine Chance? Fünf Kilometer/Sekunde ist wahn-sinnig schnell.

KURAT: 5 Sekundenkilometer ist für einen Vulkan unmöglich.

WEISSENBACH: Auch nicht bei ganz heftigen Explosionen, wo bleiben da die Energien?

KURAT: Na ja, die haben genug Energie, aber das bringen sie sicher nicht zusammen.

PREISINGER: Du hast uns den Asteroidengürtel gezeigt, der natürlich zur selben Zeit entstanden ist wie unsere anderen Planeten und in Summe ungefähr die Masse der Erde hätte....

KURAT: Nein, viel kleiner.

PREISINGER:viel kleiner, o.k., aber immerhin, die Massenverteilung ist durch

Zusammenstöße innerhalb des Asteroidengürtels sicher nach einem Verteilungsmuster zu ordnen, wo man astronomisch verschiedene Großkörper messen kann, aber die Kleinen natürlich nicht. Aber deine Aussage war, daß die großen Impakte alles Kometen waren, die kommen von außen her, wie kann man heute das Massenverhältnis dieser Trümmer unseres Asteroidengürtels zu dem der Kometen abschätzen?

KURAT: Es gibt viele Rechenmodelle, ich bin kein Astronom, ich will da nicht auf Glatteis gehen. Ich verfolge das, jede Woche gibt es eine neue Rechnung, und je nach Input ist dann auch der Output; was jemand sehen will, das erhält er dann auch. Für das Eindringen großer Körper aus den Asteroidengürtel gibt es Rechnungen, die zeigen, daß alle 10 Millionen Jahre Zehnkilometerbrocken kommen, andere Rechnungen sagen, es geht nicht; ich weiß es nicht, Du mußt jemand anderen fragen. Wir Theoretiker haben früher gerechnet, es sei unmöglich einen Meteoriten vom Mond zu bekommen, absolut unmöglich, vergeßt es, und dann waren sie plötzlich da und dann haben wir sie gefunden und jetzt zeigen die Rechnungen, daß man sie von überall her bekommen kann.

PREISINGER: Ich habe noch eine Frage: Die Kometen verlieren ja Materie; durch den Schwanz, der hinten nachgezogen wird, geht ja vom Kometenkern immer mehr und mehr verloren, daß heißt, daß irgendwann das vergasbare Material des Kometen im Laufe seiner Reise weg sein müßte. Wie lange dauert das im Durchschnitt bis ein Komet keinen Schwanz mehr hat und nur mehr der Kern, das innere Teil da ist?

KURAT: Das ist eine sehr komplexe Geschichte, weil es davon abhängt, wie oft sie ins innere Sonnensystem eindringen. Je mehr ein Komet von der Sonne bestrahlt wird, desto mehr Masse wird er verlieren. Wenn er zu nahe an den Jupiter kommt, wird er zerbrechen, wenn er zu nahe an die Sonne kommt, wird er zerbrechen oder, wenn er noch näher herankommt, wird er gefressen. Aber die Materie, die freigesetzt wird, geht ja nicht vollständig verloren, denn sie kondensiert

wieder und wird zum Aufbau eines neuen Körpers verwendet. Der ganz feine Anteil wird vom Sonnenwind hinausgetragen an die Peripherie des Sonnensystems. Dort sammelt sich die Materie wieder und wahrscheinlich entstehen dort heute noch neue Kometen und werden aus den Resten der anderen gebaut.

SCHÖNLAUB: Die Idee, die zur Entstehung des Mondes geführt hat; ist ja brandneu, sie wurde erst im vorigen Monat in Amerika vorgestellt. Es hat schon ältere Theorien gegeben, vor allem was die Impaktorgröße betrifft. Diese Computersimulationen zeigen, es muß ein Impakt größeren Maßes gewesen sein. Das einzige Problem, das diese amerikanische Gruppe, den Namen habe ich vergessen, mit ihrer Erklärung hat, es müßte angenommen werden - und alle Computersimulationen weisen darauf hin -, daß die Erde aus ihrer Bahn geworfen hätte werden müssen bzw. die Rotationsgeschwindigkeit der Erde müßte eine ganz andere sein, wenn es tatsächlich zu diesem Impakt gekommen wäre. Da gibt es noch gewisse Schwierigkeiten einer Erklärung, daß es nicht zu diesem Phänomen einer Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit im Zuge dieses Impakts gekommen ist.

KURAT: Erstens kennen wir die Rotationsgeschwindigkeit vorher nicht und zweitens muß die Erde nach so einem großen Impakt sowohl ihre Rotationsrichtung als auch ihre Geschwindigkeit geändert haben. Wir wissen das von größeren Impakts auf dem Mond, die wesentlich später passiert sind, als der Mond schon ein Magnetfeld hatte. Diese größeren Impakts auf dem Mond haben dazu geführt, daß die Rotationsachse geändert wurde, mehrmals sogar, das hat Keith RUNCORN seinerzeit wunderbar nachgewiesen, und ähnlich muß es auch auf der Erde gewesen sein.

Nur, wir wissen nicht, wie die Erde vorher war, und danach wird sie sich auch nicht mehr großartig verändert haben, und ich nehme an, daß ein Teil des Drehmomentes durch die ausgeworfenen Materie mitgenommen worden und ein Teil des Drehmomentes natürlich jetzt vom Mond mitgetragen wird. Nachdem der Mond weit weg ist vom gemeinsamen Rotationszentrum trägt er natürlich eine schöne

Menge des Drehmomentes unseres Systems, daher ist die Rotation der Erde nicht so übermäßig schnell.

PREISINGER: Man konnte in letzter Zeit messen, daß der Erdkern, der feste Erdkern, eine andere Rotationsgeschwindigkeit hat wie die äußere Hülle. Die muß aber im Laufe der Zeit entstanden sein, oder ist eine Abbremsung der äußeren Hülle spontan erfolgt.

KURAT: Ja, es muß eine differentielle Rotation sein, sonst hätten wir ja kein Magnetfeld, ein Dynamo basiert ja auch darauf daß es eine differentielle Rotation innerer Kern -äußerer Kern gibt. Die Erde hat eine differentielle Rotation der Silikathülle zu der des Kernes, und daher gibt es dann auch magnetlose Zeiten, wie Du weißt, und die Umkehr der Magnetfelder.

HENRICH: Ich habe eine Frage zu dem Kometenstrahl, wird er jetzt hinter dem Kometen hergezogen, sie sagen er weist von der Sonne weg?

KURAT: Der Schweif zeigt immer von der Sonne weg. Jeder Komet hat mehrere Schweife, das eine ist ein Plasmaschweif, der immer ganz genau von der Sonne wegzeigt, und der Staubschweif, der ein bißchen nachhinkt, der ein bißchen langsamer ist. Er wird immer von der Sonne wegzeigen.

HENRICH: Kann man alle Schweife sehen?

KURAT: Plasma- und Staubschweif sind immer zu sehen und manchmal kann man noch andere sehen. Beim letzten Kometen Hale-Pope hat es auch einen Natriumschweif gegeben, wo man die Anreicherung von Natriumionen gesehen hat. Aber prinzipiell ist ein Staub und ein Plasmaschweif zu sehen.

RIEHL: Kann man von dieser differenzierten Drehgeschwindigkeit einen Motor für die Plattentektonik ableiten, das ist mehr eine Frage an die Kollegen, die sich damit befaßt haben, oder ist das nur diese magnetische Drehrichtung des Kerns?

KURAT: Ich glaube, daß das mit der Plattentektonik kaum mehr etwas zu tun hat, obwohl die Quelle der Anregung, die Antriebsquelle für die Plattentektonik, sitzt wahrscheinlich

auch an der Kern - Mantel - Grenze und wird wahrscheinlich von subduzierten Krustenteilen gebildet, die wieder viril werden. Sie werden ja kalt abgetaucht, tragen aber sehr hohe Gehalte an radioaktiven Elementen und werden nach 1-2 Milliarden Jahren wärmer als ihre Umgebung und bilden somit eine thermische Instabilität, was dazu führt, daß sie aufzusteigen beginnen und die aufsteigende Masse erzwingt natürlich auch auf der anderen Seite etwas zum Absteigend, wo die kalte Materie

wieder hinunter gezogen wird. Das führt zur Lateralbewegung an der Erdkurste und das führt zum Auseinanderreißen, zum Auseinanderwandern von Kontinenten. Das ist ein thermischer Motor, der durch Instabilitäten entweder in der Übergangszone, also um die 400-700 Kilometer Tiefe, wo es die großen Phasenänderungen gibt, oder an der Mantel/Kern - Grenze beginnt.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. W. HENRICH

*Vöslauer Heilquellenverwertung AG
Paitzriegelgasse 2
A - 2540 Bad Vöslau*

Univ.Prof. Dr. Gero KURAT

*Naturhistorisches Museum Wien
Burgring 7
A - 1010 Wien*

Univ.Prof. Dr. Anton PREISINGER

*Inst. f. Mineralogie
TU Wien
Karlsplatz 13
A - 1040 Wien*

Dr. Georg RIEHL - H

*Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf*

Univ.Prof. Dir. Dr. H.P. SCHÖNLAUB

*Geologische Bundesanstalt
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien*

Dr. Norbert WEISSENBACH

*Steelerstraße 167
D - 45138 Essen*

Univ.Prof. Dr. H. ZANKL

*Philipps-Universität Marburg/Lahn
Hans Meerwein Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Die Perm/Trias-Grenze als Umbruch in der
Lebensentwicklung

E. FLÜGEL



Payerbach,
4. Dezember 1997

Anmerkung der Redaktion:

Da wegen Erkrankung des Vortragenden dieser Beitrag entfallen ist, veröffentlichen wir hier die uns zugegangenen Diskussionsunterlagen.

Anschrift des Verfassers:

*Univ.Prof. Dr. E. FLÜGEL
Universität Erlangen*

*Bogenweg 6
D-91054 Erlangen*

Die Perm/Trias-Grenze als Umbruch in der Lebensentwicklung

E. FLÜGEL

An der Perm/Trias-Grenze kam es zum quantitativ und qualitativ größten Massensterben in der Geschichte des Lebens. Die Krise betraf sowohl marine als auch nichtmarine Organismen sowie Organismen unterschiedlicher Biotope und Habitate. Veränderungen und Unterschiede zwischen Perm und Trias zeichnen sich nicht nur in markanten Veränderungen der Biodiversität ab, sondern auch in der Skelettmineralogie der beuthischen Organismen, in der Bedeutung von Organismen für die Bildung von Karbonatgesteinen und in der Verbreitung mariner Organismen in sich in der Zeit ändernden Schelfräumen.

Von besonderem Interesse ist die Untersuchung von Lebensräumen, die auf kurz- und langfristige Umweltveränderungen negativ oder positiv reagieren. Hier sind es insbesondere Riffe, die durch Bautypen, Organismenvielfalt und ökologische Muster spezifische Situationen anzeigen. Das Verschwinden der Perm-Riffe und das Erscheinen der Triasriffe spiegelt geologische und

biologische Veränderungen wider, die hinsichtlich ihrer Zeitskalen (langsam, kontinuierlich, schnell, plötzlich ?) diskutiert werden. Aus dieser Diskussion ergeben sich Hinweise auf denkbare, mögliche und wahrscheinliche Ursachen der Krise am Ende des Perms. Neuanfang und Erholung der Ökosysteme in der Trias liefern Aussagen über Überlebensmöglichkeiten nach globalen Katastrophen.

Es werden folgende Punkte angeschnitten:

Perm Trias-Grenze-Zeitfrage, geologische Situation, Kenntnisstand

Umbruch oder Einschnitt ?

Das paläontologische Datenmaterial

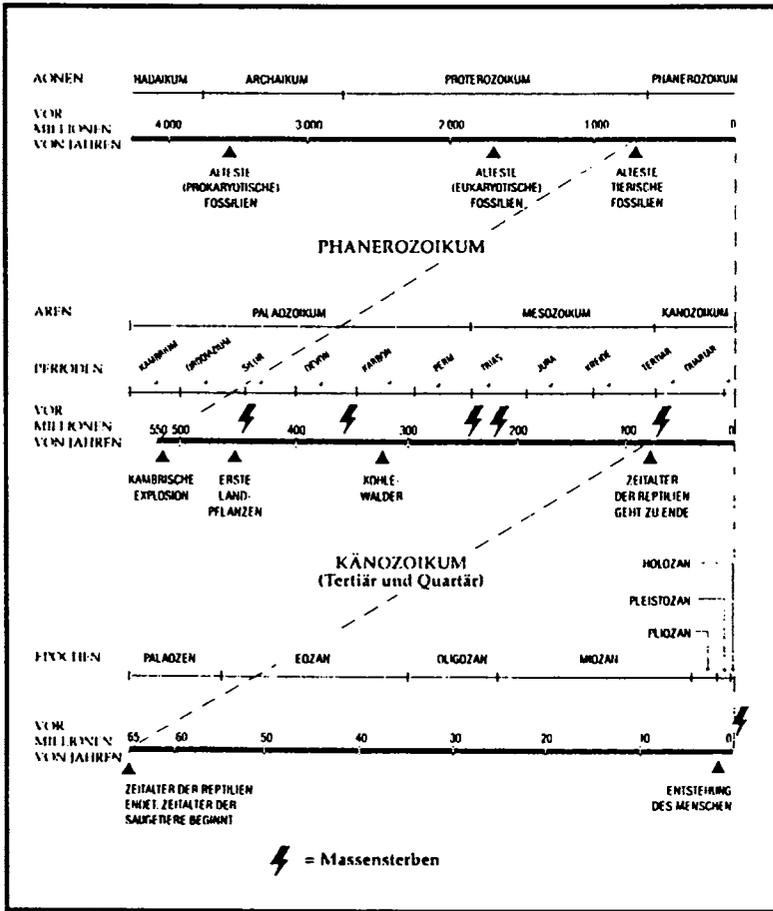
Das Ökosystem Riff

Die Zeit nach dem Einschnitt

Kontrollen und Ursachen

Die Perm/Trias-Grenze - ein einmaliger Event ?

Diskussionsgrundlagen



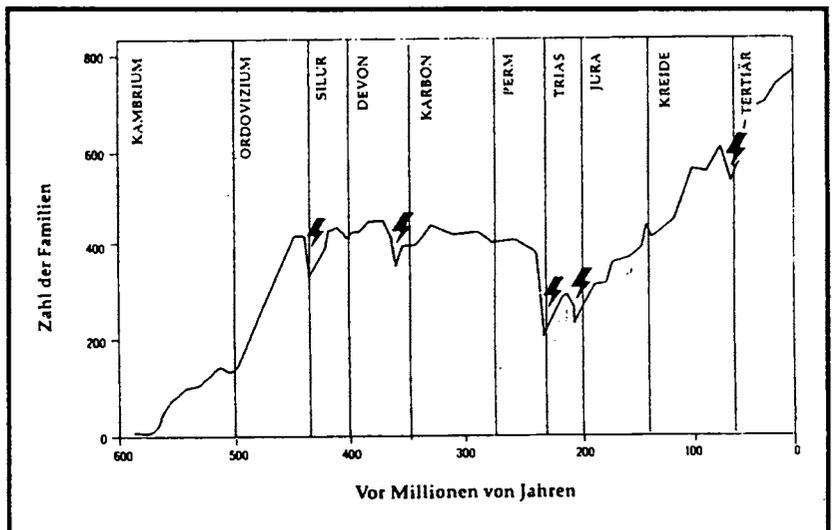
1 Massensterben in der Erdgeschichte

Die geologische Geschichte des Lebens beginnt vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren, als die ersten einzelligen Organismen in Erscheinung traten. Schlüsselergebnisse der Evolution sind den jeweiligen geologischen Zeiteinheiten zugeordnet: Äone werden in Ären unterteilt, Ären in Perioden und Perioden in Epochen. Die Biodiversität ging infolge der großen Massensterben, die hier durch Blitzsymbole angedeutet sind, stark zurück

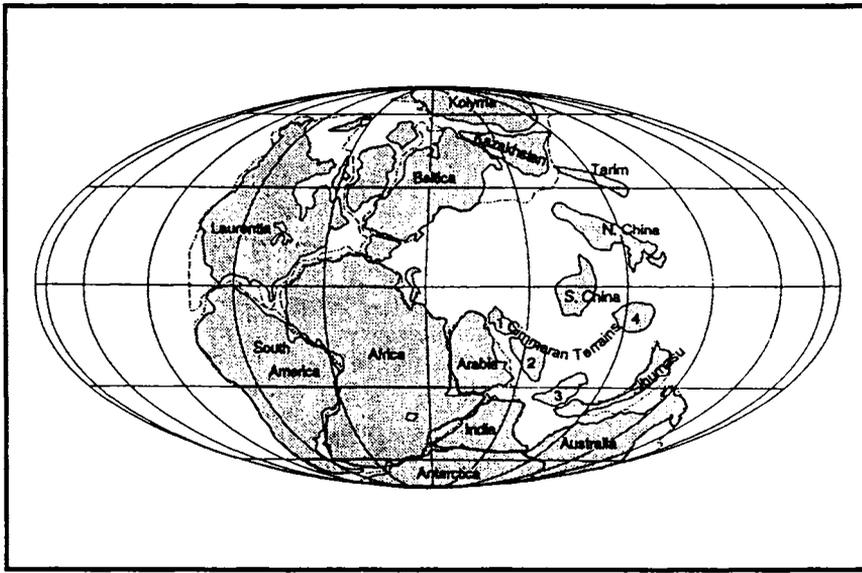
(Massensterben in der Erdgeschichte, Wilson 1992)

2 Der Wert der Vielfalt

Die biologische Artenvielfalt hat im Verlauf der geologischen Zeit, trotz gelegentlicher Einbrüche infolge globaler Massensterben (Blitzsymbole) langsam zugenommen. Bislang gab es 5 derartige Massensterben. Die Daten beziehen sich auf Familien (Gruppen verwandter Arten) mariner Lebewesen. Heute vollzieht sich ein sechstes, von menschlichen Aktivitäten verursachtes.



(Artenvielfalt in der Erdgeschichte, Wilson 1993)



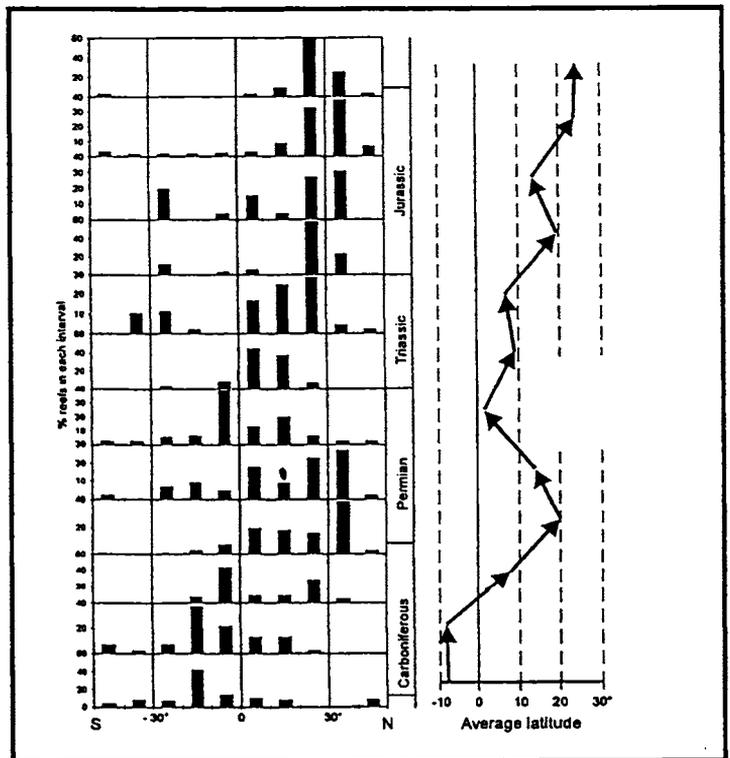
3 Ein "Weltbild" am Ende des Perms

The distribution of continents at the close of the Permian about 250 million years ago. The position of the small land masses to the west is poorly constrained. Note the isolated position of the South China block. See chapter 5 for discussion.

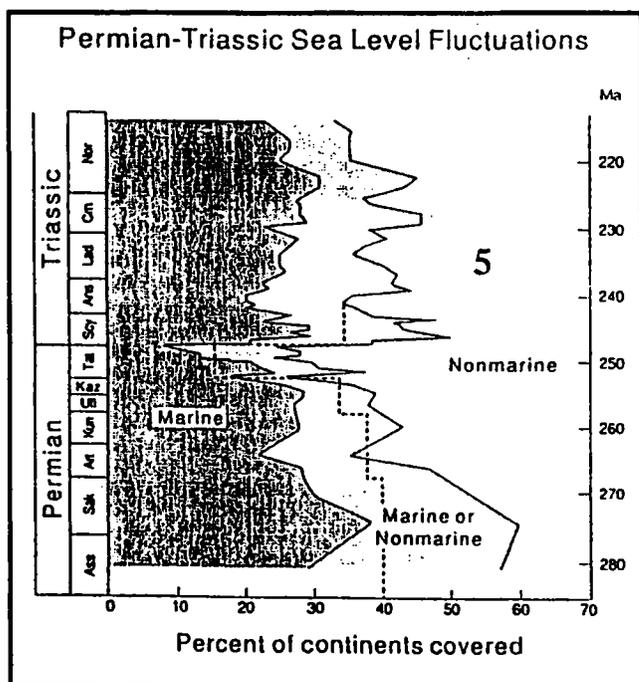
(The great Paleozoic crisis, Fig. 1.11, Erwin 1993)

4 Breitenverteilung von Riffen, Karbon bis Jura

Trend in the paleolatitudinal distribution of Pangean reefs. Left column Percentage of reefs in 10° paleolatitudinal intervals. Right column Average paleolatitude of reefs. Note an overall shift of reef localities towards the northern hemisphere during pangean time



(Flügel et al. 1996, Göttinger Arb. Geol.Paläont., Sonderband 2)



5 Meeresspiegelschwankungen Perm/Trias

Permo-Triassic sea-level fluctuations based on analysis of 68 major sedimentary basins. The coverage of the continents dropped from about 40 percent in the Early Permian to 8 - 13 percent at the Permo-Triassic boundary.

(From Holser and Margaritz, 1987 Fig. 5 with the permission of Gordon and Beach Publishers)

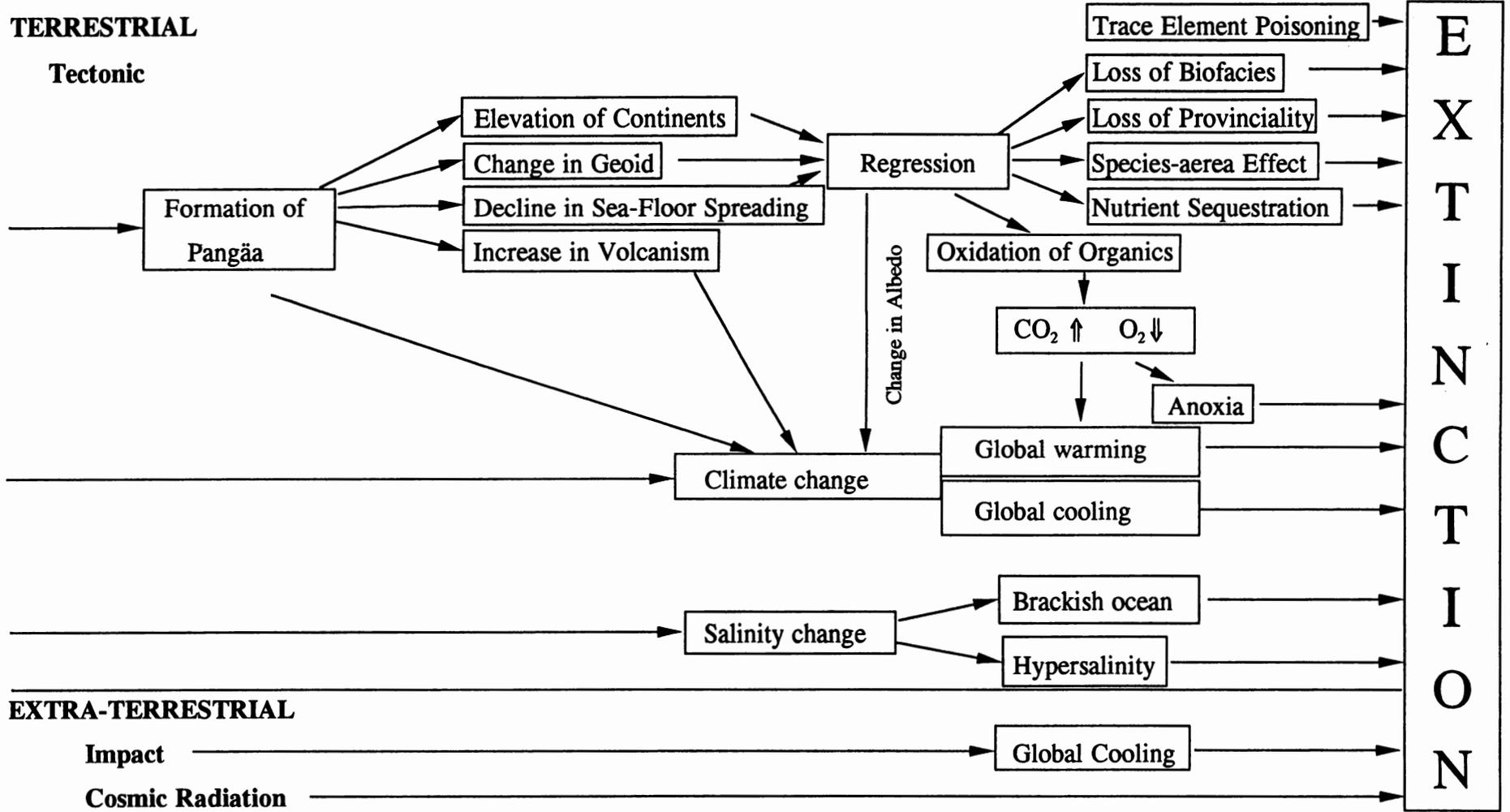
(Meeresspiegelschwankungen Perm/Trias, Erwin 1993)

Table 9.1. Classification of extinction hypotheses according to whether they predominantly effect marine or non-marine settings or both, and whether they should produce a rapid or gradual extinction. In several cases some effects are not known or not well understood. See text for details.

Ursachen von Diversitätskrisen (Erwin 1993)

<i>Suggested Causes</i>	<i>Marine</i>	<i>Non-marine</i>	<i>Rapid</i>	<i>Gradual</i>
Nutrient Reduction	X			X
Decline in Provinciality	X			X
Trophic Resource Instability	X	?	?	X
Habitat Diversity	X			X
Ecosystem Collapse	X	?	?	X
Extra-terrestrial Impact	X	X	X	
Global Cooling	X	X		X
Salinity	X			X
Species-Area Effects	X			X
Oceanic Anoxia	X		X	
Atmospheric Anoxia	X	X		X
Pyroclastic Volcanic Eruptions	X	X	X	
Flood Basalts	X	X	X	
Trace Element Poisoning	X		?	?

6 Denkbare Ursachen der Perm/Trias-Krise (Abb. nach Erwin 1993)



The possible direct causes of the end-Permian mass extinction are to the right, with the more indirect causes progressively to the left. Some events produce a number of secondary effects that may have contributed to the extinction.

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Die Kreide/Tertiär-Grenze

A. PREISINGER



Payerbach,
4. Dezember 1997

Anschrift des Verfassers:

*Univ.Prof. Dr. Anton PREISINGER
Inst. f. Mineralogie
TU Wien*

*Getreidemarkt 9
A - 1060 Wien*

privat:

*Lerchengasse 23
A - 1080 Wien*

Die Kreide/Tertiär-Grenze

A. PREISINGER

Bis jetzt konnten drei Einschlagkrater aus den vergangenen 160 Millionen Jahren unserer Erdgeschichte mit Durchmesser von mehr als 100 km gefunden werden (Abb.1):

POPIGAI in Sibirien (111.0°E, 71,5°N) mit 100 km Durchmesser (BOTTOMLEY et al. 1997) an der Eozän/Oligozän-Grenze (35,7 ±0,2 m.Y.), Aussterberate: 12% der marinen Gattungen

Geolog. Alter Mill. Jahre	Periode	Epoche	Zeitmarke [Mill. Jahre]	Krater- Durchmesser [km]	Ort	Material am Ort	Aussterbe- rate im Meer [%]	
10	T E R T I Ä R	Oligozän	35.7±0.2		POPIGAI Sibirien	1 km Sandschicht Anabar-Schild	12	
20								Eozän
30		K/T	Paleozän	65.0±0.1		CHICKULUB Mexiko	Flachmeer 3 km Sediment- schicht Granit	50
40			Oberkreide					
50	K R E I D E	Unterkreide	144.7±1.7		MOROKWENG Süd-Afrika	Granit	28	
60								Oberjura
70		J/K	Oberjura	144.7±1.7		MOROKWENG Süd-Afrika	Granit	28
80								
90	J U R A	Oberjura	144.7±1.7		MOROKWENG Süd-Afrika	Granit	28	
100								
110								

Abb.1. Zeitmarker der Erdgeschichte

CHICXULUB in Mexico (89.54°W, 21.3°N) mit 130 km Durchmesser (MORGAN et al. 1997) an der Oberkreide/Paleozän-Grenze (65,0±0,1 m.Y.), Aussterberate: 50% der marinen Gattungen

MOROKWENG in Süd-Afrika (23,5°E, 26,5°S) mit ~200 km Durchmesser (REIMOLD et al. 1997) an der Oberjura/Unterkreide-Grenze (144,7±1,7 m.y.), Aussterberate: 28% der marinen Gattungen.

Impakte kosmischer Körper mit einem Einschlagkrater von mehr als 100 km Durchmesser zeigen globale Auswirkungen und stellen somit ZEITMARKER der ERDGESCHICHTE dar. Sie beeinflussten entscheidend die Evolution, indem sie weltweit ein spontanes, selektives Massenaussterben bestimmter Arten, Gattungen und Familien verursachten.

Welche Aussage und welche Bedeutung haben nun die Untersuchungen an der weltweit vorhandenen Kreide/Tertiär (K/T)-Grenze für die Evolution?

Vor 65 Mio. Jahren schlug, von SE kommend, ein kosmischer Körper (~12 km Durchmesser und ~5.10¹⁵kg) mit einem Einschlagswinkel von 30-40° in der Gegend des heutigen CHICXULUB, Yukatan, ein (SCHULTZ & D'HONDT 1996). Zur Zeit des Einschlages befand sich dort ein Flachmeer mit einer Karbonatplattform. Diese 3 km dicke mesozoische Plattform, bestehend aus Calcit,

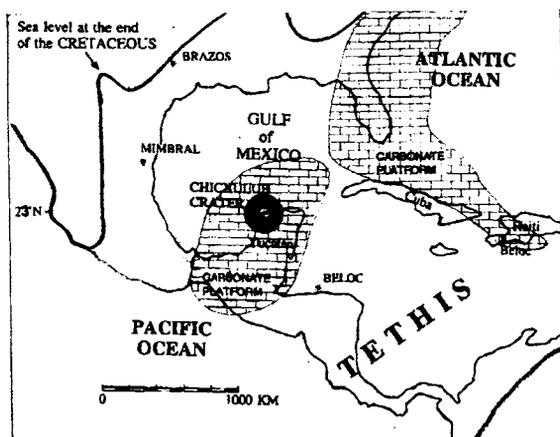


Abb.2. Geologische Situation zur Zeit des K/T-Impaktes von Chicxculub

Dolomit und Anhydrit (CaSO₄) war für das Entstehen eines hohen Schwefelsäure-Aerosolgehaltes in der Stratosphäre und des Schwefelsäure-Regens verantwortlich (Abb. 2)

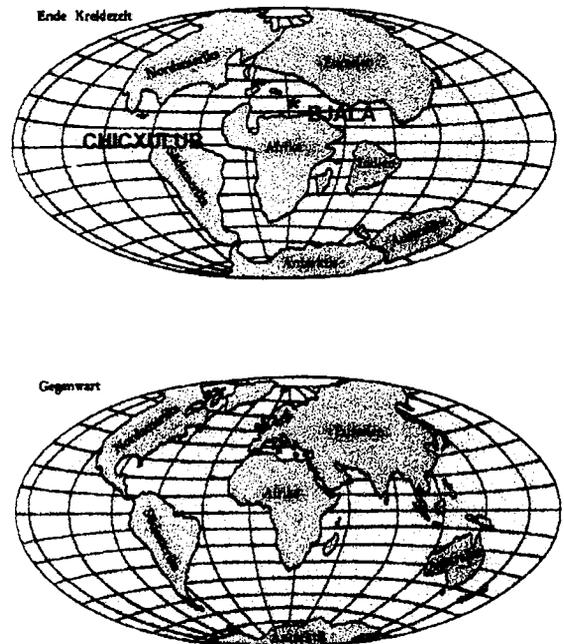


Abb.3. Verteilung der Kontinente und Ozeane Ende der Kreidezeit und in der Gegenwart

In der Oberkreide war der Ozean ein Ost-West-Meer (Thetis), während in der Gegenwart die Ozeane Nord-Süd-Meere (Atlantik, Pazifik) mit ausgeprägten Tiefen- und Oberflächenströmungen darstellen (Abb. 3). Die Atmosphäre hatte gegenüber heute einen doppelt so hohen CO₂-Gehalt. Die Pole in der Oberkreide waren nicht vereist und der Wärmeausgleich zwischen Äquator und Pol war größer als heute

Eine kontinuierliche, nicht gestörte Grenze liegt an der Schwarzmeerküste bei BJALA, Bulgarien, ~10.000 km von CHICXULUB entfernt (PREISINGER et al. 1993). Die Meeressedimentanalysen der K/T-Sequenz in Bjala wurden von ASLANIAN, GRASS und PREISINGER im Rahmen eines Ost-West-Fonds der Österr. Akademie der Wissenschaften durchgeführt. Die Folgerungen aus den Analysenresultaten der Meeressedimentabfolge werden hier am Beispiel der K/T-Grenze von Bjala dargestellt. Die Beschreibung der K/T-Grenze von Bjala gilt in

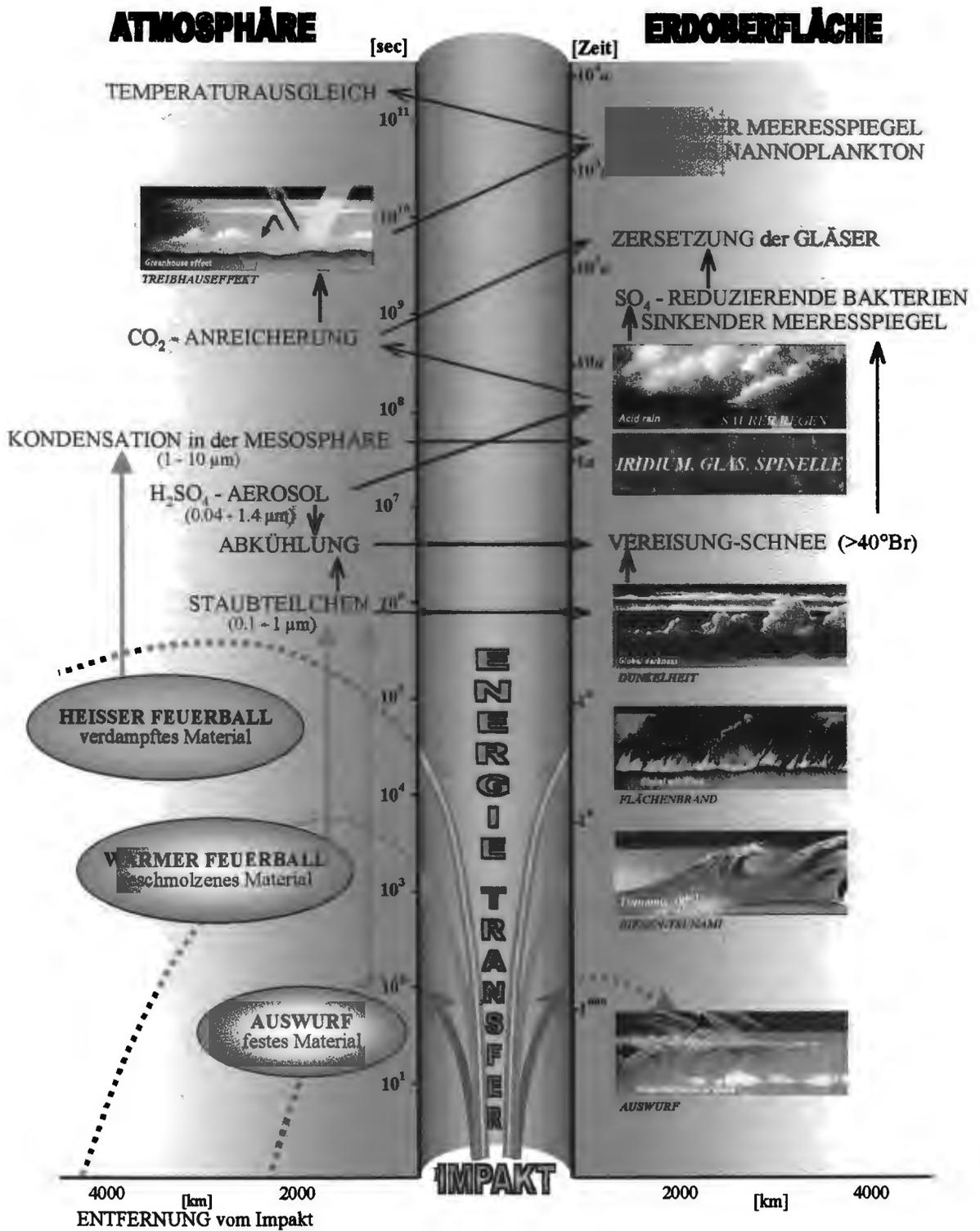


Abb. 4: Ergebnisse nach dem K/T-Impakt

ARTENAUSSTERBEN im oberflächennahen MEERWASSER

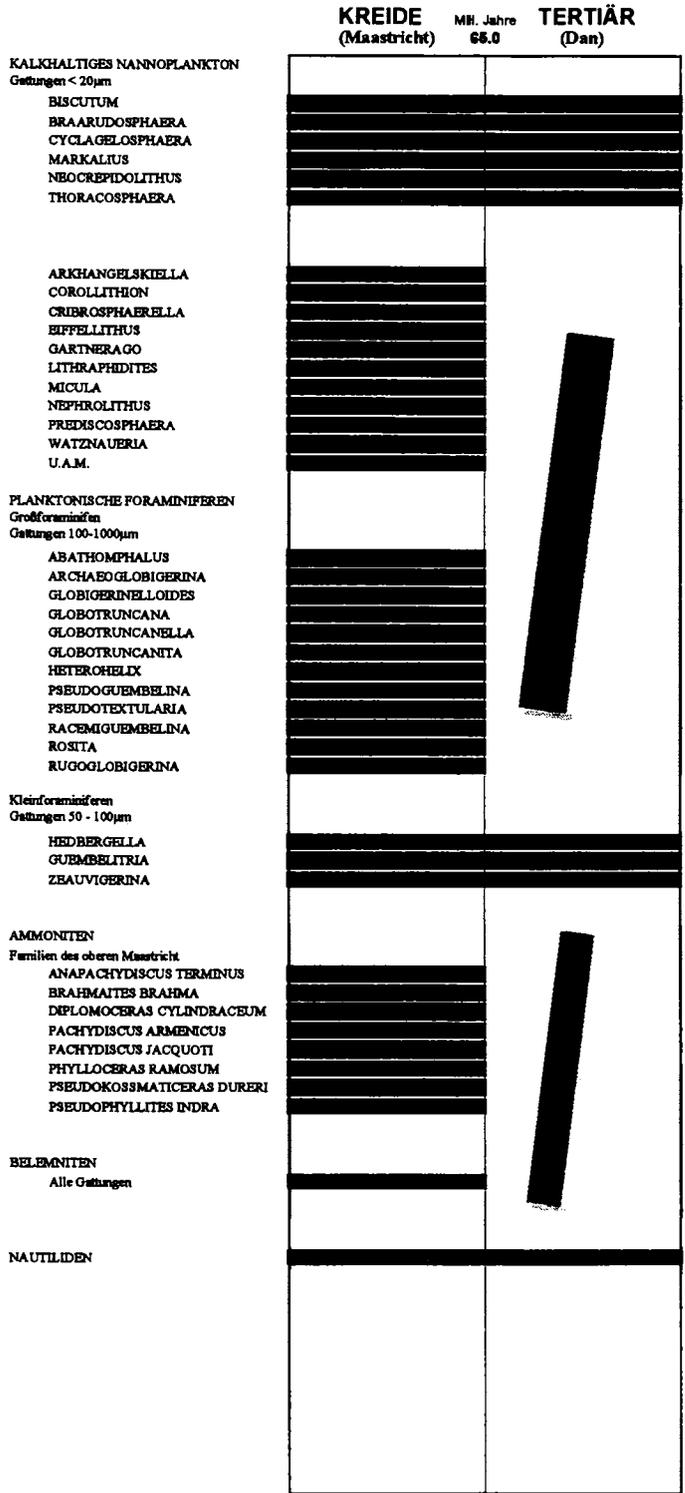


Abb. 5: Artenaussterben im oberflächennahen Meerwasser als Folge des K/T-Impaktes

ARTENAUSSTERBEN an LAND

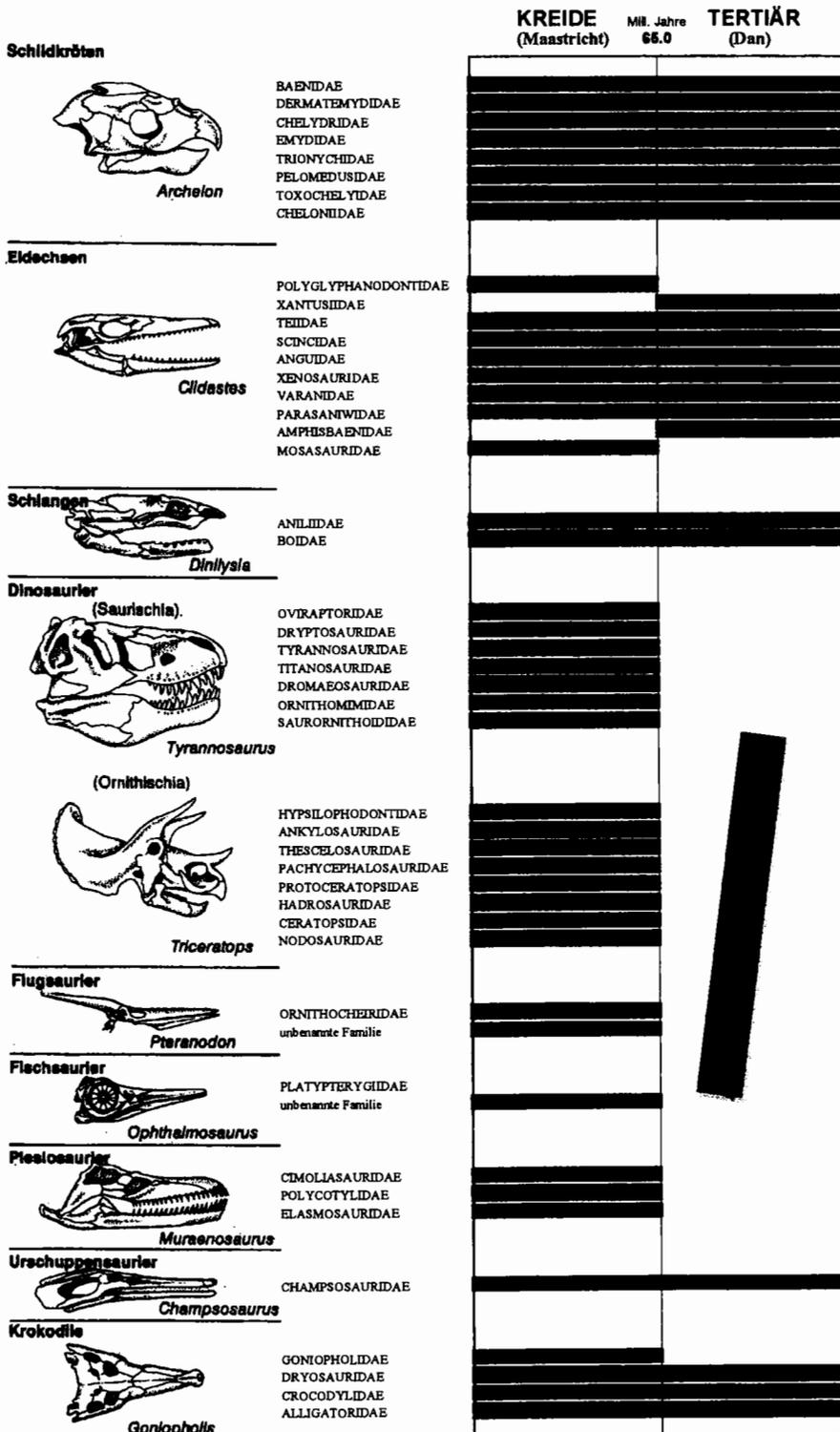


Abb. 6: Artenaussterben an Land nach dem K/T-Impakt

analoger Weise für alle K/T-Grenzen des Mittelmeerraumes von Spanien (Caravaca), Italien (Gubbio), Tunesien (El Kef), Österreich (Gosau) bis Bulgarien (Bjala). Die wesentlichen Unterschiede resultieren nur in den Sedimentabmessungen, je nachdem ob hemipelagische oder pelagische Sedimentation vorlag.

Die K/T-Grenze ist durch ein fast vollständiges Fehlen von CaCO_3 , eine Iridium-Anomalie sowie Nickel-reiche Magnesioferrit-Spinelle mit variablen Chrom-Gehalten (ASLANIAN et al. 1996) und eine Änderung in der Fossilzusammensetzung (RÖGL et al. 1996) sowie deren Isotopengehalte $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ (PREISINGER et al. 1996) charakterisiert.

Paläomagnetische Messungen am Bjala-Profil ergaben eine Änderung der Polarität der Erdachse von CHRON 29R zu CHRON 29N bei 6,3m über der K/T-Grenze. Diese 6,3m mächtige hemipelagische Sedimentation entspricht einer Zeitdauer von 230.000 Jahren (BERGGREN et al. 1985). Die Bioproduktivität und somit die Karbonatakkumulationsrate sind im Tertiär gegenüber der Kreide um einige Grade niedriger als in der Kreide; dies zeigt eine längerfristige Klimaänderung an.

Die Energie des Einschlagenden kosmischen Körpers von ungefähr $5 \cdot 10^{23}$ Joule wurde innerhalb von Sekunden bis Minuten zum größten Teil in feste, flüssige und gasförmige Materie transferiert und mit Geschwindigkeiten von $v=1,6$ bis $11,2$ km/sec hochgeschleudert (DURDA et al. 1977). Ein geringer Teil der Einschlagsenergie wurde in die Energie eines Riesensunamis transferiert, der sich in der Thetis mit einer Geschwindigkeit von ~ 800 km/h ausbreitete und die Küsten hundert Meter hoch überflutete. Der Krater selbst hinterließ eine Kraterstruktur mit ~ 130 km Durchmesser.

Der vorwiegend niedrig-energetische Teil des "festen Auswurfes" enthielt ungeschmolzenes Material wie z.B. geschockte Quarze. Diese zeigen räumlich und mengenmäßig assymetrische Verteilungsmuster, welche innerhalb einer halben Stunde hauptsächlich in einer

Entfernung von 1000-2000 km vom Einschlagsort zu finden sind. Neben dieser Hauptmengenverteilung wurde auch ein geringer Teil ungeschmolzenes feines Material hochenergetisch herausgeschleudert und dabei weltweit verteilt.

Der "warme Feuerball" bestand im wesentlichen aus aufgeschmolzenem Material, das einer asymmetrischen Verteilung bis zu ~ 5000 Kilometer unterlag

Der hochenergetische Teil des "heißen Feuerballs" in der Größe von $\sim 2000\text{km}^3$ enthielt hauptsächlich verdampftes Material, das in der Mesosphäre bzw. der Stratosphäre kondensierte und eine weltweite Verteilung erfuhr. In der Mesosphäre kondensierten Iridiumlegierungen, dann Ca- und S-reiche Gläser sowie Ni-reiche Magnesioferrit-Spinelle mit variablen Cr-Gehalten. Die Schwefelsäure kondensierte als Aerosol in der Stratosphäre, hielt sich dort ungefähr zehn Jahre und kam als saurer Regen herunter (POPE et al. 1977).

Der K/T-Event beginnt u.a. mit der Ablagerung von geschockten Quarzen innerhalb von wenigen Minuten bis zu einer halben Stunde nach dem Impakt, wobei die Hauptmasse sich vorwiegend auf den Golf von Mexico und Nordamerika verteilt (ALVAREZ et al. 1995)

Die K/T-Spinelle, durch Kondensation an Ir-Legierungskeimen in der Mesosphäre gebildet, wachsen während des Fallens im Gravitationsfeld der Erde und werden beim Durchqueren der Stratosphäre vom H_2SO_4 -Aerosol geätzt. Je nach Teilchengröße, $20 - 1 \mu\text{m}$, gelangen sie innerhalb von Tagen bis zu Jahren auf die Erdoberfläche (PREISINGER et al. 1997).

Diese Ereignisse nach dem K/T-Impakt waren für das KLIMA, das ÜBERLEBEN der ARTEN sowie die gesamte EVOLUTION von entscheidender Bedeutung. Innerhalb von tausend Jahren gab es extrem kurzzeitige Klimaschwankungen mit partieller Vereisung und einer beträchtlichen Meeresspiegelschwankung. Für das AUSSTERBEN vieler Arten waren mitbestimmend: die weltweite DUNKELHEIT (Ausfall der Photosynthese),

die starke ABKÜHLUNG der Atmosphäre (um 15-30°C), der SCHWEFELSAURE REGEN, der den pH-Wert des Meerwassers von 8 auf 5 in den oberen 30m kurzzeitig

änderte sowie der in der Thetis auftretende RIESENTSUNAMI und der an der Landoberfläche wütende FLÄCHENBRAND (Abb 4).

Die SELEKTION der ARTEN ist eine notwendige Voraussetzung der EVOLUTION. Bei der NATÜRLICHEN SELEKTION (Darwin'sche Selektion) ist POPULTIONSGETISCH die Entstehung neuer und angepaßter Arten gesichert.

Bei IMPAKT-SELEKTION hatten nur solche ARTEN eine CHANCE zu überleben, denen die spontan und für eine kurze Zeitdauer geänderten Umweltbedingungen nach dem Impakt genühten.

Im kalkhaltigen Nannoplankton haben aus einer Vielzahl von Gattungen nur 6 überlebt, bei den planktonischen Foraminiferen von 15 Gattungen nur 3. Von den Ammoniten sind die in den letzten 50.000 Jahren des Maastricht lebenden 8 Familien alle ausgestorben (Abb. 5). Ebenso sind die bis zum Ende der Kreidezeit lebenden 15 Familien der Dinosaurier ausgestorben (Abb. 6). Die Abbildungen 5 und 6 wurden nach Angaben von F. RÖGL und H. SUMMESBERGER (Naturhist. Museum Wien) und H. STRADNER (Geol. Bundesanstalt, Wien) zusammengestellt.

Warum hatten nur bestimmte Arten, Gattungen, Familien eine Chance zu überleben?

Im Falle der planktonischen Großforaminiferen der Oberkreide war die Unterbrechung der Nahrungskette durch den Ausfall der Photosynthese tödlich. Die Kleinforminiferen hingegen lebten auch in größerer Meerestiefe und hatten somit bessere Bedingungen zum Überleben.

Bei *Thoracosphaera operculata* (Dinoflagellat) war die geschlossene Kalkkapsel und eine genügend lange Ruhepause des Dauerstadiums für das Überleben ausschlaggebend, während bei den meisten anderen Arten des Nannoplanktons die Ruhepause in Bezug auf die

Dauer der Dunkelheit nach dem Impakt zu kurz war um dem Aussterben zu entrinnen.

Im Falle des Überlebens der Nautiliden und des Aussterbens der Ammoniten und Belemniten war wohl die unterschiedliche Vermehrungsstrategie von entscheidender Bedeutung. Während die Ammoniten offenbar auf zahlreiche winzige Larven gesetzt hatten, die im oberflächennahen Meerwasser planktonisch gelebt haben, heftet das langlebige Nautilusweibchen seine 2,5cm großen Eier auf dem Meeresgrund in größerer Tiefe an. Die Tiere schlüpfen bereits mit mehrkammeriger Schale und nehmen ohne Larvenstadium sofort ihre räuberische Lebensweise auf.

Die hohe Aussterberate nach dem K/T-Impakt war sicherlich nicht zuletzt durch den "sauren Regen" (drastisches kurzzeitiges Absinken des pH-Wertes in Oberflächenwässern) verursacht.

Die Entscheidung über das AUSSTERBEN oder das ÜBERLEBEN der ARTEN lag dabei sowohl im vorgegebenen NAHRUNGSANGEBOT als auch in der VERMEHRUNGSSTRATEGIE der ARTEN

Danksagungen:

Mein Dank gilt Herrn HR Prof Dr.H. Stradner für seine hilfreichen Diskussionen und Herrn Dipl.Ing.Dr. L. Petrás für die Erstellung der Computergraphik. Die Untersuchungen der K/T-Grenze bei Bjala (Bulgarien) im Rahmen des Ost-West-Fonds der Österr. Akademie der Wissenschaften wurden finanziell vom BMWuF (GZ. 45.134) gefördert.

Literatur

- ALVAREZ, W., CLAES, P., KIEFER, S.W., 1995
Emplacement of Cretaceous-Tertiary boundary shocked quartz from Chixculub crater
Science, Vol.269 (1995), 930-934
- ASLANIAN, S., PREISINGER, A., & PETRÁS, L. 1996
Spinel formation in the Mesosphere of the Earth after Cretaceous/Tertiary impact
Acta cryst., Suppl.Vol.A 52 (1996)C 335
- BERGGREN; W: A., KENT, D.V. & FLYNN;J.J. 1985
Paleogene geochronology and chronostratigraphy
Geol Soc. Memoir 10 (1985), 141-195
- BOTTOMLEY, r. GRIEVE, R, YORK, D., & MASAITIS, V., 1997
The age of the Popigai impact event and its relation to events at the Eocene/Oligocene boundary
Nature, Vol 388 (1997), 365-368
- DURDA,D.D., KRING,D.A., PIERAZZO,E & MELOSH,H.J., 1997
Model calculations of the proximal and globally distributed distal ejecta from the Chixculub impact crater
LPSC XXVIII (1997), 315-316.
- MORGAN, J., WARNER, M., and the CHIXCULUB WORKING GROUP 1997
Size and morphology of the Chixculub impact crater
Natur, Vol. 390 (1997) 472-476
- POPE, K.O., BAINES, K.H., OCAMPO, A.C. & IVANOV, B.A. 1997
Energy, volatile production, and climatic effects of the Chixculub Cretaceous-Tertiary impact
J.Geol.Res, Vol.102 (1997), 21.645-21.664
- PREISINGER, A, ASLANIAN, S., STOYKOVA; K., GRASS, F., MAURITSCH, H.J., & SCHOLGER, R., 1993
Cretaceous/Tertiary boundary sections on the coast of the Black Sea near Bjala (Bulgaria)
Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 104 (1993), 219-228
- PREISINGER, A, ASLANIAN, S., OBERHÄNSLI; H. & STRADNER; H. 1996
Climatic change after the K/T impact
Soc.geol. France (1996), 44
- PREISINGER, A, ASLANIAN, S., BRANDSTÄTTER; F. & GRASS, F., 1997
Distribution and formation of spinels after the K/T impact 1997
GSA, Vol.29 (1997) AQ-142
- REIMOLD;W.U., KOEBERL, C., BRANDTSTÄTTER; F., KRUGER, F.J., ARMSTRONG, R.A. & BOOTSMAN, K., 1997
The Morokweng impact structure, South Africa: Geological, petrological, and isotopics results, and implications for the size of the structure
GSA Spec.Paper, 1997, im Druck
- RÖGL F., v. SALIS, K., PREISINGER, A, ASLANIAN,S. & SUMMESBERGER, H., 1996
Stratigraphy across the Cretaceous-Paleogene boundary near Bjala, Bulgaria
Bull. Centr. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine (1996), 673-683
- SCHULTZ; P.H. & D'HONDT, S., 1996
Cretaceous/Tertiary (Chixculub) impact angle and its consequences
Geology, 24 (1996), 963-976

DISKUSSION :

Die Kreide/Tertiär-Grenze

KALLENBACH: Meinen Respekt, mit welcher Breite sie das hier vorgetragen haben.

PREISINGER: Danke, das ist nicht mein alleiniges Verdienst, Sie können nicht alles selbst machen. Das einzige was ich beurteilen kann, daß ich den Vortrag gemacht habe.

KALLENBACH: Das war ja nun wirklich ein Musterbeispiel dafür und ich denke, wir können nun in die Diskussion einsteigen.

HERBST: Wo war das Profil, das Sie in Zentimeterschritten untersucht haben?

PREISINGER: Bei Bjala, das liegt ungefähr 35 km südl. von Varna an der Küste des schwarzen Meeres. Aber wir haben auch Gubbio in Italien und Caramaca in Spanien in diesen Details untersucht, und wir haben auch in Österreich einige Stellen untersucht, bei Gams, die Gosau, auch in der Nähe von Wien. Die Zielsetzung, die ich als Leiter dieser Projekte gehabt habe, war, daß wir immer eine genaue Altersdatierung bekommen. Daher haben wir vor allem Paläomagnetik gemacht und dazu auch die Zyklostratigraphie, um hier genaue Angaben zu erhalten.

Diese Kalkbänke haben wir natürlich auch im Detail mit Partikelanalyse untersucht und ich kann das in der kurzen Zeit nicht alles bringen, aber wir haben eben auf hunderttausend Jahre eine relative Altersdatierung. Es ist uns gleich, ob die Altersbestimmung hier auf 65,0 oder 65,1 Mio. Jahre lautet, diese Altersgrenze ist weltweit die gleiche und das ist entscheidend. Von der ausgehend können sie nach oben und nach unten ihre relative Altersbestimmung anwenden, das ist ein ganz wesentlicher Punkt. Aber ich bin gerne bereit, auch auf das vorher gesagte von Herrn Frank noch einzugehen, wenn Sie das wünschen.

Bjala liegt am schwarzen Meer, direkt an der Küste, und wenn sie wollen, kann ich ihnen gerne ein Bild zeigen, wie es dort aussieht. Als ich das erste Mal vor 6 Jahren dorthin

gekommen bin und diese Kalkbänke über 100 m gesehen habe, habe ich gesagt das ist phantastisch, was bedeutet das. Jetzt weiß ich es.

LAUER: Ich habe mich bemüht, sehr aufzupassen, sehr genau aufzupassen, aber eine der großen Fragen scheint mir noch offen zu sein: Was ist mit dieser Asynchronität in verschiedenen Bereichen des Lebens? An vielen Stellen der Welt bohrt die Erdölindustrie durch pelagische karbonatreiche Sedimente. Der Bohrgeologe kann hundertmal beobachten, was an der Kreide-Tertiär-Grenze mit den Fossilien passiert. z.B. wenn man das Verschwinden der Globotrocanen hernimmt, ist das nicht synchron mit dem explosionsartigen Auftreten der Thoracosphären - ich habe gehört, auf der Konferenz in Kopenhagen hat man sich auf diesen Namen geeinigt.

PREISINGER: Der lateinische Name ist *..unverständlich...* aber bitte, Name ist Schall und Rauch.

LAUER: Ja, aber das Auftreten stimmt zeitlich nicht überein.

PREISINGER: Sie meinen, was ist passiert? Die Großforaminiferen, Sie kennen sie ja, ich brauche sie Ihnen ja nicht zu zeigen, die sind echt an dieser Grenze ausgestorben. Sie sind verhungert, weil die Photosynthese ausgefallen ist. Die Operculata ist nicht verhungert, weil sie die Chance hatte, in ihrem Ruhestadium als Zyste zu überleben und sie erst später wieder den Deckel aufgemacht hat und herausgekommen ist, um sich zu vermehren, als schon wieder Photosynthese möglich war. Da die anderen ausgestorben waren, haben sie natürlich die besseren Umweltbedingungen gehabt und sich enorm vermehrt, es war eine Explosion, sie können das wirklich sehen, daß das wenige Millimeter oder Zentimeter nach einer solchen Grenze passiert ist, aber von den anderen war nichts mehr da. Sie finden zwar

ab und zu noch immer Kreideformen, aber das sind wiederaufgearbeitete Schichten. Bevor ein Sediment fest wird, dauert es ungefähr 1000 Jahre - etwa in dieser Größenordnung - und wenn jetzt z.B. der Seespiegel wieder gestiegen ist, bringt das Wasser das Material, das vorher aufgeschwemmt worden ist, wieder herein, und dann bringt es natürlich auch kretazisches Material an die Stelle, die Sie angebohrt haben, und Sie finden eine Kreidesituation. Ich habe ihnen eine solche hier eingezeichnet. Ich habe sie zwar nicht betont, daß muß ich gestehen, aber diese reworked situation ist da, und da finden sie natürliche solche kretazischen Formen, aber in einer viel geringeren Zahl und sie nehmen exponentiell ab, wenn sie noch einmal so eine reworked situation finden. Das war der Grund, warum man die österreichischen Stellen nicht weiter bearbeitet hat, die lagen in viel größerer Meerestiefe. Hier in Bjala, das lag ungefähr 3-400m tief, während in Österreich die Stellen am unteren Sloop waren, wo entsprechende Turbitite abgelagert worden sind, die wir genau analysiert haben. Die Korngrößenverteilungen erschweren es natürlich, das globale vom lokalen zu unterscheiden, und deswegen haben wir Stellen gesucht, wo wir das leichter können und wir haben diese in Bulgarien, an der Küste des Schwarzen Meeres in Zusammenarbeit mit Frau ASLANIAN gefunden.

LAUER: Daß sei alles zugegeben, aber es trifft das Problem nicht, denn selbstverständlich...*unverständlich*, wo dieses Syndrom sehr stark ausgebildet ist und wenn ich sagte "pelagische Karbonate", dann meinte ich, daß das Verlagerungselement weitgehend nicht aufscheint. Es geht darum, daß wir ja nicht durch die Explosion Thoracosphären als Charakteristikum ..*unverständlich*.., sondern, wenn ich das Verschwinden der Globotrocanen mit dem Verschwinden des Nannoplanktons, der typischen Maastrichtformen, vergleiche, die verschwinden schlagartig aus den Proben. Es ist natürlich zu bedenken, wenn man Erdölproben während des Bohrens nimmt, kann man sie nicht so genau machen, wie wenn man Profile nimmt.

PREISINGER: Wenn sie rotationsfreie Probennahmen machen, wie das in den letzten 10 Jahren geschehen ist, dann können sie das auch bei Bohrkernen schon auf den Zentimeter genau machen.

LAUER: Aber trotzdem es gibt eine Verschiedenheit in den Verschwinden der Acontentien (?) und dem Verschwinden der Globotrocanen. das ist nicht synchron, das kann man sehr gut am Indischen Ozean, in den arabischen Plattformkarbonaten genauso wie in Nigeria, in Westafrika, als auch in einigen Schock-Profilen in der Nordsee feststellen, wo eben nicht verlagert worden ist.

PREISINGER: Ich möchte ihnen das so beantworten. Ich bin kein Paläontologe, aber ich habe mich sehr intensiv mit diesen Fragen beschäftigt, und nicht nur ich, sondern auf Konferenzen, etwa den Treis-Norbord - Konferenzen (?), wurde das viel und eingehend diskutiert. Wenn Sie von einem pelagischen Sediment sprechen, dann haben sie ungefähr 95% Kalziumkarbonat; wenn Sie dort irgendwelche Tonschichten finden, dann sind es große Besonderheiten, denn die Zyklusstratigraphie geht dort in mm-Größe. Wenn sie an semipelagische Sedimente kommen, dann nur als ein Maß für die Polaritätsgrenze zwischen CHRON 29R und CHRON 29M, dann haben Sie hier gesehen, 6,30m. In Djabara und in Gubbio liegt diese Grenze bei 1,30m, Sie sehen, daß ist ein Faktor von 5 Unterschied. Deswegen haben sie auch hier diese Kalkbänder in einigen Zehnerzentimetern, während sie dort 10 mm hoch sind.

Aber wir haben das auch geprüft, haben mm für mm die Kalkvariationen gemessen, auch die Zyklusstratigraphie existiert bei den pelagischen Sedimenten.

Es ist ganz wesentlich - und ich muß leider ständig feststellen, daß das auch in rezenten Publikationen noch immer der Fall ist - man spricht einfach von einer Grenze, obwohl es keine echte Grenze ist, sondern nur ein Kontakt. Nördlich des Kaspischen Meeres, auf allen diese Stellen, die hier untersucht wurden, ich habe erst vor kurzem in Paris einen Vortrag darüber gehört und wir haben das nachgeprüft, da finden sie 2 cm, aber diese 2

cm sind etwas anderes: unterhalb ist Kreide und oberhalb ist Tertiär. Warum liegt da was dazwischen, das auch Kalk hat, aber mit allen möglichen fossilen Formen, auch der Kreide und des Tertiärbeckens? Dort war ein Flachsee, und wenn der Meeresspiegel gesunken ist, etwa um 30 oder 40 m, dann ist der eine Zeitlang nicht durch Sedimentation ausgefüllt gewesen. Erst als der Meeresspiegel wieder gestiegen ist, ist das wieder mit aufgearbeiteten Sedimenten angefüllt worden, die natürlich auch Kreideformen beinhaltet haben. Ohne Kenntnis ihrer Lokalstelle, wenn Sie Vergleiche ziehen zwischen Indischem Ozean und Mediterranen Meer oder Pazifik, dann müssen sie natürlich sehr wohl - wohlgemerkt, ich spreche nur von der Kreide-Tertiär-Grenze und von keiner anderen - nachweisen:

- 1.) Die Iridiumanomalie
- 2.) Die geschockten Quarze, die sind nicht so leicht zu finden,
- 3.) Kreide-Tertiär Spinelle, die sind charakteristisch und müssen vorhanden sein, sonst fehlt etwas, sonst haben sie keine kontinuierliche Grenze.

Wenn sie mir sagen, wo das ist und wo die Untersuchungen gemacht worden sind, das würde ich mir gerne anschauen und dann ihre Fragen beantworten.

UNBEKANNT: Die Präzession ist auch eine Folge dieser Impakte?

PREISINGER: Nein, keinesfalls, die Energie ist nicht groß genug, um die Erde aus ihrer Rotation herauszubringen, das ist ungefähr so, wie wenn ich hergehe und Sie mit dem Finger antupfe, das wäre ungefähr die Wirkung des Impakts auf die Erde. Das bringt sie nicht vom Sessel weg und natürlich ist auch die Präzessionsbewegung der Erdachse damit nicht beeinflusst, jedenfalls nicht die Sequenzen zwischen 21 und 25 tausend Jahren. Die Variabilität, das ist nicht ein fixer periodischer Wert, das liegt daran, daß die überlagert sind durch die Schwankung der Ekliptik zwischen 23° und 24 1/2°, und der Exzentrizität, aber die Abweichung ist auch nur minimal.

SCHÖNLAUB: Sie haben in einer ihrer ersten Overheadfolien ein Impaktereignis an der Eozän-Oligozängrenze eingetragen gehabt.

Wenn man schon in cm rechnet und da in Jahren rechnet, dann muß man, um der Genauigkeit genüge tun, schon auch sagen und feststellen, daß dieses Ereignis etwas früher war. Es war vor der Eozän-Oligozängrenze; diese wird vor 33 Millionen Jahren angenommen, und die Impaktereignisse Cheasapeak und Popigai waren vor 35 Millionen Jahren. Diese beiden Ereignisse waren vor 35 Millionen Jahren und auch im Typusprofil für diese Grenze in Massiniano ist die Jeckerlear(?) unter der Grenze zwischen Eozän und Oligozän.

PREISINGER: Ich habe natürlich in der Schnelligkeit nicht alle Details erzählen können. Ich habe hier als Maß 100 - Kilometer - Krater angegeben und der andere, der in der Nähe liegt, ist viel kleiner, das ist dasselbe wie der Mansonkrater in Nordamerika, der ist auch ungefähr 65 Millionen Jahre alt und hat ca. 20 Kilometer Durchmesser, aber der hatte keinen nennenswerten Einfluß. Welchen Einfluß so ein Impakt hat, das muß man der Zukunft überlassen. Aber die Tabelle, die ich Ihnen angegeben habe, bezieht sich auf 100 - Kilometer - Krater.

WEISSENBACH: Eine Frage, die immer mehr auftaucht bei dieser Gelegenheit: was haben die armen Pflanzen gemacht?

PREISINGER: Die sind z.Teil auch ausgestorben, die Sporen haben es überlebt. Das ist dasselbe wie bei der Orbiculata. Pflanzen, die eine Schutzfunktion hatten, eine Ruhephase hatten, in der sie keine Photosynthese brauchten, haben überlebt. Aber es sind genügend Pflanzen ausgestorben.

WEISSENBACH: Eigentlich müßte dieses Ereignis, wie sie es uns geschildert haben, den Pflanzen noch mehr anzusehen sein als den Restorganismen, vor allem denen im Wasser, in der Hydrosphäre. Die haben ja jahrelang nichts mehr zur Photosynthese gehabt.

PREISINGER: Wieso Jahre lang, wenn das drei Jahre, vielleicht auch vier dauern würde, wäre das ganze Leben ausgestorben. Ich würde sagen, daß es so finster war wie in einer mondlosen Nacht, aber höchstens ein halbes Jahr. Dann kam die Photosynthese wieder, aber langsam und nicht schnell.

UNBEKANNT: Es sind genügend Pflanzen ausgestorben, ich frage mich nicht mit dem Aussterben der Pflanzen, sondern dem der Einzeller.

PREISINGER: Nur einzelne würde ich sagen

MARKYTAN: Was ist mit der bleibenden Temperaturabsenkung Tertiär gegenüber Kreide?

PREISINGER: Was ich ihnen hier geschildert habe, waren nur die Kurzzeitereignisse in den ersten tausend Jahren. Die Temperaturabsenkung ist eine Langzeitentwicklung über 70 und mehr Jahrtausende. Das sind tertiär als Nachfolge..*unverständlich*.. Oberflächenwassers ..., und nur über das sage ich etwas aus, und die Photosynthese ist geringer gewesen um den Faktor 2 gegenüber der Kreide. Und daß bedeutet eine massive Änderung des Klimas.

ZIEGLER: Mich fasziniert, wie man so ein großes Ereignis wie diese Grenze einengen kann und im Gelände hier findet.

PREISINGER: Das ist so wie mit einer Stecknadel im Heu. Ich habe das das erste Mal Gubbio in Italien gesehen und untersucht und auch mit ALVAREZ gesprochen, daß war etwa 17 Jahren, und dann habe ich gesagt, es muß sowas in Österreich auch geben. Ich habe mich an die Geologen gewandt und gefragt, ob es irgendwo eine Grenze in Österreich gibt. Ja, haben sie gesagt, sicher gibt es Grenzen, aber nur, das waren nicht Grenzen, das waren meistens Kontakte.

Wie gehen wir vor? Kreidefossilien sind für den Paläontologen oder Mikropaläontologen leicht zu sehen und zu erkennen, daß ist keine Schwierigkeit. Man sieht also z.B. 10 m über diesen Fossilien hat sich die Fossilienzusammensetzung geändert. Immer mehr nähert man sich so der Grenze, und wenn man auf Nahdistanz ist, kann man sagen, jetzt schauen wir, ob wir Iridium finden. Man geht so schrittweise vor, die Iridiumuntersuchung kostet eine Menge Geld.

Und dann finden Sie eine Tonschichte, da ist kein Kalk drinnen das ist ein Hinweis, ok. jetzt macht man genauere Bestimmungen und wenn man alles gefunden hat, kann man die Grenze festlegen. Wenn etwas fehlt, kann man dann bei genauerem Nachsehen auch immer

feststellen, daß dies eben nicht die Grenze war.

TOLLMANN: Manchmal sieht man diese Grenze makroskopisch ausgezeichnet, ich habe an drei Stellen in China die Perm-Trias-Grenze gesehen, es war jedesmal diese Tonschicht, 2 bis 3 cm, und sie war anders gefärbt und im Liegenden wie Hangenden überall etwas anderes. Vorher z.B. war an einer Stelle Kalkserie mit permischen Fusuliniden, darüber Sandstein mit ..*unverständlich*.. in den untersten Lagen und dazwischen die Tonschicht. Manchmal sieht man das makroskopisch.

PREISINGER:.....*unverständlich*....die ich auch untersucht habe, aber da ist fast kein Iridium darin, aber dafür sehr viele Sedimente die von Vulkanen her stammen, das ist diese Perm/Trias - Grenze. Was das auch immer bedeuten mag, ich habe das noch nicht untersucht.

Ich möchte nur sagen, daß es dort nicht eine analoge Grenze gibt zur Kreide-Tertiär-Grenze, die haben wir dort in China nicht gefunden, obwohl ein riesiges Denkmal dort steht.

TOLLMANN: Darf ich etwas dazu sagen, es ist eine Impaktgrenze, das hat inzwischen Ritzi Stumm publiziert

PREISINGER: Ja, aber die Werte konnten nicht nachgeprüft werden der Herr Nastarov(?) hat sie gemacht. Bescheiden haben wir sie auch gemacht, aber wir haben nichts gefunden.

TOLLMANN: Es geht um die ..*unverständlich*....Feldspäte...

PREISINGER: Das mag sein, ich will nicht ableugnen, daß es nicht doch auch einen Impakt gegeben haben könnte, ich betone extra gegeben haben könnte, aber diese Schicht in dem ich mich auf Mai Tan(?) beziehe, ist jedenfalls in ihrer Zusammensetzung im wesentlichen vulkanisch.

TOLLMANN: Ja, das wissen wir

PREISINGER: Na ja, daher kann ich keine*unverständlich*.....wenn 90% vulkanisch sind und es sind vielleicht 10% dabei von etwas anderem, ich meine etwas, das charakteristisch und mit Sicherheit ist, daß es sich bei den meisten dieser ..*unverständlich*..

ist. Aber dies ist nicht notwendigerweise durch einen Inpakt bedingt, wenn eine Durchmischung des Oberflächenwassers mit Tiefenwasser eintritt, egal durch welches Ereignis, so werden Sie diese Signalabsenkung finden, so wie das auch bei den Bohrungen in Kärnten gefunden worden ist, wie man das in China findet. Es ist sehr charakteristisch, daß hier ein großes Ereignis war, aber nicht notwendigerweise ein Impaktgeschehen.

TOLLMANN: Ich glaube, sie können es momentan durch nichts anderes erklären, es sind 93% der Arten ausgestorben und wie gesagt, wenn ein Komet einschlägt,*unverständlich*... womöglich ein großes Ereignis, wieder in den Weltraum hinaustritt, dann haben sie an der Grenze wenig Iridium, unter Umständen geschockte Quarze, aber sie können dieses Aussterben mit nichts sonst erklären.

PREISINGER: Ein geschockter Quarz würde auch bei geringeren Energien auftreten, das muß nicht durch große Energien hervorgerufen sein. Aber ich nehme an, Herr Schönlaub, Sie werden ja über die Perm-Trias-Grenze etwas sagen. Ich glaube, es gibt bessere, die diese Frage beantworten können als ich.

UNBEKANNT: Es ist nicht von ungefähr, daß an der Kreide-Tertiär-Grenze auch gleichzeitig die Grenze zwischen Mesozoikum und Känozoikum liegt. Schon voriges Jahrhundert ist makropoläontologisch erkannt worden daß da eine ganz große Grenze in der Geschichte unserer Erde. Dies ist von Ammoniten sehr lange bekannt, daß ist von Dinosauriern schon lange bekannt und mit Sicherheit*unverständlich*....jede einzelne Bank mit dem freien Auge ansehen.

PREISINGER: Ja sicher, daß sehen sie mit dem freien Auge oder mit der Lupe.

UNBEKANNT:...*unverständlich*...

PREISINGER: Von den Paläontologen her wurde das Aussterben immer als ein langsames Aussterben interpretiert. Hier wollte ich ihnen nur vor Augen führen, daß hier ein Paradigmenwechsel aufgetreten ist. Dieses langsame Aussterben ist sicher das normale Geschehen, aber an bestimmten Zeitmarkern der Erdgeschichte ist eben das Aussterben nicht ein Darwinisches Aussterben, sondern ein Impaktaussterben.

Diskussionsbeiträge von:

Paul HERBST

*Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg*

Univ.Prof. Dr. Heinrich KALLENBACH

*Am Sandwerder 42a
D - 14109 Berlin 39*

Dr. Gerhard LAUER

*Erndtgasse 7
A - 1180 Wien*

Ing. Ernst MARKYTAN

*Sanatoriumstraße 19-25/18/4
A - 1140 Wien*

Univ.Prof. Dr. Anton PREISINGER

*Inst. f. Mineralogie
TU Wien*

*Getreidemarkt 9
A - 1060 Wien*

Univ.Prof. Dir. Dr. H. P. SCHÖNLAUB

*Geologische Bundesanstalt
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien*

Univ.Prof. Dr. Alexander TOLLMANN

*Inst. f. Geologie, Univ. Wien
Geozentrum
Althanstraße
A - 1190 Wien*

Dr. Norbert WEISSENBACH

*Steelerstraße 167
D - 45138 Essen*

Mag. Walter ZIEGLER

*BG u. BRG Neunkirchen
Otto Glöckel Weg 2
A - 2620 Neunkirchen*

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Meteoriten-Einschläge und ihre Altersbestimmung

W. FRANK



Payerbach,
4. Dezember 1997

Anmerkung der Redaktion:

Da bis zum Zeitpunkt der Drucklegung keine schriftlichen Unterlagen vorgelegen sind, wird an dieser Stelle nur die Diskussion nach dem Vortrag gebracht

Anschrift des Verfassers:

*Univ.Prof. Dr. Wolfgang FRANK
Institut für Geologie, UZA II, Geozentrum*

*Althanstr. 14
A-1090 Wien*

DISKUSSION :

Meteoriten-Einschläge und ihre Altersbestimmung

ZANKL: Der Fortschritt in der Geochronologie hat sich in den letzten 10 Jahren so rasant entwickelt, daß wir sehr viel näher an das herankommt, was wir als ein Ereignis bezeichnen, ein Ereignis, das infolge Impakt-einwirkung auf die Erdkruste von außen erfolgte oder im Falle der Basalteffusionen von innen her. Das steht sozusagen in Konkurrenz zur Paläontologie, zur Mikropaläontologie, die sich durch Ereignisse aus der geologischen Zeitbarriere entwickelt. Dort versucht man ja auch immer präziser zu werden, die zeitlichen Abstufungen enger zu machen, und ich denke, das ist eine ganz fruchtbare und wichtige Diskussion, man muß sich immer wieder gegenseitig beeinflussen, um sich an solche Ereignisse heranzutasten.

RIEHL - H.: Vielleicht darf ich da kurz noch etwas ergänzen. Wir waren vorgestern bei Dir. SCHÖNLAUB zu Gast, und vielleicht ist vielen nicht klar, daß dieser heutige Schnitt durch den Vredefortkrater zum Zeitpunkt des Impakts 10 Kilometer unter der Oberfläche war. Mit diesen ganzen Schmelzen etc. sind wir 10 Kilometer unter der Oberfläche. Das ist eine wesentliche Überlegung .

FRANK: Ich glaube, ich habe es in einem Nebensatz gesagt, aber es ist ein ganz wichtiger Punkt.

HERBST: Ich habe eine Frage zu den Daten der Dekkan-Trapps. Wenn immer bessere Daten nimmt, so wird Zeitband immer schmaler und liegt nun zwischen 64 und 67 Mio. Jahren. Ist das die älteste Basaltschicht oder die jüngste, oder ist dies eine systematische Streuung?

FRANK: Das betrifft die Hauptmasse der Dekkan-Trapp-Ereignisse. Ich kenne keine Untersuchung, es sind auch noch keine so gemacht worden, die so präzise wäre, daß man die obersten bis zu den untersten Flüssen in sukzessiv jünger werdenden Folge genau

untersucht hat, das ist zukünftige Feinfor-schung und im Vergleich enorm aufwendig, diese Präzision zu erreichen. Für jetzt müssen wir sehr froh sein, daß wir diese Einsichten erreicht haben, und ich frage mich ein biß-chen, ob der zusätzliche Aufwand den zu erreichenden Ergebnissen immer wieder gerecht wird.

SCHÖNLAUB: Sie haben kurz die Perm/Trias-Grenze angeschnitten und ich möchte hinzufügen, da. ..unverständlich..... neue Daten zur Zirkondatierung von den Aschentuffen der chinesischen Profile präsentiert haben. Diese Aschenlagen sind sowohl knapp unter der Perm-Triasgrenze als auch darüber, und genau an die Perm-Trias-Grenze fällt ja das größte Massensterben der Erdgeschichte und durch diese neuen Datierungen konnte aufgezeigt werden, daß das Massensterben innerhalb eines Zeitraumes von 500.000 Jahren bis maximal 1,5 Millionen Jahren stattgefunden hat. Es ist lange Zeit spekuliert worden, daß es im Oberperm zwei Massensterben gegeben hat und daß dieses Massensterben an der Perm/Trias-Grenze sich über einen Zeitraum von mindestens 3 Millionen Jahren hinzieht. Also das wurde jetzt eingeeengt präzisiert auf eine Zeitdauer, fast mit der gleichen Präzision wie an der Kreide-Tertiär-Grenze. Das ist ein großer Beitrag der Geochronologie zur Dauer dieses Massensterbens.

FRANK: Dieser Aspekt ist auch für mich als einem in der Methode stehenden die eigentlich verblüffende Entwicklung. In analytischer Hinsicht ist das erst in den letzten Jahren möglich geworden.

Zum Problem selbst ist festzuhalten, daß man jetzt sicherlich noch lange diskutieren kann, was die entscheidenden Faktoren für das Massensterben selbst waren, die durch diese Datierungen erfaßten Ereignisse erstrecken

sich ja doch über einen längeren Zeitraum. Auch die Vorläufer, die Intrusionen der sibirischen Tafel, reichen zurück auf 253 Mio. Jahre. Dieses Ereignis ist höchst spannend, weil es eben von diesen großen magmatischen Prozessen gesteuert wird mit den ganzen Rückkoppelungen, die dann diesen ganzen Kreislauf in Gang setzten, Hebungsgeschichte, möglicherweise vulkanischer Winter, plötzlicher Fall des Ozeanspiegels usw. Da haben wir noch lange zu diesem Ereignis spitzfindig zu modellieren und zu diskutieren.

HACKENBERG: Ich hätte noch eine Frage: haben Sie auch genaue neuere Daten bezüglich der Karroo- und der Columbia-Basalte?

FRANK: Die gibt es ganz sicher, aber ich habe sie nicht handgerecht parat.

SCHÖNLAUB: 190 Mio. plus minus 5 Mio. für die Karroo-Basalte

SCHÖPFER: Welche Erfahrungen haben Sie gemacht mit ..unverständlich.. Das ist im Nördlinger Ries gemacht worden und hat ziemlich gut geklappt. Mit den anderen Methoden wurden diese Ergebnisse nicht erreicht..

FRANK: Ich würde sagen, wenn die Dinge oberflächennah erhalten sind und nicht überprägt sind, ist das eine sehr gute Methode, weil es eben ein Vorteil ist, daß man zahlreiche geeignete Objekte finden kann. Im Nördlinger Ries haben wir kaum präzise Zirkoneubildungsmöglichkeiten. Es gibt die unterschiedlichsten Methoden und für diese kleineren Ereignisse ist das eine ausgezeichnete Technik aber sie wird mit Schwierigkeiten behaftet sein, wenn Sie diese etwa im Vredefort anwenden, Dort sind zahlreiche spätere thermische Prägungen aufgetreten sind und da braucht man Chronometer, die thermisch stabiler sind. Das ist ein Grundprinzip der Geochronologie vorher sehr gut zu überlegen, was die geeignetste Methode ist. Es ist unsinnig, Dinge anzupacken, für die man nicht die richtige Methode hat, das ist verlorener Aufwand, dann kommt der Nächste, der hat die richtige Methode zur Verfügung und macht es richtig. Alles andere kann man vergessen.

DEMME: Welche Argumente gibt es, die Flutbasalte auch nur entfernt mit Impaktereignissen zusammenzubringen? Gibt es da Möglichkeiten der Altersdatierung? Du hast ja eigentlich mehr Argumente für die längerfristige Abfolge durchblicken lassen als für so ein doch relativ plötzliches Ereignis. Ich glaube, das kann man doch völlig von Impakten...unverständlich... Du hast das allerdings ein paar mal erwähnt, und es ist nur die Frage, welche Argumente es gibt.

FRANK: Ich bin auf dieses Thema nicht so eingearbeitet; im Grunde genommen müssen wir die Flutbasalte als selbständige Ereignisse, als normale Lebensäußerung unseres Erdmantels auffassen, die in größeren Zeitabschnitten immer wieder auftreten. Das passiert eben, und vor allem passiert es offensichtlich unter langfristig abgeschlossenen Mantelbereichen, unter großen Kontinenten, daß mit dem ersten Rifting so ein sehr massives Ereignis verbunden ist. Ich habe es nur deshalb diskutiert, oder darauf hingewiesen, weil ja Flutbasalte auch als ein ursächliches Ereignis für die grundlegenden Prozesse an der Kreide-Tertiär-Grenze herangezogen worden sind ehe man die schlüssigen Argumente für einen Impakt gehört hat.

Im Prinzip müßten wir sie als unabhängig betrachten. man kann darüber vielleicht philosophieren, und die Physiker können sich vielleicht überlegen, wenn schon ein Flutbasalterguß begonnen hat, inwieweit kann diese Schockwirkung noch weiter unterstützend gewesen sein, so daß es plötzlich sehr massiv ausgebrochen ist. Dazu kann ich nicht Stellung nehmen.

ZANKL: Darf ich noch kurz dazu etwas erwähnen: Wir wissen ja vom Mond, daß die im Mare Imbrium aufgeschlossenen Basalte in einer Ausdehnung, die noch größer als die sibirischen Flutbasalte sind, mit Meteoriteneinschlägen in Verbindung gebracht werden, die haben zu diesen gewaltigen Flutergüssen der Basalte geführt. Da sollten wir in der Frühgeschichte der Erde sicherlich mit solchen Ereignissen rechnen, wie wir sie dokumentiert haben, daß sie über 4 Milliarden Jahren hier tatsächlich so abgelaufen sind. Nicht später,

ich würde sagen vor dem Paläozoikum, keinesfalls mehr in der Trias, aber in der Frühgeschichte der Erde müssen wir damit rechnen.

UNBEKANNT: Was wir jetzt demonstriert haben, war im wesentlichen, daß der Meßfehler durch immer präzisere Meßtechniken immer kleiner geworden ist. Wenn ich an der Kreide-Tertiär-Grenze Werte von 63,4 Mio. Jahre habe, kann man dann sagen, wenn ein anderer Wert 63,6 plus minus 0,1 ist, ist, dann das wirklich etwas anderes oder täuscht dies eine Präzision vor, die eigentlich nur eine Meßgerätepräzision ist?

FRANK: Das ist schwierig zu beantworten und muß im einzelnen geprüft werden, an sich ist es möglich. Ich persönlich habe keine sehr konservative Einstellung und ich kann zahllose Arbeiten nennen und demonstrieren, daß die Leute eben aus Umständen ihre Fehler möglichst klein gehalten haben. Das täuscht etwas vor, was überhaupt nicht reproduzierbar ist. Allgemein gesagt, können Sie innerhalb von relativen Fehlern von 1% routinemäßig arbeiten. Ein sehr gutes Labor kann sich stolz fühlen, wenn es Daten produziert mit einem 1/2% - Fehler. Unter das kommen sie nicht, weil z.B. jeder erfahrene Massenspektrometri-

ker wird ihnen zugeben, alleine der Monitor, an dem alle ihre Daten hängen, hat einen Fehler von 1/2%, das können sie schwer unterscheiden und kaum unterschreiten, aber um das zu tun, müßten sie einen Riesenaufwand treiben. Im Grunde will ich transportieren, seien Sie kritisch diesen Dingen gegenüber, glauben sie nicht die 2.Stelle hinter dem Komma, die ist ein Blödsinn. Es ist vernünftig auf eine Stelle hinter dem Komma zu taktieren, aber genauer geht es in der Frühgeschichte nicht.

Alle diese Fragen sind nur auf den Einzelfall bezogen zu beantworten. Es gibt keine absolute Fehlergrenze für eine bestimmte Datierung. Es gehen sehr viele Größen ein. Wenn ich z.B. sehr junge Sachen datiere, etwa mit Argonuntersuchungen, dann kommt unter Umständen nur 1% des Gases aus dem Mineral und 99% meines Gases kommen aus der Luft. Welche Zusammensetzung ich hier habe, welche Einflüsse ich habe, daß kann ich nicht mehr präzise kontrollieren, es gibt keine ganz allgemeine Antwort. Was ich versucht habe ist eine Durchschnittsbeantwortung.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. Wolfgang DEMMER
Rosengasse 12
A - 2103 Bisamberg

Michael HACKENBERG
Bergbaumuseum Enzenreith
A - 2640 Gloggnitz

Paul HERBST
Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg

Dr. Georg RIEHL - H
Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf

Univ.Prof. Dir. Dr. H.P. SCHÖNLAUB
Geologische Bundesanstalt
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien

Martin SCHÖPFER
Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg

Univ.Prof. Dr. H. ZANKL
Philipps-Universität Marburg/Lahn
Hans Meerwein Straße
D - 35032 Marburg/Lahn

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren
Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

H. P. SCHÖNLAUB



Anmerkung der Redaktion:

Da das Originalmanuskript der Langfassung zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht vorgelegen ist, findet hier die beim Vortrag aufgelegte Kurzfassung Verwendung

Anschrift des Verfassers:

*Dir. Dr. Hans Peter SCHÖNLAUB
Geologische Bundesanstalt*

*Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien*

Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

H. P. SCHÖNLAUB

Naturkatastrophen können sich in der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Lithosphäre und in der Biosphäre ereignen und sehr unterschiedliche Dimensionen haben. Denken wir etwa an Vulkanausbrüche, die hunderte, ja tausende Kubikkilometer Magma freisetzen können, ganz abgesehen von der Förderung von Giftgasen wie CO₂, SO₂, H₂S, und NO_x.

So wurden z.B. in der Parana-Basaltprovinz am Beginn der Öffnung des Südatlantiks rund 800.000 m³ Basalt und Rhyolith gefördert; die für den Ausbruch des Toba in Indonesien vor 75.000 Jahren hochgerechnete Menge von Schwefelsäure beträgt zwischen 900 Millionen und 5 Md. Tonnen.

Weitere Beispiele von Naturkatastrophen betreffen im weiteren Sinn Klimaereignisse und im Zusammenhang mit Erdbeben stehende katastrophale Ereignisse, wie z.B. Tsunamis, Bergstürze oder andere Massenumlagerungen. So werden z.B. untermeerische Schlammströme bis 200 km lang und erreichen ein Volumen von über 5000 km³.

Umweltkatastrophen haben und hatten aber auch ihre Auswirkungen auf die Lebewelt des Planeten Erde. Bereits im vorigen Jahrhundert haben Paläontologen erkannt, daß zu verschiedenen Zeiten plötzlich und massenhaft Arten verschwunden sind. Die größten Massensterben charakterisieren jene Übergänge der Erdgeschichte, nach denen der geologische Kalender unterteilt wird. Bis vor rund zwei Jahrzehnten hielt man diese Einschnitte nur für Phasen verlangsamter und anschließend verstärkter Evolution, die durch den Konkurrenzkampf unter den Organismen verursacht worden war.

Die von der sogenannten ALVAREZ - Hypothese ausgehende neue Situation regte ab etwa 1980 dazu an, sich erneut näher mit den

damals bekannten großen Massensterben zu beschäftigen. Die Fragen drehten sich einerseits um Ursache, Zeitpunkt und Umfang, andererseits aber um Gemeinsamkeiten und allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten, die diesen Ereignissen zugrunde lagen. Die Schlußfolgerungen daraus ließen sich womöglich auch für die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der Erde heranziehen.

Aus dem Phanerozoikum kennt man "Fünf Große" Massensterben:

- am Ende des Ordoviz
- im späten Devon
- am Ende des Perms
- am Ende der Trias
- am Ende der Kreide

Das Massensterben aus dem Oberdevon unterscheidet sich insofern von den übrigen, als dieses Ereignis nicht am Ende des Devons, sondern innerhalb des Oberdevons und zwar zwischen Frasn- und Famenne-Stufen stattfand.

In den vergangenen vier bis fünf Jahren ist zu dieser Liste noch ein weiteres Massensterben hinzugekommen, allerdings im ausgehenden Proterozoikum vor rund 600 Millionen Jahren. Ich werde es hier kurz beleuchten, das dieses Ereignis für das Leben auf der Erde von entscheidender Bedeutung zu sein scheint.

*

Über 2 Milliarden Jahre lang war das frühe Leben auf der Erde von einzelligen Prokaryonten ohne Zellkern geprägt. Der entscheidende Schritt zu planktonischen Algen und dem Erscheinen von Eucaryonten, also Einzellern mit Zellkern vollzog sich vor rund 1800 Millionen Jahren. Doch auch in den folgenden 800 Millionen Jahren machte die Evolution keine großen Fortschritte.

Dies änderte sich jedoch vor rund 1 Milliarde Jahren: Plötzlich erschienen mehr und mehr Arten, auch mehrzellige Algen, die zudem nur relativ kurze Zeit lebten. Molekularbiologen glauben heute den Grund dafür zu kennen und nehmen an, daß es damals zu einer fundamentalen genetischen Innovation kam: sexuelle Zellteilung und Vermehrung. Damit vervielfachten sich die genetischen Kombinationsmöglichkeiten.

Was war die Ursache für diesen Evolutionschritt? War es die Umwelt, Stress infolge des Selektionsdrucks, waren es Umweltfaktoren oder vielleicht die Verschmelzung einzelner Kontinentalplatten zu Superkontinent Rodinia? Wir wissen es nicht.

Fest steht, daß in der Folge dieses Ereignisses, allerdings erst 400 Millionen Jahre später, d.h. vor rund 600 Millionen Jahren das erste Massensterben in der Geschichte der Erde zu beobachten ist.

Zu dieser Zeit wurde der Anstieg der Diversität der planktonischen Algen zu den hohen Werten im Kambrium jäh unterbrochen. Es kam zu einem Kollaps, der sich im Verschwinden von rund 75% aller Algen manifestierte. In auffälliger Weise fällt dieses Massensterben mit der Varanger-Eiszeit zusammen. Zur Zeit läßt sich nur spekulieren, ob zwischen diesen beiden Ereignissen ein kausaler Zusammenhang besteht.

*

Eines der großen Rätsel in der Geschichte des Lebens ist die sogenannte "kambrische Explosion". Mit dem Beginn des Kambriums vor 540 Millionen Jahren trat zwar bereits eine Vielzahl hartschaliger kleiner Organismen als Kennzeichnung von Biomineralisation auf, doch erst vor rund 530 Millionen Jahren setzten mit einer Ausnahme schlagartig alle späteren Tierstämme ein.-Es kam zu einem verstärkten Evolutionsschub. Das ungewöhnliche daran ist, daß er innerhalb von nur 5-10 Millionen Jahren erfolgte.

In den vergangenen beiden Jahren wurde wiederholt versucht, diese zweistufige Evolution zu erklären und Beweise dafür vorzulegen. Sie reichen von einer veränderten

Zusammensetzung der Atmosphäre über Plattenreorganisation bis hin zu physiologischen Veränderungen der Tierwelt selbst. Nach dem letzten Stand der Untersuchungen muß für das ausgehende Präkambrium eine Kaltzeit angenommen werden, während im Kambrium in niederen Breiten ein ausgeprägtes Treibhausklima herrschte. Die Zeitenwende selbst sollen Evaporite, Phosphorite und ungewöhnliche Anomalien im Kohlenstoff-Isotopenverhältnis ^{13}C zu ^{12}C . charakterisieren.. Als Hinweis auf eine primär hohe Produktion von Biomasse, Eutrophierung sowie Entzug von Kohlendioxid aus der Atmosphäre bei gleichzeitigem Anstieg des O-Gehaltes wird das positive Signal des C-Isotopenverhältnisses an der Präkambrium/Kambrium - Grenze gewertet, das allerdings im Verlaufe des Unterkambriums in die andere Richtung ausschlägt und vermutlich Treibhausbedingungen anzeigt.

*

Wenn wir diese Kurve mit der Verteilung der stabilen Kohlenstoff-Isotopen-Verhältnisse an der Perm/Trias - Grenze vor 251 Millionen Jahren vergleichen, so hat es den Anschein, als ob zwischen beiden ein spiegelbildliches Verhältnis besteht. Ich setze voraus, daß allgemein bekannt ist, daß an der Wende zum Paläozoikum zum Mesozoikum der markanteste Einschnitt in der Entwicklung der Lebewelt des Planeten Erde auftritt. Man hat errechnet, daß damals über 90% aller im Meer lebender Arten zugrunde ging, aber ebenso stark die Landflora betroffen war. Ob dieses Ereignis schlagartig hereinbrach oder sich über einen längeren Zeitraum hinzog, war freilich lange Zeit genauso umstritten wie die Ursache.

Nach einer kürzlich publizierten Analyse soll es am Ende des Perm innerhalb von 5 Mio. Jahren zu zwei Massensterben gekommen sein. Eine wenige Tage alte Spekulation des Astrophysikers David N. Schramm vertritt die Vorstellung, daß dieses Massensterben auf die Explosion eines Riesensterns, eine Supernova, zurückginge. Die Strahlenemission hätte die schützende Ozonschicht der Erde so schwer geschädigt, daß fast alles Leben vernichtet wurde.

Weitere Annahmen sind:

klimatische Ursachen
Meeresvergiftung
Salinitätsänderungen
Vulkanismus
Asteroidenimpakt
Verschmelzung von Kontinentalplatten
Regression

Die Ergebnisse, die eine Arbeitsgruppe unter meiner Leitung und der eines Kollegen aus den USA in den vergangenen Jahren im Rahmen eines wissenschaftlichen Bohrprogrammes am Naßfeld in Kärnten erzielt haben, weisen in eine andere Richtung: Wir vermuten, daß am Ende des Perms die Produktivität in den Ozeanen stark abnahm und gleichzeitig der CO₂-Partialdruck in der Atmosphäre anstieg. Dies bewirkte zeitweise ein Treibhausklima. Außerdem erkennen wir im Kurvenverlauf ein mehrmaliges Oszillieren, was anscheinend heißt, daß die Ökokrise länger dauerte: wir meinen rund 3 Millionen Jahre.

Der nur aus den Südalpen bekannte Kurvenverlauf scheint sich im Bükk-Gebirge von Nordungarn zu wiederholen.

Was aber war nun tatsächlich die Ursache für das Massensterben vor 251 Millionen Jahren?

Die meisten damit befaßten Wissenschaftler tendieren heute dahin, daß nicht ein Ereignis allein, wie beispielsweise an der K/T-Grenze, als Verursacher in Frage kommt, sondern eine ganze Kette und ein Zusammenwirken von für die Lebewelt ungünstigen Umständen.

1. Das begann mit dem Verlust vieler Lebensräume in der Folge einer globalen Regression.
2. Auf der Großerde Pangäa stellte sich ein instabiles Klima ein.
3. Diese Instabilität wurde verstärkt durch einen örtlich intensiven Vulkanismus (Sibirien, China) mit starkem Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre und entsprechender Erwärmung, die die Toleranzgrenzen vieler Organismengruppen im Meer und am Land überstieg - es kam zum ökologischen Kollaps.

4. Es fehlt jeglicher gesicherter Hinweis auf eine extraterrestrische Komponente, die zu dem Massensterben beitrug.

*

Etwas klarer sind die heutigen Vorstellungen über das Massensterben vor rund 440 Millionen Jahren am Ende des Ordoviz.

Die wichtigste neue Erkenntnis liegt darin, daß dieses Ereignis ganz im Zeichen einer großen, aber relativ kurzfristigen Vereisung steht. Aller Wahrscheinlichkeit nach dauerte sie nicht länger als 500.000 bis 1 Million Jahre.

Bemerkenswert ist auch hier eine auffallende Fluktuation, sowohl was das Verhältnis der stabilen Kohlenstoff-Isotopen betrifft, als auch das Sauerstoff-Isotopen-Verhältnis. Beide Kurven verlaufen völlig synchron. Sie spiegeln zu Beginn eine verstärkte Produktivität und einen Entzug des leichteren C-Isotops ¹²C aus dem organischen C.Pool wieder, was zur Folge hatte, daß der CO₂-Partialdruck im Ozean und in der Atmosphäre sank und sich gleichsam ein "inverses" Treibhausklima, d.h. eine Vereisung einstellte. Dieses Geschehen fällt mit einer ersten Aussterbewelle zusammen. Kurz danach zeigen beide Kurven die entgegengesetzte Tendenz. Es wird angenommen, daß dieses Signal das Ende der Vereisungsperiode widerspiegelt, ebenso aber auch ein Hinweis auf verminderte Produktion von Biomasse ist. Dies dürfte die Ursache für ein weiteres Massensterben knapp vor Ende des Ordoviz gewesen sein.

*

Für das Massensterben im Oberdevon wurde bereits 1970 ein Zusammenhang mit einem Asteroideneinschlag vermutet - 10 Jahre bevor Luis Walter ALVAREZ und sein Sohn das gleiche Szenario für die Kreide/Tertiär-Grenze mit ersten Evidenzen zu beweisen suchten.

Für beide Ereignisse gibt es auch in Österreich verschiedene Zeugnisse. Das große Sterben im Oberdevon weicht insofern von den übrigen ab, als es nicht am Ende des Devons, sondern zwischen den Frasn- und Famenne-Stufen innerhalb des Oberdevons stattfand. Es war in der Tat ein großes Sterben, denn damals

gingen zwischen 75% und 82% aller Arten und über die Hälfte aller Gattungen zugrunde.

Zur Eigenart dieses Sterbens gehört, daß es nicht über Nacht kam, sondern sich in mehreren Schüben über eine Zeit von 3 Millionen Jahre verteilte.

In einer ersten Ökoanalyse wurde zwar eine globale Temperaturabnahme als Ursache für das Aussterben gesehen, doch paßte in dieses Bild nicht die Vorstellung eines Killerasteroiden, dessen Nachwehen über solange Zeit wirksam gewesen sein sollten. Man verfiel daher auf die Idee von multiplen Impakten, wofür sogar konkrete Hinweise vorhanden schienen, u.a. in Form von Kratern und schließlich durch zwei Mikrotektitlagen, die 1992 in Belgien bzw. in China gefunden werden konnten. Die belgischen Mikrotektite sollen vom 52 km großen Siljan-Krater in Schweden stammen, die rund 15 Millionen Jahre jüngeren in China von einer rund 70km großen Struktur.

Nach den bisherigen geochemischen Untersuchungen der Grenzschichten fehlen leider bisher eindeutige Indizien, die für ein kosmisches Ereignis als Ursache für dieses Massensterben sprechen. Das gilt vor allem für Meldungen über Iridium, dessen geringe Mengen auf biologische Aktivitäten zurückgehen.

Die stabilen Isotopendaten zeigen an vielen Stellen, so auch in den Karnischen Alpen, auffallende positive und negative Anomalien; ähnliche Signale wurden auch für Sauerstoff und Schwefel beobachtet. Diese Werte sind jedoch schwer interpretierbar, könnten aber als

Hinweis auf globale Klimaänderungen und Meeresspiegelschwankungen gewertet werden. Eine allgemein überzeugende Erklärung für dieses Massensterben steht aber noch aus.

Devon/Karbon-Grenze ("Grüne Schneid"): Beispiel für ein zweitrangiges Massensterben.

Trias/Jura-Grenze:

Bisher ohne ungewöhnliche geochemische Anomalien

*

In den vergangenen Jahren ist wiederholt die Frage nach der oder den Ursachen für die kurz skizzierten Massensterben gestellt worden. Sieht man vom Geschehen an der K/T-Grenze ab, so gab es bisher keine befriedigenden Antworten.

Welche Bedeutung kommt den verschiedenen biologischen, chemischen oder physikalischen Signaturen zu, die für das eine oder andere Ereignis das charakteristische Merkmal sind und als Indiz für dieses oder jenes Szenario vorgebracht wird.? Oder laufen alle Katastrophen unter der gleichen Regie ab?

Mit wenigen Ausnahmen konnte bisher kein direkter physikalischer oder chemischer Zusammenhang zwischen Massensterben und Impakten hergestellt werden.

Die Annahme scheint berechtigt, daß erst die Verkettung von Einzeleinwirkungen eine Gefahrensituation bewirkt, d.h. ein Impuls den nächsten auslöst und es daher zu wechselseitigen Verstärkungen im Sinne positiver Regelkreise kommt, die letztendlich in einer Katastrophe münden.

DISKUSSION :

Wesentliche Events der Erdgeschichte und deren Auswirkungen - Zusammenfassung und Ausblick

KALLENBACH: Vielen Dank für Ihre Ausführungen, und Sie haben gezeigt, daß, auch wenn es heute modern ist, nicht nur Impakte für das Aussterben von Arten verantwortlich gemacht werden können, sondern daß es auch eine Reihe irdischer Ereignisse dafür gibt.

SCHÖPFER: Ist es denkbar, daß es Impakte gibt, die keine Iridiumanomalie hinterlassen?

KURAT: Das ist natürlich möglich, wenn der extraterrestrische Körper kein oder sehr wenig Iridium hat, nur, die Hauptmasse hat es.

SCHÖNLAUB: Es gibt auf der Erde rund 150 Impaktkrater und viele davon sind mehr oder weniger gut, einige sehr präzise zeitlich eingeordnet. Diese Impakte haben nicht alle in einer Katastrophe gemündet, man muß sie sehr differenziert betrachten.

Wenn ein Krater bis etwa zur Größe des Rieskraters entstanden ist, dann wird keine größere Katastrophe verursacht worden sein, das war ein lokal begrenztes Ereignis. Das andere Extrem ist Chixculub, aber hier war die entscheidende Frage, wie war der Untergrund, auf welche Sedimente ist der Impaktor geprallt, die so große Mengen Schwefelsäure freigeben konnten. Wir müssen die Krater betrachten, die dazwischen liegen, die können unter Umständen mit selektiven Massensterben in Zusammenhang stehen.

Wenn Sie einen Krater mit 3,8 km Ø haben, wackelte zwar die Umgebung ein bißchen, aber auf die Lebenswelt hatte das keinen Einfluß. Anders ist das im Oberen Eozän, da haben Sie Krater mit 90 - 100 km Ø, und wir wissen, daß es hier tatsächlich zu einem signifikanten Wechsel in der Organismenwelt gekommen ist.

Weitere Krater, die für ein größeres Massensterben in Frage kommen, liegen im Campan/Cenoman mit 35/65/25 km Ø, an der Grenze

Abt/Alb in Canada mit 39 km Ø, dann einer mit 55 km Ø aus dem Jura. Im Jura kennen wir tatsächlich Massensterben, aber die waren zweit- bis dritrangig, nicht vergleichbar.

SCHÖPFER: Zur Perm/Trias-Grenze: Es gibt Iridiumanomalien in den Karnischen Alpen, kurz vor der Grenze zwei Anomalien, auf die Sie nicht eingegangen sind.

SCHÖNLAUB: Diese Anomalien gibt es, sie haben ungefähr die vierfachen Werte des normalen Hintergrundwertes von 20 - 80 ppt Iridium. Auffallend ist, daß diese Anreicherungen mit einem Schieferhorizont zusammenfallen, und wir nehmen an, daß es hier zu einer bakteriellen Beteiligung gekommen ist. Man findet so etwas häufig in kohlenstoffreichen Sedimenten, das muß nicht mit einem Impakt zusammenhängen. Da andere kosmische Evidenzen auch fehlen, glauben wir nicht an einen Impakt, allerdings ist er nicht gänzlich auszuschließen.

HERBST: Was die Salinität angeht...*unverständlich*...Haselgebirge. Inwiefern hat das das Leben im Meer beeinflusst?

SCHÖNLAUB: Wenn es zu solchen Evaporiten kommt, haben Sie ohnedies nur sehr wenige Organismen, die in diesem Milieu gelebt haben. Es war sehr sehr heiß am Ende des Perms und man findet verstärkt Eindampfungsgesteine. Unter solchen Extrembedingungen finden Sie beispielsweise keine Ammoniten, Sie finden sie nicht im obersten Perm, sondern erst, wenn die Salinität wieder einigermaßen normal ist, etwa ab der Mitteltrias.

HERBST: Wenn man einen Superkontinent nimmt wie Pangäa, dann sind die Schelfbereiche verglichen mit der heutigen Kontinentverteilung um einiges kleiner, und damit auch der

Bereich, in dem es zur Riffbildung kommen kann.

SCHÖNLAUB: Zu dieser Zeit, an der Perm-/Triasgrenze, gab es auch keine Riffe, die erscheinen erst wieder etwas später.

HACKENBERG: Ich möchte nur darauf hinweisen, daß es für Massensterben nicht unbedingt dramatischer Ereignisse bedarf, weder Impakte noch Flutbasalte sind dafür erforderlich. Wir erleben gerade eben ein anthropogen bedingtes Massensterben.

SCHÖNLAUB: Ja, das stimmt, aber das Aussterben des Menschen ist keine Katastrophe.

HACKENBERG: Ich meine nicht den Menschen, sondern die tägliche Aussterberate von etwa 50 Arten, vor allem in den Tropen, und das - vermutliche - Aussterben aller Amphibien, mit dem übrigens der Mensch nicht unbedingt etwas zu tun haben muß.

SCHÖNLAUB: Ja, die Schätzungen liegen zwischen 41 und 72 Arten pro Tag. Wenn man das auf eine Million Jahre hochrechnet, dann kann man schätzen, in wie wenigen Jahren die Organismen ausgestorben sein werden. Ich glaube, daß hier mehr die Populationen betroffen sind.

LAUER: Wenn es richtig ist, daß trotz aller Bedenken und Einschränkungen die KT-Grenze jetzt doch allgemein als ein Impaktereignis anerkannt ist, gibt es eine Erklärung dafür, warum zwei verschiedene Lebensformen, beide Plankton, beide marin, beide

mit Kalkschalenskelett, zu verschiedenen Zeiten aus den Profilen verschwinden?

RIEHL-H.: Ich glaube, daß wir diese Frage in der Kürze der heutigen Zeit nicht mehr lösen werden. Die Übergabe des Weines des Vortragenden möchte ich noch für eine kurze Anschlußfrage mißbrauchen, wie stehst Du zur Position der Quarzporphyre? Im gesamten mitteleuropäischen Raum an der Ordovic/Silur-Grenze haben wir überall einen ganz charakteristischen Vulkanismus, wie wir ihn rezent nicht kennen. Wie erklärt man das heute? Das zweite Vorkommen, ebenfalls zeitlich sehr eng begrenzt und europaweit verbreitet, ist der Bozener Quarzporphyr und die entsprechenden primären und sekundären Marken an der Wende vom Paläozoikum zum Mesozoikum.

SCHÖNLAUB: Ich habe versucht, den Bozener Quarzporphyr, der in den Alpen vehement in Erscheinung tritt, den anderen vulkanischen Ereignissen gegenüberzustellen. Sowohl der Bozener Quarzporphyr als auch der Blasseneckporphyr der Grauwackenzone sind zeitlich relativ genau eingegrenzt. Aber sie waren relativ kleine Ereignisse, was die Mengen betrifft. Wir wissen natürlich nicht, was durch die variszische und alpidische Gebirgsbildung verlorengegangen ist, aber dennoch halte ich diese Ereignisse für relativ unbedeutend für die Lebewelt.

Diskussionsbeiträge von:

Michael HACKENBERG

*Bergbaunuseum Enzenreith
A - 2640 Gloggnitz*

Paul HERBST

*Inst. f. Geologie, Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg*

Univ.Prof. Dr. Heinz KALLENBACH

*Am Sandwerder 42a
D - 14109 Berlin 39*

Univ.Prof. Dr. Gero KURAT

*Naturhistorisches Museum Wien
Burgring 7
A - 1010 Wien*

Dr. G. LAUER

*Erndtgasse /
A - 1180 Wien*

Dr. Georg RIEHL - H

*Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf*

Dir. Dr. Hans Peter SCHÖNLAUB

*Geologische Bundesanstalt
Rasumofskygasse 23
A - 1030 Wien*

Martin SCHÖPFER

*Inst. f. Geologie, Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
5020 Salzburg*

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Impakte (kosmische Einschläge) -
ihre Auswirkungen auf die Erde und das Leben

A. TOLLMANN



Payerbach,
4. Dezember 1997

INHALT

Summary	89
Zusammenfassung	89
1. Bedeutung der Impakte	90
2. Die Impaktoren	92
3. Häufigkeit und Nachweis von Einschlägen	92
4. Spektakuläre Impakte	97
5. Gegenmaßnahmen	105
6. Literatur	106

Anschrift des Verfassers:

*Univ. Prof. Dr. Alexander TOLLMANN
Inst. f. Geologie, Universität Wien
Althanstrasse 14
A - 1090 Wien*

Barbara-Gespräche Payerbach 1997	Band 4	"Events und Evolution" "Karsthydrologie und Wasserhaushalt"	Seite 87- 108 Abb. 1	Wien 2000
-------------------------------------	--------	--	-------------------------	-----------

Impakte (kosmische Einschläge) - ihre Auswirkungen auf die Erde und das Leben

A. TOLLMANN

Summary

Impacts and their effects for the earth and for the life

This paper gives insight into the importance of the impacts for the evolution of the earth and the life, today still totally underestimated. Some events caused by impacts are described. A short characterization of the impactors explains their composition, dimension, number, origin and their explosive force released by the burst.

The number of impacts on our planet was absolutely underestimated, still a few years ago. Just now this question can be better answered, because new methods for the calculation have been found. The error in former times was produced by the underestimation of the number of comets and by a wrong assessment of the content of iridium in the fireball layer. The content of iridium is the smaller the bigger the comet and as a result the explosion, because in this case the most part or all of the iridium escapes into space. This is demonstrated by the example of the megaimpact of the Permian/Triassic boundary.

In the Germanspeaking countries it has even been claimed that only the K/T-impact had a global effect. To correct this error, a table is given with more than a dozen megaimpacts with global consequences, proved by craters and/or typical impact symptoms and mass extinctions. Two remarkable impacts are discussed in greater detail, a new one and a second one, the real importance of which has not yet been realized. The first is the oldest and the biggest terrestrial crater, namely the Hudson bay crater from the 2,5 milliarde years old Archaic/Proterozoic boundary, nearly 550 km large, with an origin like the "maria" of the moon. In the analysis of the other event, the Flood impact about 9500 years ago, it is pointed out that the numerous eyewitness reports give many indications, which go far beyond the data of the Alvarez impact, because they give information about effects, which cannot be preserved in fossilized documents. The Flood impact is proved by new facts from the Köfels Krater in Tyrol.

Finally the possibility is discussed, to defend the earth against the impacts. In present time there exists, I admit, theoretically this possibility, but the real defence against an impactor on collision course will be possible only in two decades or even only in two centuries. Today we are left unprotected against an impact with our planet - full of 442 nuclear power stations - highly sensitive against impactearthquakes. Even the defence by intercontinental rockets is not possible, because they do not reach the velocity required to overcome the earth gravity to enter space.

Zusammenfassung

Die Studie gibt Einblick in die Bedeutung der Impakte für die Entwicklung der Erde und des Lebens, die heute noch völlig unterschätzt wird. Es werden einige Impakt-bedingte Entwicklungsschritte der Erde skizziert. Eine Kurzcharakteristik der Impaktoren berichtet über deren Zusammensetzung, Größe, Zahl, Herkunft und die von ihnen beim Einschlag entwickelte Sprengkraft an Beispielen.

Die Zahl der kosmischen Einschläge auf der Erde, besonders in der jüngsten Epoche, war bis vor wenigen Jahren absolut unterschätzt worden. Derzeit sieht man da schon klarer, weil neue Berechnungsmethoden gefunden worden sind. Die frühere Unterbewertung kam dadurch zustande, daß man die Kometen unterschätzt hatte und ferner nur nach dem Iridium-Gehalt der Feuerball-Schicht vorging. Dabei wird der Iridium-Gehalt umso kleiner bis zum völligen Verschwinden, je größer der Komet und daher die Explosion und die ins All entweichende Explosions-Fontäne ist; dies wird am Beispiel des P/T- (Perm/Trias-) Megaimpaktes erläutert.

Auch hat man sich in den deutschsprachigen Ländern vielfach bis in die Gegenwart dazu verstiegen, globale Auswirkungen nur dem K/T-Impakt zuzubilligen. Zur Richtigstellung wird eine Tabelle mit über einem Dutzend Großimpakten mit weltweitem Massensterben beigelegt, die durch ihre Krater und/oder durch die typischen Impakt-Auswirkungen bewiesen sind. Zwei besonders bedeutende Impakte werden etwas näher behandelt, da einer bisher überhaupt nicht erfaßt wurde, der andere noch kaum ins Bewußtsein gedrungen ist: Bei ersterem handelt es sich um den etwa zweieinhalb Milliarden Jahre alten Hudsonbay-Impakt, dessen Krater mit einem ursprünglichen Durchmesser von rund 550 km den bisher ältesten und zugleich größten irdischen Krater vom Typus der Mond-Maria darstellt. Vom zweiten, dem vor ungefähr neuneinhalbtausend Jahren stattgehabten Sintflut-Impakt wird hervorgehoben, daß wir durch die Kenntnis dieses in zahllosen Berichten durch Augenzeugen vom Homo sapiens selbst beschriebenen Ereignisses ein gutes Stück im Wissen um das Impaktgeschehen über die nur geologisch erfaßbaren Daten des Alvarez-Impaktes hinausgekommen sind und nun auch über die Begleitumstände Bescheid wissen, die nicht fossil erhaltungsfähig sind. Zu diesem Impakt wird an Hand stichhältiger alter und ganz neuer Fakten der Beweis geführt, daß der Köfeler Krater in Tirol mit Sicherheit ein Festlands-Impakt eines Fragmentes des Sintflut-Kometen ist.

Abschließend wird auf die Möglichkeit einer strategischen Bekämpfung solcher Einschläge auf der Erde eingegangen. Derzeit existiert zwar die theoretische Möglichkeit zur Ablenkung eines Impaktors auf Kollisionskurs, aber eine praktische erfolgreiche Bekämpfung wird günstigenfalls in zwei Jahrzehnten oder etwa erst in zwei Jahrhunderten möglich sein. Derzeit jedenfalls wären wir einem im Nuklearzeitalter verheerend wirkenden Einschlag trotz der Atomraketen schutzlos ausgeliefert, da nicht einmal die Interkontinentalraketen die nötige Entweichgeschwindigkeit zur Überwindung der irdischen Schwerkraft erreichen können, um in den Weltraum vorzudringen.

1. Bedeutung der Impakte

Impakte bewirken gegenüber allen übrigen Naturprozessen die fundamentalste Umgestaltung der Erde, des Lebens und des Geistes. Ihre Häufigkeit und ihre Bedeutung wurde einst und wird heute - besonders im deutschsprachigen Mitteleuropa - völlig unterschätzt. Die meisten Geologen, mehr noch die Paläontologen und erst recht die Geisteswissenschaftler sind weit entfernt davon, die Tiefe der kosmischen Eingriffe auf unserem Planeten und in unserer Seele zu begreifen.

Kein Wunder: Sie kennen sie nicht aus eigener Anschauung, bis zu Beginn unseres Jahrhun-

derts hatte man keine Spuren ihrer Auswirkung auf der Erde gekannt, hatte die Impaktkrater auf der Erde, den Planeten und Monden sämtlich mißdeutet und stand noch bis zu meiner Studienzeit nach dem Zweiten Weltkrieg ganz unter dem Einfluß von Lyell's Aktualismus, der keine Katastrophen in der Erdgeschichte zuließ und sprach ferner noch unter Rückfall hinter die Antike Mensch, Tier und Pflanze eine Seele ab.

Noch fünf Jahre nach der epochemachenden Erkenntnis von Luis Alvarez im Jahre 1980, der Wesen und Wirkung der Impakte mit Nobelpreisträger-Genialität auf Anhieb bis ins einzelne geklärt hat und damit den nächsten

Schritt nach dem kopernikanischen heliozentrischen Weltbild zum kosmischen Weltbild, zur völligen Abhängigkeit fundamentalen irdischen Geschehens von den Ereignissen im Universum getan hat, wurde er in der New York Times mit bitterem Hohn überschüttet. Und noch heute stellen österreichische Geologen fest, daß sie noch immer keine befriedigenden Antworten auf die plötzlichen weltweiten Massensterben wissen, trotz Alvarez 1980.

So will ich zu Beginn der Ausführungen einige Episoden, die auf Impakten beruhen, in Erinnerung rufen, um die Macht dieser Schläge aus dem All zu verdeutlichen und zugleich die Abhängigkeit des Schicksals der Menschen vom außerirdischen Geschehen:

1. Die Existenz und Bildung der Erde verdankt nicht der Verdichtung von Urnebeln ihre Entstehung, sondern Impakten. Aus der Vereinigung von Planetoiden bildete sich ein Zentrum heraus, das durch Gravitation immer weitere Weltkörper an sich zog und durch diese Akkretion seit 4,6 Miard. Jahren bis heute weiterwuchs. In der ersten Zeit bis 3,8 Miard. Jahre war die Bombardierung gewaltig, dann verlangsamt. Durch einen gewaltigen Treffer im Frühstadium wurden zahlreiche Trümmer der Erde auf eine Umlaufbahn ausgeschleudert, aus denen sich der Mond bildete (G. J. Taylor 1994, S. 29 nach Hartmann & Doris). In der Zeit bis 3,8 Miard. Jahre konnte sich auf der Erde kein Leben bilden, da die gigantischen Einschläge die Erde so stark erhitzen, daß das gesamte Meer wiederholt verdampfte.
2. Der nachmalige Lebensraum auf der Erde vergrößerte sich durch einen gigantischen Impakt eines Mars-großen Planetoiden um 4 Miard. Jahren gewaltig, der die Erdachse um $23\frac{1}{2}^\circ$ gekippt hatte, dadurch die Jahreszeiten bewirkt und hierdurch den Wüstengürtel und die polaren Eiskappen zurückgedrängt hat. Außerdem wurde die Rotation der Erde beschleunigt, woraus ein rascher Tag- und Nachtwechsel und eine beträchtliche Gezeitenwirkung der Ozeane resultiert. Ein noch schwererer Treffer muß den äußersten Planeten Uranus in seiner Frühzeit betroffen haben, sodaß er komplett seitlich verkippt ist.
3. Die Ozeane, dieses Reservoir für die Entwicklung des Lebens, verdanken ebenfalls vorwiegend Impakten ihre Existenz und nicht, wie wir bisher glaubten, juvenilen Wässern, die die Vulkane aushauchen. Diese tragen nur zum Wasservolumen bei: Das Ozeanwasser enthält nämlich ebenso wie das Kometenwasser den schweren Wasserstoff ^2H , Deuterium, allerdings nur halb so viel. Aber juveniles irdisches Wasser ist frei davon. Zu den großen Kometen-Einschlägen kommt nach L. Frank (1986, S 107) jährlich ein Eisbrocken-Regen von Zehn Millionen hausgroßen, bis je 60 t schweren Mikrokometen in der Atmosphäre hinzu.
4. Der Impakt eines 12 km großen Planetoiden an der Kreide/Tertiär-Grenze vor 65 Mio. Jahren ermöglichte durch die schlagartige Ausrottung der Saurier, den langzeitigen Beherrschern der Erde, das Aufkommen der Säugetiere und damit auch der Menschen. Die Säuger waren ja im Mesozoikum auf Kleinformen mit Nachtleben beschränkt und mußten neben den Sauriern ein Schattendasein führen.
5. Die radioaktive Strahlung, die mit jedem Impakt vor sich geht (hohe C 14-Produktion) bewirkt die hohe Mutation in der reduzierten Lebewelt nach dem Einschlag, sodaß die rasche Entwicklung ("Strahlung") neuer Arten den frei gewordenen Lebensraum bald wieder ausfüllt.
6. Möglicherweise sind Kometen auch Lebensbringer (Bakterien, Viren), wenn man die erst seit kurzem bekannte Lebenskraft von Bakterien berücksichtigt: Bis zu 350°C ertragen sie in den "Schwarzen Rauchern" an den Nähten der Erdkruste am Meeresboden; die Kälte des Weltraums, den Mangel an Sauerstoff und die hohe Strahlung haben irdische Bakterien, auf den Mond verschleppt, zwei Jahre überstanden, als die Seismographen und ihre Kabel zur Erde zurückgeholt wurden. Dutzende bis Hunderte Jahrmillionen können sie in Form von Dauersporen überleben, eingeschlossen

im Bernstein oder in Lagerstättenwässern. Dadurch denken manche Forscher wohl zurecht, daß Kometen nicht nur Lebensvernichter, sondern vielleicht auch Lebensbringer im Universum sind - teils mit Dauerformen im Eis, teils möglicherweise sogar in flüssigem Wasser im Inneren von Riesenkometen, das nach der Meinung von Sir Fred Hoyle durch die radioaktive Aufheizung durch Gesteinsanteile im Inneren von Großkometen denkbar wäre.

7. Die Gottesidee, die Religionen und das Nachdenken über ein Weltbild hat nachweislich der Sintflut-Impakt vor 9.500 J. gebracht (s.u.). Das Wissen um die Großzyklen in der Menschheitsentwicklung, symbolisiert durch das "Weltenjahr" (~10.000 Jahre) der Antike zwischen zwei Impakt-bedingten Sintfluten, ist jüngst im Sinne von A. & E. Tollmann (1993, S. 126, S. 409) durch G. Verschuur (1996, S. 162) auf Grund von Neuberechnungen durch G. Jeffrey Taylor aus den 5000 über 5 km großen Krater am Mond seit 600 Mio. Jahren abgeleitet worden, was bei Umlegung auf die Erde die 20 fache Zahl angesichts ihrer Größe ergibt und damit bei Meerestreffern eine Sintflut alle 10.000 Jahre im Durchschnitt nach G. Verschuur (1998, S. 166 f.) und nach J. S. Lewis (1997, S. 252) bewirkt: Alle 8.000 - 10.000 Jahre erfolgen solche, bei Meerestreffern sintfluterregende Einschläge von Impaktoren von einer Gigatonne TNT Sprengkraft oder mehr - sodaß Lewis, ohne unsere Arbeit zu kennen, dort automatisch an die Flutepen von Gilgamesch, Noah etc. erinnert wird.

Und daß die Entstehung des Gottesbegriffs auf ein Impakt-Erlebnis zurückzuführen ist, da ein Dämon, ein Gott, als Verursacher angenommen wurde, hat schon Sir Fred Hoyle (1993, S. 47 ff.) nur ein Jahr nach unserer (1992, S. 53) Erkenntnis über die Entstehung des Gottesbegriffs und der Religion ohne Kenntnis unserer Arbeit auch eingehend begründet.

Jüngst ist diese Theorie vom Beginn des Dämonen/Götter-Kultes sogar schon durch

die Archäologie durch Funde des ältesten Heiligtums der Menschheit mit "Skulpturen von löwen- und drachenartigen Fabelwesen mit fletschenden Zähnen" in Göbekli Tepe in Anatolien aus der vorhergesagten Zeit vor rund zehn Jahrtausenden bestätigt worden (Geo 1996, S. 163).

8. Die Weltraumforschung, besonders durch die NASA, ist seit dem auf Alvarez zurückgehenden Wissen um die Impakte mächtig stimuliert und seit der Erfassung einer Unmenge von Impaktoren auf Erdbahnkreuzendem Kurs besonders durch Eugene Shoemaker und durch die Berechnungen der Gefährdung der Erde gewaltig beschleunigt worden. Das Wissen um den Impakt des ursprünglich 10 km großen und zuletzt in 21 Fragmente zerfallenen Kometen Shoemaker-Levy 9 auf dem Jupiter im Jahr 1994 hat sogar den Weltraumausschuß des US-Repräsentantenhauses so sehr aufgeschreckt, daß er sofort einen Gesetzesentwurf einbrachte, durch den die NASA verpflichtet wurde, alle gefährlichen Impaktoren bis zum Jahr 2005 zu erfassen (C. Sagan 1994, S. 329).

Aber nicht nur wegen der Abwehr solcher Impaktoren studiert man die Asteroiden, die Amerikaner denken sogar schon an eine - allerdings in weiter Ferne liegende - äußerst gefahrvolle Nutzung von metallischen Asteroiden, die 10% dieser meist nur aus Gestein bestehenden Weltkörper ausmachen. In der Universität Arizona hat man z.B. den 1 km großen erdnahen Asteroid Amun bereits im Detail untersucht und in Dollar umgerechnet: der Metallgehalt an Cobalt, Nickel, Platin und Eisen beträgt 3,5 Billionen \$ (J. S. Lewis 1997, S. 300).

2. Die Impaktoren

Welche Arten von Weltkörpern treffen die Erde oder werden bei einem Nahvorbeiflug durch das universell wirksame Hauptprinzip im All, das an sich Rafften durch die (physikalisch kaum verständliche) Kraft der

Gravitation einverleibt? Hier nur ein ganz kurzer Hinweis zur Charakterisierung der wichtigsten großen Objekte:

- a) Die Planetoiden/Asteroiden bestehen zu 10% aus Metallen, 15% aus silikatischem Gestein und 75% sind kohlenstoffhaltige Typen. Sie stammen entweder aus dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter oder sind ein Endprodukt aus Kometen, die durch häufigen Umlauf um die Sonne ihre flüchtigen Anteile verloren haben. Kleine Objekte - je nach Konsistenz bis um 50 m - explodieren schon bei Aufprall in der dichteren Atmosphäre, größere schlagen bis zur Erde unter Kraterbildung durch. Ab 250 m große Objekte bewirken beim Einschlag im Ozean sintflutartige Überschwemmungen, über 1 km große Asteroiden werden weltweit für die Zivilisation zur Gefahr und fordern bereits ohne Berücksichtigung der Atomkraftwerke 1 Miard. Tote. Der Asteroid, der die Erde zu Ende der Kreidezeit traf, zu einer der großen Erdkatastrophen führte und die Saurier ausrottete, hatte einen Durchmesser von 12 km. Die größten Asteroiden erreichen wie Ceres fast 1000 km. Gefährlich sind für uns vor allem jene Asteroiden, deren Umlaufbahn die Erdbahn kreuzt. Man vermutet 2200 solcher "Erdbahnkreuzer" von mehr als 1 km Durchmesser und 10.000 solcher Objekte von über ½ km Größe. Aber insgesamt wird die Zahl der Asteroiden unter Einbeziehung der erdfernen Objekte in die Millionen gehen. Bisher kennt man die Umlaufbahnen von 6000 Asteroiden. Die Durchschnittsgeschwindigkeit von Planetoiden beträgt 18 km/sek. (vgl. Erdbewegung auf ihrer Bahn 30 km/sek.).
- b) Die Kometen, die vorwiegend aus Wasser- eis mit Brocken von Gestein und Metallen bestehen, weisen eine hohe Geschwindigkeit auf - durchschnittlich 65, maximal 72 km/sek. -, weisen daher eine wesentlich höhere Schadenswirkung auf und sind bei früheren Berechnungen der Einschlagshäufigkeit von Impaktoren weit unterschätzt worden. Während man die elliptischen Bahnen der Kurzzeitkometen (bis 200

Jahre) besser kennt, sind die langperiodischen Kometen mit häufig Umlaufzeiten um 100.000 Jahre weitgehend unbekannt. Auch Kometen können Durchmesser von Hunderten km erreichen.

Ihr Herkunftsgebiet ist in erster Linie die seit längerem bekannte Oort'sche Wolke, die in Kugelform unser Sonnensystem sehr weit außen umhüllt. Sie enthält Trillionen von Kometen. Seit kurzem hat man zunächst theoretisch einen weitaus näheren Eisgürtel, den Kuiper-Gürtel ermittelt, der direkt an die äußersten Planeten Neptun und Pluto anschließt. Ab 1992 konnten seine Eisbrocken mit durchschnittlich 300 km Durchmesser direkt beobachtet werden. Bisher kennt man 40 solcher Eistrümmer ("Plutinos"). Milliarden potentieller Kometen erwartet man aber im Kuiper-Gürtel. Schließlich aber kann unser Sonnensystem die Spiralarme von Galaxien queren, in denen weitere Kometenschwärme angesammelt sind. Diese können dann den Kometenfluß auf lange Zeit beträchtlich erhöhen, was naturgemäß vorher nicht berechenbar ist. Nach Shoemaker queren wir derzeit seit einer Million Jahre einen solchen Schwarm, der die Einschlagsquote bis auf das Dreifache erhöht.

Kometen, die in das Planetensystem gelangen, werden bei einem nahen Vorbeigang am Riesenplanet Jupiter oft in dessen Gravitationsfeld in Trümmer zerlegt, da sie ja ein lockeres Gefüge haben (Dichte kleiner als Wasser) und daher die dem Jupiter näher liegenden Teile stärker angezogen werden. Außerdem trägt ein naher Vorbeiflug in der Hitze der Sonne ("Sonnen-schrammer" nähern sich bis auf halben Sonnendurchmesser!) zur Fragmentierung bei. Das Eintauchen in eine Atmosphäre knapp vor dem Einschlag führt gelegentlich zu einem Zerlegen im letzten Moment, sodaß man dann enge lineare Einschlags-spuren (Krater) von vielen Einzelteilen beobachten kann.

Von Interesse ist noch die Sprengkraft der Impaktoren bei ihrem Einschlag, die an Hand

von einigen Beispielen nach J. Lewis (1997, S.82f., S.282 f.) u.a. verdeutlicht werden soll. Die Sprengkraft eines der größten untersuchten Asteroiden-Einschläge auf der Erde, jenes 12 km großen und über eine Trillion t schweren Brockens, der vor 65 Mio. Jahren in Mexiko niederging, hat in Yukatan einen

300 km breiten Krater ausgeworfen, also der Entfernung Wien-Salzburg entsprechend, und 16 km tief! Es wurde dabei also ein Stück Erdkruste, die einen Gutteil der Ostalpen beträgt, in die Luft gejagt. Dies entspricht der Sprengkraft von 100 Millionen Megatonnen = 100 Teratonnen des Sprengstoffes TNT.

Zum Vergleich ein paar Daten:

Hiroshima-Bombe 6.8.1945:	20 Kilo t TNT	=	20 Tausend t TNT
1. Wasserstoff-Bombe 1.11.1952:	6 Megatonnen	=	6 Mio. t
Arizonakrater 1200 m Ø, 200m tief, 49.000 J. alt:	15 Megatonnen	=	15 Mio. t
Tunguska-Explosion; Sibirien; 7km Höhe, 30.6.1908:	15 Megatonnen	=	15 Mio. t
Größte künstliche Explosion, Nowaja Semlja 1962:	60 Megatonnen	=	60 Mio. t
Impaktoren mit 250 m Ø, Sintfluten alle 8.000 - 10.000 J.:	1 Gigatonne	=	1 Miard. t
Impaktoren mit 1 km Ø, weltweite Killer:	100 Gigatonnen	=	100 Miard. t
Endkreide-Einschlag > 10 km Ø, 65 Mio. J.:	100 Teratonnen	=	100 Billion. t

3. Die Einschläge

Die Häufigkeit der Einschläge wurde bis jüngst mit völlig unzureichenden Methoden ermittelt. Man versuchte, sie aus den bisher über 150 bekannten Erdkratern zu berechnen, die aber nur einen ganz geringen Bruchteil der einst vorhandenen Krater bilden oder aus der Zahl der bekannten erdbahnkreuzenden Planetoiden durch Extrapolierung, ebenfalls absolut unbrauchbar.

Nun wurde eine intelligentere Methode gefunden: Nachdem die Impakt-Krater am Mond alle erhalten sind und Teile des Mondes durch Proben altersdatiert sind, kann man aus der Zahl der Mondkrater bestimmter Größe auf 20x so viele Krater auf der entsprechend größeren Erde schließen. Als zweite Methode läßt sich aus der Zahl und Größe der noch gut erhaltenen Erdkrater aus der jüngsten Zeit, den letzten paar Millionen Jahren, auf die vom Menschen erlebten Einschläge bzw. Sintfluten durch Meerestrefler schließen (E. Versuur 1996, S. 162, S. 167): Dabei ergibt sich im Durchschnitt eine Sintflut-artige Überschwemmung in jeweils etwa 10.000 Jahren - das "Weltenjahr" der Antike.

Uns interessiert natürlich, wieviele Mega-impakte die Erde erlebt hat, die das Leben einschneidend und weltweit gravierend beein-

flußt haben. Zunächst sei die Überlegung angebracht, daß wir durch Alvarez ja nun nach Kenntnis der vielfältigen, gravierenden Auswirkungen eines Impaktes das Mittel haben, das schlagartige kurzfristige Erlöschen riesiger Faunenanteile von 30% der Arten und mehr zu verstehen, das durch kein anderes, irdisches Ereignis in so kurzer Zeit - dokumentiert durch den schmalen Grenzhorizont - zu erklären ist. Es gilt nur, in den entsprechenden Horizonten mit Massensterben konkrete Beweise durch die ja sehr spezifischen Impakt-Auswirkungen nachzuweisen. Ohne hier auf die heute bekannten entsprechenden Signale näher eingehen zu können, sei nur kurz daran erinnert: Kraterbildung mit Shattercones (=Schmetterkegeln), Brekzien mit Aufschmelzungsprodukten, Iridium-Anomalie verbunden mit Elementen der Platin-Metall-Gruppe wie Platin, Osmium, Rhenium, Palladium, Rhodium, Tektite und Mikrotektite, lamellierte Streßminerale, Hochtemperatur-Quarze, charakteristische Nickel-Eisen-Gehalte, nickelreiche Magnesioferrit-Spinelle und eine Änderung des Isotopengehaltes $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$.

Eine besondere Bedeutung unter diesen Kriterien nahm der stark erhöhte Gehalt des Iridiums, dieses siderophilen, an die Metallkerne von Weltkörpern gebundene Element an, das eben auf der Erdoberfläche eine Rarität bildet, während es direkt ein "Leitelement" für metal-

liche oder metallreiche Impaktoren darstellt. In seiner Beurteilung wollten die Gegner der Impakt-Theorie Iridium lange nicht als Impakt-Nachweis gelten lassen, da sie in dem aus großer Tiefe hochkommenden vulkanischen Material auf Hawaii auch Spuren von Iridium fanden - vergaßen aber, das bei Einschlägen auf dem Kosmos auch die ganze Gruppe der Platin-Metalle das Iridium begleitet.

Ein ähnlicher Lapsus unterlief aber auch den Anhängern der Impakt-Theorie: Anfangs war für sie eben das Iridium der führende und notwendige Beweis für ein kosmisches Geschehen. Sie übersahen dabei zwei Fakten: erstens, daß bei gewaltigen Einschlägen die Explosionskraft so hoch ist, daß das hochgeschleuderte Material die irdische Entweichgeschwindigkeit von 11 km/sek. überschreiten kann und dann eben das ganze eingebrachte Iridium wieder im All verschwindet und zweitens, daß der Anteil an Iridium der hauptsächlich aus Wassereis bestehenden Kometen in den mitgeführten festen Partikeln von vornherein äußerst niedrig sein kann. Gerade bei den Megaimpakten solcher Art mit sehr hohen Prozentzahlen des Artensterbens ist daher im Falle von Kometen als Verursacher von vornherein ein niedriger bis sehr niedriger Iridiumgehalt zu erwarten und man wird deshalb die Aufmerksamkeit auf die übrigen Impakt-Indizien wie Streßmineralien usw. richten.

Genau dieser Fall ist z. B. beim Perm-Trias Grenzimpakt eingetreten: Der Iridium-Gehalt in den schön aufgeschlossenen, wenige cm-dicken typischen Grenzton-Horizonten in China hat bei wiederholten Untersuchungen (auch in den eigenen Proben dreier Lokalitäten) sehr niedrige Gehalte ergeben. Aber schon die Untersuchung von Li Zi-Shun et al. (1991, S. 380) hat die lamellierten Streßmineralien in diesem Grenzhorizont in China nachgewiesen, was jüngst durch amerikanische Forscher wieder bestätigt worden ist. Dieses markanteste Aussterbe-Geschehen im Phanerozoikum (93% aller Arten ausgelöscht!) geht also ohne Zweifel auf einen Kometen-Megaimpakt zurück. Damit harmoniert auch die Aussage eines Mitarbeiters von H. P.

Schönlaub bei den Barbara-Gesprächen 1997, daß bei ihren Untersuchungen der Perm/Trias-Grenze in Österreich in den Karnischen Alpen auch nur eine mäßige, aber merkbare Erhöhung (vierfach normal) des von Schönlaub dort nicht erwähnten Iridiumgehaltes nachweisbar war.

Ähnliches ist vom Sintflut-Impakt, der ja durch Augenzeugen als Kometeneinschlag geschildert worden ist, zu vermuten. Der altersdatierte darauf zurückgehende Köfeler Krater in Tirol zeigt in den Schmelzprodukten eben nur diese mäßige Erhöhung von Iridium (Bujatti-Narbeshuber et al. 1995, S. 83) wozu H. Heuberger kommentierte: Wenn man mehr Iridium findet, dann stimmt die Kometen-Theorie nicht - aber der Iridiumgehalt harmoniert eben mit dem Kometen.

Da in Österreich lange unter den Fachleuten die grundfalsche Meinung herrschte, daß nur ein einziger Impakt (der K/T-Impakt) weltweite Auswirkungen gehabt habe und man hier heute - fast zwei Jahrzehnte nach Alvarez - noch immer an der Ursache von "fünf großen Massensterben" des Phanerozoikums herumrätelt und tellurische Ursachen sucht, aber nicht findet, soll anschließend eine Liste der schlagartigen Massensterben und der großen Impakte der Erdgeschichte zeigen, daß bereits jetzt in vielen Fällen der Konnex dieser Phänomene durch Impakt-Merkmale schlüssig beweisbar ist, wo bis vor kurzem noch Ausreden für die Iridium-Anomalie (Anreicherung durch Algen etc.) gemacht worden sind oder wie für das Massensterben am Ende des Malm erst gegenwärtig der zugehörige Morokweng-Krater in Südafrika mit ungefähr 340 km Durchmesser gefunden worden ist. So sehr stehen wir in der Impakt-Forschung noch am Anfang. Kein Zweifel, daß mindestens all die angeführten Massensterben mit Extinktionen von mehr als 30% der Arten impaktbedingt sind, wie ja vielfach durch typische Merkmale schon bewiesen. Das bedeutet, daß wir heute schon mehr als ein Dutzend global wirksamer Impakte erfassen können.

Impakte mit globaler Auswirkung

Altersangaben ungefähr

Quartär	Holozän	Sintflut-Impakt	~9.500 v.h.	7 Haupteinschläge, Krater Köfels/Tirol, Iridium, Nickeleisen, Shattercones, Streßmineraleien, Mammut †, Augenzeugenberichte
	Pleistozän			
Neogen	Pliozän	Bellinghausen-Impakt	2,15 Mio.	Planetoid 4 km Ø, S-Pazifik
	Miozän			
Paläogen		Oligozän		
		Wende Eoz./Oligoz.-Imp.:	38 - 34 Mio.	Popigai-, Chesapeak Bay-, Azuara-Krater, Iridium, Tektite, 22% der Arten †
	Eozän Paleozän			
Kreide		Saurier-Impakt	65 Mio.	Chicxulub- 300 km Ø, Manson-, Kara-Krater, Iridium, 13 C-Anomalie, S-Isotopen-Wende, 63% der Arten †
	Oberkreide			
		Cenoman-Aussterben	91 Mio.	33% der Arten †
	Unterkreide	Apt-Aussterben	113 Mio.	31% der Arten †
Jura		Malm	144 Mio.	Morokweng-Krater ~ 340 km Ø 31% der Arten †
	Dogger			
	Lias	Lias/Dogger.Grenzimp. Pliensbach-Aussterben Endtrias-Impakt	180 Mio. 193 Mio. 213 Mio.	Iridium 33% der Arten † Manicouagan-Krater, Streßminer., 63% der Arten †
Trias		Perm/Trias-Grenzimpakt	245 Mio.	Streßminer., 13 C-Anomalie, S-Isotopenwende, 93% der Arten †
Perm Karbon				
Devon		Hangenberg-Impakt Kellwasser-Impakt	360 Mio. 367 Mio.	Iridium, anoxisch, Massensterben Siljan-Krater, Irid., Mikrotektite, anoxisch, Massensterben
Silur				
Ordovic		End-Ordovic-Impakt	439 Mio.	13 C-Anomalie, Massensterben
Kambrium		Spätkambrium Massensterben		
Proterozoikum		Ediacara-Impakt	570 Mio.	13 C-Anomalie, fast 100% Artensterben
		Sudbury-Impakt	1850 Mio.	Sudbury-Krater 200 km Ø
		Vredefort-Impakt	1970 Mio.	Vredefort-Krater 140 km Ø, Shattercones, Streßmineraleien
		Hudsonbay-Impakt	~2500 Mio.	Hudsonbay-Krater 550 km Ø
Archäikum				
		Intensiv-Impaktzeit	4000 Mio. 4560-3880 Mio.	Gigant-Impakt kippt Erdachse um 23½°
		Erd-Akkretion aus Impaktoren	4560 Mio.	Erdentstehung

4. Spektakuläre Impakte

Zwei außergewöhnliche Impaktgeschehen sollten hier - da neu bzw. besonders informativ - etwas näher betrachtet werden:

- a) der größte, bislang nicht klar erfaßte Krater der Erde, der Hudsonbay-Krater,
- b) die Neuerkenntnisse vom Impaktgeschehen, die bislang nicht mit geologischen Mitteln erforscht werden konnten, aber in den Augenzeugen-Berichten vom Sintflut-Impakt geschildert worden sind.

4a) E. KRISTAN-TOLLMANN 1994: Der Hudsonbay-Impakt

Der Hudsonbay-Krater repräsentiert den ältesten, zugleich größten Impaktkrater der Erde. Erhalten ist die östliche Begrenzung des kreisförmigen Kraterandes im Südosten der Hudsonbay in Kanada als Ostrand des sogenannten Belcher- oder Nastapoka-

Beckens. Der Durchmesser dieses Kraters beträgt in der heutigen Form über 500 km. Nimmt man noch die durch Ringstrukturen einbezogene Randdeformation der Plattform dazu, so hat dieser Krater in unabtragener Form etwa 550 km Durchmesser erreicht (Abb. 1).

Die Kraternatur läßt sich klar an den noch erhaltenen bezeichnenden Randstrukturen ablesen: sowohl an den hintereinander gestaffelten ringförmigen Zonen (Nastapoka-Inselring innen - vgl. E. Dimroth et al. 1970, S. 94; Küstenketten-Ring außen) als auch an den für solche Krater bezeichnenden radialen Brüchen, die schon bei E. Kranck (1951, S. 20) und bei späteren Autoren erwähnt und abgebildet sind. Die Füllung mancher radialen Brüche mit Substanzen, die aus den überlagernden Serien gelöst sind (E. Kranck (l.c., S. 67), könnte darauf hinweisen, daß sie posthum, nach Auflagerung des Proterozoikums, weiterbewegt worden sind.

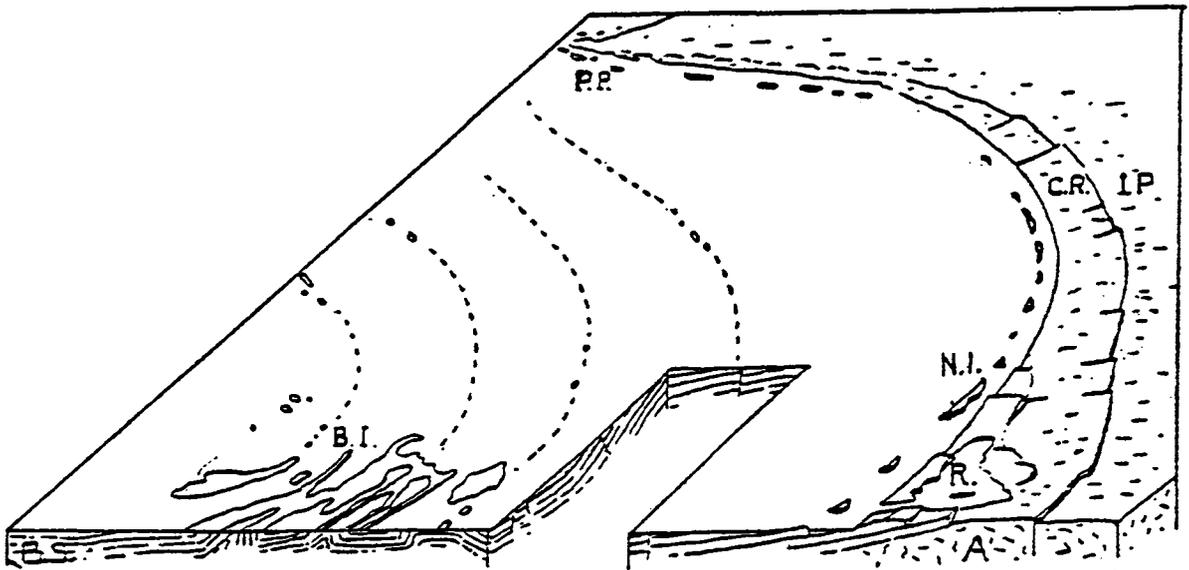


Abb. 1: Schematische Darstellung der Struktur des Hudsonbay-Kraterandes im Südostteil der Hudsonbay, Kanada (nach E. Kranck, 1981, Abb. 8). Von dem rund 550 km großen Krater ist nur mehr ein 150° Sektor des kreisförmigen Kraterandes erhalten. Der Impakt erfolgte nach der Konsolidierung des Archäikums (2,65 Mia. Jahre) und vor der Ablagerung des dortigen Unterproterozoikums, also vor 2380 Mio. J., wohl um 2,5 Mia. J. Als Hauptmerkmale stehen die ringförmigen Strukturen des Randes (vgl. D. R. Derry et al. 1950) und die radialen Störungen ins Auge. Die Faltenbildung auf der Belcher-Inselgruppe erfolgte deutlich später (1,9 Mia. J.) - vgl. B. V. Sanford et al. 1979. - Abkürzungen: PP Portland-Vorgebirge, NI Nastapoka-Inseln, CR Küstenkette, IP Inland-Ebene, R Richmond-Golf, BI Belcher-Inseln, BS Belcher Serien, A Archäikum.

Edith Kristan-Tollmann ist Anfang 1991 auf Grund dieser Strukturen zur Überzeugung gelangt, daß dieser Hudsonbay-Arc einen Impaktkraterrand darstellt, hat näheres darüber aber erst nach der vorbereiteten Bereisung und Beprobung dieses Gebietes im Gelände berichten wollen - was aber aus Krankheitsgründen und Tod nicht mehr durchgeführt werden konnte.

Das ungefähre Alter dieser Struktur, die nach ihrem Aufbau keineswegs einen vielfach vermuteten "Inselbogen" darstellt, kann aus dem Alter der beteiligten Gesteinsserien abgeleitet werden: Die Kraterbildung erfolgte nach der Konsolidierung der archaischen Superior-Provinz durch die Kenoran-Orogenese (2650 Millionen Jahre) und vor dem über dem Krater abgelagerten Frühproterozoikum (das am Kanadischen Schild Melaphyr-Sills mit bis 2380 Mio. Jahren aufweist) und das später auf den Belcher-Inseln durch die Trans-Hudson-Orogenese (1,9 Mia. J.) gefaltet worden ist. Die Kraterbildung mag also etwa um 2,5 Mia. J. erfolgt sein. Kein Zweifel, daß dieser Mega-Impakt die Konvektionsströmung im Mantel und damit die frühen plattentektonischen Bewegungen verändert hat - wie G. J. Taylor (1994, S. 32) im grundsätzlichen für solche Ereignisse angenommen hat. In unserem speziellen Fall wird die große Zäsur zwischen Archäikum und Proterozoikum, um 2,5 Miard. Jahre, durch den Hudsonbay-Impakt verständlich.

Die kanadischen Geologen einschließlich R. Grieve wollen überwiegend bis heute nicht an einen erdgeschichtlich so "jungen" Riesenkra-
ter glauben. Das hat seine Ursache darin, daß die Hauptmasse der riesigen Planetoiden, die für einen derart großen Krater notwendig wären, bis zur Zeit von 3,8 Mia. Jahren von der Erde bereits vereinnahmt worden sind und daher keineswegs 1,5 Mia. Jahre später noch eine solche Riesenstruktur vom Typus der eben wesentlich älteren Mond-Maria entstehen könnte. Dabei wurde aber ganz außer Acht gelassen, daß ja ein riesiger Komet aus dem Weltall jederzeit Krater größter Dimension bewirkt haben kann.

Die Idee, daß der Hudsonbay - Arc nur durch einen Impakt zu deuten ist, ist aber nicht neu - nur unabhängig neu entdeckt. Es zeigte sich sodann aber, daß bereits C. S. Beals 1968 diese Hypothese aufgestellt hat. R. S. Dietz & J. P. Barringer haben sich hierauf auf die Suche nach typischen Impaktmerkmalen wie Shattercones, Schmelzen, Ejekta usf. gemacht, aber keinerlei Beweisstücke gefunden und haben 1973 diesen Mißerfolg glaubwürdig begründet: Ejekta sind bei der langen Ein-
ebnung der archaischen Plattform erodiert worden und die übrigen Merkmale, die besonders in der Kratertiefe, im zentralen Teil, zu suchen wären, sind durch die in den Krater eingedrungenen Gesteinsschmelzen verhüllt und noch dazu durch das später abgelagerte Alt-Proterozoikum verdeckt. Trotzdem muß noch einmal eine sorgfältige Suche nach schockmetamorphen Mineralien, die Untersuchung der Brekzien, die Ermittlung des Alters der Bruchstrukturen etc. am archaischen Plattformrand durchgeführt werden, wie E. K.-T. geplant hatte.

Die Vorstellung, diese ideale Kraterrandstruktur, die nur im Westen durch einen jüngeren verdeckten Bruch abgeschnitten ist, doch auf einen Impakt zurückzuführen, kommt jüngst wieder in der Arbeit des kanadischen Forschers J. Rondot 1994 zum Ausdruck. Er erwartet wohl mit Recht, daß die flache beckenwärtige Neigung der proterozoischen Serien der Nastapoka-Schichtgruppe auf die Auskühlung und das Nachsinken des Magmas, das in diesen Riesenkra-
ter eindrang, zurückzuführen ist.

Es gibt keinen irdischen geologischen Prozeß, der diese Struktur des Hudsonbay-Arc mit den ebenmäßigen gestaffelten zirkulären Bruchlinien hätte formen können. Ein Impakt an der Wende von Archäikum zum Proterozoikum hingegen erklärt diese Struktur in befriedigender Weise. Der Hudsonbay-Arc ist nach Alter und Größe an die Spitze der irdischen Impaktkrater zu stellen, mit seinem für die Erde einzigartigen, an die Mond-Maria erinnernden Aufbau. Denn durch die ursprüngliche Tiefe solch riesiger Krater, die mit rund 50 km bis in den Erdmantel eindringen, kön-

nen von dort flächenmäßig Magmamassen aufsteigen und den Krater mit einem gewaltigen Basalt-See erfüllen - was wir ja von den alten Mondkratern mit ihren "Maria" kennen.

4b) Der Sintflut-Impakt

Der Sintflut-Impakt ist einerseits durch die erhaltenen geologischen Zeugnisse dieses Einschlages, andererseits durch die Beschreibung des Naturvorganges in weit über tausend Mythen abgesichert (vgl. E. K.-T. & A. T. 1992, A. & E. T. 1973). Da dieser große Einschlag direkt vom Homo sapiens miterlebt, geschildert und nachweislich über 9500 Jahre getreu überliefert worden ist, so verfügen wir ausnahmsweise über Augenzeugenberichte mit vielen Einzelheiten über den Ablauf eines Impaktes, die in vielem über das von dem Geologen aus der Erdgeschichte Ablesbare hinausgehen und das bisher durch Alvarez bekannte Bild namhaft über die im Gestein manifestierbaren Vorgänge hinaus erweitern. Wenigstens über die wichtigsten Fakten soll hier berichtet werden - Literaturzitate bei A. & E. T. 1993.

a) Physische Prozesse: Die Stärke des Explosions-Windes ist den Angaben, daß die größten Fichten umgerissen wurden und Felsbrocken und Lebewesen durch die Luft gewirbelt wurden, zu entnehmen. Die Hitze des Weltenbrandes schmolz (Persien) Erzadern an, destillierte das Harz aus den Nadelbäumen, das kochend aus der Atmosphäre zurückkam (Mittelamerika). Der Sturzregen fiel vielfach nicht mehr in Tropfen, sondern als Wasserschwaden und -kubaturen, die sich beim Fallen durch die Reibung an der Luft bis zum Kochen erhitzen, sodaß (besonders in Asien) von versengendem Feuerwasser, Sengle Daa (Indien), flüssiger Feuermasse etc. die Rede ist. Der Sturzregen war oft schwarz gefärbt (durch den ausgegeregneten Ruß des Weltenbrandes) oder auch durch beim Wasserauswurf mitgerissenem Schlamm verunreinigt, ja führte sogar gelegentlich Fische mit (Gilgameschepos).

Sturzregen und Flut kommen meist gleichzeitig an. Auch die Sintflut brach meist kochend ins Land ein, oder zumindest warm. Die Überflutung hielt durchschnittlich eine Woche an. Dies auch deshalb, weil die kilometerlangen Tsunamiwellenberge oft längere Zeit brauchten, hohe Hindernisse zu überwinden. Nach vielen Berichten wurde die nordamerikanische Küstenkordillere durch die (auf den Haupteinschlag im Ostpazifik zurückgehenden) gewaltigen Tsunamis erst nach geraumer Zeit überwunden, bis die Flut über die Pässe in die inneren Becken hinunter stürzte. Die Indianer berichten, daß die Flutwelle dort erst nach Einbruch der (Impakt-)Nacht ankam. Wir wissen aus modernen Studien, daß Tsunamis bei ihrem Auflaufen auf dem Festland durch das Nachdrängen der Wassermassen in den enorm breiten Wellenbergen häufig die zehnfachen, gelegentlich die dreißigfache Höhe und mehr der Meereswogen erreichen (vgl. G. Versuur 1996, S. 153; J. Lewis 1997, S. 217: Faktor 35). Die Impaktnacht und der Impaktwinter wurden ausführlich beschrieben.

b) Atmosphärische Prozesse: Die verpestete Luft durch die erzeugten Giftgase und die durch die vielen Meereseinschläge produzierten Säuren, konnten direkt beobachtet werden. Die Vorgänge wurden nach Geruch, Farbe und ihrer ätzenden Wirkung direkt beschrieben. Die heute bei Impakten (Beispiel Tunguska-Impakt 1912) nachgewiesene radioaktive (C 14) und kosmische Strahlung (nach Verbrauch des Ozongürtels zur Stickoxid- und Salpetersäureproduktion) kann durch ihre spezifische, weltweit ausführlich geschilderte Schädigung an Embryonen abgelesen werden.

Gifte wurden z. B. von den Chinesen (Einschlag in der Südchinesischen See) nach dem Geruch "wie aus Sümpfen" und herbem bis bitterem Geschmack charakterisiert. Am klarsten schildern die Anrainer des Nordatlantik-Einschlages die Luftvergiftung in der Edda und in den Traditionen der Druiden aus Britannien: "Pures Gift

senkte sich herab, jeder Windstoß war der Tod."

Besonders stark beeinflusst hat die Umwohner der Haupteinschläge rund um die Welt der "rote Blutregen", der über Land und Meer niederging und den wir mit aller Sicherheit durch die Beschreibungen seiner Auswirkung und den Modus seiner nachweisbaren Entstehung bei Impakten als Salpetersäure identifizieren konnten. Salpetersäure ist bei der Entstehung rotbraun (genaue Farbangabe des "Blutregens" in der Johannes-Offenbarung: Wie das "Blut der Toten", also nicht das hellrote, sauerstoffreiche Blut) und behält diese Farbe bei Dunkelheit und Kälte bei - eben den gegebenen Bedingungen bei Impaktnacht und Impaktwinter. Dieser "Blutregen" ging im Hof der Einschläge in solchen Mengen nieder (was man ja aus der K/T-Impakt-Analyse weiß), daß er nicht nur das Land, sondern sogar das Meer rot anfärbte - wie die Edda vom Nordmeer (Nordatlantik-Impakt) schildert: "Blut des getöteten Riesen Ymir", die Orientmythen vom rot gefärbten Nil und bezeichnenderweise so genannten Roten Meer (Indik-Einschlag), und jene aus der Region von Guatemala (Ostpazifik-Impakt) berichten. Die Verätzungen durch diesen "Blut"-/Salpetersäure-Regen von Mensch und Tier werden vielfach mit Schrecken geschildert: Verätzungen, die bei Überleben ein halbes Jahr schmerzten wie Skorpionstiche, die Wässer werden vergiftet und schmecken bitter wie Wermut. Johannes schildert in seiner Offenbarung mit der "Zornschaalen"-Vision (16, 1-21), wie dieser Blutregen vom Himmel zur Erde ausgeschüttet wird.

- c) Und die Auswirkungen von radioaktiver Strahlung (hoher plötzlicher C 14-Gehalt in den Eichenstämmen genau dieser Zeit von den Stuttgarter Paläobotanikern B. Kromer & B. Becker 1990 nachgewiesen), hoher kosmischer Strahlung (nach Verbrauch des Ozongürtels bei Stickoxid- und Salpetersäure-Bildung), und dem Dioxin (das durch den Weltenbrand mit exzessiven Temperaturen entstand) zeigten sich in den typi-

schen "Halbkörpern" der Babys mit verstümmelten oder fehlenden Gliedmaßen und den Ersatz des Augenpaares durch ein zentrales Stirnauge, Typus Polyphem bzw. Hiroshima-Babys. Diese Monster traten in Impaktnähe in erschreckender Zahl auf (vom Österreicher L. Walk 1931 bis auf das Prozent genau mittels der Traditionen in den ostasiatischen Umländern um den Südchinese-Impakt studiert). Bezeichnend für das enorme Ausmaß dieser geschädigten Nachkommen ist es, daß man diesen Mißbildungen weltweit eigene Bezeichnungen gab (Simpang-Impang in Borneo, Hai-Uri bei den Hottentotten und Hereros, Patagonier in Feuerland), dann den ebenso dargestellten einäugigen Gott des Todes eigens bezeichnete (Rama-Raja in Indien, Balor in Irland) und schließlich derartige einäugige Monster in die Mythologie aufnahm (Polyphem und Kyklops in Griechenland, Anaya in Indien, Torto und Alarati bei den Basken in Spanien) usf.

- d) Als Erholung und Wiedererwachen der Natur - symbolisiert durch den Phönix aus der Asche - wird in der bisher als Schöpfungsgeschichte mißdeuteten Genesis (von Moses selbst aber richtig geschildert) die enorme Fruchtbarkeit nach dem Sintflut-Impakt, bedingt durch die Stickstoff-Überdüngung mit dem "Blutregen" und die Erwärmung um 5° über vier Jahrtausende (zufolge des Glashauseffektes durch die entstandenen Treibhausgase) und auch durch die altjüdische Tradition überliefert.
- e) Die unglaublich tiefgreifende seelische Formung des Homo sapiens durch dieses schwerste traumatische Erlebnis aller Zeiten hat geistig den Schritt zum modernen Denken ausgelöst mit der Schaffung des Gottesbegriffes, der Religion, der Priester als die Beauftragten zur neun Jahrtausende hindurch seit damals praktizierten Menschenopferung zur Besänftigung der Dämonen/Götter (um eine nächste Sintflut zu verhindern) und hat buchstäblich weitere hundert Maßnahmen (A. & E. T. 1993, S. 446 ff.) bewirkt, sie hat aber andererseits auch den kulturellen Schritt von einer Jagd-

und Sammelwirtschaft zur Gesellschaft mit Ackerbau und Viehzucht, der Nutzung der Metalle (ausgehend vom Orient, wo man nach der Tradition das Schmelzen der Erzadern im Weltenbrand bemerkt hatte) bewirkt. Der Sintflut-Impakt war demnach das Schlüsselerlebnis zu neuem, unerhörtem geistigem Aufbruch nach langem Dahindämmern der Menschheit.

f) Neue Indizien und Beweise für den Sintflut-Impakt

Die Erfassung des gewaltigen Sintflut-Impaktes, noch frisch und detailliert auch in der menschlichen Erinnerung vorhanden, kam 1992 reichlich überraschend. Die Erfahrung zeigt, daß solche Erkenntnisse stets eine gewisse Zeit zur Akzeptanz brauchen. Es sei erwähnt, daß von nur ganz wenigen polemischen Entgegnungen, die aber keinerlei fundierte Widerlegungen auch nur einzelner wichtiger Aussagen treffen konnten, in den letzten fünf Jahren bereits eine ganze Reihe von Bestätigungen durch verschiedene Autoren gefunden worden sind, deren Fakten die Auffassung einer impaktbedingten Sintflut weiter festigen. Entsprechend der Bedeutung dieses Ereignisses für die nähere Kenntnis des geologischen Vorganges bei einem Impakt, aber auch zur Erhellung des dunkelsten Abschnittes der menschlichen Geschichte - der Mittelsteinzeit - und Klärung des Ausmaßes und der Ursache der fundamentalen geistigen Umstellung des Homo sapiens in dieser Zäsur sollen einige der neuen Fakten hier mitgeteilt werden.

1. Zunächst ist zu vermerken, daß Sir Fred Hoyle (1993, 1997) auf Grund von rapiden Temperaturschwankungen (z. B. Sommer-Temperatur in Großbritannien nach Verschiebung der Käfer-Biotop-Zonen in wenigen Jahrzehnten von 8°C auf 18°C) seit 40.000 J., besonders aber in der Zeit von 13.000, 10.000 und später (jeweils bis 10° Temperaturanstieg) eine Impaktserie als einzig mögliche Ursache ableiten konnte. Durch diese Entdeckung und geniale Überlegungen konnte Sir Fred Hoyle bereits ein Jahr nach unserer Erfassung des

Sintflut-Impaktes (ohne unsere Arbeiten zu kennen) sechs fundamentale Auswirkungen der Sintflut durch divinitorisch gesteuertes Denken erfassen, die wir in mühsamer Kleinarbeit durch Zusammentragen von Detailfakten ableiten konnten (A. Tollmann 1997, S. 123 ff.): das Einschlagdatum, den Sternschnuppenfall, das Mammutsterben (nicht nur genau mit C 14 datiert, sondern nun auch verständlich - Versinken der schweren Körper in dem rapide aufgetauten Permafrostboden durch die gerade aus Sibirien vielfach berichteten anhaltenden kochenden Sturzregen und dem folgenden Nahrungsmangel durch den drei Jahre permanent dauernden Impaktwinter), Verständnis der "Story von Noah", Begründung des Pyramidenbaues als Impakt-gesichertes Bauwerk für die Pharaonen-Mumien gegen die Impakt-Katastrophe am Ende des nächsten Weltenjahres [Herbst 1999] und Entstehung der Religion und des Dämonen/Götter-Kultes.

2. Wiederholung von Sintfluten im Abstand von durchschnittlich 10.000 Jahren ("Weltenjahr"), nicht - wie noch vor kurzem angenommen - in Jahrhunderttausenden, ermittelt durch neue, fundierte Berechnungen (G. J. Taylor 1994, S. 33; G. Vershuur 1996; J. S. Lewis 1997 - s.o.). Umschwung im Denken der amerikanischen Impakt-Geologen und der NASA.
3. Bei den Sintflut-Impakt-Einschlägen sind keineswegs Riesenkrater am Boden eines tieferen Meeres zu erwarten, da ein Impaktor (besonders ein Komet) nur dann Spuren am Meeresboden hinterläßt, wenn die Dicke der Wasserschicht nicht deutlich größer als sein Durchmesser ist - was man bisher nicht wußte.
4. Der Nachweis von Impaktwirkungen zur Sintflutzeit vor 9500 Jahren durch neue Untersuchungen im Festlandkrater in Köfels, Ötztal, Tirol, dessen Impaktnatur weiter abgesichert wurde. Es konnten nachgewiesen werden:
 - a) Iridium (M. Bujatti-Narbeshuber et al. 1995, S. 83);

- b) Shattercone (S. Zvonaric 1996, S. 106);
- c) Neue, das Kometenjahr bestätigende Altersdatierung (M. Heuberger 1996, S. 277);
- d) Prägung der Lamellierung der Streß-Mineralie auch im anstehender Orthogneis am Oberrand des Kraters oberhalb des Bergsturzes am Hauptkamm beim Schartle (R. Surenian 1988, S. 136, Taf. 2-3; 1989, S. 234; 1994, Abb. 3-4), sodaß diese Streß-Lamellierung nicht durch den tiefer liegenden Bergsturz verursacht sein kann - wie H. Heuberger ursprünglich selbst erkannt und publiziert hat, sich aber durch die inzwischen widerlegte Polemik von A. Deutsch, C. Koeberl et al. 1994, S. 644 ff. (vgl. E. K.-T. & A. T. 1996, S. 108) so sehr beeinflussen ließ (H. Heuberger 1996, S. 273), daß er nun einfach die Streß-mineralien um 4000 Jahre älter einstuft (H. Heuberger 1997, S. 12) ohne für diese Annahme absolute Altersdaten oder stichhältige Beweise beibringen zu können.
- e) Bezeichnend für die Wirkung des Einschlages zu dem heute bekannten Datum des Sintflut-Impaktes um etwas mehr als 9.500 Jahre vor heute (das auch vom Köfeler-Krater mittels C 14 bestimmt ist) ist ja auch die weithin sich äußernde Wirkung des Impaktbebens in der näheren, aber auch weiteren Umgebung von Köfels in Form von zeitgleich ausgelösten, hier konzentrierten Bergstürzen (A. & E. T. 1993, S. 142, Abb. 39). Zu den dort genannten Massenbewegungen kommt noch der Niedergang der großen Murschuttmasse, die im Vortunnel beim Bau des Arlberg-Straßentunnels ange-troffen wurde: In jenem Teil des Murschuttes, der bezeichnenderweise mit Bergsturz-Blockwerk vermischt, bei Station 90 bei St. Jakob am Arlberg angefahren wurde, ergab die absolute Altersbestimmung von hier erhaltenen aufrechten Lärchenstämmen mit der C 14-Methode ein Alter von 9.458 ± 63 Jahren (K. Mignon 1981, S. 278), also genau wieder diesen Zeitraum. Der gleichzeitige Niedergang von Bergstürzen im Raum Köfels ist durch den Impakt leicht verständlich, ja zu erwarten - sonst nicht.
- f) Überhaupt nicht bestreitbar ist das Vorhandensein von kosmischen Zeugen in Köfels durch den Nachweis von Nickel-eisen mit hohem Nickelgehalt, Magnetit, Bruchstücke von Olivin, Pyroxen etc. im "Bimsstein" (=Köfelsit) - die allesamt im Granitgneis des Untergrundes und der Umgebung nicht vorkommen - durch G. Kurat & W. Richter (1972, S. 23 ff.). Bezeichnend ist es, daß vom Nickeleisen "die gefundenen Zusammensetzungen meist jenen von Taenit und Kamacit in Meteoriten" (l. c., S. 36) entspricht. Daneben beschreiben diese Autoren weitere Impakthinweise wie Lechatelierit, Streßlamellierung usf. Die erwähnten Elemente der petrologischen Analyse sprechen klar für den Impakt, allein schon das Nickel-eisen "mit hohem Ni-Gehalten ist nur als extraterrestrische Beimengung zu erklären", wie diese Autoren zurecht betonen (S. 36); daher ihre richtige Schlußfolgerung für die Impakt-Theorie (S. 36): "unsere petrologische Analyse dieser Gesteine läßt keine Alternative zu." Auch in jüngeren Arbeiten (G. Kurat & H. Stradner 1988, S. 61; A. Gratz & G. Kurat 1988, S. 9) stützten sie die Impakt-Natur durch weitere Argumente ab. Aber auch Kurat und Richter unterlagen der genannten haltlosen (vgl. E. K.-T. & A. T. 1996) Polemik gegen den Impakt, der sie sich anschlossen - ohne dadurch allerdings ihre Beweise, nämlich die kosmischen Komponenten, und die zuletzt neu hinzukommenden genannten weiteren positiven Kriterien bis zum Iridium aus der Welt schaffen zu können. Köfels ist und bleibt ein gut datierter, sicherer Festlandseinschlag des Sintflut-Impaktes.

g) Bezeichnend ist übrigens auch der extrem hohe Radongehalt im Bereich des Kraters, der im Raum der Maurachschlucht bis zu 260 kBq/m^3 erreicht, welche Strahlenbelastung in der Gemeinde Umhausen einen fünffach erhöhte Mortalität an Lungenkrebs bewirkt (F. Purtscheller et al. 1997, S. 7; cum Lit.). Das ist bei der tiefgründigen Zerspaltung des uranhaltigen (Radon-Lieferant) Orthogneises durch den Impakt mit Gewißheit zu erwarten, wie man aus tiefgründig beanspruchtem Granit, z. B. aus tektonischen Störungszonen in Südböhmen kennt, wo die Ermittlung von hohen Radongehalten direkt als eine Methode zum Nachweis von tiefgründig zerstörtem Orthomaterial entwickelt worden ist. Aber wieder sucht man gegenwärtig hier, offensichtlich beeinflusst durch die Polemik gegen den Impakt, nach einer anderen Begründung, die sich ja durch den als Folge des Impaktes eingetretenen Bergsturz anbietet. Man vergißt nur, daß bei all den übrigen Bergstürzen der Umgebung keine solchen Radonwerte auftreten. Auf Grund aller heute von Köfels bekannt gewordenen Fakten läßt sich die Impakt-Natur des Köfeler Kraters nicht im geringsten mehr bezweifeln. Wir erleben nur eine Wiederholung des gleichen psychologischen Phänomens - der Auflehnung gegen das Großartige, Ungewohnte, Nichtaktualistische -, die uns schon bei so vielen Krater-Diskussionen begegnet ist - noch akzentuierter etwa beim Nördlinger Ries.

5. Gesucht wurde bisher vergeblich die durch ihre spezifische Sedimentologie gekennzeichnete Impakt-Flutschicht. Im Jahre 1995 (Brief vom 12. Juli 1995) wurde sie, angeregt durch unser Sintflut-Buch, mit hoher Wahrscheinlichkeit von Dir. Dr. Dieter Ortlam, Bremen, erfaßt. Es handelt sich um die sogenannte "Chaos-Schicht", die durch eine große Zahl von Bohrungen im Weser-Ästuar an der Nordsee an der Holozän-Basis unter den

Klei-Torfschichten des ca. 15-20 m mächtigen Küsten-Holozäns nachgewiesen ist.

Prof. Ortlam schreibt hierzu: "Die Chaos-Schichten sind in ihrer Sedimentologie vollkommen abweichend vom Aufbau der pleistozänen und holozänen Schichten: eine Brekzie aus Ton- und Torfgeröllen, vermengt mit Holzkohle (Sintbrand) und auch sehr große Korngrößen (Kiese und Steine) eingearbeitet, die in dieser Position nichts zu suchen haben. Diese Chaos-Schichten kann ich bereits über 25 km durch Bohrungen verfolgen, und wenn ich mir Ihre Sintflutthese zu eigen mache, dann sehe ich plötzlich klarer. Bis jetzt habe ich es allerdings noch nicht geschafft, an entsprechendes Probematerial heranzukommen, um eine zeitliche Datierung durchführen zu lassen. Ich hoffe, daß ich mit diesen Chaos-Schichten nun bald eine Korrelierung im Gesamttraum Weser-Ästuar bis Bremen (ca. 80 km) durchführen kann."

Prof. Ortlam hat sich bei der Wittheit Bremen seit 1995 umsonst bemüht, mich zu einem Vortrag zu diesen Thema einzuladen, um das Interesse für weitere Untersuchungen zu wecken, zu stark waren auch hier die konservativen Kräfte. Auch Prof. E. Seibold hat mir keine Unterstützung gegeben. Ebenso erfolglos waren die jahrelangen Bemühungen von Prof. Ortlam, an Hölzer oder Torfmaterial von der Basis des Holozäns heranzukommen. Wie wir gerade in dieser Frage rundum gespürt haben, ist zufolge der Größe dieser Erkenntnis das Bestreben nicht für den Nachweis dieses Ereignisses, sondern für die Unterdrückung der Forschungsmöglichkeiten ausgerichtet. Es ist sogar zu erwarten, daß mit Bekanntwerden der Bedeutung der Chaos-Schichten, die entscheidenden Bohrkerne vernichtet werden, um den Nachweis des Sintflut-Impaktes in dieser Region zu erschweren.

Nach bisherigem Wissen sind aber die „Chaos-Schichten“ dem Usselo - Horizont Hollands (H. Kloosterman ab 1976) gleichzusetzen, also nicht dem Sintflut-Impakt, sondern einem weiteren Kometeneinschlag knapp davor. Die Holzkohlen dieses

- Horizontes gehören in das Alleröd, also Spätglazial, also der Auswirkung eines etwa 3.500 Jahre vor dem Sintflut-Einschlag erfolgten Impaktes der Nordhalbkugel (A. Tollmann, Vortragsreferat Mailänder Kongreß. 8. Juni 1999)
6. Typisch ist ferner, daß man in zunehmendem Maß der genaueren archäologischen Kenntnis des 10. Jahrtausends eine Besiedlungsunterbrechung im Zeitraum des Sintflutimpakt-Geschehens antrifft. So zuletzt in dem genau untersuchten, seit 11.000 Jahren bewohnten Ort Abu Hureyra in Syrien. Eine Besiedlungslücke von etwa 500 Jahren (C 14-Datierung) kommt in die Zeit vor ungefähr 9500 Jahren, also den kritischen Zeitraum zu liegen (A. J. Legge et al. 1987, S. 74; ähnlich Th. Molleson 1994, S. 65; noch ohne moderne C 14-Kalibrierung). Und sogar vom beliebtesten Aufenthaltsraum des Steinzeitmenschen, den Höhlen, kommt die Nachricht, daß manche im 10. Jahrtausend leer standen (z. B. in den Monte Alegre in Brasilien, etwa ab 9800 Jahren - R. Vass 1997, S. 118).
 7. Neue archäologische Untersuchungen bestätigen auch die tradierten Mitteilungen, daß der Übergang von der Jagd-Sammelwirtschaft zu Ackerbau (Getreidebau) und Viehzucht in den Zeitraum des Sintflut-Impaktes fällt und als eine weitere Auswirkung dieses zu werten ist; der paradiesische Zustand der Welt vor der Sintflut wich dem arbeitsaufwendigen Leben (A. & E. T. 1993, S. 453) voll Disteln und Dornen. Mittels subtiler Methoden konnten die Archäologen dies an der Knochen- und Zahnbeanspruchung durch die primitive Getreide-Verarbeitung eben wieder in Abu Hureyra/Syrien elegant für den kritischen Zeitraum im 10. Jahrtausend nachweisen (Th. Molleson 1994, Abb. S. 65).
 8. Auch der 1992, S. 53 und 1993, S. 447 ff. von uns festgestellte Umstand, daß mit dem Sintflut-Impakt die Religion, die Dämonen/Götter und die Priester als Mittler zu den überirdischen Mächten im Denken der Menschen geschaffen wurden und den Priestern die Menschenopfer zur Besänftigung der Götter anvertraut wurden, konnte bereits vier Jahre später archäologisch bestätigt werden. In Göbekli Tepe in Ostanatolien wurde das älteste Bergheiligtum der Welt, rund 10.000 Jahre alt, entdeckt (Geo, 1996, S. 163 f). Der Tempel enthält die typischen Sintflut-Symbole: "Skulpturen von löwen- und drachenartigen Fabelwesen mit fleischenden Zähnen." Schädelbestattungen und kopflose Menschendarstellungen scheinen bereits auf den Kult von Menschenopfern hinweisen.
 9. Daß der Sintflut-Impakt auch die "babylonische Sprachverwirrung" durch die Dezimierung und Isolierung der versprengten Menschenreste und damit den Verlust einer gemeinsamen Ursprache bewirkt hat, haben wir zahlreichen Traditionen der Völker entnehmen können (A. & E. T. 1993, S. 455). Noch bis zu dieser Wende ließen sich Urworte über ganz Eurasien bzw. von Ägypten bis China erkennen (Taifun = Typhon, Phönix = Feng etc.). Die moderne Sprachforschung führt nun mehr und mehr zu einer solchen Ursprache: dem "Nostratisch" der russischen Linguisten W. M. Illitisch-Switytsch und A. B. Dolgopolsky und ähnlich später des amerikanischen Sprachforschers J. H. Greenberg. Dabei wird nun vermutet, daß die Ursprache bis "gegen Ende der letzten Eiszeit" herrschte und dann zerfiel (M. Kuckenburger 1996, S. 129). Dies deckt sich genau mit der von uns aus den Traditionen der Völker abgeleiteten Sprachentwicklung.
 10. Nicht hingegen in die Sintflut-Zeit fällt eine Lokalflut, entdeckt von W. Ryan und W. Pittmann (New York), die 100.000 km² der Gestade des Schwarzen Meeres betraf. Sie ist nämlich um 2000 Jahre jünger als die Sintflut, was in den Medien (Der Spiegel 1997/1, S. 138) nicht realisiert wurde. 1993, S. 366 ff., konnten wir im Mittelmeer drei große Regionalfluten erfassen, die nach der Sintflut stattfanden. Während uns eine genaue Datierung der beiden jüngeren Lokalfluten (Flut des Ogyges, Flut des Deukalion) möglich war, blieb das Datum der offenbar ältesten (1993, S. 370), der Flut des Dardanos, damals offen. Nun

haben Ryan & Pittmann die Antwort gegeben: Sie erfolgte vor etwa 7500 Jahren und stellte unter Niederbruch der Bosphorus-Landbrücke einen Einbruch der Wassermassen des Mittelmeeres in den Schwarzmeer-Binnensee dar, dessen Spiegel um 150 m tiefer lag.

11. Es gibt übrigens zahlreiche Anzeichen, daß kleinere Impakte auch noch nach dem Sintflut-Einschlag im Verlauf der Bronzezeit stattfanden, was die englischen Astronomen S. Clube & W. Napier ab 1982, B. J. Peiser 1996 u. a. wiederholt eingehend erörtert haben. Ein ganz junger Impakt erfolgte - abgesehen von dem Tunguska-Ereignis von 1908 - vor 800 Jahren durch einen Einschlag bei Tapanui (Übersetzung: "große Explosion") in der Provinz von Otago auf der Südinsel von Neuseeland, der einen Krater mit 600-900m Durchmesser und 30m Tiefe schuf, die Wälder der Südinsel abbrannte und die Moa ausrottete, wie die Mythen der Maori berichten (G. Verschuur 1996, S. 109).

5. Gegenmaßnahmen

Mit der jüngst rapide ansteigenden Kenntnis der Zahl der Impaktoren, auch jener mit Umlaufbahnen, die die Erdbahn kreuzen und der Einsicht in die hohe Zahl von überhaupt nicht kalkulierbaren Langzeit-Kometen ist - besonders bei der NASA - die Sorge um einen möglichen Impakt gestiegen. Es interessiert uns daher in diesem Zusammenhang die Frage nach dem Zeitpunkt der Entdeckung einer konkreten Gefährdung und mehr noch jene nach der Verhinderung dieses Ereignisses.

- a) Was zunächst die Kenntnis der Asteroiden/Planetoiden betrifft, sind von den globalen Killern erst 10% der Erdbahnkreuzer mit mehr als 1km Ø bekannt. Im Spacewatch-Programm der NASA sollen innerhalb von 20 Jahren alle Sintfluterregenden erdnahen Asteroiden mit mehr als ½km Ø erfaßt und ihre Umlaufbahn bestimmt werden. Die Hoffnung in diesem Programm auch die Objekte über 250m Ø in den geplanten 20 Jahren zu registrieren,

bleibt Illusion, denn dann müßten von den 200.000 Objekten jährlich 10.000 entdeckt werden (J. S. Lewis 1997, S. 285). C. Sagan (1994, S. 341) rechnet erst im 22. Jh. mit einer möglichen Beherrschbarkeit der Asteroiden, da hierzu nicht nur ihre Erfassung und Bahnbestimmung, sondern auch eine genaue Kenntnis ihrer Konsistenz gehört.

Sodann aber lauern noch viel unberechenbarere Objekte im All, die Kometen: Unbekannte Langzeitkometen entdeckt man selten mehr als ein Jahr vor ihrer größten Annäherung, ganz besonders spät aber jene, die aus dem Glanz der Sonne kommen. Vergewärtigen wir uns die Bahnermittlung der beiden letzten, zuvor unbekanntem Kometen: Hyakutake (Frühjahr 1996) hat man erst 2 Monate vor der größten Annäherung entdeckt, 1 Monat vorher die Bahn zu 50% genau berechnet; Hale Bopp (März 1997) wurde 1½ Jahre zuvor entdeckt, die Bahn war trotzdem erst 2 Monate vorher berechnet; und sie blieb weiterhin unsicher, da Gasausbrüche sie durchaus noch abwandeln hätten können. Hinzu kommt die Gefahr, daß der Komet beim Vorbeigang beim Jupiter (oder an der Sonne) fragmentiert wird und dann ein Trümmerregen, der nicht beherrscht werden kann, die Erde erreicht, wie die Beispiele des Sintflut-Impakts mit 7 Fragmenten und die Zerlegung des 10 km großen Shoemaker-Levi 9 im Jahre 1994 in 21, um 1 km große Fragmente gezeigt haben.

- b) Die Strategie und die technischen Voraussetzungen zur Ablenkung eines auf die Erde gerichteten kosmischen Geschosses sind zwar theoretisch gegeben, nicht aber sind wir für die Praxis vorbereitet (sodaß Gott geben möge, daß der von den größten Propheten für Oktober 1999 mit Sicherheit vorausgesagte Kometen-Impakt auf der Erde noch nicht stattfindet).

Die theoretische Möglichkeit besteht darin, die Bahn eines Impaktors durch Neutronen-Raketen weit vor Annäherung an die Erde nahe der Sonne abzulenken oder seine Geschwindigkeit zu vermindern. Dazu

wären bei nicht zu großer Dimensionen des Aggressors gar nicht allzugroße nukleare Kräfte ausreichend. So würde ein nuklearer Sprengkopf in zwei Asteroiden-Durchmesser Entfernung in der Stärke einer (in heutiger Sicht relativ geringen) Ladung einer halben Hiroshima-Bombe (also 10 Kilotonnen) für die Ablenkung eines 250m großen Asteroiden genügen (J. S. Lewis 1997, S. 292). Dabei würde durch diese Explosion eine Verdampfung des Asteroiden-Materials im Millimeter-Bereich seiner erdnahen Region durch die Rückstoßwirkung zur Ablenkung ausreichen.

Die Kalamität besteht aber darin, daß die NASA ihr Augenmerk und ihre Mittel darauf gerichtet hat, die Möglichkeiten für Raumstationen auf nahen Objekten des Sonnensystems auszuforschen und die Abwehrtechnologie sträflich vernachlässigt hat und jetzt ihre Unfähigkeit gerade in dieser entscheidenden Frage selbst zugeben muß (J. S. Lewis 1997, S. 297 f.). Es stehen keine Trägerraketen für nukleare

Sprengköpfe für das All für den Ernstfall bereit. Und die großen Interkontinentalraketen aus der Zeit des Kalten Krieges können uns auch nicht dienen, da diese die Entweichgeschwindigkeit zum Verlassen des irdischen Gravitationsfeldes (11km/sec) nicht erreichen. Wir wären also einem Angriff aus dem All noch für längere Sicht schutzlos ausgeliefert, was auf einer nuklear mit 442 Atomkraftwerken und oberirdischen Endlagern zufolge der mit Impakten verbundenen Mega-Weltbeben verheerende Wirkungen zur Folge hätte. Hoffentlich tritt nicht die paradoxe Situation ein, daß wir im Jahre 1980 aus der Erdgeschichte und 1992 aus dem 9500 Jahre getreu tradierten Sintflut-Ereignis heute genau über die Wirkung eines Impakt informiert sind, noch dazu bereits die nötigen technischen Voraussetzungen für die Abwehr genau kennen, dabei aber um eine winzige Zeitspanne zu spät zum praktischen Handeln sind.

6. Literatur

- BEALS, C. S.: Theories of the origin of Hudson Bay: on the possibility of a catastrophic origin for the great arc of eastern Hudson Bay. - [In:] C. S. BEALS & D. A. SHENSTONE (Hrsg.): Science, History and Hudson Bay, vol. 2, S. 985-999, Ontario (Dep. Energy, Mines and Resources) 1968.
- BUJATTI-NARBESHUBER, M. & HOOGEWERFF, J. A.: Iridium, Rare-Earth elements and the Koefels-Comet-Impakt series scenario etc. - J. of Paleopathology, 7, No 2(1995), S. 83, Chie-ti/Ital. 1996.
- CLUBE, V. & NAPIER, B.: The Cosmic Serpent. A catastrophist view of Earth History. - 299 S., 20+30 Abb., 8 Tab., London (Faber & Faber) 1982.
- DER SPIEGEL: Patschnasse Kornkammer. - Der Spiegel, 1997/1, S. 138, 2 Abb., Hamburg 1997.
- DERRY, D. R. et al.: Tectonic Map of Canada - Ottawa (Geol. Assoc. of Canada) 1950.
- DEUTSCH, A., KOEBERL, Ch. et al.: The impact-flood connection: Does it exist? - Terra Nova, 6, 644-650, Oxford 1994.
- DIETZ, R. S. & BARRINGER, J. P.: Hudson Bay Arc as an astrobleme: A negative search. - Meteoritics, 8, 28-29, Tempe/Ar. 1973.
- DIMROTH, E., BARAGAR, W. R. A. et al.: The filling of the Circum-Ungava Geosyncline. - Pap. Geol. Surv. Canada, 70-40, 45-142, 21 Abb., 12 Tab., Ottawa 1970.
- GRATZ, A. & KURAT, G.: Good News from Köfels (Austria): Abundant Lamellae in Quarz. - Ber. Geol. Bundesanst., 15, 9-10, Wien 1988.

- GRIEVE, R. A. F.: Terrestrial impact: the record in the rocks. - *Meteoritics*, 26, 175-194, 11 Abb., 3 Tab., Los Angeles 1991.
- GRIEVE, R. A. F.: Impact: a natural hazard in planetary evolution. - *Episodes*, 17, No. 1-2, 9-17, 7 Abb., Keyworth/UK. 1994.
- HEUBERGER, H.: Das Ereignis von Köfels im Ötztal (Tirol) und die Sintflut-Impakt-Hypothese. - *Jb. geogr. Ges. Bern*, 59, 271-280, 4 Abb., Bern 1996.
- HEUBERGER, H.: Köfels und die "Apokalypse im Ötztal". - *'s blattle*, 1997/10, S. 12, 3 Abb., Umhausen 1997.
- HEUBERGER, H., MASCH, L. et al.: Quaternary landslides and rock fusion in Central Nepal and in the Tyrolean Alps. - *Mountain Res. Develop.*, 4, 345-362, ill., Boulder/Col. 1984.
- HOYLE, Sir Fred: The origin of the Universe and the origin of Religion. - 91 S., Wakefield/Rhode Is-land (Moyer Bell) 1993.
- HOYLE, Sir Fred: Kosmische Katastrophen und der Ursprung der Religion. - 135 S., Frankfurt/Main-Leipzig (Insel-Verl.) 1997.
- KRANCK, E. H.: On the geology of the east coast of Hudson Bay and James Bay. - *Acta Geographica*, 11, Nr. 2, 1-71, 36 Abb., 1 Kt., Helsinki 1951.
- KRISTAN-TOLLMANN, E. & TOLLMANN, A.: Der Sintflut-Impakt/The Flood impact. - *Mitt. österr. geol. Ges.*, 84 (1991), 1-63, 9 Abb., 1 Tab., Wien 1992.
- KRISTAN-TOLLMANN, E. & TOLLMANN, A.: The youngest big impact on Earth deduced from geological and historical evidence. - *Terra Nova (J. Europ. Union Geosciences)*, 6, 209-217, 11 Abb., Oxford (Blackwell) 1994.
- KRISTAN-TOLLMANN, E. & TOLLMANN, A.: Reply to a reply - but the Flood really happened! - *Terra Nova*, 8, S. 108, Oxford 1996.
- KROMER, B. & BECKER, B.: Tree-ring 14C Calibration at 10.000 BP. - [In:] E. BARD & W. S. BROECKER [Hrsg.]: *The Last Deglaciation etc.* - Proc. of NATO advanced Research Works-hop, 4 S., 1 Tab., 3 Abb., Erice 1990.
- KUCKENBURG, M.: Und sprachen das erste Wort. Die Entstehung von Sprache und Schrift. - 352 S., ill., Düsseldorf (Econ) 1996.
- KURAT, G. & RICHTER, W.: Impaktite von Köfels, Tirol. - *Tschermaks mineral. petrogr. Mitt.*, (3) 17, 23-45, 7 Abb., Wien 1972.
- KURAT, G. & STRADNER, H.: Excursion to the Shocked Quartzes of Köfels (Tyrol, Austria). - *Ber. Geol. Bundesanst.*, 15, 59-62, 3 Abb., Wien 1988.
- LEGGE, A. J. & ROWLEY-CONWY, P. A.: Gazellenjagd im steinzeitlichen Syrien - *Spektrum d. Wissenschaft*, Okt. 1987, 66-74, 8 Abb., Heidelberg 1987.
- LEWIS, J. S.: Bomben aus dem All. Die kosmische Bedrohung. - 311 S., Basel (Birkhäuser) 1997.
- LI, Zi-Shun, ZHAN, L. et al.: On the Permian-Triassic events in South China. - *Spec. Publ. Saito Ho-on Kai*, 3, (Hrsg.: T. KOTAKA et al.: *Proc. Intern. Symp. Shallow Tethys 3*), 371-385, 8 Abb., 1 Tab., 1 Taf., Sendai 1991.
- MIGNON, K.: Die Lärchenfunde beim Vortrieb des Vortunnels. - S. 278, Abb. 300 in: J. VILANEK [Red.]: *Der Arlberg-Straßentunnel etc.*, 697 S., ill., Innsbruck (Arlberg Straßentunnel AG) 1981.
- MOLLESON, Th.: The Eloquent Bones of Abu Hureyra. - *Scientific American*, 1994/Aug., 60-65, 19 Abb., New York 1994.
- N. N.: Fromme Kunde aus der Steinzeit. - *Geo*, 1996/5, S. 163-164, 4 Abb., Hamburg 1996.
- NEWCOTT, W. R.: The Age of Comets. - *National Geographic*, 192/6, 94-109, ill., Washington 1997.

- PEISER, B. J.: Cultural Aspects of Neo-Catastrophism. What are the Implications for Archeo-Astronomy? - Liverpool J. Moores University, S. 1-24, Liverpool 1996.
- PREISINGER, A.: Die Kreide-Tertiär-Grenze. - Barbara-Gespräche 1997, 2 S., Payerbach 1997.
- PURTSCHELLER, F., STINGL, V. et al.: Geologisch-petrographische Ursachen der Radonanomalie in Umhausen (Tirol). - Mitt. österr. geol. Ges., 88 (1995), 7-13, 3 Abb., Wien 1997.
- RONDOT, J.: Recognition of eroded astroblemes. - Earth-Science Reviews, 35, 331-365, 18 Abb., 3 Tab., Amsterdam 1994.
- SAGAN, C.: Blauer Punkt im All. - 440 S., ill., München (Droemer-Knauer) 1996.
- SANFORD, B. V., GRANT, A. C. et al.: Geolog. Map of Eastern Canada etc., 1:2 Mio, Blatt 1401 A (SW) und 1401 A (NW), Ottawa (Geol. Surv. Canada) 1979.
- SMIT, J.: Predictive elements of large-body impacts in geologic history. - Geol. Rdsch., 86, 464-470, 2 Abb., Berlin-Heidelberg (Springer) 1997.
- SURENIAN, R.: Scanning electron microscope study of shock features in pumice and gneiss from Koefels (Tyrol, Austria). - Geol. paläont. Mitt. Innsbruck, 15, 135-143, 1 Abb., 3 Taf., Innsbruck 1988.
- SURENIAN, R.: Shock metamorphism in the Köfels structure. - Abstr. 52nd annual meeting Meteoritical Soc., S. 234, 1 Abb., Wien 1989.
- SURENIAN, R.: Das Köfelsit-Vorkommen im Ötztal, Tirol. - Miner. Rdsch., 1/1994, 11-15, 4 Abb., Wien 1994.
- TAYLOR, G. J.: The Scientific Legacy of Apollo. - Scientific American, Juli 1994, 26-33, 11 Abb., New York 1994.
- TOLLMANN, A.: Nachwort zu Sir Fred Hoyles "Kosmische Katastrophen etc." - S. 119-127, Frankfurt/Main - Leipzig (Insel-Verl.) 1997.
- TOLLMANN, A. & E.: Und die Sintflut gab es doch. - 560 S., 146 Abb., 8 Tab., München (Droemer-Knauer) 1993.
- VAAS, R.: Indianer in Brasilien vor 11.000 Jahren. - Naturw. Rdsch., 50/H.3, S. 117-118, 2 Abb., Stuttgart 1997.
- VERSCHUUR, G. L.: Impact! The Threat of Comets and Asteroids. - 237 S., 43 Abb., etl. Tab., New York-Oxford (Oxford Univers. Press) 1996.
- WALK, L.: Die Sintfluttradition der Völker. - Jb. österr. Leo-Ges., 1931, 60-81, Wien (Herder) 1931.
- ZVONARIC, S.: Shatter Cone - Köfels (Tirol, Austria). - The Role of the Impact Processes in the Geological and Biological Evolution of Planet Earth, S. 104-106, 5 Abb., Ljubljana (Int. Works-hop Postojna, Slovenia) 1996.

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Klastische Sedimente im Umkreis von Chicxulub (Yucatan,
Mexiko): Zur Altersstellung des Impakt-Events und anderer
Ereignisse an der Wende Kreide-Tertiär *

W. STINNESBECK



Payerbach,

* Manuskript eingelangt Jänner 1999

INHALT

Zusammenfassung/Abstract	111
1. Einführung	111
2. Nordost-Mexiko	113
3. Haiti	117
4. Guatemala und Süd-Mexiko	117
5. Kuba	119
6. Brasilien	122
7. Diskussion - Zum Alter der klastischen Ablagerungen	125
8. Ergebnisse	127
Danksagung	128
Literatur	128

Anschrift des Verfassers:

*Univ.Prof. Dr. Wolfgang STINNESBECK
Institut für Geologie
Universität Karlsruhe
Postfach 6980
D - 76128 Karlsruhe*

Klastische Sedimente im Umkreis von Chicxulub (Yucatan, Mexiko): Zur Altersstellung des Impakt-Events und anderer Ereignisse an der Wende Kreide-Tertiär

W. STINNESBECK

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Stratigraphie, der lithologischen Abfolge und den Ablagerungsbedingungen der vermeintlichen Impakt-Ejekta und Megatsunami Gesteine in Mexiko, Haiti, Guatemala, Kuba und Nordost-Brasilien. Die Untersuchungen belegen, daß diese Sedimente zu unterschiedlichen Zeiten innerhalb des oberen Maastricht und des unteren Dan zur Ablagerung kamen. Für den Kreide/Tertiär-Übergangsbereich wird daher ein Multi-Event-Szenario vorgeschlagen, in welchem die exakte stratigraphische Stellung des Asteroiden-Einschlagkraters bei Chicxulub, Yukatan, noch unklar ist.

Abstract

Siliclastic and limestone breccia deposits in Mexico, Guatemala, Cuba, Haiti and northeastern Brazil have variously been interpreted as proximal to distal impact ejecta and megatsunami deposits, generated by a bolide impact that struck Yukatan at Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary time. The stratigraphy, lithology and depositional environment of these deposits are reviewed in order to evaluate the nature, origin and age of these deposits. The investigation shows that these deposits occur at different stratigraphic levels during the late Maastrichtian and early Danian. In consequence, a multi-event scenario across the K/T boundary is proposed in which the precise stratigraphic position of the Chicxulub crater in Yukatan is unclear.

1 Einführung

Die kreisförmige Chicxulub-Struktur im Untergrund von Yukatan (1) wird allgemein als Einschlagskrater eines Asteroiden von 10 km Durchmesser angesehen. Hierbei soll der Aufschlag exakt an der Kreide/Tertiär (K/T)-Grenze erfolgt sein und zum weltweiten Massensterben mariner und terrestrischer Faunen geführt haben.

Als prominenteste Opfer werden die Dinosaurier, marine Reptilien, Flugsaurier, Ammoniten, Belemniten sowie ein Großteil des kalkigen Nannoplanktons und der planktonischen Foraminiferen aufgeführt, obwohl Magnitude, Timing und Verlauf der Faunenkrise auch zwanzig Jahre nach der Erstveröffentlichung der K/T-Impakthypothese (ALVAREZ et al., 1980) intensiv diskutiert werden (MACLEOD et al., 1997; HUDSON, 1998).

Die Interpretation von Chicxulub als K/T-Impaktkrater begründet sich auf die Präsenz geschockter Quarze und Feldspate in Brekzien-Proben aus dem Untergrund von Yukatan (SHARPTON et al., 1992, 1996), ungewöhnlich hohen Iridium-Werten in einem Gesteinsfragment (SCHURAYTZ et al., 1994, 1996), welches zuvor als Andesit beschrieben wurde, Ähnlichkeiten in der chemischen Zusammensetzung zwischen Glas aus Chicxulub-Brekzien und „Tektit-ähnlichen“ Gläsern aus Haiti und Nordost-Mexiko sowie deren $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ -Alter von 65 Millionen (IZETT et al., 1990, 1991, IZETT, 1991; SIGURDSSON et al., 1991; BLUM & CHAMBERLAIN, 1992; SHARPTON et al., 1992, 1996; SWISHER et al., 1992; SMIT et al., 1992; KOEBERL, 1993; KOEBERL & SIGURDSSON, 1992; KOEBERL et al., 1994) und der Präsenz einer konzentrischen geophysikalischen Anomalie, welche mit Brekzien und Andesiten oder „melt

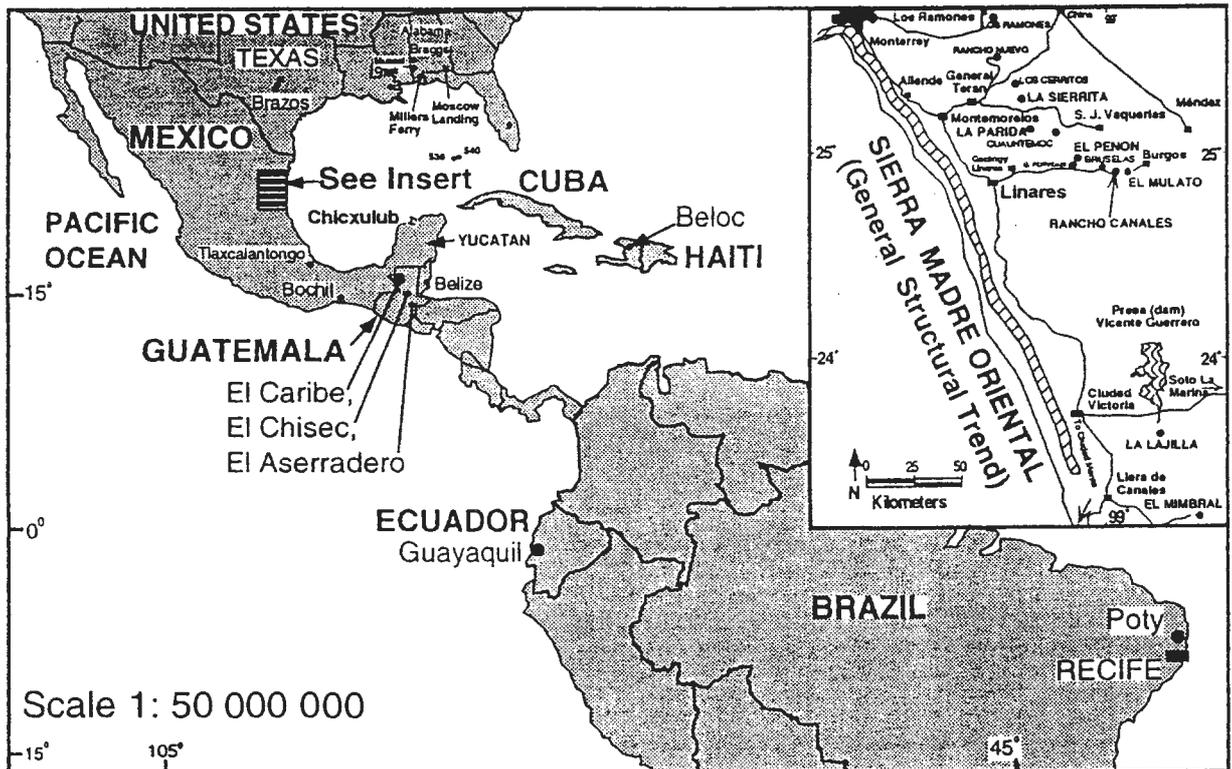


Abb. 1. Geographische Verteilung wichtiger Kreide/Tertiär-Grenzprofile mit klastischen Ablagerungen von Texas bis Brasilien. Die Profile in Nordost-Mexiko sind in der kleinen (eingelagerten) Karte aufgeführt.

rock“ assoziiert ist (POPE et al., 1991; HILDEBRAND et al., 1991, 1994, 1995; SHARPTON et al., 1992, 1996; PILKINGTON & HILDEBRAND, 1994; KRING, 1995; MORGAN et al., 1997).

Zusätzlich wurden im Umkreis von Yucatan ballistische Impakt-Ejekta und -Megatsunami-Sedimente beschrieben: komplexe Sandsteinpakete mit kalkigen und glasigen Kügelchen (Sphaerolithe) in New Jersey, Texas, Alabama, Haiti, im Golf von Mexiko und in Nordost-Mexiko, sowie Karbonat-Brekzien in Süd-Mexiko (Chiapas), Guatemala, Belize, Kuba und Nordost-Brasilien sollen ebenfalls ein K/T-Alter besitzen und innerhalb weniger Stunden bis Tagen vom Chicxulub-Impakt hervorgerufen worden sein (BOUGEOIS et al., 1988; IZETT, 1991; SIGURDSSON et al., 1991; SMIT et al., 1992, 1996;

ALVAREZ et al., 1992; BOHOR, 1996; MONTANARI et al., 1994; HILDEBRAND et al., 1993, 1994; OCAMPO et al., 1996; ALBERTÃO et al., 1994; ALBERTÃO & MARTINS, 1996; KOUTSOUKOS, 1998; HABIB et al., 1996; OLSSON et al., 1996, 1997; PECHEUX & MICHAUD, 1997; BRALOWER et al., 1998; FOURCADE et al., 1998; Abb. 1).

Das genaue Alter des Chicxulub-Events läßt sich bisher in Yucatan selbst nur schwer ermitteln: So wurde von LOPEZ RAMOS (1973, 1975) und WARD et al. (1995) darauf hingewiesen, daß in den Bohrungen Y6 und C1 der mexikanischen Erdölgesellschaft PEMEX die „Impakt“brekzien von Mergeln überlagert werden, welche eine Foraminiferenfauna des späten Maastricht enthalten (Abb.2). Wenn diese Interpretation der ursprünglichen

Bohrlochbeschreibungen und Elektrologs korrekt ist, so würde dies bedeuten, daß der Meteoriteneinschlag vor Ende der Kreidezeit erfolgte, also nicht an der K/T-Grenze selbst. In diesem Fall bestände keine direkte zeitliche Relation zwischen dem Einschlag und dem weltweiten Faunenschnitt, es sei denn, das Massensterben hätte bereits vor der K/T-Grenze begonnen. Zusätzlich scheinen in einigen Bohrungen (Y2, Y4, Y6) Horizonte nicht brekziierter Kalksteine und Anhydrite in die Brekzieneinheit eingeschaltet zu sein (WARD et al., 1995, URRUTIA et al., 1996; Abb. 2); in diesem Fall wären die Brekzien durch mehrere, zeitlich voneinander getrennte Events zur Ablagerung gekommen. Alternativ existiert allerdings auch die Möglichkeit, daß die Alterseinstufung der Mergel ins späte Maastricht fälschlich auf umgelagerten kretazischen Faunenelementen basierte und daß die aufgefundenen Anhydrite und Kalke lediglich größere Blöcke oder Gleitmassen innerhalb der Brekzie darstellen. Die bisher publizierten Bohrproben und -logs von PEMEX (WARD et al., 1995) gestatten hierzu keine eindeutigen Antworten. Diese werden erst von einer eingehenden biostratigraphischen Analyse der vollständig gekernteten UNAM-Bohrungen und der für das Jahr 2000 beabsichtigten ICDP-Tiefbohrung erwartet.

In Ermangelung eindeutiger biostratigraphischer Kontrolle innerhalb und oberhalb der Chicxulub-Brekzie basiert das exakte Timing des Einschlags im allgemeinen auf den sog. Impakt-Ejekta und Megatsunami-Ablagerungen in der Umgebung von Yucatan. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Lithologie, dem Ablagerungsmilieu und der stratigraphischen Einstufung dieser Ablagerungen in Mexiko, Guatemala, Haiti, Kuba und Nordost-Brasilien (Abb. 1). Die vorliegende Analyse belegt, daß die klastischen Sedimente und Sphaerolithe zu unterschiedlichen Zeiten vom obersten Maastricht bis ins unterste Paläozän zur Ablagerung kamen. Diese Daten weisen auf ein Multievent-Szenario im K/T-Übergangsbereich hin, in welchem die genaue zeitliche Position des Chicxulub-Impakts und seine Beziehung zum globalen Massensterben ungeklärt sind.

2 Nordost-Mexiko

In Nordost- und Ost-Mexiko sind grobkörnige siliziklastische Ablagerungen in K/T-Profilen weit verbreitet und wurden bisher über eine Distanz von mehr als 600 km von Los Ramones bei Monterrey im Norden bis Tlaxcalantongo und Coxquihui bei Poza Rica im Süden erkannt (SMIT et al., 1992, 1996; STINNESBECK et al., 1993, 1996; KELLER et al., 1994a,b; 1997; BOHOR, 1996; Abb.1). Für die vorliegende Untersuchung wurden mehr als zwei Duzend dieser Profile analysiert, wobei die siliziklastischen Ablagerungen Mächtigkeiten von wenigen cm bis hin zu mehr als 11 m erreichten. Im allgemeinen bestehen sie aus einer komplexen Folge von Sandsteinen, Siltsteinen und dünnen Tonsteinen sowie an der Basis der Abfolge aus Schichten kalkiger Kügelchen (Sphaerolithe), die max. 5 mm Durchmesser erreichen und vermutlich ursprünglich einmal aus Glas bestanden (Abb. 3). Mit erosivem Kontakt überlagern die siliziklastischen Ablagerungen Mergel, welche aufgrund ihrer Gemeinschaften planktonischer Foraminiferen in die *Plummerita hantkeninoides* Zone (Zone CF1) des obersten Maastricht eingestuft werden und damit während der letzten 300-400 Tausend Jahre der Kreidezeit abgelagert wurden (Abb.3). Sie unterlagern dunkle Tonsteine und mergelige Siltsteine mit Faunen der *Parvularugoglobigerina eugubina* Zone (Zone P1a) des basalen Paläozän. In einigen Profilen (z.B. Lajilla, Peñon, Mulato) überlagert eine 5-10 cm dünne Mergellage mit planktonischer Foraminiferenfauna des obersten Maastricht (*Plummerita hantkeninoides*-Zone) das siliziklastische Sedimentpaket und trennt es zeitlich von der K/T-Grenze (Abb. 3). Diese befindet sich erst oberhalb der Mergelschicht und ist durch eine Iridium-Anomalie von 0.9 ng/g und das Massensterben der tropischen planktonischen Foraminiferen charakterisiert (LOPEZ-OLIVA & KELLER, 1996; KELLER et al., 1997). Einige Autoren (z.B. SMIT et al., 1996) interpretieren diese Mergelschicht als suspendiertes Trübematerial, das wenige Stunden oder Tage nach dem Impakt zur Ablagerung kam; dieser Einschätzung stehen aber fehlende Partikelgradierung und die Präsenz

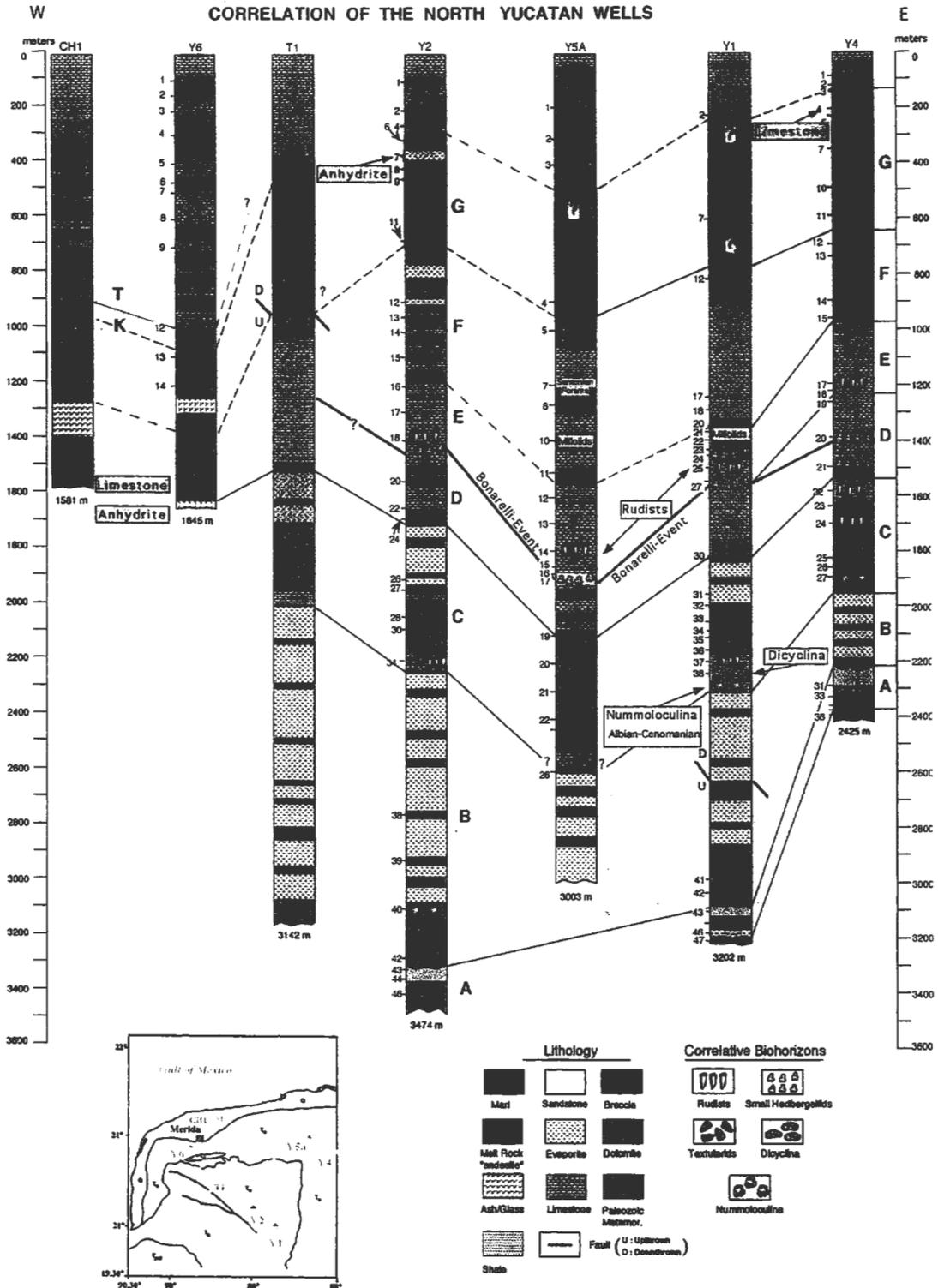
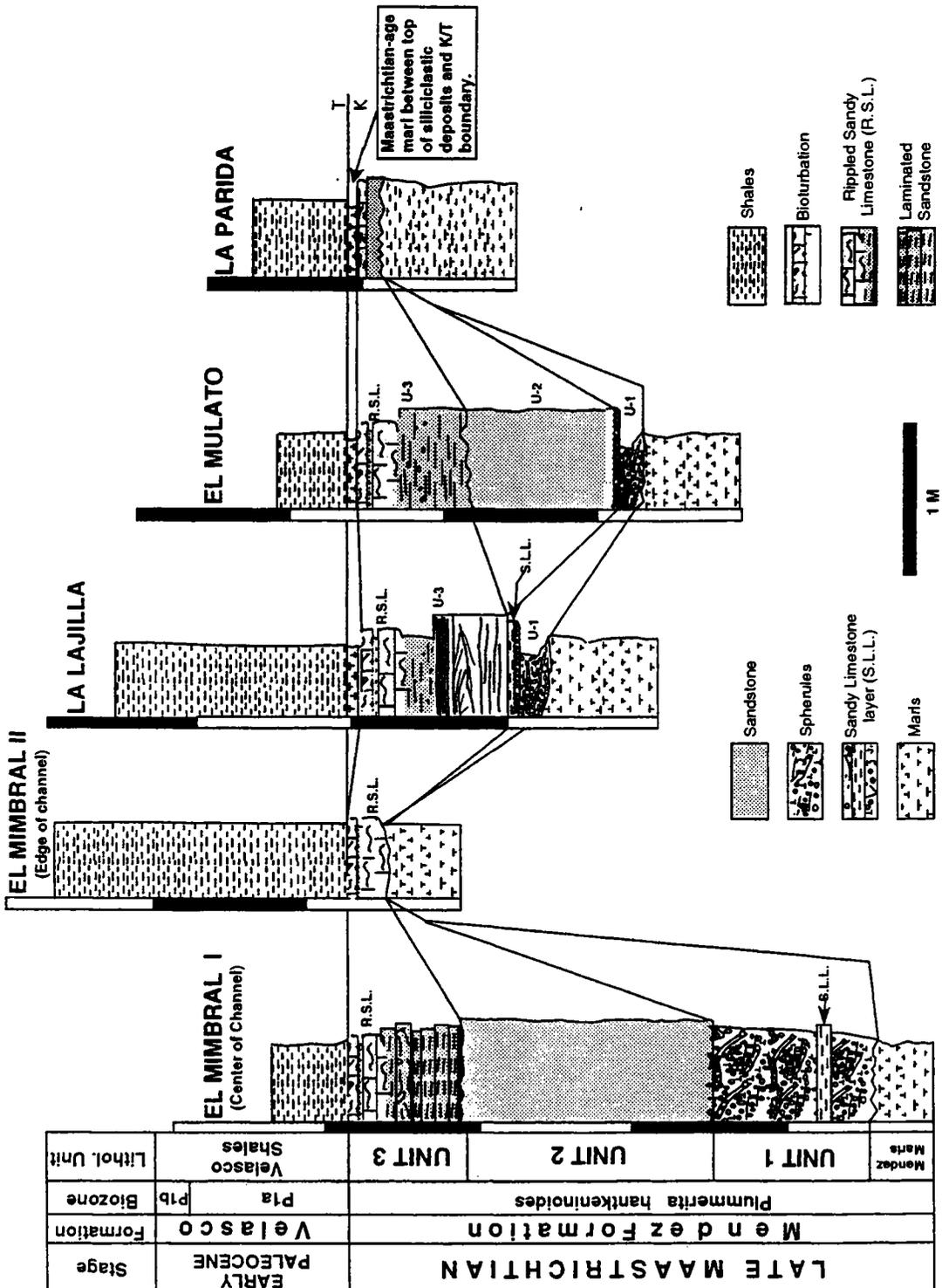


Abb. 2. Stratigraphische Korrelation der PEMEX-Bohrungen in Nord-Yucatan. Alle Bohrungen beginnen in einer Höhe von nur wenigen Metern über NN. Y-Bohrungen = Yucatan Nrn. 1, 2, 4, 5a und 6; C-Bohrung = Chicxulub Nr. 1; T-Bohrung = Ticul Nr. 1. Die Großeinheiten des Mesozoikums basieren auf lithologischen Wechselln, korrelierbaren Fossilzonen, und e-Log-Charakteristika. Ungefähre Alter der Einheiten: A - Jura bis frühe Kreide; B - Alb; C - Alb bis Cenoman; D - Cenoman - Turon; E - Turon; F - Coniac ? bis Maastricht; G - spätes Maastricht (aus Ward et al., 1995)

Abb. 3. Litho- und biostratigraphische Korrelierung von vier der vollständigsten K/T-Grenzprofile in Nordost-Mexiko. Beachten Sie, daß sich die drei Einheiten (U1, U2, U3) über 250 bis 300 km korrelieren lassen. In dreien der vier Profile überlagert eine Mergelschicht des obersten Maastricht die siliziklastischen Ablagerungen und deutet darauf hin, daß normale hemipelagische Sedimentation bereits vor der K/T-Grenze wieder einsetzte (aus Keller et al., 1997).



diverser Foraminiferen-Vergesellschaftungen entgegen (ADATTE et al., 1996). Die genannten Punkte sprechen dafür, daß nach der Ablagerung der siliziklastischen Sedimente für kurze Zeit (wenige tausend Jahre) normale hemipelagische Sedimentationsbedingungen in das Nordost-mexikanische Becken zurückkehrten, bevor es dann an der K/T-Grenze zum Massensterben bei den planktonischen Foraminiferen und zur Ir-Anreicherung kam.

Die siliziklastischen Sedimente werden allgemein in drei lithologisch und mineralogisch unterschiedliche Einheiten untergliedert (STINNESBECK et al., 1993, 1996; Abb. 3): Die basale Einheit I besteht aus den Sphaerolith-reichen Sedimenten und enthält darüberhinaus Glaukonit, Mergelklasten und seltene Glasfragmente. Sphaerolithe und Glas werden als Impakt- oder Tektitglas interpretiert und mit dem Chicxulub-Einschlag in Verbindung gebracht (SMIT et al., 1992, 1996, KOEBERL et al., 1994). Profile in der Umgegend von La Sierrita (Abb.4) belegen die Präsenz von zwei und mehr Sphaerolithschichten, welche in Mergeln des späten Maastricht (P. hantkeninoides Zone, CF1) eingeschaltet sind (SCHULTE, 1999; STINNESBECK et al., 1999; Abb. 4). Mit Ausnahme der untersten enthalten alle zusätzlichen Schichten vor allem Bruch-resistente Foraminiferen (Globotruncanen, Rugoglobigerinen) und weisen auf Umlagerung einer ursprünglichen Sphaerolithschicht hin, also nicht unbedingt auf mehrere Sphaerolith-produzierende Ereignisse. Mehr als 2 m Mergel der Zone CF1 lagern zwischen diesen Sphaerolithschichten und den Einheiten II und III der siliziklastischen Sequenz. Sie belegen das Vorhandensein lang andauernder Zeitintervalle mit normaler hemipelagischer Sedimentation zwischen den Events.

Einheit II ist ein homogener Feinsandstein mit paralleler Lamination. Vereinzelt werden auch unregelmäßige J-förmige Bauten angetroffen, welche mit Sphaerolithen gefüllt sind (EKDALE & STINNESBECK, 1998). Einheit III besteht aus einer Wechsellagerung von Feinsandsteinen, Siltsteinen und dünnen Tonsteinlagen und zeichnet sich durch diverse

Sedimentstrukturen (z.B. Rippel-, Flaser, kleinräumige Schrägschichtung) aus. Spurenfossil-Vergesellschaftungen sind ebenfalls häufig und divers (z.B. Freßbauten von Chondrites und Zoophycos, Wohnbauten und Fährten von Ophiomorpha und Planolites). Insgesamt belegt die Ichnofauna mehrere Kolonisierungsperioden während der Ablage

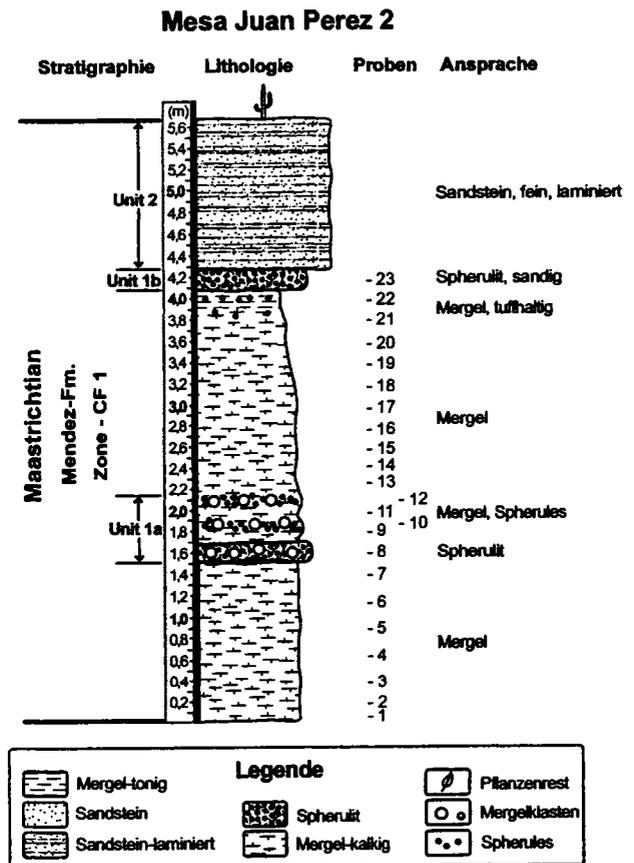


Abb. 4. Litho- und Biostratigraphie des Profils Juan Perez, 30 km nördlich von La Sierrita. Beachten Sie das Auftreten von Sphaerolithschichten innerhalb pelagischer Mergel der Foraminiferenzone CF1 des obersten Maastricht. Diese Mergelschichten belegen Zeiträume normaler Sedimentation, welche das Sphaerolith-produzierende Event stratigraphisch von umgelagerten Sphaerolithen und den überlagernden siliziklastischen Einheiten II und III trennen. Die gesamte Sedimentation fand während der letzten 300-400 Tausend Jahre des Maastricht statt (aus Schulte, 1999).

rung der Einheiten II und III und weist damit auf einen längeren Sedimentationszeitraum hin, welcher die von der Tsunami-Hypothese geforderten Stunden oder Tage bei weitem übertrifft (EKDALE & STINNESBECK, 1998)

3 Haiti

Die K/T-Grenze bei Beloc, Haiti, ist berühmt für das Auftreten von Sphaerolithablagerungen, in denen noch reichlich „Tektit“glas vorhanden ist (IZETT et al., 1990, 1991; IZETT, 1991; SIGURDSSON et al., 1991; MAURASSE & SEN, 1991; BLUM & CHAMBERLAIN, 1992; JEHANNO et al., 1992; LEROUX et al., 1995). Strittig allerdings ist auch hier die stratigraphische Position der Glas-führenden Schichten in Bezug auf die K/T-Grenze. So belegt nämlich die kürzliche Untersuchung von sechs expandierten Profilen in der Umgebung von Beloc, daß die K/T-Grenze an der Erosionsdiskordanz zwischen mergeligen Kalken der Zone CF1 (P. hantkeninoides Zone) und überliegenden Sphaerolithablagerungen liegt (STINNESBECK et al. 1999, in Vorber.; Abb. 5). Letztere enthalten Vergesellschaftungen winziger (38-63 μ) planktonischer Foraminiferen der Zone P1a (P. eugubina Zone) des frühen Paläozän. Die Foraminiferenzone P0 des frühesten Dan und die K/T-Grenzschiicht selbst fehlen also in Beloc.

Die Aufeinanderfolge der tertiären Foraminiferenarten in den Sphaerolithablagerungen und überlagernden pelagischen Kalken entspricht der weltweit beobachteten evolutiven Aufeinanderfolge und weist somit darauf hin, daß es sich nicht um von oben eingewaschene Faunen handelt, sondern um in situ-Vergesellschaftungen der Zone P1a (Abb.5). Die Sphaerolithablagerungen dagegen scheinen in mehreren Events abgelagert worden zu sein.

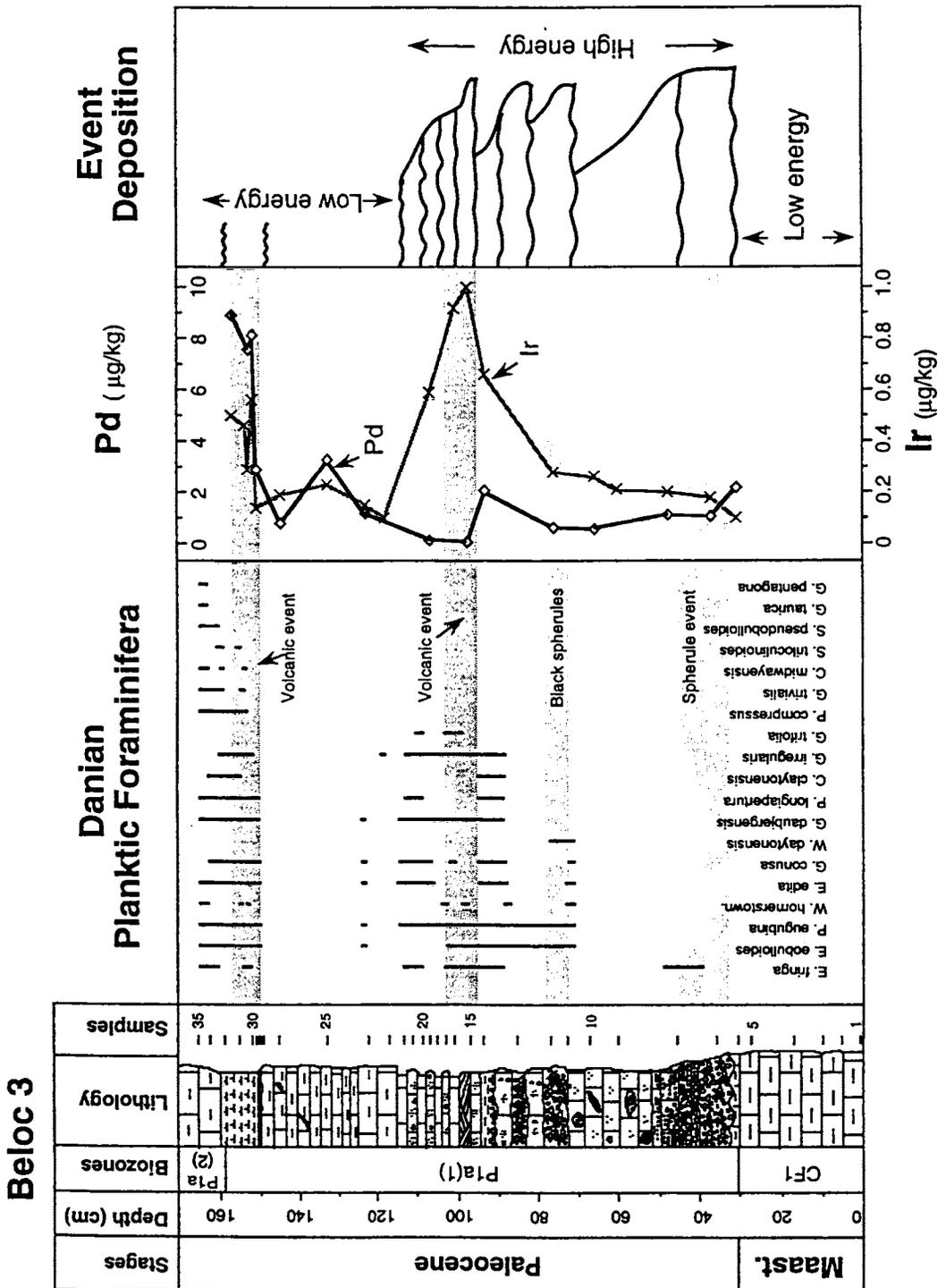
Für diese Interpretation sprechen Lagen mit unterschiedlicher diagenetischer Alteration der Sphaerolithe, Wechsel der Lithologie (z.B. Wechsellagerung von Sphaerolithlagen und bioklastischen Kalken), erosive Kontakte an den lithologischen Kontakten und die

Größengradierung von Bioklasten und Kügelchen. Ir ist in der Sphaerolithereinheit nur wenig angereichert, zeigt aber eine Anomalie von 1,0 ng/g am Top der Einheit bis in die darüberlagernden pelagischen Kalke (STÜBEN et al., 1999; STINNESBECK et al., in Vorber; Abb. 5). Es ist derzeit noch unklar, ob diese Anomalie aus der mechanischen Umlagerung einer Anomalie resultiert, die sich ursprünglich an der K/T-Grenze befunden hat und die in Beloc erodiert wurde, oder aber ob sie von einem Impaktereignis im frühen Paläozän (Zone P1a) stammt. Die zweite Möglichkeit scheint jedoch wahrscheinlicher, weil Sphaerolithablagerungen und Ir-Anomalie durch dünne Lagen pelagischer Kalksteine getrennt sind. Diese enthalten fröhertertiäre Foraminiferen der Zone P1a und Stress-resistente kalkige Dinoflagellaten (z.B. Thoracosphaera) und wurden sicher nicht umgelagert. Eine zweite Anomalie von PGEs (Platingruppen-Elementen) weiter oben im Profil wird von Pd dominiert und geht wahrscheinlich auf einen magmatischen Ursprung zurück (STÜBEN et al., 1999).

4 Guatemala und Süd-Mexiko

Im südlichen Petén-Becken von Guatemala treten in Profilen des K/T-Übergangs von der Grenze mit Mexiko im Westen bis hin nach Süd-Belize im Osten Karbonatbrekzien bzw. -konglomerate auf (HILDEBRAND et al., 1993; STINNESBECK et al., 1997; FOURCADE et al., 1998). In den Profilen von El Caribe, Aserradero, Chisec und Actela erreicht die Brekzieneinheit bis zu 35 m Mächtigkeit und überlagert Rudisten-führende Flachwasserkalke der späten Kreidezeit (Campan-Maastricht; Abb. 6). Rhythmisch geschichtete Kalke, Mergel und Siltsteine der Zone P1a (P. eugubina Zone) des frühen Dan überlagern die Brekzie. Sie wurden unter Wassertiefen des mittleren und äußeren Neritikum abgelagert. Die Klasten der Brekzie bestehen aus Flachwasserkalken mit reichlich Rudisten und benthonischen Großforaminiferen. Sie bilden Lagen, welche unterschiedliche Färbungen aufweisen. Die Größe der Klasten nimmt nach oben hin ab, wobei zuerst feinkörnige Kalzi-

Abb. 5. Der Kreide-Tertiär-Übergang im Profil Beloc III, Haiti. Lithologische Abfolge, stratigraphische Verteilung wichtiger planktonischer Foraminiferen, Iridium- und Palladium-Verteilung sowie Interpretation der Ablagerungsenergie. Beachten Sie das Auftreten von zwei PGE-Anomalien innerhalb der Zone P1a des basalen Dan (Zone P1a) (aus Stinnesbeck et al., in Vorber.).



rudite und zuoberst Grainstones zur Ablagerung kamen. Hierbei nimmt zum Hangenden der Rundungsgrad der Klasten von Kantenrundung bis hin zu guter Rundung allgemein zu. Die Ablagerung der Brekzien erfolgte vermutlich während des Maastricht, obwohl die obersten 10 cm der Einheit bei Chisec bereits seltene Exemplare von *P. eugubina* aufweisen und damit ins basale Tertiär datiert werden (STINNESBECK et al., 1997). *P. eugubina* wurde von FOURCADE et al. (1998) auch in den obersten Grainstone-Schichten der Brekzien von El Caribe und Actela identifiziert, in Sedimenten, welche in Caribe außerdem diagenetisch alterierte Glas-Sphaerolithe enthalten (Abb. 6). Diese Sphaerolithe befinden sich damit in einer ähnlichen stratigraphischen Position wie die Sphaerolithe von Beloc, Haiti, und Mimbral, Mexiko, und gehen vermutlich auf dasselbe Event zurück. Es gibt aber bisher keinerlei Hinweise dafür, daß die gesamte Brekzie durch dieses Ereignis verursacht worden wäre, denn Glas wurde bisher nur am Top der Einheit aufgefunden. Auch fehlen in der Brekzie Gesteine des tieferen Untergrundes oder andere exotische Lithologien, und die Klasten sind weder mechanisch fragmentiert noch alteriert. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Brekzie in mehreren Ereignissen über einen längeren Zeitraum abgelagert wurde. Hierfür sprechen auch alternierende Lagen mit unterschiedlicher Größe und Rundungsgrad der Klasten, Feinlagerung sowie Farbwechsel der Schichten in den obersten Metern der Einheit (STINNESBECK et al., 1997). In anderen Profilen in Guatemala und Süd-Mexiko (z.B. Chemal, Lanquin, Bochil; Abb.1) sind Karbonatbrekzien in einem siliziklastischen Flysch der oberen Kreide und des Alttertiärs (? Campan, Maastricht bis Eozän) enthalten (STINNESBECK et al., 1994, 1997). Die Brekzien wurden vermutlich als Debris Flows abgelagert und befinden sich in unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus innerhalb der Sedimentfolge (bsw. sind bei Lanquin 3 bis 4 Brekzienlagen in Schichten des frühen Ober-Maastricht enthalten). In Chemal und Bochil wurde darüberhinaus eine Brekzienschicht nahe der K/T-Grenze festgestellt

(STINNESBECK et al., 1994, 1997, MONTANARI et al., 1994; SMIT et al., 1996; CLAEYS et al., 1998). In Chemal wird diese Brekzienlage von Flysch-Sedimenten der Zone P1a (*P. eugubina*) überlagert (Abb. 6), in Bochil sind es Mergel und Siltsteine der Zonen P1c bzw. P3 (Abb. 7). Die Iridium-Anomalie, die von Montanari et al (1994) und Claeys et al. (1998) 1 m oberhalb der Brekzie von Bochil beschrieben wurde, befindet sich danach in Sedimenten des unteren Paläozän und steht nicht mit den Ereignissen an der K/T-Grenze in Zusammenhang.

5 Kuba

Die K/T-Profile in West- und Zentral-Kuba enthalten Karbonatbrekzien von bis zu 300 m Mächtigkeit (PSZCOLKOWSKI, 1986, PSZCOLKOWSKI et al., 1987; ITURRALDE, 1992; TAKAYAMA et al., 1999; KIYOKAWA et al., 1999). Die von uns untersuchten Profile von Rio Santiago, Cinco Pesos, Peñalver und Santa Clara ähneln einander bezüglich der Lithologien und der Ablagerungsfolge (Abb. 8). Allgemein nimmt die Größe der Klasten nach oben ab, wobei zunächst feinkörnige Kalzirudite und im Anschluß Grainstones abgelagert wurden. Letztere zeigen eine leichte Stratifikation und Laminierung. Die beobachtete Korngrößen-Gradierung des Sedimentpaketes, dessen massiver, weitgehend unstratifizierter Aspekt und das generelle Fehlen von Diskonformitäten, kleinräumigen lithologischen Wechseln bzw. von Wechseln der Klastengröße oder Rundung machen es wahrscheinlich, daß die Ablagerung der Brekzien in einem einzigen sedimentologischen Zyklus erfolgte. Bei Peñalver und Cinco Pesos enthält die Sedimentmatrix der feinkörnigeren Kalzirudite und Grainstones gut erhaltene planktonische Foraminiferen, wohingegen die Klasten selbst benthonische Großforaminiferen und Flachwasser-Invertebraten enthalten. Dies weist auf einen Sediment-Transport vom flachen ins tiefere Wasser hin. Die aufgefundenen planktonischen Foraminiferen besitzen ein frühes Ober-Maastricht-Alter (~ 68-70 Ma.), wohingegen Index taxa des obersten Maastricht

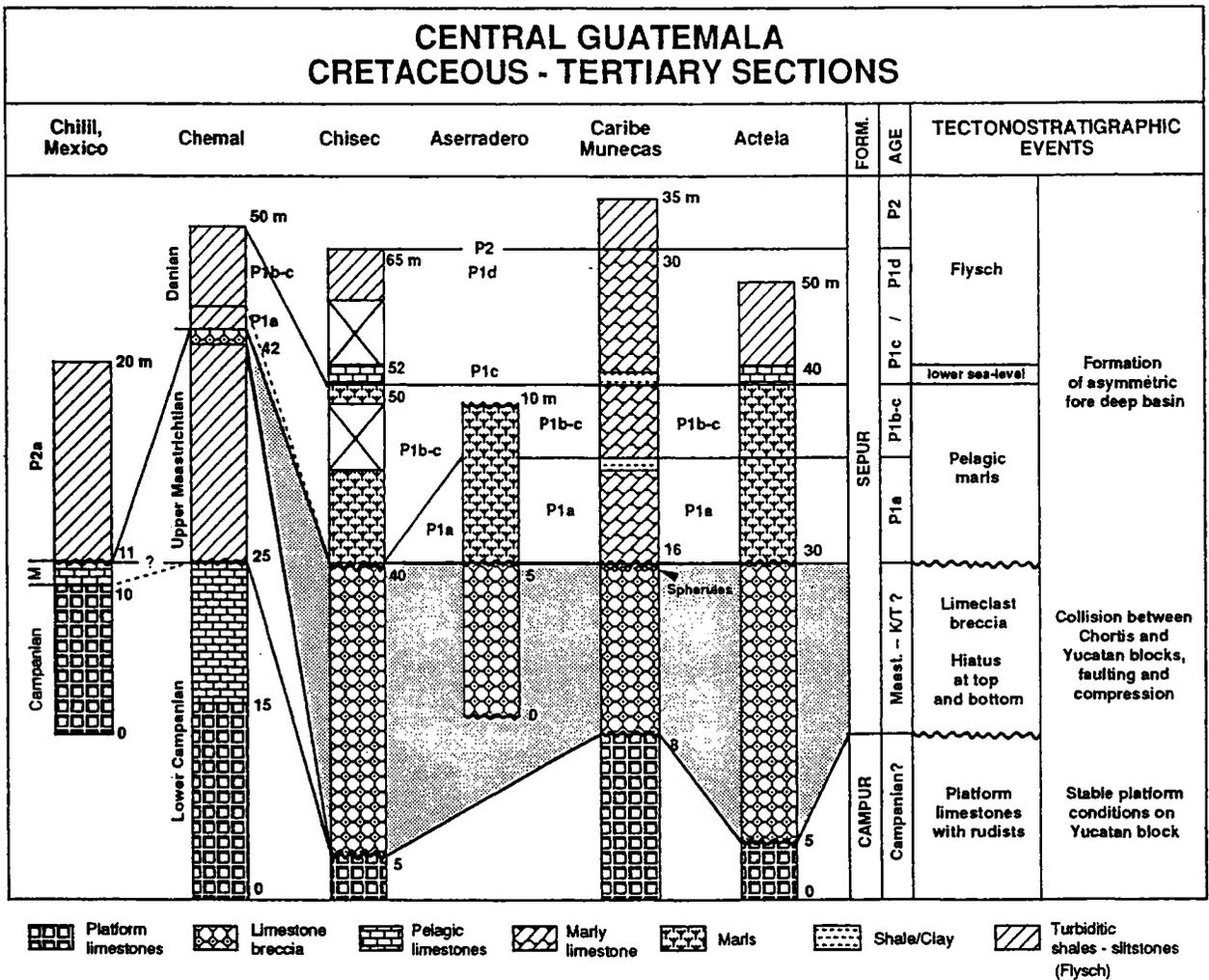


Abb. 6.: Litho- und biostratigraphische Korrelation von fünf K/T-Grenzprofilen aus Guatemala und des Chillil-Profiles in Süd-Mexiko (Chiapas). Alle sechs Profile zeigen den Übergangsbereich von Flachwasserkarbonaten (Campur Fm. in Guatemala, Angostura Fm. in S-Mexiko) hin zu pelagischen Mergeln und siliziklastischen Flyschablagerungen der Sepur Fm. (in Guatemala) und Soyatal Fm. (in Chiapas). Beachten Sie, daß vier der fünf guatemalteckischen Profile (alle außer Chimal) durch mächtige Einheiten von Karbonatbrekzien charakterisiert sind, welche die Campur Fm. diskordant über- und die Sepur Fm. unterlagern. In Chimal und Chillil werden die Flachwasserkalke von pelagischen Kalken des oberen Campan (calcarata-Zone; Chimal) bzw. des mittleren Maastricht (gansseri-Zone; Chillil) überlagert. Dies weist darauf hin, daß der Beginn der pelagischen Sedimentation diachron verlief und unabhängig von den Ereignissen an der K/T-Grenze erfolgte. Die Sphaerolithe am Top der Brekzieneinheit von Caribe wurden nahe der K/T-Grenze oder sogar im basalen Dan (Zone P1a) abgelagert (aus STINNESBECK et al., 1997).

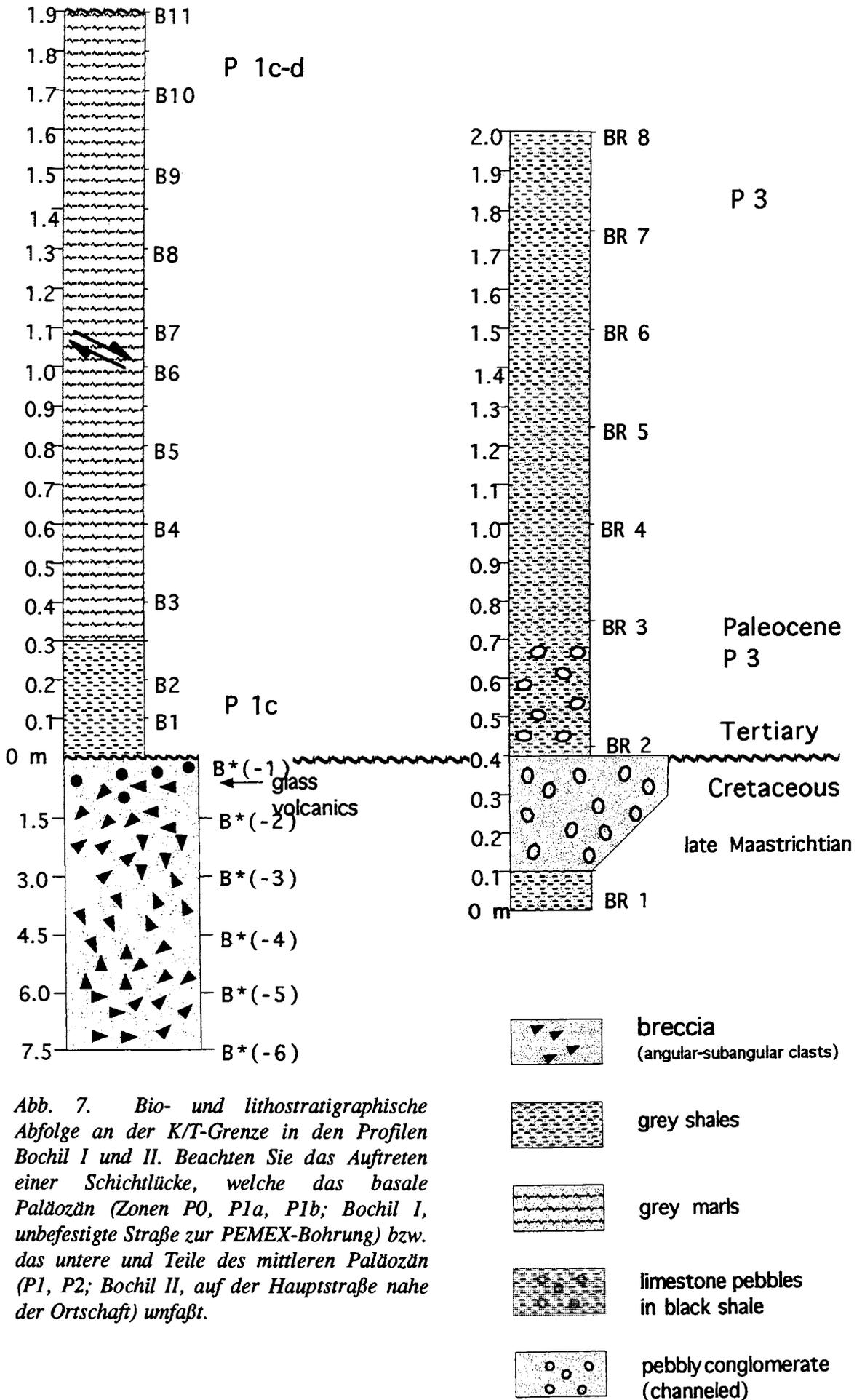


Abb. 7. Bio- und lithostratigraphische Abfolge an der K/T-Grenze in den Profilen Bochil I und II. Beachten Sie das Auftreten einer Schichtlücke, welche das basale Paläozän (Zonen P0, P1a, P1b; Bochil I, unbefestigte Straße zur PEMEX-Bohrung) bzw. das untere und Teile des mittleren Paläozän (P1, P2; Bochil II, auf der Hauptstraße nahe der Ortschaft) umfaßt.

(bsw. *Plummerita hantkeninoides*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Globotruncana contusa*) fehlen. Damit wären die kubanischen Brekzien um drei bis fünf Ma älter als die K/T-Grenze und ständen mit dem Chicxulub-Impakt in keinerlei Beziehung. Das Fehlen von Fossil-Vergesellschaftungen des obersten Maastricht könnte aber auch damit zusammenhängen, daß diese bei der Menge des umgelagerten Sedimentmaterials zu selten sind und daß zu viele ältere Spezies umgelagert wurden. So wurde kürzlich von Takayama et al. (1999) in einem Intraklasten von Peñalver eine einzelne *Micula prinsii* identifiziert. Sollte sich diese Bestimmung bestätigen, dann fiel die Ablagerung der Brekzie von Peñalver in die letzten 400-500 Tausend Jahre des Maastricht und ein kausaler Zusammenhang mit dem Chicxulub-Impakt wäre möglich.

In der Brekzie des Profiles Santa Clara wurden bisher keinerlei planktonische Foraminiferen festgestellt und die genaue stratigraphische Einstufung bleibt damit unklar (Abb. 8). Eine Erosionsdiskordanz charakterisiert den lithologischen Kontakt zwischen Brekzie und überlagernden Mergeln. Letztere enthalten Faunen der Zone P1c des unteren Dan (Abb. 8).

Frühtertiäre Alter ergaben sich auch bei der Analyse eines vermeintlichen K/T-Profiles in Ost-Kuba (FERNÁNDEZ et al., 1991). Die Flyschsequenz von Alcarraza enthält neben umgelagerten Faunen der obersten Kreide autochthone Vergesellschaftungen des mittleren Paläozän (Zonen P2-3).

6 Brasilien

Der Poty-Steinbruch nördlich von Recife in Nordost-Brasilien enthält einen nahezu vollständigen K/T-Übergang (Stinnesbeck, 1989; Stinnesbeck & Keller, 1996; Albertao et al., 1994; Albertao & Martins, 1996; Koutsoukos, 1998). Maastricht und Paläozän werden durch fossilreiche Mergelkalke repräsentiert. Die Sedimente des Maastricht enthalten in den obersten Metern planktonische Foraminiferen-Vergesellschaftungen der P. *hantkeninoides* Zone (CF1) des obersten Maastricht (Abb. 9). In diesem Teil des Profiles sind Seeigel (*Hemiaster*) und Anneliden (*Hamulus*) häufig und indizieren normal marine Schelf-

Bedingungen. Die Seltenheit von *Globotruncanen* und anderer tief schwebender planktonischer Foraminiferen deutet auf relativ geringe Wassertiefen von höchstens 150 m hin (mittleres Neritikum). Ungefähr 70 cm unterhalb der K/T-Grenze ist der Mergelkalk erosiv gekappt und wird von einer Schicht brekziierter Mergel und Kalksteine überlagert (Abb. 9). Diese Brekzieneinheit enthält Knochen, phosphatische Aggregate und phosphatisierte Foraminiferen, Glaukonit und kleine Pyritkonkretionen, und weist auf Erosion und Umlagerung aus dem Flachwasser hin. Vermutlich geht die Einheit auf den Meeresspiegel-Tiefstand im obersten Maastricht zurück (KELLER & STINNESBECK, 1996a, b); dieser senkte in der Region die Wassertiefen um 50 bis 70 m vom mittleren Neritikum auf Tiefen des inneren Neritikum ab (STINNESBECK & KELLER, 1996). Nach oben nimmt die Größe der Klasten ab. Die Makrofauna dieser Schichten besteht aus Serpuliden, gelegentlichen Austern, Vertretern der pteriiden Muscheln und Schnecken, wohingegen Seeigel fehlen. Die genannten Faunen-Vergesellschaftungen und die Häufigkeit von benthonischen Foraminiferen des inneren bis mittleren Neritikum weisen damit ebenfalls auf reduzierte Wassertiefen und flache Innerschelf-Bedingungen hin, wobei die Salinität womöglich leicht herabgesetzt war. Die obersten 10 cm der kreidezeitlichen Sedimente sind wiederum durch mergelige Kalksteine repräsentiert, obwohl Phosphat und Glaukonitpartikel auch hier noch häufig auftreten. Benthische Foraminiferen dieser Schicht indizieren wieder Wassertiefen des mittleren Neritikum, und auch die planktonischen Foraminiferen werden wieder durch biserialen Formen und *Rugoglobigeriniden* repräsentiert, ähnlich wie unterhalb der Brekzienschicht. Diese faunistischen Veränderungen weisen auf tieferes Wasser und ansteigenden Meeresspiegel hin, wobei die Transgression bis ins unterste Tertiär hinein andauerte. Eine Ir-Anomalie von 0.69 ppb charakterisiert die K/T-Grenze (Albertao et al., 1994; Albertao & Martins, 1996). Oberhalb des Ir-führenden Horizontes

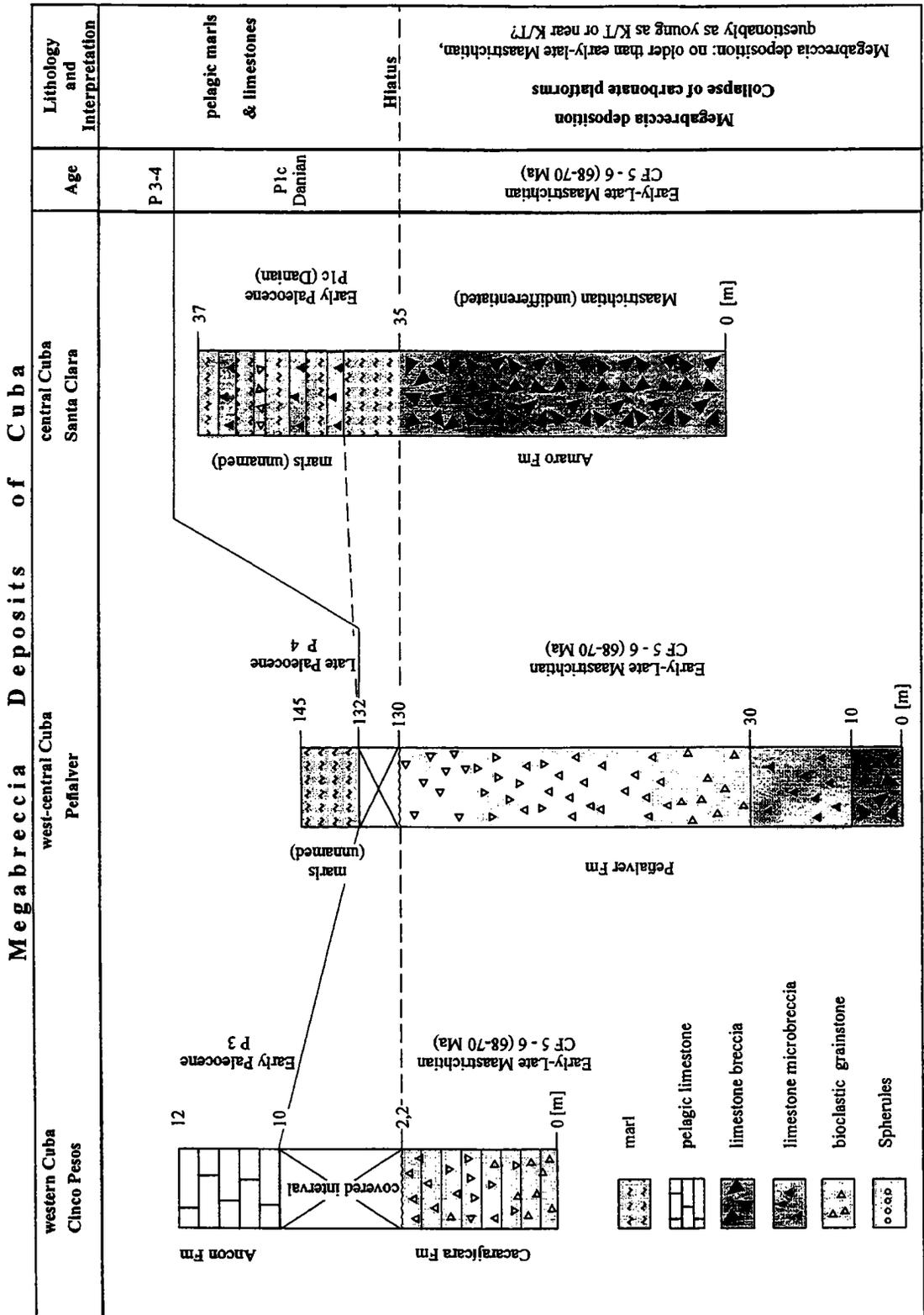


Abb. 8. Litho- und biostratigraphische Korrelierung von drei K/T-Grenzprofilen aus Kuba. Alle drei Profile enthalten dicke Kalksteinbreccien des frühen Ober-Maastricht und sind von pelagischen Kalken und Mergeln des frühen Dan (P1c; Santa Clara) bzw. des mittleren Paläozän (Cinco Pesos, Peñalver) überlagert.

befindet sich eine 5 cm mächtige Schicht aus mergeligem Kalkstein mit Foraminiferen der Zone P1a des frühen Dan, unter ihnen *E. fringa* und *P. eugubina* (STINNESBECK & KELLER, 1996).

Die gewonnenen Daten weisen auf einen scharfen Abfall des Meeresspiegels zur Zeit des obersten Maastricht hin. Die anschließende Transgression beginnt vor der K/T-Grenze und reicht bis ins frühe Dan. In dieser Interpretation ist die Karbonatbrekzie mit dem frühen Stadium der Transgression assoziiert und die Ir-Anomalie mit der K/T-Grenze (KELLER & STINNESBECK, 1996 a, b; STINNESBECK & KELLER, 1996). ALBERTAO et al. (1994), ALBERTAO & MARTINS (1996) und KOUTSOUKOS, 1998

haben demgegenüber die Karbonatbrekzie von Poty als Tsunami-Ablagerungen des Chicxulub-Impaktes interpretiert. Die Ir-Anomalie soll von einem zweiten, bisher unbekanntem Impakt im frühen Dan herrühren. Die genannten Autoren verweisen auf die vereinzelte Präsenz von *P. eugubina* in dem 10 cm mächtigen Mergelkalk unterhalb der Ir-Anomalie und im Liegenden bis hinab zum Brekzienhorizont; entsprechend messen sie diesen Schichten ein fröhertäres P1a-Alter zu. Sollte sich diese Einstufung als korrekt erweisen und auch eine Umlagerung der vereinzelten Exemplare von *P. eugubina* auszuschließen sein, dann wäre die Ir-Anomalie unabhängig von den Ereignissen an der K/T-Grenze und das Resultat eines tertiären Events.

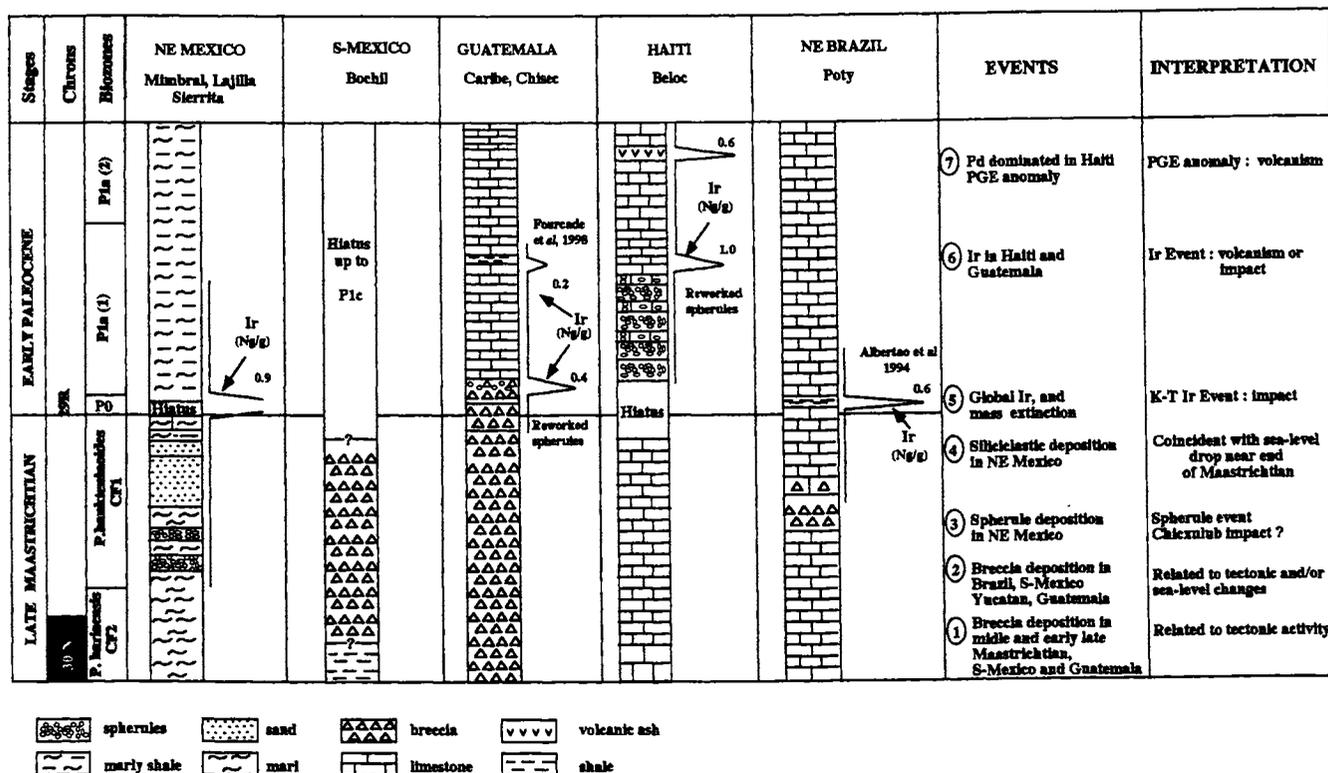


Abb. 9. Der Kreide-Tertiär-Übergang im Steinbruch Poty in Nordost-Brasilien. Von links nach rechts: Biostratigraphische Einstufung, charakteristische Lithologien, wichtige Foraminiferen und Invertebraten, Iridium-Verteilung und Interpretation bezüglich der Meeresspiegel-Schwankungen. Lithologische Unterteilung A bis J und Ir-Daten nach Albertao et al. (1994). Beachten Sie, daß der Meeresspiegel-Tiefstand in Zone CF1 des Ober-Maastricht mit der Brekzienbildung korrelierbar ist (aus Stinnesbeck & Keller, 1996).

7 Diskussion - Zum Alter der klastischen Ablagerungen

Gehen die klastischen Sedimente in der Umgebung des Golf von Mexiko und in der Karibik auf ein einziges, kurzeitiges Event an der K/T-Grenze zurück, und ist dieses Event der Chicxulub-Impakt? Die derzeitigen Daten sprechen gegen ein solches einfaches Szenario. In den Profilen in der Umgebung von La Sierrita in Nordost-Mexiko lagern die Sphaerolithschichten unterhalb der siliziklastischen Ablagerungen der Einheiten II und III und sind von ihnen durch mehrere m pelagischer Mergel getrennt (SCHULTE, 1999; STINNESBECK et al., 1999; Abb. 4). Damit sind sie deutlich älter als die Sand- und Siltstein-Ablagerungen. Diese (Einheiten II und

III) enthalten mehrere bioturbirte Horizonte und wurden über einen längeren Zeitraum abgelagert (EKDALE & STINNESBECK, 1998). Sie können also nicht auf einen Megatsunami zurückgehen, wie dies wiederholt postuliert wurde. Die K/T-Grenze in Nordost-Mexiko ist durch die Iridium-Anomalie und das Aussterben tropischer planktonischer Foraminiferen gekennzeichnet und befindet sich oberhalb der siliziklastischen Sedimente und oberhalb der über diesen lagernden dünnen Mergelage des obersten Maastricht (KELLER et al., 1997). Daraus ergibt sich, daß Sphaerolithe und siliziklastische Sedimente älter als das K/T-Event sein müssen.

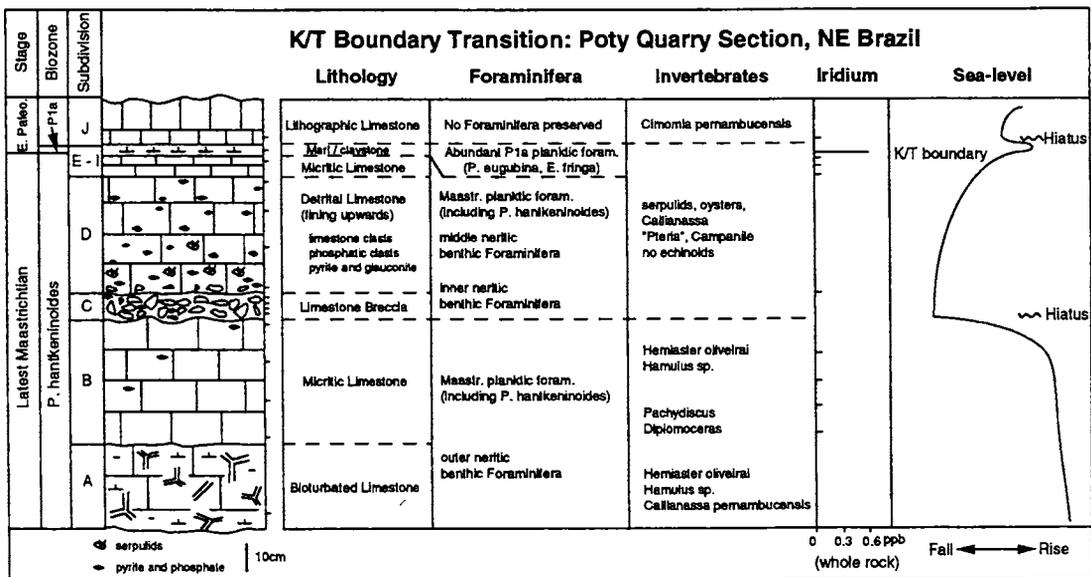


Abb. 10. Bio- und lithostratigraphische Abfolge an der K/T-Grenze in Profilen aus Nordost-Mexiko (Daten von Mimbral, Lajilla und La Sierrita wurden kombiniert), Bochil in Süd-Mexiko, Caribe und Chisec in Guatemala, Beloc in Haiti und Poty in Nordost-Brasilien. Es existieren Hinweise auf wichtige Ereignisse im frühen Ober-Maastricht (Brekzien in Kuba, S-Mexiko, Guatemala), im obersten Maastricht (z.B. Sphaerolithe in Nordost-Mexiko, klastische Ablagerungen in Nordost-Mexiko, Brekzienbildung in Brasilien), an der K/T-Grenze (Ir in Nordost-Mexiko und Brasilien), in der mittleren Zone P1a des frühen Dan (z.B. Sphaerolith-Ablagerung/?Umlagerung und Ir in Beloc), und am Top der Zone P1a (Pd dominierte PGE-Anomalie magmatischen Ursprungs in Beloc).

Die Situation in Beloc, Haiti, unterscheidet sich von den mexikanischen K/T-Profilen durch die Präsenz von in situ Vergesellschaftungen frühtertiärer (P1a) Foraminiferen in den Sphaerolithschichten (STINNESBECK et al., in Vorber.; Abb. 5). Die Fauna belegt die Sedimentation dieser Schichten nach der K/T-Grenze, im frühen Dan (Zone P1a). Dies schließt aber eine Bildung der Sphaerolithe vor dem Dan nicht aus. Wie die Sphaerolithe in Mexiko könnten auch diejenigen von Beloc im Maastricht gebildet und später umgelagert worden sein. Die ähnliche Geochemie der mexikanischen und haitianischen Sphaerolithe unterstützt diese Interpretation (IZETT, 1991; SMIT et al., 1992, BLUM & CHAMBERLAIN, 1992; KOEBERL, 1994).

Eine Ir-Anomalie läßt sich dagegen nicht so leicht in frühtertiäre Sedimente umlagern wie Sphaerolithe, und die Ir-Anomalie oberhalb der Sphaeruliteinheit von Beloc könnte daher in situ gebildet worden sein. Ein Beleg für diese Interpretation ist die Präsenz von Thoracosphaera-reichen pelagischen Kalksteinen oberhalb der Sphaerolithschicht aber unterhalb der Ir-Anomalie (STINNESBECK et al., in Vorber.). Darüberhinaus haben JEHANNO et al. (1992) und LEROUX et al. (1995) darauf hingewiesen, daß die Ir-reichen Sedimente von Beloc auch an geschockten Mineralen und Ni-reichen Spinellen angereichert sind. Die Präsenz dieser Impakt-Anzeiger im Horizont der Ir-Anomalie könnte daher auf einen Impakt im frühen Dan zurückgehen, wobei dieses Event unabhängig und verschieden von den unterlagernden Sphaerolithen wäre. Eine weitere PGE (Platingruppen-Element)-Anomalie wurde weiter oben in der Profilsäule am Top der Zone P1a erkannt. Sie wird durch Pd dominiert und besitzt vermutlich einen magmatischen Ursprung (STÜBEN et al., 1999; STINNESBECK et al., in Vorber.).

In Poty in Nordost-Brasilien gibt es gute paläontologische Hinweise für eine Platzierung der K/T-Grenze im Horizont der Ir-Anomalie, ähnlich wie in vielen Profilen weltweit. Die Karbonatbrekzie 70 cm unterhalb der Anomalie wurde während der Zone CF1 (P. hantkeninoides Zone) gebildet (Abb. 9). Sie wurde

vermutlich über einen längeren Zeitraum abgelagert und fällt zeitlich mit dem Meeresspiegel-Tiefstand im obersten Maastricht zusammen; vermutlich geht die Brekzie auf diesen zurück. In der Analyse von STINNESBECK & KELLER (1996) wurden keine tertiären Faunenelemente unterhalb der Ir-Anomalie identifiziert. Es gab auch keine Hinweise auf Faunenvermischungen oder Fragmentierung von Exemplaren und damit keine Anzeichen für zwei Impaktereignisse, wie sie von ALBERTAO et al (1994), ALBERTAO & MARTINS (1996) und KOUTSOUKOS (1998) postuliert werden.

Die stratigraphische Auflösung in den Profilen in Guatemala, Süd-Mexiko und Kuba ist relativ grob und läßt eine exakte Datierung der Ereignisse im K/T-Übergang nur bedingt zu (Abb. 6, 7, 8). Die Ablagerung der guatemaltekischen Brekzien erfolgte über einen längeren Zeitraum und vermutlich während des Maastricht. Allerdings belegt die Präsenz von Faunenelementen der Zone P1a (P. eugubina Zone) in den obersten cm der Brekzie von Chisec (STINNESBECK et al, 1997) und vermutlich auch Caribe und Actela (FOURCADE et al., 1998), daß die Ablagerung (oder Umlagerung) der Brekzie bis ins frühe Dan hineinreichte. Die alterierten Glas-Sphaerolithe im Top der Brekzie von El Caribe können danach ins oberste Maastricht, an die K/T-Grenze oder ins frühe Dan gestellt und bezüglich ihrer stratigraphischen Stellung entweder mit den mexikanischen oder mit den haitianischen Sphaerolithen korreliert werden.

Die Flyschablagerungen von Bochil und Chemal enthalten ebenfalls Brekzien mit einem stratigraphischen Alter nahe an der K/T-Grenze (Abb. 6, 7). In Bochil allerdings zeigen die Faunen oberhalb der Brekzie bereits paläozäne Alter (Zone P1c oder sogar P3) und diejenigen unterhalb gehören dem Maastricht an (Fig. 7). Dies indiziert einen größeren Sedimenthiatus, in dem das genaue Alter der Brekzie unbekannt bleibt. In Chemal behindert die schlechte Faunenerhaltung (z.B. An- und Auflösung kleiner Arten mit feiner Schale) in den Silt- und Sandsteinen unter- und oberhalb der Brekzie eine exakte stratigraphische

Einstufung, wenn auch oberhalb schlecht erhaltene Faunenelemente der Zone P1a aufgefunden wurden (STINNESBECK et al., 1997; Fig. 6).

Ursprung und Ablagerungszeitraum der kubanischen Brekzien ist ebenfalls nicht genau bekannt (Abb. 8). Eigene Analysen ergaben als jüngste Faunenelemente Foraminiferen-Vergesellschaftungen des frühen Ober-Maastricht, wohingegen Indexarten des obersten Maastricht nicht beobachtet wurden. In diesem Fall bestände vermutlich keine kausale Beziehung zwischen den kubanischen Brekzien und dem Chicxulub-Impakt. Das Fehlen von Leitarten des obersten Maastricht könnte aber auch auf der Seltenheit dieser Taxa beruhen und mit der großen Menge an geschüttetem Material erklärt werden. Hierfür spräche die kürzliche Identifikation von *Micula prinsii* in der Brekzie von Peñalver (TAKAYAMA et al., 1999). Weitere biostratigraphische Analysen sind notwendig, um das genaue Alter der kubanischen Brekzien eindeutig zu bestimmen.

8 Ergebnisse

Die Chicxulub-Impakt-Hypothese postuliert, daß alle Sphaerolithschichten und klastischen Ablagerungen in der Umgegend von Yucatan stratigraphisch exakt an der K/T-Grenze und schnell, innerhalb von Stunden oder Tagen, abgelagert wurden. Eine Reihe von Punkten stehen dieser Interpretation aber entgegen; hierzu gehören sedimentologische Charakteristika wie etwa in Nordost-Mexiko die Bioturbation in den siliziklastischen Ablagerungen (EKDALE & STINNESBECK, 1998), die biostratigraphische Position der Sphaerolithe an ihrer Basis oder mehrere Meter unterhalb der siliziklastischen Sedimente in einer Mergelfolge (SCHULTE, 1999; STINNESBECK et al., 1999), oder die Mergelschicht oberhalb der siliziklastischen Sedimente aber unterhalb der K/T-Grenze (LOPEZ-OLIVA & KELLER, 1996; KELLER et al., 1997). So wird zwar aufgrund des ähnlichen Chemismus und Aussehens allgemein angenommen, daß die Glaskügelchen in Nordost-Mexiko, Haiti und Guatemala auf ein und dasselbe Impakt-Event zurückgehen, die stratigraphische Position der Sphaerolith-Einheiten allerdings vari-

iert beträchtlich. In Mexiko befinden sich die Sphaerolithe eindeutig unterhalb der K/T-Grenze, während sie in Haiti in Schichten der Zone P1a des frühen Dan enthalten sind. In Guatemala wurden die Sphaerolithe in den obersten 10 cm der dortigen Brekzieneinheiten nahe der K/T-Grenze beobachtet. Vereinzelt tertiäre Faunenelemente in diesen Schichten legen eine Ablagerung zur Zeit der P.eugubina Zone des frühen Dan nahe. Diese Altersunterschiede der Sphaerolithe von Haiti, Mexiko und Guatemala scheinen das Resultat von Aufarbeitung und Umlagerung einer ursprünglichen Sphaerolithschicht zu sein, die ein spätkretazisches Alter (P. hantkeninoides Zone, CF1) gehabt haben muß.

Die biostratigraphische Analyse weist damit auf ein Multievent-Szenario für den K/T-Übergang hin, bei dem folgende zeitlich voneinander getrennte Ereignisse unterschieden werden (Abb. 10):

- (1) Brekzienablagerung im „mittleren“ und frühen Ober-Maastricht (z.B. Kuba, Guatemala, Süd-Mexiko)
- (2) Brekzienablagerungen während des obersten Maastricht in Brasilien, Guatemala und Süd-Mexiko,
- (3) Sphaerolithablagerungen in Nordost-Mexiko und möglicherweise Guatemala (Caribe),
- (4) siliziklastische Ablagerungen in Nordost-Mexiko
- (5) die K/T-Grenze (weltweite Ir-Anomalie, hier Ir in Nordost-Mexiko und Brasilien)
- (6) Sphaerolithablagerungen in Beloc, ? Sphaerolithe und ? Ir in Caribe, Guatemala
- (7) eine Pd dominierte PGE-Anomalie am Top der P. eugubina Zone von Beloc. Sie ist mit einer Aschelage assoziiert und besitzt vermutlich einen magmatischen Ursprung.

Welches dieser unterschiedlichen Ereignisse entspricht nun dem Asteroideneinschlag von Chicxulub? Die derzeitigen Daten erlauben keine eindeutige Antwort auf diese Frage. Wenn allerdings die Glaskügelchen in Nordost-Mexiko, Guatemala und Haiti einen Einschlag im karibischen Raum belegen, dann können die Punkte 1, 2, 4 und 7 (Abb. 10)

ausgeschlossen werden, da sie entweder langfristige Ereignisse darstellen oder auf Vulkanismus zurückgehen. Die Sphaerolithe von Beloc in Haiti (Punkt 6) erscheinen umgelagert von Event Nr. 4 (der Sphaerolithablagerung in Nordost-Mexiko), und dieses Ereignis geht dem Event 5 (Ir-Anomalie an der K/T-Grenze) zeitlich voraus. In diesem Fall wäre der Chicxulub-Impakt vor der K/T-Grenze erfolgt.

Danksagung

An den Untersuchungen für diese Studie waren zahlreiche Kollegen beteiligt, denen ich für ihre Unterstützung und Diskussionen sehr herzlich danke. Besonders hervorheben möchte ich die langjährige gute Zusammenarbeit mit Thierry Adatte, Gerta Keller und Jose Guadalupe Lopez-Oliva. Die Arbeiten wurden finanziell unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (STI 128/2-1, 2, 3) und dem mexikanischen Conacyt (L120-36-36).

Literatur

- ADATTE, T.; STINNESBECK, W. & KELLER, G. (1996): Lithostratigraphic and mineralogic correlations of near K/T boundary clastic sediments in NE Mexico: Implications for origin and nature of deposition. S. 211-226. -In: Ryder; G., Fastovsky, D., and Gartner, S. (eds.): The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. - Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 307.
- ALBERTÃO, G.A. AND MARTINS jr, P.P. (1996): A possible tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Pernambuco, northeastern Brazil. - *Sedimentary Geology* 104, S.189-201.
- ALBERTÃO, G.A.; KOUTSOUKOS, E.A.M.; REGALI, M.P.S.; ATTREP JR, M., & MARTINS jr, P.P. (1994): The Cretaceous-Tertiary boundary in southern low latitudes: preliminary study in Pernambuco, northeastern Brazil. - *Terra Nova*, 6, S. 366 - 375
- ALVAREZ, L.W.; ALVAREZ, W.; ASARO, F. & MICHEL, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. - *Science*, 208, S. 1095-1108.
- ALVAREZ, W., SMIT, J., LOWRIE, W., ASARO, F., MARGOLIS, S.V., CLAEYS, P. KASTNER, M. & HILDEBRAND, A.R. (1992): Proximal impact deposits at the Cretaceous-Tertiary boundary in the Gulf of Mexico: A restudy of DSDP Leg 77 Sites 536 and 540: *Geology*, 20, S. 697-700.
- BLUM, J.D. & CHAMBERLAIN, C.P. (1992): Oxygen isotope constraints on the origin of impact glasses from the Cretaceous-Tertiary boundary. *Science*, 257, S. 1104-1107.
- BOHOR, B.F. (1996): A sediment gravity flow hypothesis for siliciclastic units at the K/T boundary, northeastern Mexico. S. 183-196. . In: Ryder; G., Fastovsky, D., & Gartner, S. (eds.): The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. - Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 307.

- BOURGEOIS, I., HANSEN, T.A., WIBERG, P.L., & KAUFFMAN, E.G. (1988): A tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Texas: *Science*, 241, S. 567-570.
- BRALOWER, T.; PAULL, C.K., & LECKIE, R.M., 1998, The Cretaceous-Tertiary boundary cocktail: Chicxulub impact triggers margin collapse and extensive sediment gravity flows. - *Geology*, 26, S.331-334.
- CLAEYS, P.; HEUSCHKEL, S.; GRE-SHAKE, A.; PALME, H. & STÖFFLER, D. (1998): The Cretaceous-Tertiary (KT) Boundary Chicxulub Impact Structure, and Distribution of Ejecta material, Yucatan, Mexico. - *ICDP/KTB-Kolloquium*, 4.-5. Juni.1998, Bochum, 3 S.
- EKDALE, A.A. & STINNESBECK, W. (1998): Trace Fossils in Cretaceous-Tertiary (KT) Boundary Beds in Northeastern Mexico: Implications for Sedimentation during the KT Boundary Event. - *Palaios.*, 13, S. 593-602.
- FERNÁNDEZ, G.; QUINTAS, C.; SÁNCHEZ, J.R. & COBIELLA, J. (1991): El límite Cretácico-Terciario en Cuba. - *Revista Minera y Geología, Cuba*, v.8 (1-3), S. 69-85.
- FOURCADE, E.; ROCCHIA, R.; GARDIN, S.; BELLIER, J-P.; DEBRABANT, P.; MASURE, E.; ROBIN, E. & POP, W.T. (1998): Age of the Guatemala breccias around the Cretaceous-Tertiary boundary: relationships with the asteroid impact on the Yucatan.- *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 327, S. 47-53.
- HABIB, D.; OLSSON, R.K.; LIU, CH. & MOSHKOVITZ, S. (1996): High-resolution biostratigraphy of sea-level low, biotic extinction, and chaotic sedimentation at the Cretaceous-Tertiary boundary in Alabama, North of the Chicxulub crater. S.243-252. In: Ryder; G., Fastovsky, D., & Gartner, S. (eds.): *The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History*. - Boulder, Colorado, GSA Special Paper 307.
- HILDEBRAND, A.R.; PENFIELD, G.T., KRING, D.A., PILKINGTON, M., CAMARGO, A.Z., JACOBSON, S.B. & BOYNTON WV (1991): Chicxulub crater: A possible Cretaceous/Tertiary Boundary impact crater on the Yucatan Peninsula. *Geology*, 19, S. 867-869.
- HILDEBRAND A. R.; BONIS, S.; SMIT, J. & ATTREP jr, M. (1993): Cretaceous/Tertiary boundary deposits in Guatemala: Evidence for impact waves and slumping on a platform scale? - *Soc. Mex. Paleont.*, IV Congr. Nac. Paleont., Proc., S. 133-137.
- HILDEBRAND, A.R., CONNORS, M., PILKINGTON, M., ORTIZ ALEMAN, C., & CHAVEZ, R.E. (1994): Size and structure of the Chicxulub Crater: *Rev. Soc. Mex. Paleont.* 7 (1), S. 59-68.
- HILDEBRAND, A.R., PILKINGTON, M., CONNORS, M., ORTIZ-ALEMAN, C., CHAVEZ R.E. (1995): Size and structure of the Chicxulub crater revealed by horizontal gravity gradients and cenotes. - *Nature*, 376, S. 415-417
- HUDSON, J.D. (1998): Discussion on the Cretaceous-Tertiary biotic transition. - *Jl. Geol. Soc.*, London, S. 413-419.
- ITURRALDE-VINCENT, M.A. (1992): A short note on the Cuban late Maastrichtian megaturbidite (an impact-derived deposit?) - *Earth and Planetary Science Letters*, 109, S. 225-229
- IZETT, G.A. (1991): Tektites in the Cretaceous-Tertiary Boundary Rocks on Haiti and Their Bearing on the Alvarez Impact Extinction Hypothesis. - *Jl. of Geophysical Research*, 96, S. 20,879-20,905.
- IZETT, G.; MAURASSE, F.J.-M.R.; LICHTÉ, F.E.; MEEKER, G.P. & BATES, R. (1990): Tektites in Cretaceous/Tertiary boundary rocks on Haiti. USGS Open File Rept. 90-635.
- IZETT, G.A.; DALRYMPLE, G.B. & SNEE, L.W. (1991): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Age of Cretaceous-Tertiary Boundary Tektites from Haiti. - *Science*, 252, S. 1539-1542.

- JÉHANNO, C., BOCLET, D., FROGET, L., LAMBERT, B., ROBIN, E., ROCCHIA, R., AND TURPIN, L. (1992): The Cretaceous-Tertiary boundary at Beloc, Haiti: No evidence for an impact in the Caribbean area: *Earth and planet. Sci. Lett.* 109, S. 229-241
- KELLER, G. & STINNESBECK, W. (1996): Sea level changes, clastic deposits and megatsunamis across the Cretaceous/Tertiary boundary. In: MacLeod, N. & Keller, G., eds., *The Cretaceous-Tertiary Boundary Mass Extinction: Biotic and Environmental Events.* - S. 415-449, Norton Press, New York.
- KELLER, G. & STINNESBECK, W. (1996): Near-K/T Age of Clastic Deposits from Texas to Brazil: Impact, Volcanism and/or Sea-Level Lowstand? - *Terra Nova*, 8, S. 277-285.
- KELLER, G., STINNESBECK, W., AND LOPEZ-OLIVA, J.G. (1994): Age, deposition and biotic effects of the Cretaceous/Tertiary boundary event at the Arroyo El Mimbral, NE Mexico. - *Palaos*, 9, S. 144-157
- KELLER, G., LOPEZ-OLIVA, J.G., STINNESBECK, W., AND ADATTE, T. (1997): Age, stratigraphy and deposition of near K/T siliciclastic deposits in Mexico: Relation to bolide impact? *Geological Society of America Bulletin.*, 109, S. 410-428.
- KIYOKAWA, S.; TADA, R.; MATSUI, T.; TAJIKA, E.; TAKAYAMA, H. & ITURRALDE-VINENT, M.A. (1999): Extraordinary thick K/T boundary sequence: Cacarajá Formation, Western Cuba. - *Lunar and Planetary Science Conf.*, Houston, Abs.
- KOEBERL, C. (1993): Chicxulub crater, Yucatan: Tektites, impact glasses, and the geochemistry of target rocks and breccias. *Geology*, 21, S. 211-214
- KOEBERL, C., AND SIGURDSSON, H. (1992): Geochemistry of impact glasses from the K/T boundary in Haiti: relation to smectites and new types of glass: *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 56, S. 2113-2129.
- KOEBERL, C., SHARPTON, V.L., SCHURAYTZ, B.C., SHIRLEY, S.B., BLUM, J.D., AND MARIN, L.E. (1994): Evidence for a meteoric component in impact melt rock from the Chicxulub structure: *Geochim. cosmochim. Acta* 56, S. 2113-2129
- KOUTSOUKOS, E.A.M. (1998): An extraterrestrial impact in the early Danian: a secondary K/T boundary event? - *Terra Nova* 10, S. 68-73.
- KRING, D.A. (1995): The dimensions of the Chicxulub impact crater and impact melt sheet: *J. Geophys. Res.* 100, S. 16,979-16,986
- LEROUX, H., ROCCHIA, R., FROGET, L., ORUE-ETXEBARRIA, X., DOUKHAN, J., AND ROBIN, E. (1995): The K/T boundary of Beloc (Haiti): Compared stratigraphic distributions of boundary markers: *Earth and planet. Sci. Lett.* 131, S. 255-268
- LOPEZ OLIVA, J.G., & KELLER, G. (1996): Age and stratigraphy of near-K/T boundary clastic deposits in northeastern Mexico. In: Ryder G, Fastovsky D, Gartner, S, (eds) *The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History: Boulder, Colorado, Spec. Pap. Geol. Soc. Amer.* 307, S. 227-242.
- LOPEZ RAMOS, E. (1973): Estudio geológico de la Península de Yucatan. - *Bol. Assoc. Mexicana de Geol. Petrol.*, vol. 25 (1-3), S. 23-76
- LOPEZ RAMOS, E. (1975): Geological summary of the Yucatan Peninsula, in A.E.M. Nairn and Stehli, F.G. (eds.): *The ocean basins and margins, Vol. 3, The Gulf of Mexico and the Caribbean.* - New York, Plenum Press, S. 257-282.
- MAURASSE, F.J.-M., AND SEN, G. (1991): Impacts, tsunamis, and the Haitian Cretaceous-Tertiary boundary layer: *Science*, v. 252, S. 1690-1693.

- MACLEOD, N.; RAWSON, P.F.; FOREY, P.L.; BANNER, F.T.; BOUDAGHER-FADEL, M.K.; BOWN, P.R.; BURNETT, J.A.; CHAMBERS, P.; CULVER, S.; EVANS, S.E.; JEFFERY, C.; KAMINSKI, M.A.; LORD, A.R.; MILNER, A.C.; MILNER, A.R.; MORRIS, N.; OWEN, E.; ROSEN, B.R.; SMITH, A.B.; TAYLOR, P.D.; URQUHARDT, E. & YOUNG, J.R. (1997): The Cretaceous-Tertiary transition. - *Jl. Geol. Soc., London*, 154, S. 265-292.
- MONTANARI, A., CLAEYS, P., ASARO, F., BERMUDEZ, J., & SMIT, J (1994): Preliminary stratigraphy and iridium and other geochemical anomalies across the K/T boundary in the Bochil section (Chiapas, southeastern Mexico). in: *New developments regarding the K/T event and other catastrophes in Earth history: Lunar and Planetary Institute, LPI Contrib. No. 825*, S. 84.
- MORGAN, J., WARNER, M. und 17 weitere Autoren (1997): Size and morphology of the Chicxulub impact crater. - *Nature*, 390, S. 472-476.
- OCAMPO, A.R., POPE, K.O., FISCHER, A.G., & MORRISON, J. (1996): Ejecta blanket deposits of the Chicxulub crater from Albion Island, Belize. S. 75-88. In: *Ryder; G., Fastovsky, D., & Gartner, S. (eds.): The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History*. - Boulder, Colorado, GSA Special Paper 307.
- OLSSON, R.K.; LIU, CH. & VAN FOSSEN, M. (1996): The Cretaceous-Tertiary catastrophic event at Millers Ferry, Alabama. S. 263-278. In: *Ryder; G., Fastovsky, D., and Gartner, S. (eds.): The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History*. - Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 307.
- OLSSON, R.K.; MILLER, K.G.; BROWNING, J.V.; HABIB, D. & SUGARMAN, P.J. (1997): Ejecta layer at the Cretaceous/Tertiary boundary, Bass River, New Jersey (Ocean Drilling Program Leg 174AX). - *Geology*, 25, S. 759-762.
- PECHEUX, M. & MICHAUD, F. (1997): Yucatan subsurface stratigraphy: Implications and constraints for the Chicxulub impact: Comment. - *Geology*, 25, S.92.
- PILKINGTON, M., AND HILDEBRAND, A.R. (1994): Gravity and magnetic field modeling and structure of the Chicxulub crater, Mexico. *J. Geophys. Res.* 99, S. 13,147 - 13,162
- POPE, K.O., OCAMPO, A.C., AND DULLER, C.E. (1991): Mexican site for K/T impact crater. *Nature*, 351, S. 105-108
- PSZCOKOWSKI, A. (1986): Megacapas del Maestrichtiano en Cuba occidental y central: *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, 34 (1), S. 81-94.
- PSZCOKOWSKI, A.; PISTROWSKA, K.; PIOTROWSKI, J.; DE LA TORRE, A.; MYCZINSKI, R. & HACZEWSKI, G. (1987): Contribución a la geología de la Provincia de Pinar del Río. - *Editorial Científico-Técnico Ciudad de La Habana*, 255 S.
- SCHULTE, P. (1999): Geologisch-sedimentologische Untersuchungen des Kreide-Tertiär-Übergangs im Gebiet zwischen El Toro und La Sierrita, Nuevo León, Mexiko. - *Unveröff. Diplomarbeit, TU Karlsruhe*, 134 S.
- SCHURAYTZ, B.C., SHARPTON, V.L., & MARIN, L.E. (1994): Petrology of impact-melt rocks at the Chicxulub multiring basin, Yucatán, Mexico. -*Geology*, 22, S. 868-872.
- SCHURAYTZ B.C.; LINDSTROM, D.J.; MARIN L.E.; MARTÍNEZ, R.R.; MITTFEHLDT, D.W.; SHARPTON V.L. & WENTFORTH, S.J. (1996): Iridium metal in Chicxulub impact melt: Forensic chemistry on the K/T-smoking gun. - *Science*, 271, S. 1573-1576.
- SHARPTON, V.L., DALRYMPLE, G.B., MARIN, L.E., RYDER, G., SCHURAYTZ, B.C., & URRUTIA-FUCUGAUCHI, J. (1992): New links between the Chicxulub impact structure and the Cretaceous

- ous/Tertiary boundary: *Science* 359, S. 819-821
- SHARPTON, V.L., MARIN, L.E., CARNEY, C., LEE, S., RYDER, G., SCHURAYTZ, B.C., SIKORA, P., & SPUDIS, P.S. (1996): A model for the Chicxulub impact basin based on evaluation of geophysical data, well logs and drill core samples. S. 55-74. In: Ryder, G., Fastovsky, D. & Gartner, S. (eds): *The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History*: Boulder, Colorado, Spec. Pap. Geol. Soc. Amer. 307,
- SIGURDSSON, H.; BONTE, P.; TURPIN, L.; CHAUSSIDON, M.; METRICH, N.; STEINBER, M. PRADEL, P. & D'HONDT, S. (1991): Geochemical constraints on source region of Cretaceous/Tertiary impact glasses. - *Nature*, 353, S. 839-842.
- SMIT, J., MONTANARI, A., SWINBURNE, N.H.M., ALVAREZ, W., HILDEBRAND, A., MARGOLIS, S.V., CLAEYS, P., LOWRIE, W., ASARO, F. (1992): Tektite-bearing deep-water clastic unit at the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico: *Geology*, v. 20, S. 99-103.
- SMIT, J., ROEP, T.B., ALVAREZ, W., MONTANARI, A., CLAEYS, P.; GRAJALES-NISHIMURA, J.M. & BERMÚDEZ, J. (1996): Coarse-grained, clastic sandstone complex at the K/T boundary around the Gulf of Mexico: Deposition by tsunami waves induced by the Chicxulub impact. S. 151-182. In: Ryder, G., Fastovsky, D., & Gartner, S. (eds.): *The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History*. - Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 307.
- STINNESBECK, W. (1989): Fauna y microflora en el límite Cretácico-Terciario en el estado de Pernambuco, Noreste de Brasil. - *Contribuciones a los Simposios sobre el Cretácico de América Latina*, in: Spaletti, L.A. (ed.) Parte A: Eventos y Registro Sedimentario, Buenos Aires, S. 215-230.
- STINNESBECK, W. & KELLER, G. (1996): Environmental Changes across the Cretaceous-Tertiary Boundary in northeastern Brazil. - In: MacLEOD, N. & Keller, G. (eds.): *The Cretaceous-Tertiary Boundary Mass Extinction: Biotic and Environmental Events*. - S. 451-469, Norton Press, New York.
- STINNESBECK, W., BARBARIN, J.M., KELLER, G., LOPEZ-OLIVA, J.G., PIVNIK, D.A., LYONS, J.B., OFFICER, C.B., ADATTE, T., GRAUP, G., ROCCHIA, R. & ROBIN, E. 1993. Deposition of channel deposits near the Cretaceous-Tertiary boundary in northeastern Mexico: Catastrophic or "normal" sedimentary deposits. *Geology*, 21, 797-800.
- STINNESBECK, W.; ADATTE, T. & KELLER, G. (1994): KT boundary sections in Southern Mexico (Chiapas): Implications for the proposed Chicxulub Impact Site. - *New Developments Regarding the K/T Event and Other Catastrophes in Earth History*, LPI Contribution No. 825, Lunar and Planetary Institute, S. 120-121
- STINNESBECK, W.; KELLER, G.; ADATTE, T., LOPEZ-OLIVA, J.G. & MACLEOD, N. (1996): Cretaceous-Tertiary boundary clastic deposits in NE Mexico: Bolide impact or sealevel lowstand. In: MacLEOD, N. & Keller, G. (eds.): *The Cretaceous-Tertiary Boundary Mass Extinction: Biotic and Environmental Events*. - S. 471-517, Norton Press, New York.
- STINNESBECK, W., KELLER, G., DE LA CRUZ, J., DE LEON, C., MACLEOD, N. & WHITTACKER, J.E. (1997): The Cretaceous-Tertiary boundary in Guatemala - Limestone breccia deposits from the South Peten Basin. - *Geol Rundschau*, 86, S. 686-709.
- STINNESBECK, W.; KELLER, G.; ADATTE, T.; LOPEZ-OLIVA, J.G.; STÜBEN, D. & KRAMAR, U. (1999): Multiple events across the K/T boundary in northeastern Mexico and Haiti: relationship

- to the Chicxulub impact? - Geological Association of Canada and Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Sudbury, May 26-28, 1999.
- STINNESBECK, W., KELLER, G., ADATTE, T., STÜBEN, D.; KRAMAR, U.; BERNER, Z.; DESREMAUX, C., & MOLIERE, E. (in Vorber.): Beloc, Haiti, revisited: multiple events across the Cretaceous-Tertiary transition in the Caribbean? - Terra Nova, eingereicht.
- STÜBEN, D., BERNER, Z.; KRAMAR, U.; ECKHARDT, J.-D.; STINNESBECK, W.; ADATTE, T. & KELLER, G. (1999): Geochemical evidence for a multievent at the K/T boundary at Beloc, Haiti. Geological Association of Canada and Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Sudbury, May 26-28, 1999.
- SWISHER, C.C., GRAJALES-NISHIMURA, J.M., MONTANARI, A., MARGOLIS, S.V., CLAEYS, P., ALVAREZ, W., RENNE, P., CEDILLO-PARDO, E., MAURASSE, F.J.-M., CURTIS, G.H., SMIT, J., AND WILLIAMS, M.O. (1992): Coeval $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of 65.0 million years ago from Chicxulub crater melt rock and Cretaceous-Tertiary boundary tektites: *Science*, 257, S. 954-958.
- TAKAYAMA, H.; TADA, R.; MATSUI, T.; ITURRALDE-VINENT, M.A.; OJI, T.; TAJIKA, E.; KIYOKAWA, S.; GARCIAANMD, D.; OKADA, H.; HASEGAWA, T. & TOYODA, K. (1999): Origin of a giant event deposit in northwestern Cuba and its relation to K/T boundary impact. - Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Abs.
- URRUTIA-FUCUGAUCHI, J.; MARÍN, L. & TREJO-GARCÍA, A. (1996): UNAM Scientific drilling program of Chicxulub impact structure - Evidence for a 300 kilometer crater diameter. - *Geophysical Research Letters*, 23 (13), S. 1565-1568.
- WARD, W., KELLER, G., STINNESBECK, W. & ADATTE, T. (1995): Yucatan Subsurface Revisited: Implications and Constraints for the Chicxulub Meteor Impact. - *Geology*, 23, S. 873-876.

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Impaktismus und Paläontologie *

D. NAGEL & G. RABEDER



Payerbach,

* Manuskript eingelangt Jänner 1999

INHALT

Impaktismus und Paläontologie	137
Aussterbemuster: subitär und paulativ?	137
Aussterbemuster an der Kreide-Tertiär-Grenze	138
Aussterbemuster an der Pleistozän-Holozän-Grenze	141
Zusammenfassung	142
Literatur	142

Anschrift der Verfasser:

*Mag. Dr. Doris NAGEL
Univ.Prof. Dr. Gernot RABENEDER
Institut für Paläontologie
Geozentrum, Universität Wien*

*Althahnstraße 14
A - 1090 Wien*

Impaktismus und Paläontologie

D. NAGEL & G. RABEDER

Zu den in letzter Zeit am häufigsten diskutierten Themen der Geowissenschaften gehört die Frage, ob und in welchem Ausmaß die Geschichte der Organismen durch den Impact von außerirdischen Gesteinskörpern beeinflusst oder sogar gesteuert worden ist. Seit der Entdeckung der Iridiumanomalie an der Kreide-Tertiär-Grenze wird die Möglichkeit katastrophaler Meteoriten-Einschläge mit Aussterbe-Ereignissen in Zusammenhang gebracht. Schließlich gingen manche so weit, jede auffällige Veränderung in der Faunen- und Florengeschichte, besonders aber das Erlöschen von größeren systematischen Gruppen mit großen Impaktereignissen zu begründen. Dabei wurde die Seriosität der naturwissenschaftlicher Beweisführung, zu der ein Geowissenschaftler verpflichtet sein sollte, sehr oft verlassen. Aus Vermutungen und Hypothesen wurden Behauptungen und schließlich Tatsachen. Die bekannteste dieser Fehlansagen ist die Behauptung, daß die Dinosaurier und die Ammoniten ausschließlich wegen eines Meteoriten-Impakts ausgestorben seien. Obwohl sich Paläontologen schon frühzeitig in diese Diskussion eingeschaltet und ihre Bedenken auch populärwissenschaftlich veröffentlicht haben (z. B. STANLEY 1988), haben sich die maßlos übertriebenen Bilder von Impact "Szenarien" nicht nur in Print- und AV-Medien sondern auch in manche wissenschaftliche Literatur eingenistet. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Im Zeitalter der Katastrophenfilme ist ein Kometen- oder Meteoriten-Einsturz viel spektakulärer als wissenschaftlich erhobene Daten, die keine derartige Dramatik erkennen lassen.

Aussterbemuster: subitär und paulativ?

Wenn wir den Ursachen eines Massenaussterbens auf den Grund gehen wollen, müssen wir ähnliche Fragen stellen wie ein Kriminalbeamter, der einen Massenmörder ausfindig machen soll. Neben dem Motiv fragen wir nach der Tatwaffe und somit der Tötungsmethode sowie nach der Tatzeit. Kein vernünftiger Ermittler wird dem Verdächtigen Mordtaten unterschieben können, die vor 100 Jahren begangen worden sind. Derartige Beschuldigungen erscheinen uns absurd; gegen den Meteoriten als "Massenmörder" an der Kreide-Tertiär-Grenze hat man aber ganz ähnliche Anschuldigungen erhoben. Sein Aufschlag auf der Erde hätte "alle Saurier" vernichtet, somit auch Gruppen wie Ichthyosaurier, Plesiosaurier, Mosasaurier und Pterosaurier, die das Ende der Kreidezeit gar nicht erreicht haben.

Für jene Organismen aber, die bis zu dieser Grenze als Gruppe existiert haben, ist das "Tatzeit"-Diagramm ausschlaggebend für die Schuld des "Täters".

Wir nennen es Aussterbemuster und meinen damit die zeitliche Reihenfolge des Verschwindens aus der Fossilüberlieferung.

Prinzipiell können wir zwei Aussterbemuster unterscheiden, zwischen denen alle Übergänge denkbar sind: das subitäre (von lat. subitus) oder plötzliche Verschwinden einer oder mehrerer Gruppen oder das paulative (von lat. paulatim) oder allmähliche Aussetzen von Arten und Gattungen.

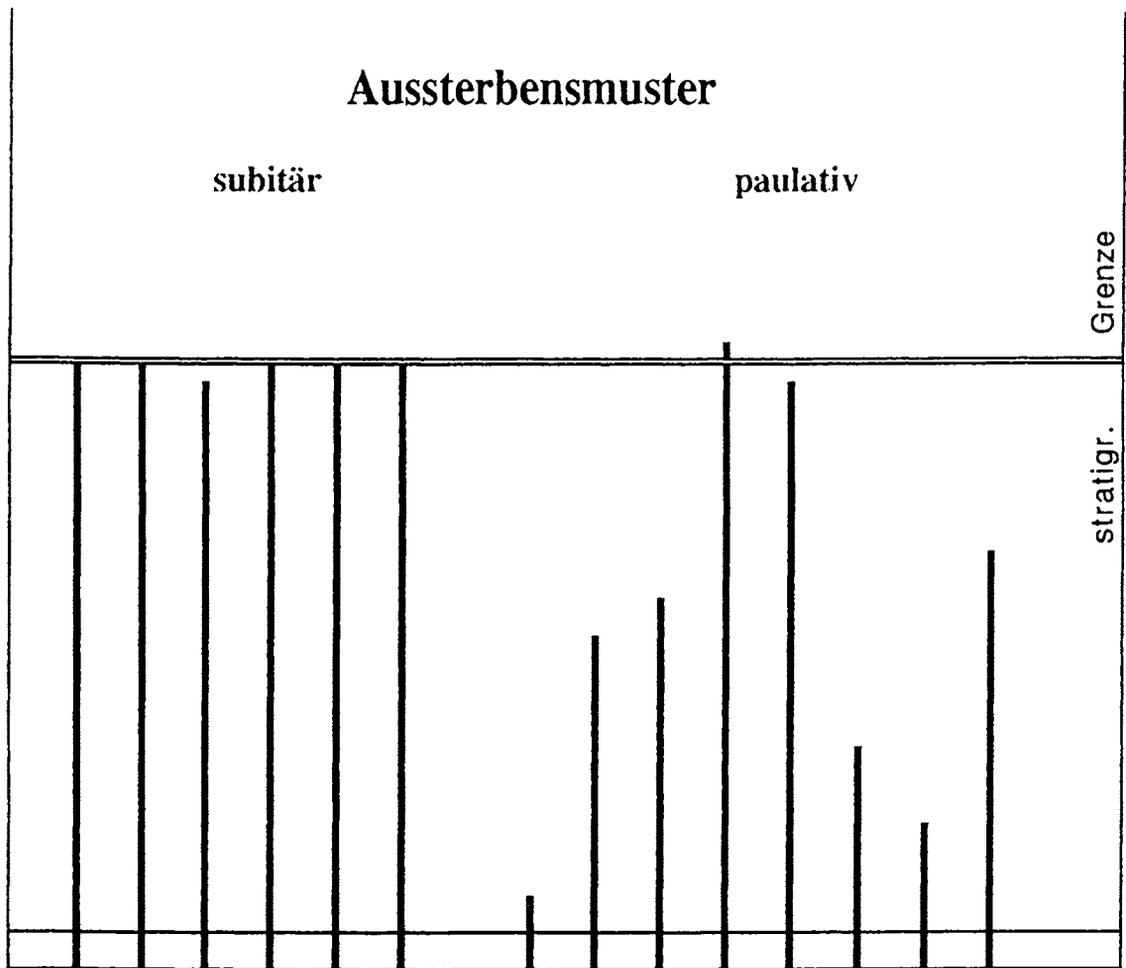


Abb.1: Beispiele für verschiedene Aussterbemuster. subitär - das plötzliche Verschwinden einer oder mehrere Gruppen; paulativ - das allmähliche Aussetzen von Arten und Gattungen.

Impakte von Himmelskörpern können nur subitäre Aussterbenswellen zur Folge haben. Auch die gerne gebrachten Holocaust-Szenarien würden keinen paulativen Aussterbemodus zur Folge haben. Man geht hier von der Annahme aus, daß der Einschlag des Meteoriten soviel Staub in die Atmosphäre geschleudert hätte, daß es zu einem arktischen Winter kam. Die ökologischen Folgen wären für die Tier- und Pflanzenwelt verheerend gewesen und natürlich dauert es eine Zeit, bis sich ein Ökosystem davon erholt. Eine Regeneration der Fauna und Flora würde vielleicht 10.000 Jahre dauern. An der Kreide-Tertiär-Grenze haben wir es mit Ungenauigkeiten von mindestens 500.000 Jahren auf oder ab zu tun.

Für das paulative Verschwinden von Gruppen müssen Ursachen postuliert werden, welche die Lebensbedingungen einer oder mehrerer

Gruppen allmählich verschlechtern, meist denkt man in diesem Zusammenhang an eine scherenhaften Verengung der Lebensmöglichkeiten durch zwei oder mehrere Umweltfaktoren.

Aussterbemuster an der Kreide-Tertiär-Grenze

Eine gute Zusammenfassung der Aussterbemuster finden wir bei STANLEY (1988: 144). Es ist eindeutig paulativ für folgende Gruppen:

- 1.) Ammonoiten: die dramatische Abnahme der Artenzahl dauert etwa vier Millionen Jahre, das endgültige Aus dürfte knapp vor der Obergrenze der Kreide erfolgt sein.
- 2.) Inoceramen: Rückgang der Artenzahl und Aussterben noch im Maastricht.

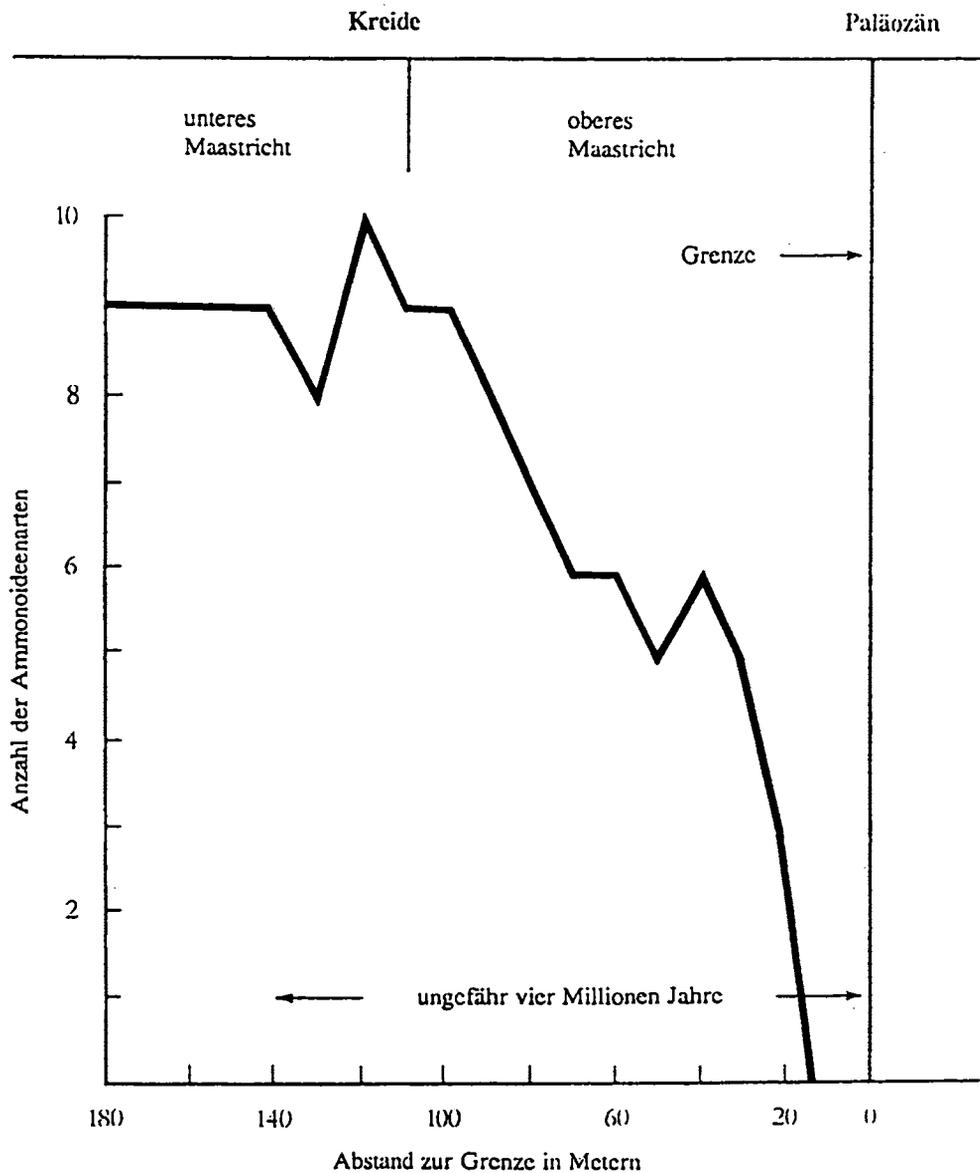


Abb.2: Allmählicher Rückgang der Ammonoideen-Arten im Maastricht von Zumaya/Spain. Die letzten Ammonoideen fand man etliche Meter unter der K/T-Grenze (nach STANLEY 1988).

3.) Rudisten: Rückgang der Artenzahl und Aussterben entweder noch im Maastricht oder an der Kreide-Tertiär-Grenze

4.) Foraminiferen: Rückgang der Artenzahl und Aussterben bestimmter Foraminiferen-Gruppen entweder noch im Maastricht oder an der Kreide-Tertiär-Grenze.

5.) Ichthyosauria, Plesiosauria, Mosasauria, Pterosauria: Rückgang der Artenzahl und Aussterben entweder im Maastricht oder schon vorher.

6.) Dinosauria: Rückgang der Artenzahl und Aussterben entweder noch im Maastricht oder an der Kreide-Tertiär-Grenze. Von den ober-

kretazischen Gattungen der beiden Dinosaurier-Ordnungen erreichen nur knapp 20% die oberste Kreide: *Thescelosaurus*, *Edmontosaurus*, *Ankylosaurus*, *Leptoceratops*, *Torosaurus*, *Triceratops*, *Stygomoloch*, *Pachycephalosaurus*, *Ornithomimus*, *Struthiomimus*, *Troodon*, *Paronychodon*, *Dromaeosaurus*, *Saurornitholestes*, *Albertosaurus*, *Tyrannosaurus* und *Alamosaurus* (Judith River Formation, SLOAN et al. 1986). Die Grenze selbst wird von folgenden Gattungen erreicht oder möglicherweise überschritten: *Thescelosaurus*, *Edmontosaurus*, *Triceratops*, *Paronychodon*, *Dromaeosaurus*, *Tyrannosaurus*.

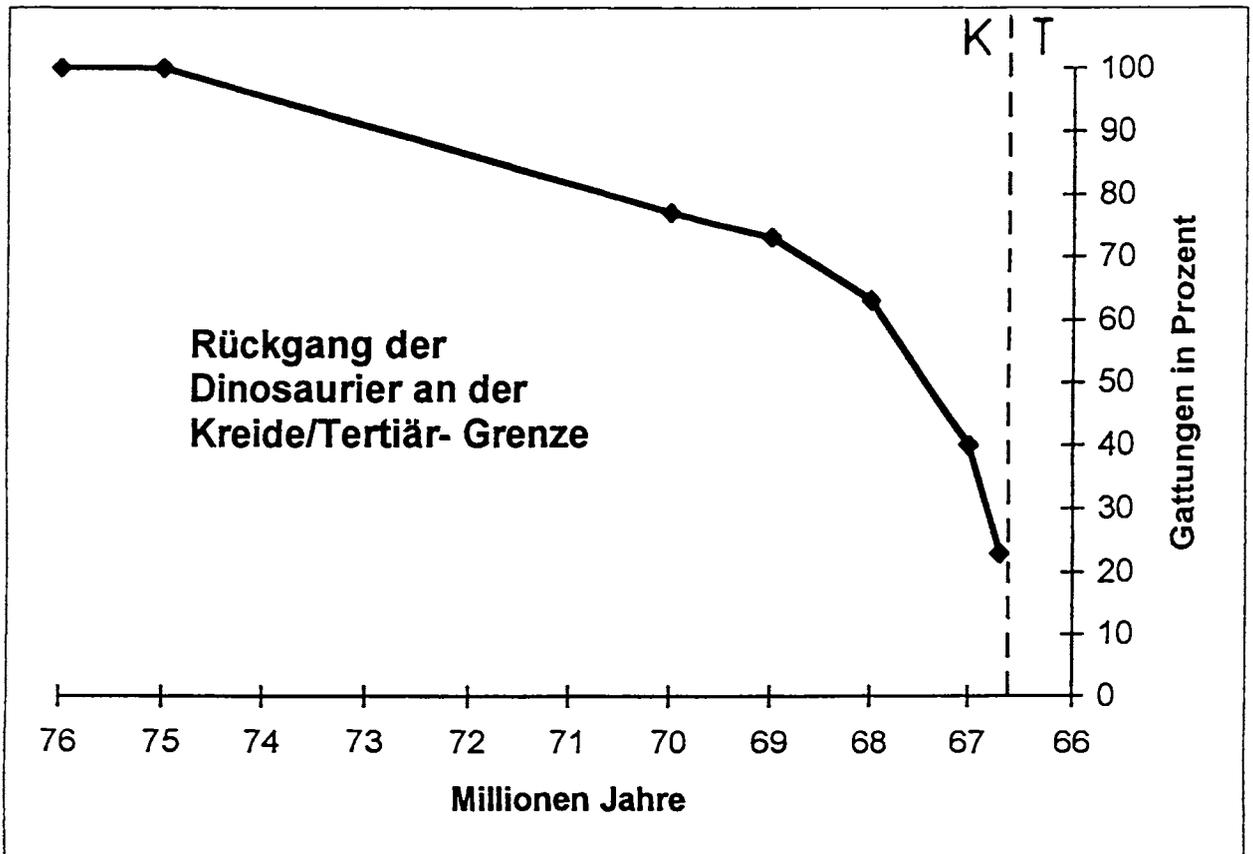


Abb.3: Rückgang der Dinosaurier-Gattungen im Campan und Maastricht der Lance und Hell Creek Formation von Wyoming und Montana/USA. An der K/T-Grenze waren nur mehr 20% der Gattungen der Oberkreide vorhanden (nach SLOAN et al. 1986, umgezeichnet).

Weder kann von einem "schlagartigen Massenaussterben" noch von einem "zeitlich engst begrenztem Aussterben der Saurier" gesprochen werden. Die Säugetiere hätten sich auch ohne Impaktkatastrophe im Paläogen durchgesetzt, weil die Dinosaurier wie viele andere Reptilgruppen in der Oberen Kreidezeit in eine entscheidende Krise geraten waren.

Ein subitäres Muster kann nur für wenige Gruppen erkannt werden:

1.) Kalkiges Nannoplankton: Eine beträchtliche Zahl von Arten erlischt an der Grenze oder knapp oberhalb, im tiefen Paläozän.

2.) Planktonische Foraminiferen: eine große Anzahl vorwiegend tropischer Arten wird eliminiert, während klimatisch anspruchslose Arten überleben.

3.) Brachiopoda: Zumindest regional verschwindet eine relativ große Zahl von Brachiopodenarten an der Kreide-Tertiärgrenze (STANLEY 1988: 157); nur wenige Arten tauchen im mittleren Paläozän wieder auf oder werden durch neue Arten vertreten.

Aussterbemuster an der Pleistozän-Holozän-Grenze

Am Ende des Eiszeitalters (Pleistozäns) sind zahlreiche spektakuläre Großsäuger aus Mitteleuropa und Nordamerika verschwunden. Für das Aussterben von Mammut, Wollhaarnashorn, Riesenhirsch, Steppenwisent, Höhlenbär, Höhlenlöwe, Höhlenhyäne, Säbelzahn-tiger, Riesenfaultiere, Riesengürteltier usw. wurden zahlreiche Hypothesen entwickelt, die auf drei Gruppen reduziert werden können:

1.) Sintflut-Theorien: Die großen Landtiere seien durch eine große Überschwemmung umgekommen, die nach TOLLMANN & TOLLMANN (1993) durch eine Kometeneinschlag zustande gekommen sei.

2.) Klimaveränderungs-Theorie: Dramatische Änderungen im Klima hätten die großen Steppengebiete der gemäßigten Zone durch Wiederbewaldung eingeengt und schließlich diesen großen Steppenbewohnern die Lebensgrundlage geraubt.

3.) Overkill-Theorie: Der paläolithische Mensch hätte die großen Herden überjagt und somit ihren Untergang bewirkt.

Während zu den Theorien 2 und 3 ein paulatives Aussterbemuster paßt, kann die Sintflut-Theorie nur durch ein subitäres Muster gestützt werden.

Im Gegensatz zu den älteren Aussterbewellen stehen uns für die pleisto-holozäne Phase radiometrische Altersbestimmungsmethoden (v.a. die Radiokarbon-Methode) zur Verfügung, die es uns erlauben, die geologisch jüngsten Überreste dieser Eiszeitfauna zu datieren. Zudem ist die Anzahl der bekannten Fundstellen wesentlich größer als im Zeitbereich anderer Extinktionsphasen. Das hängt auch damit zusammen, daß der Mensch viele sog. "Jagdstationen" (vor allem in Höhlen und im Löß) hinterlassen hat, die uns das Erlöschen von Arten viel genauer studieren läßt.

An zwei besonders gut untersuchten Arten läßt sich zeigen, daß sie zu sehr unterschiedlichen Zeiten ausgestorben sind.

Das jungpleistozäne Mammut (*Mammuthus primigenius*), von dem wir nicht nur durch die

reichen Funde aus den Mammutjägerstationen sondern auch durch die Weichteilfunde im sibirischen Bodeneis gut unterrichtet sind, war in der sog. Mammutsteppenzeit (DÖPPES & RABEDER 1997) zwischen 34.000 und 13.000 Jahren vor heute ein sehr beliebtes Jagdtier des Steinzeitmenschen. Im Spätglazial (13.000 bis 10.000 Jahre v.h.) nahm die Zahl der fossil überlieferten Mammutreste dramatisch ab, das bevorzugte Jagdtier wurde das Rentier. Schließlich verschwand das Mammut völlig aus Mitteleuropa und Nordamerika; sein Verbreitungsgebiet verlagerte sich nach Ostsibirien, kleinere Bestände lebten auf der Insel Wrangel im Nördlichen Eismeer bis etwa 4000 Jahre vor heute (VARTANYAN et al. 1993). Sein Aussterben kann also nicht durch das "Ertrinken in der Sintflut" und somit impaktistisch erklärt werden, sondern durch die allmähliche Einschränkung der Lebensmöglichkeiten.

Der Höhlenbär (*Ursus spelaeus*) hingegen, eine Bärenart, die auf Europa beschränkt war, starb in Mitteleuropa schon um etwa 16.000 Jahre vor heute aus. Jüngere C14-Daten aus dem Kaukasus (um 9000 Jahre v.h.) sind fragwürdig (KURTÈN 1976). Die vom Mammut völlig abweichende Lebensform (er war zwar ebenfalls herbivor, überstand die Winter aber nicht durch Wanderung sondern durch den Winterschlaf in Höhlen) ist wahrscheinlich dafür haftbar zu machen, daß der Höhlenbär zu einer ganz anderen Zeit ausstarb. Seine Weidegebiete wurden durch die fortschreitende Vereisung des Würm-Hochglazials eingeengt, während dies beim Mammut wesentlich später durch die Wiederbewaldung im Früh-Holozän geschah.

Das Verschwinden von anderen Großsäugern läßt sich nicht so gut datieren, weil die Fossilreste dieser Arten ab dem Würm-Hochglazial (ab 20.000 Jahren) immer seltener werden. In keiner der spätglazialen Faunen (13.000 - 10.000 Jahre vor heute) Österreichs (DÖPPES & RABEDER 1997) gibt es Reste jener Großsäuger, die angeblich erst durch die "Tollmannsche Sintflut" (9.545 Jahre vor heute) ausgestorben sind.

Zusammenfassung

An den beiden bestbekanntesten Aussterbewellen kann gezeigt werden, daß die Aussterbemuster nur sehr beschränkt zu einem Impaktereignis passen. Von größeren systematischen Gruppen sind an diesen Grenzen nur solche erloschen, die schon lange vorher einen deutlichen Rückgang ihrer Artenzahl oder ihres Verbreitungsgebietes hinnehmen mußten. Nicht auszuschließen ist die Möglichkeit, daß ein Impaktereignis, wie es für die Oberkante der Kreide angenommen wird, den endgültigen Todesstoß für eine Gruppe geführt hat. Die alleinige Ursache für das Verschwinden von Großgruppen kann dieser Impact aber nicht sein. Für ein ähnliches Ereignis im frühesten Holozän gibt es keine paläontologischen Befunde.

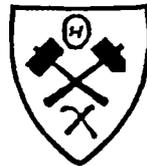
Die oben zitierte Meinung, daß alle Aussterbensereignisse allein durch Impakte und ihre Folgen hervorgerufen werden, muß aus der Kenntnis der paläontologischen Fundsituation entschieden verneint werden; Die Iridium-Anomalie an der Kreide-Tertiär Grenze ist nicht wegzudiskutieren. Sie ist ein deutliches Zeichen für einen Meteoriteneinschlag, da dieses Element so konzentriert nur im Erdkern oder eben in Meteoriten vorkommt. Eine alleinige Ursache für alle Aussterbe-Events darin zu sehen, kann nur als übertriebener Impaktismus oder gar als Impaktomanie bezeichnet werden.

Literatur

- DÖPPES, D. & RABEDER, D. (eds.) 1997. Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Ein Katalog der wichtigsten Fossilfundstellen und ihrer Faunen. Mitt. Komm. Quartärforschung. Österr. Akad. Wiss. 10, 411 Seiten, Wien.
- KURTÉN, B., 1979. The Cave Bear Story. Columbia Press.
- SLOAN, R. E., RIGBY Jr., J.K., VAN VALEN L. M. & GABRIEL D., 1986. Gradual Dinosaur Extinction and Simultaneous Ungulate Radiation in the Hell Creek Formation. *Science* 232: 629-633.
- STANLEY, S. M., 1988. Krisen der Evolution: Aussterben in der Erdgeschichte. Spektrum der Wiss. Verlagsges. Bd.18, 247 S.
- TOLLMANN, A. & TOLLMANN, E. 1993. Und die Sintflut gab es doch: vom Mythos zur historischen Wahrheit. Droemer Knauer, 560 s., München.
- VARTANYAN, S.L., GARUTT, V.E. & SHER, A. V., 1993. Holocene dwarf mammoths from Wrangel Island in the Siberian Artic. *Nature* 362: 337-340

KARSTHYDROLOGIE UND WASSERHAUSHALT

Kalkalpen und südliches Wiener Becken



Payerbach,
5. Dezember 1997

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Neue Wege in der karsthydrologischen Forschung

G. VÖLKL



Payerbach,
5. Dezember 1997

INHALT

1.	Die Tradition der Karstforschung in Österreich	147
2.	Schema eines Untersuchungsprogrammes zur Erfassung der Karstwasservorräte nach F. BAUER	147
3.	Das Quellmeßnetz des Hydrographischen Dienstes	148
4.	Mikroorganismen im Karstprozess	148
5.	Ausblick	149
	Diskussion	151

Anschrift des Verfassers:

*MR Dr. Gerhard VÖLKL
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft*

*Stubenring 1
A - 1010 Wien*

Neue Wege in der karsthydrologischen Forschung

G. VÖLKL

1. Die Tradition der Karstforschung in Österreich

Karstforschung hatte in Österreich seit jeher einen sehr hohen Stellenwert. Sie wurzelt in der Zeit der Monarchie, wo in den meisten Kronländern Karstphänomene die landwirtschaftliche Produktivität beeinträchtigten. Mit großem Aufwand wurden die Meliorationsmaßnahmen vorangetrieben und namhafte Wissenschaftler damit befaßt. Daraus erklärt sich auch die Einrichtung eines Speläologischen Institutes und des Hydrographischen Dienstes am k.k. Ackerbauministerium, dem heutigen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Nach dem Ersten Weltkrieg ergab sich daraus in Wien eine Konzentration hervorragender Karstexperten aus verschiedenen Fachrichtungen. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die Idee von Meliorationsmaßnahmen in den österreichischen Karstgebieten wieder aufgegriffen und das Speläologische Institut, damals eine dem Hydrographischen Zentralbüro angeschlossene Dienststelle des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, damit betraut. Dr. Fridtjof BAUER organisierte ein Forschungsprogramm am Dachsteinplateau bei dem eine Reihe von Wissenschaftlern aus den Fachbereichen, Geologie, Bodenkunde, Meteorologie, Botanik, Speläologie etc. mitwirkten. Am Oberfeld wurde eine eigene Feldforschungsstation errichtet. Die Arbeiten wurden laufend in den Publikationsreihen „Beiträge zur alpinen Karstforschung“, und „Mitteilungen der Höhlenkommission“, veröffentlicht.

War die ursprüngliche Meliorations-Idee sicher der Aufforstung gewidmet, so erkannte Bauer bald die wirtschaftliche Priorität der Karstwasservorräte und die Nutzungskonflikte, die sich aus dem gleichzeitigen Ausbau von Tourismuseinrichtungen ergaben. In der Folge

wurde von ihm besonders die Markierungstechnik weiterentwickelt und auf einen Standard gebracht, der heute international als Stand der Technik angesehen werden kann.

2. Schema eines Untersuchungsprogrammes zur Erfassung der Karstwasservorräte nach F. BAUER

Nachdem F. BAUER bereits 1954 „Aufgaben und Gliederung einer Karstuntersuchung“, proklamiert hatte, verfaßte er 20 Jahre später neuerlich eine Studie „Regionale karsthydrologische Untersuchungsprogramme zur Erfassung der Karstwasservorräte“, in die alle in der Zwischenzeit entwickelten Methoden der Tracer- und Isotopenhydrologie eingeflossen waren.

War der Blickwinkel der Betrachtung in den Fünfzigerjahren vorwiegend auf die Oberfläche der Karstlandschaft gerichtet, so war der Ansatz der zweiten Studie der Quelle als Austrittsstelle des Karstwassers gewidmet. Den detaillierten Geländeaufnahmen und akribischen Laborauswertungen galt dabei sein Hauptaugenmerk.

Der Ablauf eines Untersuchungsprogrammes stellte sich nach F. BAUER wie folgt dar:

Vorbegehungen

Geländeaufnahmen

Beobachtungsprogramme

Markierungsversuche

Zusammenfassende Auswertung

Die Beobachtungsprogramme umfassen vor allem monatliche Probenentnahmen für Chemismus- und Isotopenuntersuchungen, als Zeitrahmen kommt F. BAUER auf ca. 6 Jahre.

Dieses Grundschema, vor allem die Kombination beider Ansätze F. BAUER's hat bis heute Gültigkeit. Erfreulicherweise laufen in Österreich derzeit zwei Untersuchungsprogramme mit derart umfassenden (interdisziplinären) Ansätzen. Es ist dies das Untersuchungsprogramm der Karstforschungsgruppe Steiermark/Wien und das Karstprogramm im Nationalpark Kalkalpen. Bei diesen Programmen, wie auch bei einschlägigen Projekten des Institutes für Hydrogeologie am Joanneum Research kommt eine neue Methode zum Einsatz, deren Möglichkeiten F. BAUER nicht mehr erlebt hat – Onlinemessungen mit Datensammlermeßsystemen.

3. Das Quellmeßnetz des Hydrographischen Dienstes

Im Zuge der Realisierung der Hydrographiegesetznovelle vom 26. Juni 1987, in der erstmals die Beobachtung von Quellen gesetzlich verordnet wurde, ging man im Hydrographischen Zentralbüro daran, die bei den einzelnen Bundesländern vorliegenden und laufenden Quellmeßprogramme zu sichten. Auf Grund der heterogenen Ansätze wurde entschieden ein völlig neues Konzept zu erarbeiten.

Die verordneten Quellmeßstellen des Hydrographischen Dienstes werden mit Datensammlern ausgestattet und registrieren in der Regel in ¼ Stunden Intervallen Schüttung, Temperatur, Leitfähigkeit und Trübung. Anschaffungs- und Errichtungskosten werden gemäß Hydrographiegesetz vom Bund getragen, die Länder übernehmen den Betrieb und die Instandhaltung.

Bei der Errichtung der ersten Stationen konnte auf einschlägige Erfahrungen aus den angeführten Projekten zurückgegriffen werden. In einer sehr aktiven Arbeitsgruppe "Quellbeobachtung" sind Sachbearbeiter aus

allen Hydrographischen Landesdienststellen, des Hydrographischen Zentralbüros und des Institutes für Hydrogeologie des Joanneum Research mit der Weiterentwicklung der Datenerfassung- und Auswertung beschäftigt.

Mit Stand Dezember 1997 sind 45 derartige Meßstellen in Betrieb, im Hydrographischen Jahrbuch 1995 sind erstmals Daten von Quellmeßstellen enthalten. Einige Meßstellen laufen nun schon über 3 Jahre. Die Ganglinien der einzelnen Parameter zeigen charakteristische Verhaltensmuster und das jährliche Witterungsgeschehen spiegelt sich in sehr unterschiedlichen Ausprägungen wieder. Die Jahresganglinien sind eine Art „Fingerabdruck“, der Quellen. Besonders interessant ist die Reaktion der Quellen auf Niederschlagsereignisse oder auf Schneeschmelze, wenn man in höhere zeitliche Auflösungen, Stunden- oder Viertelstundenwerte, geht.

Die Aussage der gewonnenen Daten über Einzugsgebiet, Verweildauer im Untergrund und Speicherverhalten der Aquifere ist sehr groß, auch wenn wir in den meisten Fällen erst lernen müssen sie zu interpretieren.

4. Mikroorganismen im Karstprozess

Nach der unbestrittenen geologischen Lehrmeinung sind die Karbonatgesteine zum überwiegenden Teil durch verschiedene Tier- und Pflanzengruppen in Flachmeeren entstanden und anschließend diagenetisch verfestigt wurden.

Die Korrosion, die Auflösung der Karbonatgesteine, wurde bisher allgemein als rein abiotischer Vorgang angesehen, das für die Lösung notwendige CO₂ dem Niederschlag- und eventuell der Anreicherung in der Bodenpassage zugeschrieben. Hier setzt der Diplombiologe Benjamin MENNE mit seinen Untersuchungen an. Warum sollten biologische Prozesse mit dem Eintritt des Wassers in den Untergrund enden und erst an der Quelle wieder beginnen? Die Verkarstung kann zwanglos als Teil des Kohlenstoffkreislaufes der Erde angesehen werden. Bei allen

Stoffkreisläufen spielen neben abiotischen Faktoren stets auch biotische Abbauprozesse eine wichtige Rolle. Sollte die Auflösung der Karbonate dabei eine Ausnahme machen?

Ausgehend von diesen Überlegungen begann MENNE mit Untersuchungen von Mikroorganismen (vor allem Myxobakterien) in verschiedenen Höhlen der Kalkhochalpen, der Schwäbischen Alb und zuletzt sehr erfolgreich in der Rettenbachhöhle im Sengengebirge im Rahmen des Karstprogrammes Nationalpark Kalkalpen.

Die Ergebnisse sind bahnbrechend! Mikroorganismen wandern praktisch mit der Initialphase der Verkarstung in das Spaltensystem ein, passen sich an das subterrane Milieu an, sind Ursprung einer Nahrungskette für weitere Mikro- und Makroorganismen und produzieren CO₂ mit dem das Lösungspotential des Karstwassers erhöht wird. MENNE führt dafür den Begriff „CARBONATOLYSE„ ein. Auch gegenläufige Prozesse „Biokonservierung„ sind denkbar. In konsequenter Fortsetzung der Überlegungen sieht er den Karstgebirgskörper als natürlichen „Festbetteaktor„.

Aus hygienischer Sicht ergeben sich vor allem zwei Konsequenzen:

1. Nicht alle in Quellwasser festgestellten Organismen sind von der Oberfläche eingeschwemmt.
2. Der Bakterienbewuchs an den Kluftwänden kann entgegen allen bisherigen Lehrmeinungen auch im Inneren des Karstkörpers eine reinigende Wirkung haben.

5. Ausblick

Der multidisziplinäre Ansatz in der Untersuchung der Karstphänomene ist wie gezeigt werden konnte nicht neu, aber moderne Auswerteverfahren eröffnen neue Möglichkeiten. Der Einsatz von Datensammlermeßsystemen sollte sich in Zukunft nicht nur auf Quellen beschränken, sondern z. B. auch zur Beobachtung des Bodenwasserhaushaltes und des Höhlenklimas eingesetzt werden. Ein besonders zukunftsreicher Forschungsbereich ist die Untersuchung der biologischen Prozesse und ihrer Auswirkungen.

DISKUSSION :

Neue Wege in der karsthydrologischen Forschung

ZANKL: Eine interessante Umkehrung der ganzen Geschichte, die Sie da vorgetragen haben, ist die Kalkfällung. Sie können natürlich genausogut sagen, alle Stalaktiten und Stalagmiten sind mikrobielle Karbonatfällung, und es gibt durchaus Ansätze dazu. Ich weiß nicht, ob Sie die Arbeitsgruppe um LEITNER(?) in Göttingen kennen, die sich speziell mit den Fragen der Karbonatfällung in Bioschleimen beschäftigt und dort phantastische Ergebnisse herausbringt mit Hilfe von mikroskopischen Techniken speziell des Anfärbens und der Fluoreszenzmikroskopie.

SCHROLL: Ich habe seinerzeit in einer Gruppe Bildungen aus Gumpoldskirchen untersucht, die in Form faserförmigen Kalzites ausfallen, mit Fasern in μ -größe. Es schaut wie Schleim aus und ich habe immer mikrobielle Mitwirkung vermutet. Es war so, daß ein Oktaeder genau auf das andere faserförmig wächst. Das ist publiziert worden und man hat sich bemüht, so etwas künstlich darzustellen. Ich habe gehört, daß bei der Aufarbeitung in Sodafabriken unter Umständen auch solche Schlämme entstehen. Das scheint doch eine Frage der Mitwirkung von Bakterien zu sein, und Ihre Ausführungen scheinen mir das zu bestätigen.

Aber noch eine andere Bemerkung: das eröffnet eigentlich eine neue Methodik in der Wasseruntersuchung von Karstwässern. Wir können heute mit analytischen Methoden oder organischer Chemie zweifellos Aminosäuren, Proteine usw. analysieren. Vielleicht sind die Franzosen da schon weiter, die sind da viel fortgeschrittener. Da muß man gegen die anderen Aminosäuren unterscheiden und auch die verschiedenen Proteine usw. Ich glaube nicht, daß in Österreich ein Labor momentan imstande ist, diese Untersuchung zu machen. Aber das ist sicher eine kommende Sache, das ist ein wertvoller Aspekt.

VÖLKL: Die ersten zwei Wortmeldungen zeigen, daß es gelungen ist, die neuen Wege, die hier von zwei Leuten angerissen worden sind, in einem Vortragsthema zu treffen. Das mit der Umkehr, mit dem Auskristallisieren, mit den Tropfsteinbildungen, das ist genau der Punkt den BÖGLI mit seiner Mischungskorrosion übersehen hat. Jeder Wasserwerksmann weiß, daß, wenn man zwei Wässer zusammenführt, dies meistens zu Kalkabscheidungen führt und nicht unbedingt zur Korrosion, also auch dort ist die Reversion drinnen. Ich bin überzeugt, daß man dies auch verfolgen wird, z.B. in unserem Bergwerk, das wir uns heute vielleicht ansehen, wenn auch dort nicht mit Kalzit sondern mit Eisenmineralien.

MENNE: Das ist ja völlig richtig, ich konnte nicht auf alle Aspekte eingehen. Die Mikrobiozosen haben ebenso wie die Verkarstung das Schlüssel-molekül CO_2 . Das heißt, es läßt sich nicht ohne weiteres voraussagen, wenn Sie CO_2 in der Summe zählen, also in der Bilanz gesehen, ob sie CO_2 produzieren. Daher kann es sowohl zu einem Konservierungseffekt als auch zu einem lytischen Prozeß kommen. Es kann auch ein Ausfällungsprozeß sein, und zwar zeitlich und räumlich, das ist insgesamt eine Dynamik, die hier auch lokal zu sehen ist.

ZANKL: Die Franzosen haben vor kurzem eine Methode zur Sanierung karbonatischer Bausteine an korrodierten Bauwerken vorgebracht. Sie geben dort einen Biofilm auf, der mit dem Nährsubstrat aufgetragen wird, und in wenigen Tagen haben sie eine Karbonatfällung und damit eine Konservierung der Oberfläche. Offensichtlich haben sie da schon große Erfolge mit der Konservierung von karbonatischen Bausteinen erzielt.

KUSCHNIG: Ich habe noch eine Frage zu diesen zwei Petrischalen, die sie in diesem Foto gezeigt haben, wo bei einem Abstrich

und sie haben gesagt, daß die Probestellen nur zwei cm voneinander entfernt gewesen wäre. Wie schaut das aus an der Höhlenwand? Wieviel Prozent sind mit Bakterien bewachsen oder wie spezialisierte Lebensbedingungen brauchen diese, um wachsen zu können.

MENNE: In einer Studie von MALLORY, die in Microbial Ecology veröffentlicht wurde, haben die in einigen wenigen Gramm, mindestens 100 Spezies. Man kann davon ausgehen, daß die Untersuchung, die wir gemacht haben, zeigt, daß die biozotische Diversität extrem hoch ist, daß sie sich im mm-Bereich ändern kann. Also sie können davon ausgehen, wenn sie die Höhlendecke ansehen, und sehen da eine etwas andere Form oder haben andere Feuchtigkeitsverhältnisse dann ist da auch was anderes darauf.

KUSCHNIG: Ich war erstaunt, daß die eine praktisch steril war.

MENNE: Das gibt es eben auch, aber das ist kein 100%-iger Nachweis für Sterilität, sondern zeigt nur an, daß an dieser Stelle eben keine Bakterien leben, die auf diesem Nährsubstrat wachsen können. Mit einem anderen Nährsubstrat hätte die Reaktion sicher anders ausgesehen.

MÜLLER: Ich hätte noch zwei Fragen. Können Sie vielleicht kurz auf die Energiebilanz eingehen? Nachdem ja Leben und Eiweiß auch an Stickstoff gebunden ist, wie schaut es eigentlich mit Nitrifikation und Denitrifikation aus?

MENNE: Über die Energiebilanz kann ich nichts sagen. Man müßte bei der Energiebilanz auch, wenn man das so sieht, die gesamte Form miteinbeziehen, das hängt ja stark von der Gestaltung ab. Wenn man das Rettenbachhöhlensystem betrachtet, dann werden Zonen in der Größenordnung von Millionen ausgeschwemmt.

Stickstoff, Nitrifikation, das gibt es, ist auch gemessen worden. Wie weit das System ist weiß ich nicht, vor allem Prof. SEILER bearbeitet das jetzt.

VÖLKL: Prof. SEILER von GSF München wird wahrscheinlich kommenden Herbst zu

einem Symposium in Windischgarsten zu diesem Thema auch mit seinen Forschungen kommen., Er läßt in Bohrlöcher im Bayerischen Karst Gesteinsblöcke hinunter, setzt sie eine bestimmte Zeit dem Wasser aus und schaut sich die Besiedlung von verschiedensten Seiten an. Ich freue mich schon sehr, daß wir diese Leute einmal zu uns bekommen werden und unsere Forschungen hier vergleichen.

WALTER: Ich habe eine Frage, wie weit ist dieser Bakterienrasen als Bioreaktor tätig, darunter verbinde ich eigentlich Wasserreinigung, und damit an der Beeinflussung der Trinkwasserqualität beteiligt?

MENNE: Es gibt sicherlich zahlreiche Möglichkeiten diese Überlegungen auch technologisch und raumplanerisch in Beziehung zu setzen, nur muß man den Grundprozeß ausführlich studieren. Probleme sind hier die Steuerungen der Auflösungsprozesse, weil es ja auch zu einer Ausschwemmung kommt, und daher sind beide Studien von Interesse, die untersuchen, in welchen Augenblicken, in welchen Zeitsequenzen die Bakterienfracht im Vergleich zur Wasserfracht liegt, weil die Lage des Maximums nicht unbedingt übereinstimmen muß. Man müßte also erst sehen, was überhaupt der Export ist, woher die Bakterien tatsächlich stammen, von der Oberfläche oder aus dem Karst selbst. Nach dem Modell, das wir jetzt haben, wissen wir, daß vieles endogenen Ursprunges ist.

VÖLKL: Wenn ich da vielleicht noch nachlegen kann, dieses Bild mit diesen Strudelwurm, der den Myxobakterienrasen abweidet, stellen Sie sich vor, wie der sich freut, wenn endlich ein Colibakterium vorbei schwimmt, das wäre für ihn eine Nahrungsabwechslung.

RIEHL - H.: Wir haben gestern im Grillenberg Mangan/Eisen-Tropfsteine von eher gallertiger Konsistenz gesehen. Außerdem war vor der Gewältigung des Erbstollens der gesamte Stollen mit goethithaltigen kaffeebraunen Masse erfüllt, die den Stollen über Jahrzehnte ausgefüllt hat. Es gibt auch sehr poröse Stalaktiten, ich hoffe, es gibt da noch Reste von diesen Dingen, die in ihrer Gesamtheit nicht zu konservieren waren.

*Diskussionsbeiträge von:**Dr. G. KUSCHNIG**Wasserwerke d. Stadt Wien
Grabnergasse 4-6
a - 1060 Wien**Dipl.Biol. Dr. Benjamin MENNE**Dipl.Ing. Prof. Walter MÜLLER
HTL Krems
Mühlhofstraße 2/15
A - 3503 Krems**Univ.Prof. Dr. Erich SCHROLL**Haidbrunnngasse 14
2700 Wr. Neustadt**Dr. Georg RIEHL - H**Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf**MR Dr. Gerhard VÖLKL**Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft
Stubenring 1
A - 1010 Wien**Dipl.Ing. WALTER**Wasserwerke d. Stadt Wien
A - 2652 Hirschwang**Univ.Prof. Dr. H. ZANKL**Philipps-Universität MarburgLahn
Hans Meerwein Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Tiefenwässer - Kalkalpen und Wiener Becken

G. WESSELY



Payerbach,
5. Dezember 1997

INHALT

	Zusammenfassung	157
1.	Einleitung	157
2.	Kalkalpen	158
3.	Neogen des Wiener Beckens	159
4.	Hydrologie	160
5.	Nutzungsmöglichkeiten	162
	Literatur	163
	Abbildungskurzverzeichnis	165
	Abbildungen	166
	Diskussion	179

Anschrift des Verfassers:

*Dr. Godfried WESSELY
ÖMV Geologie (i.R.)*

*Siebenbrunnengasse 29
A - 1050 Wien*

Tiefenwässer - Kalkalpen und Wiener Becken

G. WESSELY

Zusammenfassung

Die Tiefenwässer Ostösterreichs werden angesichts des steigenden Verbrauchs in den Ballungszentren, auch von Wien und Umgebung, immer mehr Bedeutung erlangen. Die Verschiedenartigkeit der Nutzungen erfordert Bestandsaufnahmen der Verfügbarkeit von Kalt- und Thermalwässern. Die geologischen Voraussetzungen für die Erschließung von Tiefenwässern erstrecken sich vor allem auf die östlichen Kalkalpen und das Wiener Becken. Die Kalkalpen mit Fortsetzung im Untergrund des Wiener Beckens bieten mit der großen Kubatur der Plattformkarbonate Aquiferbedingungen in sehr günstigen Dimensionen. Im Neogen des Wiener Beckens sind ebenfalls solche vor allem dort gegeben, wo sich Zonen mit absenkungsbedingter hoher Sedimentmächtigkeit mit Bereichen verstärkter Sandschüttung aus Mündungssystemen decken.

Die Porositäten in den Dolomiten des Kalkalpin sind Kluftporositäten, in den Kalken ist Klüftung meist kalzitverheilt, oberflächennah tritt Verkarstung in den Vordergrund. Die Neogensandsteine und -konglomerate besitzen überwiegend Matrixporosität.

Die hydrodynamischen Voraussetzungen in den Kalkalpen bedingen oft ausgedehnte Süßwasservorkommen bis in große Tiefen. Bei Vorliegen von geeigneten Abdichtungsmöglichkeiten ist auch Brack- und Salzwasserführung möglich. Im Untergrund des Wiener Beckens existieren zwei hydrodynamische Systeme, die durch das Leopoldsdorfer Bruchsystem voneinander getrennt sind. Östlich desselben liegt das geschlossene System des zentralen Wiener Beckens mit gleichmäßiger Temperaturabfolge und hohen Salinitätsverhältnissen, westlich desselben ein offenes System in Verbindung mit den obertägigen Kalkalpen, ausgeprägter Mobilität, geringen

Salinitäten und starken thermischen Anomalien.

Im Neogen des Wiener Becken überwiegen oberflächennah Süßwässer, die je nach struktureller Lage in unterschiedlichen Formationen enthalten sind. Die gegen unten zunehmenden Salinitäten deuten im allgemeinen auf geringe Mobilität der Wässer.

Die Nutzungsmöglichkeiten der Wässer erstrecken sich auf Trinkwassergewinnung, Balneologie und Geothermie, z.T. mit Anwendungsketten. Die Entnahmegebiete richten sich nach der Verteilung der hydrologischen Systeme, ihrer Kapazität und ihren chemischen, thermischen und druckmäßigen Bedingungen.

1. Einleitung

Wasser wird weltweit immer mehr zum Studiums- und Diskussionsobjekt. Aber auch innerhalb Österreichs ist Anlaß dafür steigender Verbrauch, als Trinkwasser viel mehr aber noch als Nutzwasser, Gefährdung durch Kontamination, vermehrte Vermarktungsbestrebungen von Mineralwasser, Trends zu balneologischer Nutzung und zur Erschließung für Freizeit- und Erlebniszwecke und schließlich einsetzende Planung zur Energiegewinnung für Geothermie. Die Bedeutung einer Bestandsaufnahme über die Wasserverfügbarkeit im Osten Österreichs wird bei einer Betrachtung der Besiedlungsdichte ersichtlich. Diese ist im Wiener Becken an dessen Rand zu den Alpen am höchsten, da hier die Ballungszentren von Wien, Mödling, Baden, Wr. Neustadt, Neunkirchen und Gloggnitz liegen. Die geologisch-hydrologisch bedingte Verfügbarkeit und das Ausmaß des Bedarfs weichen häufig von einander ab. Oft überschneiden sich die Interessen in ein und demselben Gebiet. Aufgabe eines zukunfts-

orientierten Wassermanagements wird es sein, eine Gewinnung in der Weise zu lenken, daß die Nutzer einander nicht beeinträchtigen, daß nicht über mengenmäßige, womöglich auch thermische Erneuerbarkeit hinaus gefördert wird, möglichst für eine Druckerhaltung gesorgt wird und jede Art von verhinderbarer Kontamination abgewehrt wird. Hydrologische Bestandsaufnahmen sind erste Voraussetzungen dafür. Großdimensional kann eine Verteilung von verschiedenen Wassertypen aufgezeigt werden (Abb.20). Beispiele für lokale Bestandsaufnahmen sind die Studien über die Tiefengrundwässer im Wr.Becken (M.Bernhard 1993, W.Erhart-Schippke & P.Niederbacher, 1995) und Wiener Wald (F.Salzer 1997).

Ostösterreich ist auf Grund seiner unterschiedlichen Gegebenheiten ein gutes Beispiel, wie verschiedenartig die Voraussetzungen für Wasservorkommen hinsichtlich geologischer Stellung, Tiefenlage, Volumen und Porositätsart des Aquifers, sowie Temperatur und Chemismus sein können. Wenn man sich auf das Gebiet von NÖ und Wien beschränkt, kann man im wesentlichen eine Gliederung in die karbonatischen kalkalpinen und zentralalpinen Aquifere in den Alpen und unter dem Wiener Becken und in die klastischen tertiären Speichergesteine der Beckenfüllung vornehmen. Weitere Möglichkeiten gäbe es im Untergrund der Molasse, diese sind jedoch nicht Gegenstand dieser Thematik.

Der Autor dankt der OMV AG, insbesondere Dr. G.Winkler und Dr.W.Hamilton für die Freigabe von Anschauungsmaterial und Dr.R.Sauer, Herrn R.Zartl und Herrn H.Rüppel für die Bereitstellung desselben.

2. Kalkalpen

Aquifersysteme

Der Kalkalpenkörper mit seiner langgestreckten Schüsselform, ca. 500 km lang und 45 km breit (Osteil davon in Abb.1), mit seinem erheblichen Tiefgang und oft hochragendem Relief stellt mit seinem

Aquifersystemen das größte Wasserreservoir dar. Die Mächtigkeit der Speichergesteine in den Kalkalpen konnte besonders die Bohrung Berndorf 1 mit mehr als 5000 m dokumentiert werden (G.Wachtel und G.Wessely 1981), wobei bis zur Unterkante der Kalkalpen Süßwasser vorliegt. Die Anordnung der Deckenkörper in den Kalkalpen bedingt eine Gliederung dieser Aquifersysteme in die mächtigen Karbonatplattformen der mittleren und höheren Kalkalpeneinheiten und in die zumindest im Osten geringer mächtigen Karbonate der tieferen Kalkalpeneinheiten. Dabei spielen in bestimmten Bereichen deckentrennende Gosauvorkommen eine Rolle. Der Interbau der einzelnen Deckeneinheiten kann zusätzlich Dichtebarrrieren zwischen den einzelnen Aquifersystemen bewirken (Abb.1,2).

Flankiert wird der gesamte Kalkalpenkörper von den dichten Gesteinseinheiten der Grauwackenzone und der Flyschzone. Im Wiener Becken erfolgt zusätzlich Abdeckung durch Neogen.

Ein kleineres System mit karbonatischen Speichergesteinen liegt südlich der Kalkalpen und Grauwackenzone im Unterostalpin vor, wozu das Semmeringmesozoikum zählt.

Kalkalpen und Semmeringmesozoikum setzen sich unter dem Neogen des Wiener Beckens (Abb. 3) fort (G.Wessely 1992, 1993), wenn auch in verschmälert Form, doch weiterhin mit beachtlichen Kubaturen. Durch die Bruchtektonik und unterschiedlicher Subsidenz wird der Kalkalpenkörper in mehrere Bereiche gegliedert. Vor allem trennt das Leopoldsdorfer Bruchsystem einen relativ hochgebliebenen Block von der Tiefscholle des Wiener Beckens mit beachtlicher Tiefenlage der Oberkante des Beckenuntergrundes, die gegen NE in den Strukturen von Aderklaa-Schönkirchen und Zwerndorf wieder abnimmt (Abb.3,4), wobei Kohlenwasserstofflagerstätten auftreten.

Auch im Beckenuntergrund ist ein beträchtlicher Tiefgang der Kalkalpenunterkante anzunehmen bzw. nachgewiesen, ebenso die Deckengliederung mit ihren Reservoir- und Abdichtungsgesteinen.

Speichergesteinsbedingungen

Die Kenntnis der Porositäten und Permeabilitäten in der stratigraphischen Abfolge im kalkalpinen Untergrund des Wiener Beckens und in den Kalkalpen (Abb.5) beruhen vielfach auf Bohrdaten und Förderergebnissen von Kohlenwasserstoffen. In den Dolomiten ist der Porenraum kluftbedingt. In Kalken tritt in Oberflächennähe oder an Paläoreliefs Verkarstung in den Vordergrund. Matrixporosität ist untergeordnet. Hauptaquifere sind Wettersteindolomit, Hauptdolomit, Wetterstein- und Dachsteinkalk. Abdichtungen werden in mehr oder minder vollständiger Weise von pelitreichen Sedimenten des Permoskyth, der Lunzer Schichten und der Gosausedimente gebildet. Im Semmeringmesozoikum tritt Porosität in mitteltriadischen Karbonaten und in unter- und obertriadischen Quarziten auf. Die Porositäten in Dolomiten können 3-15% betragen. Sie stellen oft sehr mächtige Speicher dar. In den Kalken kann Verkarstung im oberflächennahen Bereich großes Wasservolumen und gute Drainagierung ermöglichen, wie dies in den Wettersteinkalkvorkommen von Rax und Schneeberg der Fall ist, durch die die Großstadt Wien gespeist wird (Abb.6). In der Tiefe können dieselben Kalke aber sogar in Riffausbildung dicht sein. Als Beispiel von Kluftporosität, wie sie an der Oberfläche sichtbar ist, dient der Hauptdolomit der Göller Decke im Steinbruch östlich Gaaden (Abb.7). Er tritt nicht nur in großer Mächtigkeit im Nordabschnitt des Anninger zutage, sondern ist Leitgestein der gesamten vorderen und mittleren Kalkalpendecken. Der Hauptdolomit in den Bohrkernen (Abb.10,13) im Beckenuntergrund unterscheidet sich wenig von dem der Oberfläche außer durch Erweiterung der Klüfte in letzterem durch die Einwirkung von Atmosphärien. Der Hauptdolomit enthält die Lagerstätten für Öl und Gas mit hohen Förderraten. Wenn auch seine Porosität streckenweise nur mäßige Werte besitzt, bewirkt das Verschneiden zahlreicher Kluftrichtungen eine oft ausgezeichnete Permeabilität, die diese hohen Fördermengen gestattet. Die Klüftung ist natürlich bei Störungen und bei Faltenbildung vor allem in

deren Scheitelbereich intensiver. Die Fazies spielt ebenfalls eine Rolle und wie die zahlreichen Bohrprofile zeigen, ändert sie sich horizontal und vertikal. Dabei ist Mergel eintrag und Kalkgehalt (Abb.14) nachteilig (Verschluß der Klüfte). Ungünstiger verhält sich der Dachsteinkalk (Abb.9), hier gilt ähnliches wie vom Wettersteinkalk. Dolomitlamellen des Gliedes B der Lofer-Zyklotheme können verhältnismäßig höhere Kluftporosität besitzen. Analog dem Hauptdolomit bildet der Wettersteindolomit ein gutes Kluftreservoir (Abb.11). Hier ist Matrixporosität etwas angehoben. Er findet sich in den mittleren und höheren Kalkalpendecken in großer Mächtigkeit.

Daß im Semmeringmesozoikum stark geklüftete Dolomite der Mitteltrias ein weiteres Potential am Rand und im Untergrund bieten, zeigen Aufschlüsse (Abb.8) und Bohrkern der Bohrung Weigelsdorf 1 (Abb.12). Das Speichervermögen von Quarziten hängt ebenfalls von ihrem Zerrüttungsgrad ab (G.Wessely 1997).

3. Neogen des Wiener Beckens

Aquifersysteme

Das Wiener Becken mit seinem österreichischen Anteil besitzt eine Fläche von ca. 3000 km². Der stratigraphische Umfang der Beckenfüllung reicht von Eggenburg bis ins Quartär (Abb.16). Ein älterer Beckenanteil in Form eines „piggy back basins“ ist auf den Norden des heutigen Beckens beschränkt und enthält Sedimente des Eggenburg bis Karpat. Ab dem Karpat bildet sich das Becken in seiner heutigen Form. Je nach Position in Hoch- oder Tiefzonen reicht der Tiefgang der Neogenschichten von einigen hundert Metern bis über 6000 m (A.Kröll et al.1993). Damit ist die Sedimentkubatur als Voraussetzung für das Vorhandensein genügend mächtiger Speichergesteine unterschiedlich. Diese erste Voraussetzung ist dort günstig, wo die Subsidenz sehr hoch ist, wie im Schwechater Tief (bis 5200 m), im Zistersdorfer Tief (bis 6000 m) sowie in den jungen Senkungszonen des Wiener Neustädter - Mitterndorfer - Lasseer

Grabensystems (2000-4000 m). Die Oberkante des Beckenuntergrundes (Abb.4) zeigt zuzüglich der jeweiligen Seehöhe die Mächtigkeit des Neogen an, die in den Depocenters oft ein Vielfaches von der auf den Hochzonen beträgt. Weitere Voraussetzung ist starker klastischer Sedimenteintrag in Deltabereichen mit ihren submarinen Erstreckungen ins Becken (R.Jiricek & P.Seifert 1990).

In das südliche Wiener Becken führen derartige Sedimentfronten bevorzugt von südwestlichen und westlichen Richtungen über das SW-Ende und den Westrand des Beckens. In das nördliche Wiener Becken mündet ab dem Baden ein aus der Molasse kommender Fluß und beliefert bis ins Pannon das Becken mit großen Sandkubaturen, proximal auch Schottern (Abb.17). Die günstigsten Akkumulationen von Speichergesteinsmaterial liegen also dort vor, wo hoher Sandeintrag in synsedimentäre Subsidenzbereiche gelangt. Im Karpat besitzen vor allem limnische Ablagerungen oft mächtige Sandkörper. Das Sand/Mergelverhältnis steigt gebietsweise über 50% (M.Weissenbäck 1995, 1996) bei Bruttomächtigkeiten bis über 1000m. Das Aderklaaer Konglomerat, das seine Verbreitung vom Matzener Rücken südwärts besitzt und das als wichtiger Aquifer im Neogen des Wiener Beckens anzusehen ist, erreicht auf der Tiefscholle im Schwechater Tief eine Mächtigkeit von mehr als 350m. Dem steht auf der Hochscholle eine solche von nur 50 m und weniger gegenüber. Hohe Raten erreicht die Sandschüttung vom Baden bis Pannon auf der Tiefscholle entlang des Steinbergbruches, vor allem dessen Südabschnittes und seiner südlich anschließenden Ersatzbrüche (N.Kreutzer 1993). Die mächtige Sandschüttung reicht ostwärts über Zwerndorf hinaus, wo im Baden die mehrere hundert Meter mächtigen „Zwerndorfer Sande“ vorliegen. Im Pannon bildet auf der Hochscholle der Mistelbach - Hollabrunner Schotterkegel den mündungsnahen Abschnitt dieser Schüttungsfächer. Im Tiefschollenbereich überwiegen südlich dieser Schüttungszone Mergelsedimente (M.Weissenbäck 1995, 1996), doch ist auch hier ab dem Sarmat wieder ein höheres Sand/Mergelverhältnis zu verzeichnen, das auf z.T. flächig

sehr verbreitete Sandhorizonte zurückzuführen ist. Starker Eintrag von Sand und immer wieder Schotter erfolgte nahezu im ganzen Becken im Oberpannon, wobei auch hier wieder die größeren Mächtigkeiten in den Subsidenzzonen wie im Schwechater Tief E von Wien vorliegen (M.Bernhard 1993). Das Ausmaß der Sand/Schotter Komponente im südlichen Anteil des Beckens im Verlauf des Miozän ist mangels geringen Bohraufschlusses nicht flächig erfaßbar, doch ist anzunehmen und z.T. auch nachgewiesen, daß in den Grabenstrukturen von Wr.Neustadt und Mitterndorf mächtige Grobklastika vor allem des jüngeren Miozän, des Pliozän und des Quartär an deren Füllung beteiligt sind.

Speichergesteinsbedingungen

Die Speichergesteine im Neogen des Wiener Beckens sind Sandsteine und Konglomerate mit Matrixporosität (Abb.15). Viele der Horizonte weisen durch ihre große Mächtigkeit und Ausdehnung gute Aquiferbedingungen auf, wie das Aderklaa-Rothneusiedler Konglomerat, Sande des tieferen Badens, Zwerndorfer Sande und Äquivalente gegen W und NW zu, sowie etliche Sarmat- und Pannonhorizonte. Randbildungen jeglichen Alters können ebenfalls lokale Bedeutung erlangen. Etliche Sandhorizonte sind allerdings oft zu geringmächtig, unzusammenhängend linsenförmig oder zu stark vermergelt, als daß sie eine geeignete Förderung gewährleisten könnten. Gute Porositäten bewegen sich um 20% bis über 30% (R.Sauer et al. 1992). Kompaktionsbedingt nehmen sie im allgemeinen von oben nach unten ab. Die Permeabilitäten hängen von der ausreichend weiten Ausbildung der Porenkanäle zwischen den Körnern ab. Klüftung, die allerdings in den Sanden der Beckenablagerungen meist fehlt, würde Wegsamkeiten erhöhen.

4. Hydrologie

Während die hydrologischen Verhältnisse im oberflächennahen Bereich der Kalkalpen z.T. gut erfaßbar sind (u.a. Gatteringer 1973, 1980, Fenzel 1977, Salzer 1997), sind sie in den Tiefzonen der Kalkalpen weniger bekannt.

Vereinzelt liegen Tests aus Bohrungen vor, die Auskunft über Schüttungsmengen, Mineralisierungen und Temperaturen Auskunft geben (A.Kröll et al. 1981). Einen aufschlußreichen Einblick am Ostrand der Alpen bietet die Bohrung Berndorf 1 (G.Wachtel u. G.Wessely 1981). Hier wurden die bei 5640 m erbohrt. Der größte Teil der kalkalpinen Strecke besteht aus karbonatischen Speichergesteinen, die, mindestens bis etwa 4500 m durch Tests nachgewiesen, Süßwasser mit relativ geringer Temperatur enthalten. Somit enthält der Ostteil der mittleren Kalkalpendecken ebenso wie die höheren Kalkalpendecken eine große Kubatur von Süßwasser, das in geklüfteten Dolomiten, aber auch vor allem im Falle der höheren Kalkalpendecken in Karsthohlräumen gespeichert ist. Das bei geeigneten Abdichtungsbedingungen auch Brack- oder Salzwasserführung vorliegen kann zeigen Tests in der Bohrung Urmansau 1, wo im Wettersteindolomit von 11204 mg Cl/l verzeichnet wurden (A.Kröll & G.Wessely 1967).

Recht gut bekannt sind die hydrologischen Gegebenheiten im Beckenuntergrund. Die Bohrdichte auf der Mödlinger Hochscholle erlaubt hier eine geologische Darstellung und einen gewissen Einblick in die Hydrodynamik auf Grund der Temperaturverhältnisse, Salinitäten und Druckverhältnisse (G.Wessely 1983, 1993).

Im Untergrund des Wiener Beckens liegen zwei hydrologische Systeme vor, die im wesentlichen durch das Leopoldsdorfer Bruchsystem voneinander getrennt sind: ein eher statisches System im abgesenkten zentralen Wiener Becken mit hoher Salinität der Wässer und gleichförmigem Temperaturgradienten und ein stärker dynamisches System auf der Hochscholle westlich des Leopoldsdorfer Bruchsystems (Abb.18,19), das im Zusammenhang mit dem Ostabschnitt der obertägigen Kalkalpen steht (siehe Berndorf 1) und das durch niedrige Salinität der Wässer sowie durch starke Anomalien im Temperaturgradienten gekennzeichnet ist. Die Hydrodynamik des letzteren Systems erfolgt in der Weise, daß kalte Oberflächenwässer der Kalkalpen tief unter das Wiener Becken

migrieren, dort erwärmt und mineralisiert werden, an der Dichtebarrriere des Leopoldsdorfer Bruchsystems im Zentralheizungsprinzip hochsteigen, Hochzonen im Beckenuntergrund einnehmen oder unter Neogenbedeckung zum Beckenrand zurückgedrückt werden, wo sie als Thermalquellen austreten. Dieses System gliedert sich von N nach S wieder in zwei oder mehrere Teilsysteme.

Am Ostrand des Wiener Beckens sind ähnliche hydrodynamische Systeme im Zentralalpin bzw. Tatrikum ausgebildet. Im Fall von Deutsch-Altenburg sind die Einzugsgebiete der Wässer nicht gesichert identifizierbar, die Dichtebarrriere und Aufstiegsbahn dürfte an der Unterkante der Grauwackenzone liegen.

Die Einzugsgebiete im Ostabschnitt der Kalkalpen haben sehr große Ausdehnung, selbst wenn nur die Fläche der obertags anstehenden Speichergesteine zur Berechnung herangezogen werden, nämlich etwa 1330 km². Die Ausmaße von Niederschlag, in den Boden eindringender Wässer, Rückhalt im Boden, obertägigem Abfluß, Verdunstung und Kubaturen der Tiefenwässer in den Zirkulationssystemen können nur größenordnungsmäßig abgeschätzt werden, eine detaillierte Bilanzierung (vgl.F.Salzer 1997) wird künftig erforderlich sein. Dazu werden geologische, geochemische, hydrologische, lagerstättenkundliche Daten und Erfahrungen nötig sein, um sinnvolle Simulationen durchführen zu können.

Die Einzugsgebiete und das Einzugsalter der Wässer in den Neogensanden sind nur für die süßwasserführenden seichteren Horizonte sowie für die tiefen jungen Grabenfüllungen, wie die Wr. Neustädter, Mitterndorfer, Lasseer Senke besser faßbar (z.T. W.Erhart-Schippek & P.Niederbacher 1995). Die Süßwasserführung reicht je nach struktureller Lage maximal nur wenige hundert Meter in die Tiefe. In Rand- und Hochschollenbereichen kann sie stratigraphisch alle Neogenstufen einnehmen, in abgesenkten Schollen wird Süßwasser bereits unterhalb Mittelpannon durch Brackwasser ersetzt. Darunter steigen die Salinitäten und erreichen im Sarmat und Baden die höchsten Werte (Chloridgehalt über

14.000 mg Cl/l). Im Aderklaaer Konglomerat ist der Chloridgehalt wieder etwas abgesenkt (H.Buchta 1993 u. H.Wieseneder 1980) und steigt darunter meist wieder an. Die Salzwasserführung deutet auf geringe Mobilität der Wässer im Neogen hin. Im wegsameren Aderklaaer Konglomerat könnte auch im Tiefschollenbereich ein bestimmtes Maß an Hydrodynamik stattgefunden haben (G.Schröckenfuchs 1975). Auf der Mödlinger Scholle, wo es teilweise mit dem Untergrund Verbindung besitzt ist stärkere Zirkulation gegeben, wie dies die thermale Schwefelwasserführung in Oberlaa zeigt. Die allgemein geringere Mobilität der Wässer in den Neogensandsteinen ergibt sich aus der meist begrenzten Mächtigkeit der Horizonte und dem Abdichtungsvermögen zahlreicher Brüche.

5. Nutzungsmöglichkeiten

Eine Nutzung der Wässer erfolgt bisher nur teilweise in Form von Trinkwassergewinnung und balneologisch. Kalkalpen und Wiener Becken besitzen jedoch ein weit größeres Potential an Nutzungsmöglichkeiten für Geothermie, Balneologie, Trinkwassergewinnung, Notwassererschließung (Abb.20). Kriterien der Aufteilung von Anwendungsbereichen sind Tiefenlagen des jeweiligen Aquifers, Temperaturen, Mineralisationen. Zu berücksichtigende Gesichtspunkte sind Erneuerungsmöglichkeit der Wässer, Druckkonstanz, Beeinträchtigung von anderen Nutzern, Einflußbereich von Öl- und Gasfeldern, Verfügbarkeit von Abnehmern, Kosten von Erschließung und Gewinnung.

Wenn man sich auf den ostösterreichischen bzw. niederösterreichischen Anteil in der Betrachtungsweise beschränkt, bieten vom geologisch-hydrologisch-hydrochemischen Standpunkt die Kalkalpen und Teile des Semmeringsystems eine bedeutende Möglichkeit von zusätzlicher Trinkwasser- und Wärmege-
 winnung. Einer Notwasserversorgung dürfte die Karstbeschaffenheit und damit Sensibilität gegenüber großflächiger Kontamination entgegenstehen. Im Untergrund des südlichen Wiener Beckens sollte der Westabschnitt

besonders balneologischen Zwecken und einer Mineralwassergewinnung vorbehalten bleiben (Wärmeanomalien, geringere Salinität der Wässer), während die Tiefscholle des Leopoldsdorfer Bruches infolge großer Kubaturen, hohen Schüttungen bei Überdruckbedingungen, tiefenbedingt hoher Temperaturen bei allerdings hohen Salinitäten prädestiniert für Gewinnung geothermaler Energie ist. So erbrachte bei Testarbeiten die Aufschlußbohrung der ÖMV AG Aspern 1 (1974) aus dem Hauptdolomit der Göllecke bei 3106-3296 m Tiefe Wasser von über 100°C mit einer Mineralisierung von 150.000 ppm gelösten Feststoffen, zum größten Teil vom NaCl-Typus (W. Janoschek 1976, F.Ronner 1980). Es wurden 11,6 l/sec mit Überdruck gefördert (30 atü am Bohrkopf). Leider blieben Bestrebungen, diesen Heißwasseraufschluß einer Energiegewinnung zuzuführen aus Gründen, die außerhalb geologisch-technischer Belange lagen, erfolglos. Heißwassertests bei etlichen anderen Bohrungen in Dolomiten des kalkalpinen Untergrundes, auch im Frankenfels Lunzer System würden einer Überlegung wert sein, ob man sie nicht thermisch nutzen sollte. Ähnliches gilt für das Semmeringsystem im Untergrund.

Die miozäne Füllung des Wiener Beckens könnte bei großen Mächtigkeiten der Sande und Konglomerate für geothermale und balneologische Zwecke herangezogen werden, wobei größere Tiefen an den stärker abgesenkten Bereichen günstige Temperaturwerte bedingen. Für weite Teile des Aderklaaer Konglomerates ist allerdings abgesenkter Druck durch die Erdölförderung aus dem Matzener Sand, mit dem energetischer Kontakt besteht, zu verzeichnen. Die Salinitäten sind im Neogen meist angehoben. Die seichteren Anteile der Depocenters, wo vor allem im Pannon noch hohe Mächtigkeiten bei Süßwasserfüllung vorliegen, wie im Schwechater Tief (M.Bernhard 1993) und der Zistersdorfer Depression sind für die allfällige Notwassergewinnung geeignet, da sie von Kontaminationen von der Oberfläche her durch Mergelstrecken abgeschirmt sind. Eine großdimensionale Trinkwasserversorgung wird hier

in vielen Fällen an zu langsamer Erneuerbarkeit scheitern, außerdem könnte dabei Brackwasser aus tieferen Bereichen gezogen werden.

Alle diese Verwendungsmöglichkeiten von Wässern sind abhängig von wirtschaftlichen Überlegungen, könnten aber eine Steigerung in ihrer Wirtschaftlichkeit durch Nutzungsketten erfahren.

Literatur

- BERNHARD, M. 1993. Geophysikalisch - hydrologische Untersuchungen Pannoner Tiefensüßwasser im NE Wiens. Unveröffentlichte Diss. Montanuniversität Leoben
- BUCHTA, H. 1993 Lagerstättenwässer. 33-35 In: F.Brix & O.Schultz: Erdöl und Erdgas in Österreich - Naturhistorisches Museum Wien und F.Berger Horn
- ERHART-SCHIPPEK, W. & NIEDERBACHER, P. 1995. Tiefengrundwasservorkommen in Niederösterreich - Amt d.NÖ-Landesregierung (Hrgb.) Abt.B/9, Wasser- und Abfallwirtschaft
- FENZL, N. 1977. Hydrogeologische Studie des Gebietes Hohe Wand und Fischauer Berge. Verh. Geol. B.A., H.2, 121-164
- GATTINGER T.E. 1973. Geologie der Baugeschichte des Schneealpenstollens der I. Wiener Hochquellenwasserleitung (Stmk.-N.Ö). Abh. Geol. BA 30, 60p. Wien
- GATTINGER, T.E. 1980. Hydrogeologie. In: R.Oberhauser (Red): Der Geologische Aufbau Österreichs. Springer Verlag Wien - New York
- JANOSCHEK, W. 1976. Erschließung geothermischer Energie. In: Forschungskonzept für Erschließung und Nutzung geothermischer Energie in Österreich. Wien, Bundesministerium für Wissensch. u. Forschung
- JIRICEK, R. & SEIFERT, P. 1990. Paleogeography of the Neogene in the Vienna Basin and the adjacent part of the foredeep. 89-105 In: D.Minarikova and H.Lobitzer (eds.). 30 years of geol. Corp. between Austria and Czechoslovakia. Geol.Survey Vienna and Geol.Survey Prague
- KREUTZER, N. 1993. Das Neogen des Wiener Beckens. 232-248 In: F.Brix & O.Schultz (eds.). Erdöl und Erdgas in Österreich. Naturhist.Museum und F.Berger, Horn
- KRÖLL, A. & WESSELY, G. 1967. Neue Erkenntnisse über Molasse, Flysch und Kalkalpen auf Grund der Ergebnisse der Bohrung Urmannsau 1. Erdöl- und Erdgaszeitschrift, 83, H10, 342-252, Wien-Hamburg
- KRÖLL A.,SCHIMUNEK K.,WESSELY, G. 1981. Ergebnisse und Erfahrungen bei der Exploration in der Kalkalpenzone in Ostösterreich. Erdöl-Erdgaszeitschr. 96/1, 12-19, Hamburg-Wien
- KRÖLL A., HEINZ H., JIRICEK R., MEURERS B., SEIBERL W. STEINHAUSER P., WESSELY G., ZYCH D. 1993 Karten 1:200.000 über den Untergrund des Wiener Beckens und der angrenzenden Gebiete (mit Erläuterungen

- 1-22). 4 Karten, 3 Taf., 1 Abb., 1 Tab.,
Geologische Bundesanstalt Wien
- RONNER, F. 1980. Geothermale Energie.
In: R. Oberhauser (Red.) Der geologische
Aufbau Österreichs. 574-179. Springer
Verlag Wien-New York
- SALZER F. 1997. Erkundung unterirdi-
scher Wasservorkommen in N.Ö. Hydro-
geologie der Karbonate zwischen Wien-
Fluß und Schwechat-Fluß im Wienerwald
Bereich. (Endbericht). Bericht ÖFPZ -
Arsenal, 90 S. 101 Abb.+ Tab. 18
Beilagen - Unveröffentlich. Bericht N.Ö.
Landesregierung, Wien
- SAUER, R., SEIFERT, P. & WESSELY, G.
1992. Guidebook to Excursions in
the Vienna Basin and the adjacent Alpine-
Carpathian Thrustbelt in Austria. 200
Abb., 7 Tab., Mitt.österreich. Geol. Ges.,
85/1992, 5-239; Wien
- SCHRÖCKENFUCHS, G. 1975. Hydro-
geologie, Geochemie und Hydrodynamik
der Formationswässer des Raumes
Matzen - Schönkirchen Tief. Erdöl-
Erdgas-Zeitschr. 91/9, 299-321,
Hamburg-Wien
- WACHTEL, G. & WESSELY, G. 1981. Die
Tiefbohrung Berndorf 1 in den östlichen
Kalkalpen und ihr geologischer Rahmen.
7 Abb., 3 Tafeln. Mitt. Österr. Geol. Ges.
74/75, Jg. 1981/82, 137-165; Wien
- WEBER, F. UND WESSELY, G. 1993 .
Oberlaa. S 244-246. In: J. Zötl und J.E.
Goldbrunner (ed.) 1993. Die Mineral-
und Heilwässer Österreichs.
- WEISSENBÄCK, M. 1995. Ein Sedimenta-
tionsmodell für das Unter- bis Mittel-
miozän (Karpatrien-Badenien) des zentra-
len Wiener Beckens. Phil. Diss. Geologi-
sches Institut der Universität Wien
- WEISSENBÄCK, M. 1996. Lower to Middle
Miocene sedimentation model of the
central Vienna Basin In: G. Wessely &
W. Liebl (eds.) Oil and Gas in Alpidic
thrustbelts and Basins. EAGE Special
Publication 5. The Geol. Society, London
for EAGE
- WESSELY, G. 1983. Zur Geologie und
Hydrodynamik im südlichen Wiener
Becken und seiner Randzonen. Mitt.
Geol. Ges. Wien, 76, 27-68, Wien
- WESSELY, G. 1992. The Calcareous Alps
below the Vienna Basin in Austria and
their structural and facial development in
the Alpine-Carpathian border Zone.
7 figs., 347-353, Geologica Carpathica,
43, 6, Bratislava
- WESSELY, G. 1993. Geologie des Südlichen
Wiener Beckens. 235-244, In: J. Zötl und
J.E. Goldbrunner (ed.) 1993. Die
Mineral- und Heilwässer Österreichs.
(Kapitel 14: Die Heilwasserprovinz
südliches Wiener Becken). Springer
Verlag, Wien-New-York
- WESSELY, G. 1993. Der Untergrund des
Wiener Beckens. 249-280. In: F. Brix
und O. Schultz (Ed.) 1993. Erdöl und
Erdgas in Österreich. Naturhistorisches
Museum und F. Berger, Horn
- WESSELY, G. 1997. Die Bohrung Payerbach
Thermal 1. Geologische Grundlagen-
ergebnisse. Barbara-Gespräche Payerbach
1995, Bd. 2, 154-162
- WIESENEDER, H. 1980. Lagerstättenwässer.
9-12 In: F. Brix und O. Schultz /Red. Erdöl
und Erdgas in Österreich.
Naturhist. Museum Wien u. F. Berger,
Horn

Abbildungskurzverzeichnis

(Quellenangaben und Erläuterungstext sind den Photos beigelegt)

- Abb. 1 Tektonische Übersicht über den Ostabschnitt der Alpen
- Abb. 2 Geologische Tiefenprofile durch den Ostabschnitt der Kalkalpen und das südliche Wiener Becken.
- Abb. 3 Wiener Becken. Relief und Tektonik des Untergrundes.
- Abb. 4 Wiener Becken. Strukturkarte der Oberkante des Untergrundes
- Abb. 5 Wiener Becken. Stratigraphie des Alpin-Karpathischen Untergrundes mit Speichergesteinsmöglichkeiten.
- Abb. 6 Verkarstung im Wettersteinkalk der Schneebergdecke:
- Abb. 7 Geklüfteter Hauptdolomit der Göller Decke.
- Abb. 8 Stark geklüftete Dolomit der Mitteltrias des Unterostalpin
- Abb. 9 Bohrkernstücke aus dem senkrecht stehenden Dachsteinkalk einer südlichen Kalkalpenzone von Baumgarten a.d. March
- Abb. 10 Bohrkern im geklüfteten, Hauptdolomit der Göller Decke
- Abb. 11 Bohrkern im geklüfteten z.T. mylonitisierten Wettersteindolomit
- Abb. 12 Bohrkern im geklüfteten, z.T. mylonitisierten Mitteltriasdolomit des Unterostalpin
- Abb. 13 Dünnschliff aus dem geklüfteten Hauptdolomit
- Abb. 14 Dünnschliff aus dem geklüfteten Hauptdolomit (Dolosparit) der Göller Decke von Schönkirchen-Prottes
- Abb. 15 Dünnschliff eines Sandsteines aus dem Baden des Wiener Beckens
- Abb. 16 Wiener Becken. Stratigraphie der neogenen Beckenfüllung
- Abb. 17 Schüttungsfächer von Sanden und Schottern im Wiener Becken im Mittelbaden
- Abb. 18 Speichergesteinsverteilung und hydrologische Systeme am Kalkalpenostrand und im Untergrund des Wiener Beckens
- Abb. 19 Geologie und hydrologische Systeme entlang eines Schnittes Berndorf-Schönkirchen. I. Geologie. II. Temperaturverteilung, Salinität, Hydrodynamik.
- Abb. 20 Aquifersysteme und deren Nutzbarkeit in Ostösterreich

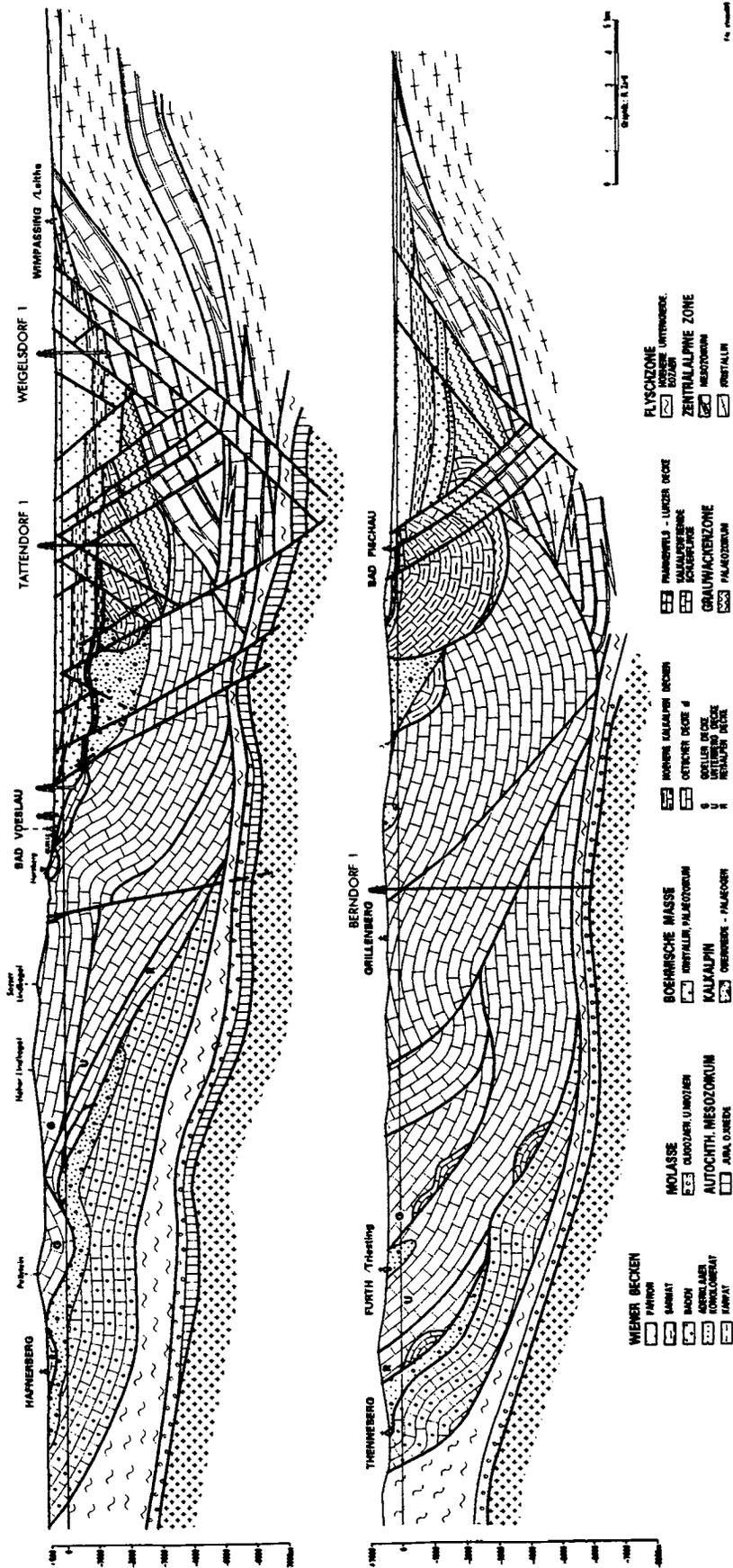


Abb. 2 Geologische Tiefenprofile durch den Ostabschnitt der Kalkalpen und das südliche Wiener Becken.

WIENER BECKEN - RELIEF UND TEKTONIK DES UNTERGRUNDES

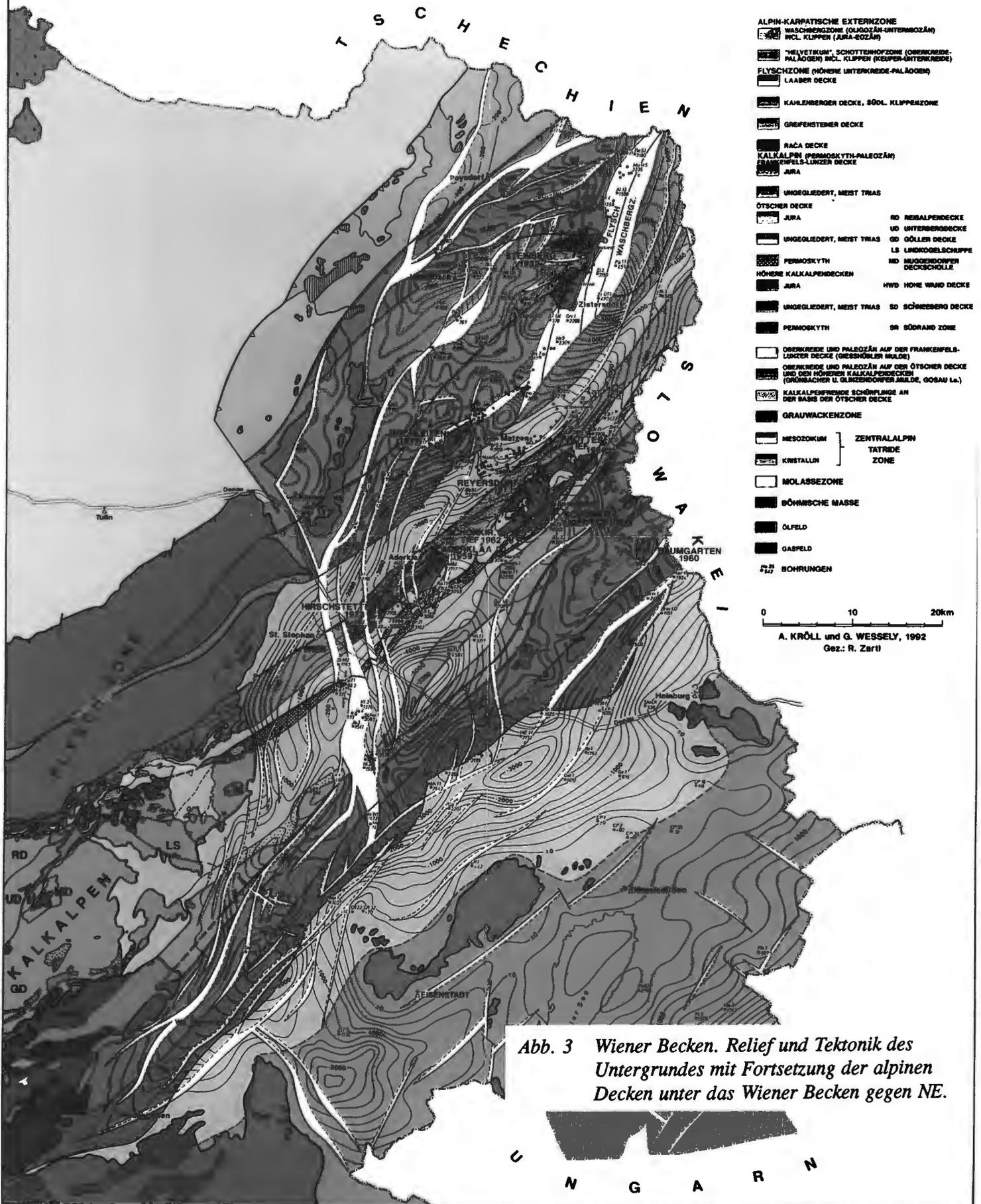


Abb. 3 Wiener Becken. Relief und Tektonik des Untergrundes mit Fortsetzung der alpinen Decken unter das Wiener Becken gegen NE.

STRUKTURKARTE DER OBERKANTE DES UNTERGRUNDES DES WIENER BECKENS

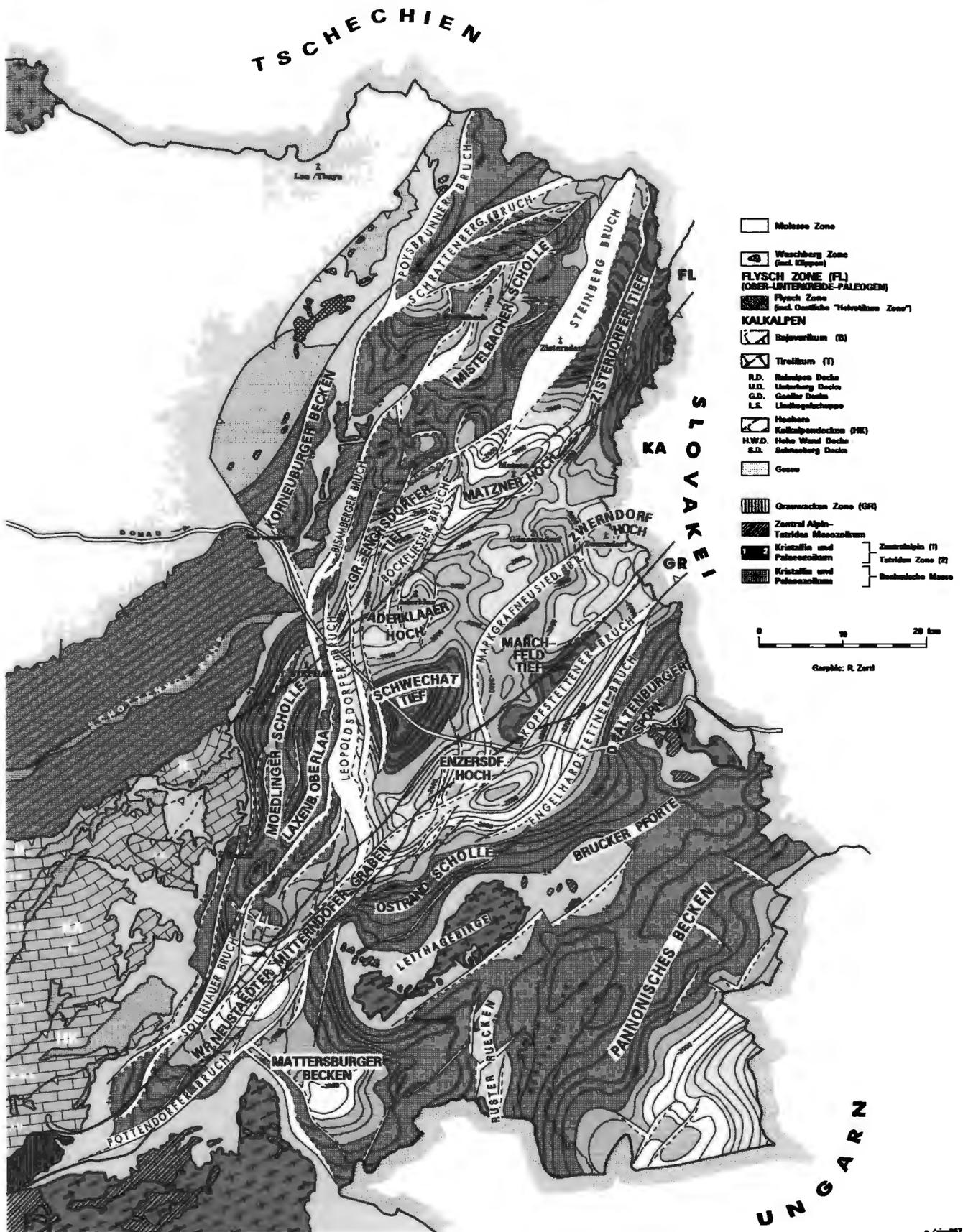
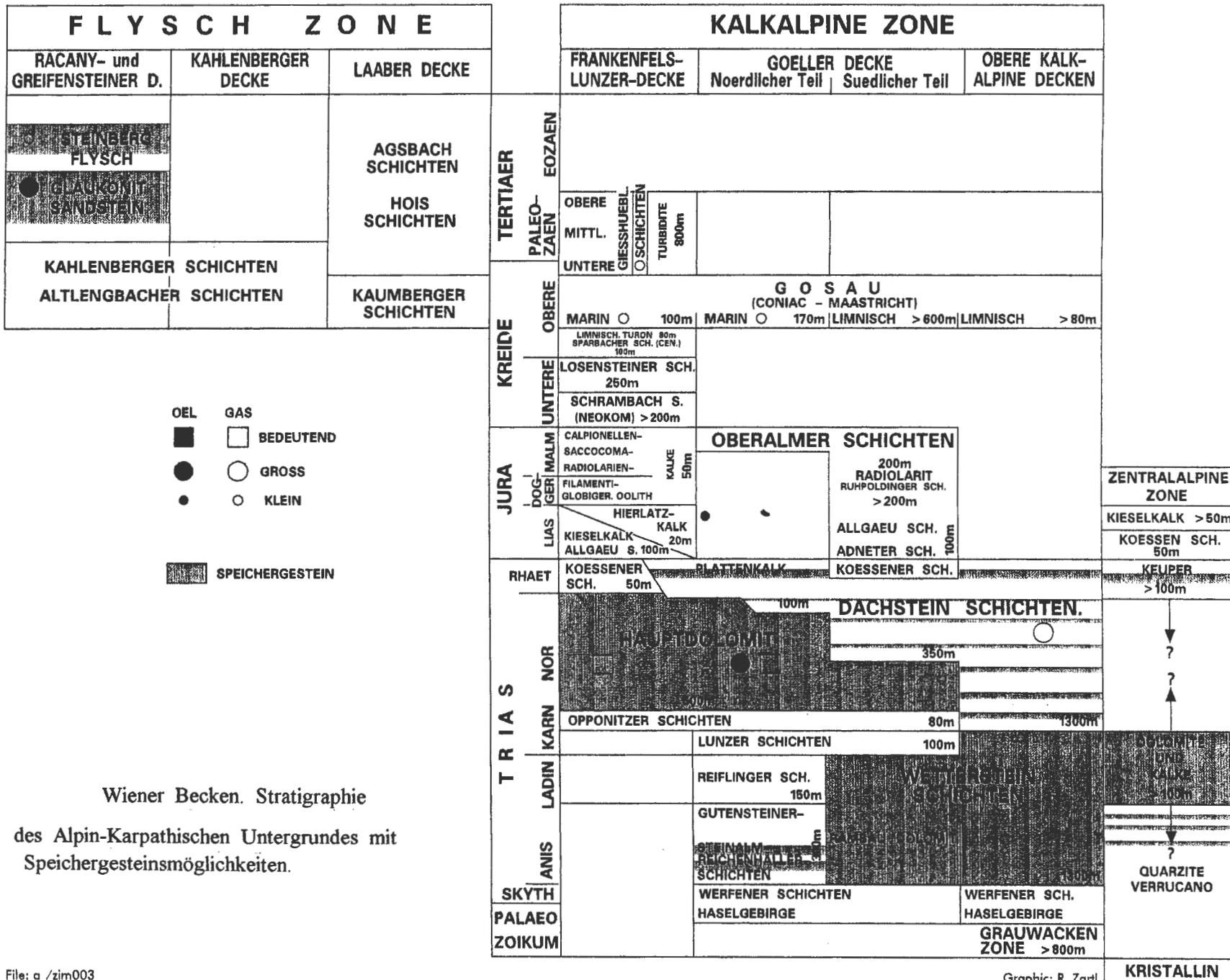


Abb. 4 Wiener Becken. Strukturkarte der Oberkante des Untergrundes (Blauabstufungen: Tiefzonen, Rot- und Orangeabstufungen Hochzonen).

Abb. 5 Wiener Becken. Stratigraphie des Alpin - Karpathischen Untergrundes mit Speichergesteinsmöglichkeiten



OEL GAS
 ■ □ BEDEUTEND
 ● ○ GROSS
 ● ○ KLEIN
 ■ SPEICHERGESTEIN

Wiener Becken. Stratigraphie des Alpin-Karpathischen Untergrundes mit Speichergesteinsmöglichkeiten.



Abb. 6 Verkarstung im Wettersteinkalk der Schneebergdecke: Dolinenreihe im Schneeberggebiet. Photo G. Wessely



Abb. 7 Geklüfteter Hauptdolomit der Göller Decke. Steinbruch östlich Gaaden (Nordwestteil des Anningerstockes) Photo G. Wessely



Abb. 8 Stark geklüfteter Dolomit der Mitteltrias des Unterostalpin (Semmering Mesozoikum) bei Hornstein am Leithagebirge, Photo G. Wessely

Abb. 9 Bohrkernstücke aus dem senkrecht stehenden Dachsteinkalk einer südlichen Kalkalpenzone von Baumgarten a.d. March mit allen Gliedern eines Lofer Zykothems. Kerndurchmesser 6,5 cm. Linkes Stück stellt das aus Residualpeliten und Brekzien bestehende supraditale Element A dar. Daran schließt nach rechts das intratidale Element B mit seiner Lamination aus dolomitischen rhythmischen Algenlagen. Die rechten zwei Stücke vertreten das subtidale Element C in Form biogenreichen Kalkes mit Megalodontenführung (rechtes der beiden letzten Stücke) und kalzitgefüllten sheet cracks, entstanden während der Emersionsphase A des nächsten Zyklus (linkes der beiden letzten Stücke). Photo H.Rüppel OMV



Abb. 10: Bohrkern im geklüfteten, Hauptdolomit der Göller Decke von Schönkirchen-Prottes Tief. Kerndurchmesser 10cm Photo H.Rüppel OMV



Abb. 11: Bohrkern im geklüfteten z.T. mylonitisierten Wettersteindolomit einer südlichen Kalkalpenzone des Raumes Schönfeld im Marchfeld. Kerndurchmesser 10 cm. Photo H.Rüppel OMV



Abb. 12: Bohrkern im geklüfteten, z.T. mylonitisierten Mitteltriasdolomit des Unterostalpin (Semmeringmesozoikum) der Bohrung Weigelsdorf 1. Kerndurchmesser 10 cm Photo H.Rüppel OMV

Abb. 13 Dünnschliff aus dem geklüfteten Hauptdolomit (Dolosparit) der Göller Decke von Schönkirchen-Prottes Tief (2813,24 m Tiefe). Die offenen Klüfte sind durch blaues Kunstharz markiert. Porosität: 13,7%
Photo R.Sauer, OMV

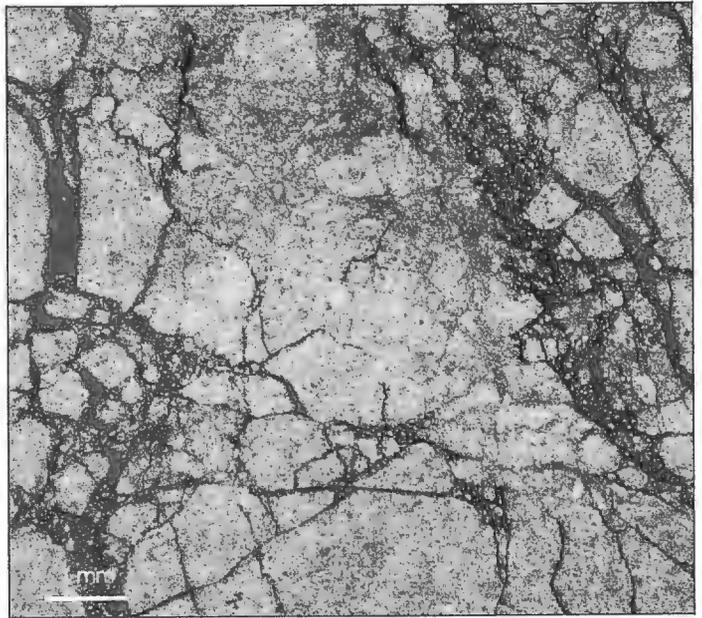


Abb. 14 Dünnschliff aus dem geklüfteten Hauptdolomit (Dolosparit) der Göller Decke von Schönkirchen-Prottes Tief (2822,64 m). Die Klüfte sind größtenteils von Kalzit ausgefüllt (durch Alyzerin rot markiert, offene Teile blau). Porosität 4,2%
Photo R.Sauer, OMV

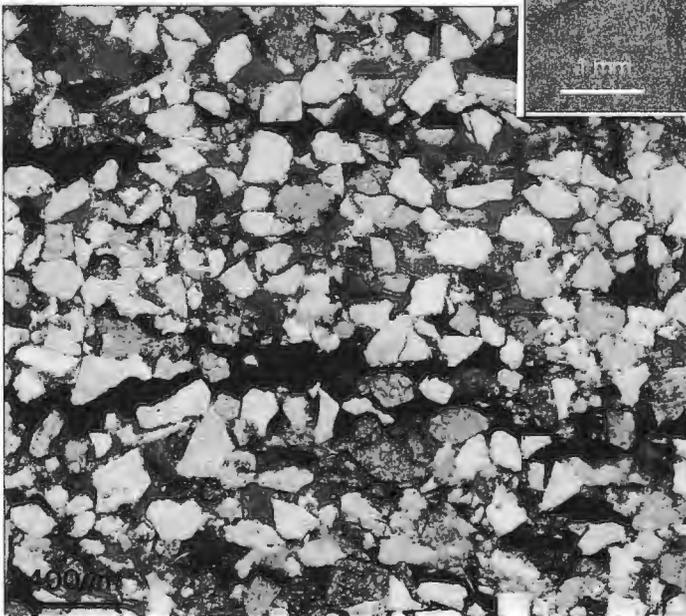
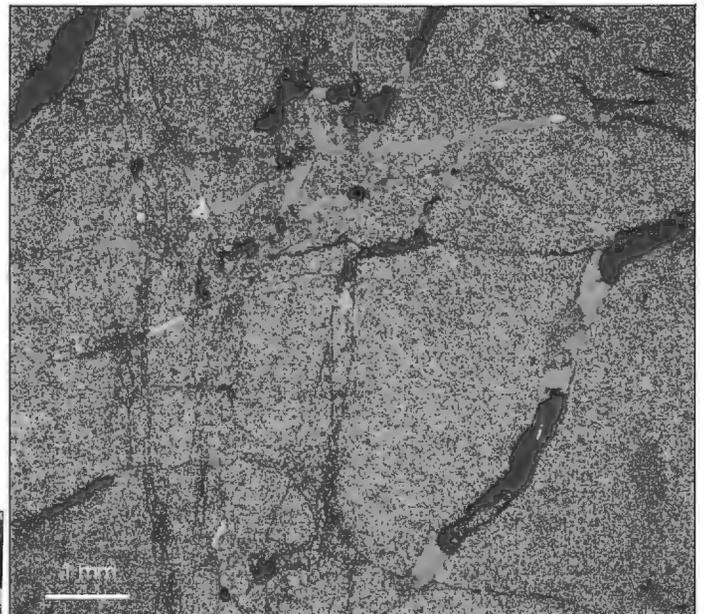
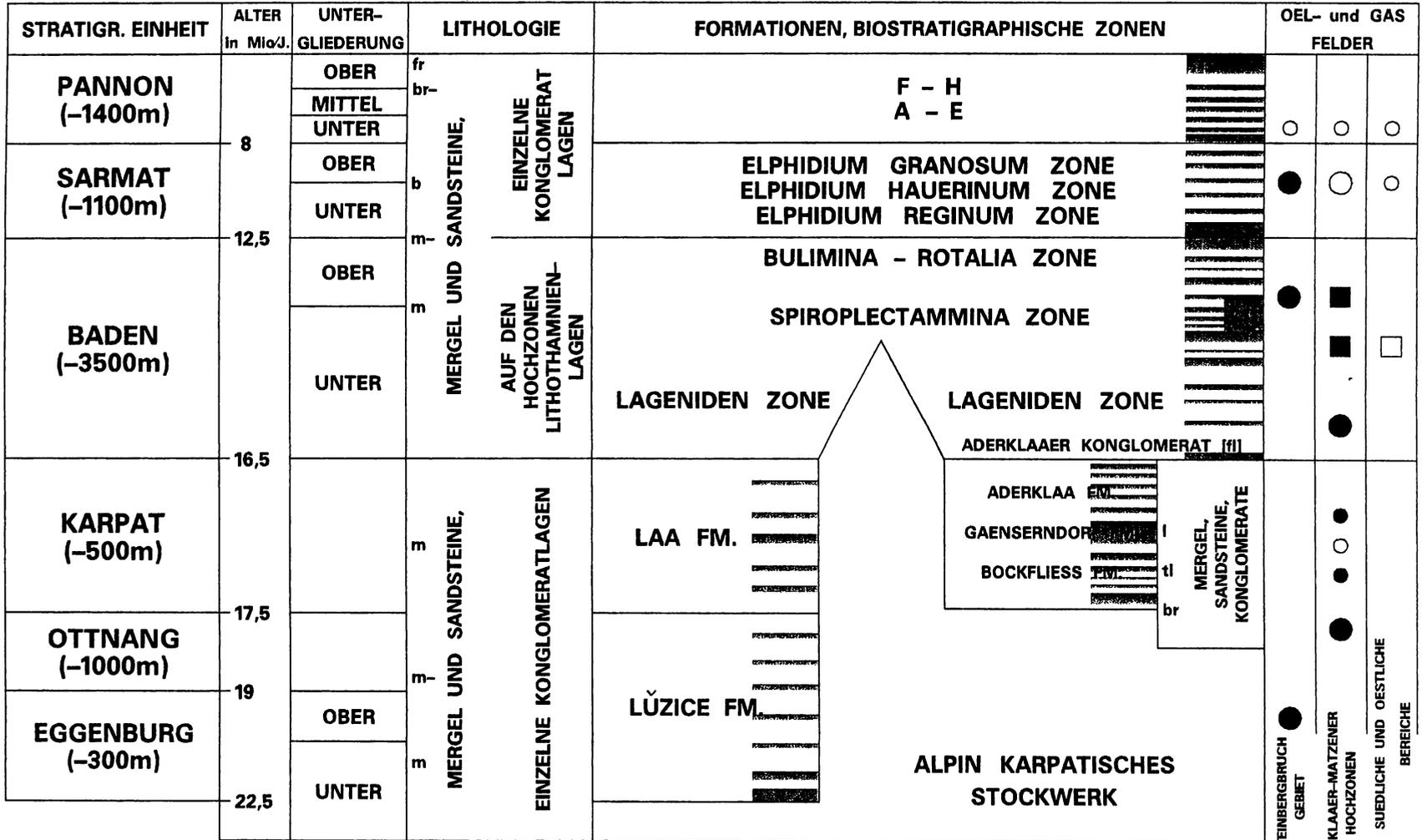


Abb. 15 Dünnschliff eines Sandsteines aus dem Baden des Wiener Beckens von der Bohrung Ollersdorf West 1, Tiefe 1586,88m Fein- mittelkörniger Calcilithit (reichlich Dolomitpartikel), mit eingelagerten kohligen Pflanzenmaterial (schwarz). Porosität: 26,5%, Permeabilität: 470 mD. Porenräume durch blaues Kunstharz markiert. Photo und Interpretation: R.Sauer, OMV

Abb. 16 Wiener Becken. Stratigraphie der neogenen Beckenfüllung mit Speichergesteinsmöglichkeiten.



LEGENDE

- | | | | |
|-----|-----------------------|----|---------------|
| fr | SUESSWASSER | br | BRACHYHALIN |
| fl | FLUVIATIL | m- | SCHWACH MARIN |
| tl | TERRESTRISCH-LIMNISCH | m | MARIN |
| br- | SEMIBRACKISCH | | |
| b | BRACKISCH | | |

■ SPEICHERGESTEIN IN AUSGEWAHLTEN BEREICHEN

- | | | | |
|---|-------|---|-----------|
| ■ | OEL | □ | GAS |
| ● | KLEIN | ○ | BEDEUTEND |
| ○ | GROSS | | |

● STEINBERGBRUCH GEBIET
● ADERKLAER-MATZENER HOCHZONEN
○ SÜDLICHE UND OESTLICHE BEREICHE

Graphic: R. Zarfl austriozim00.

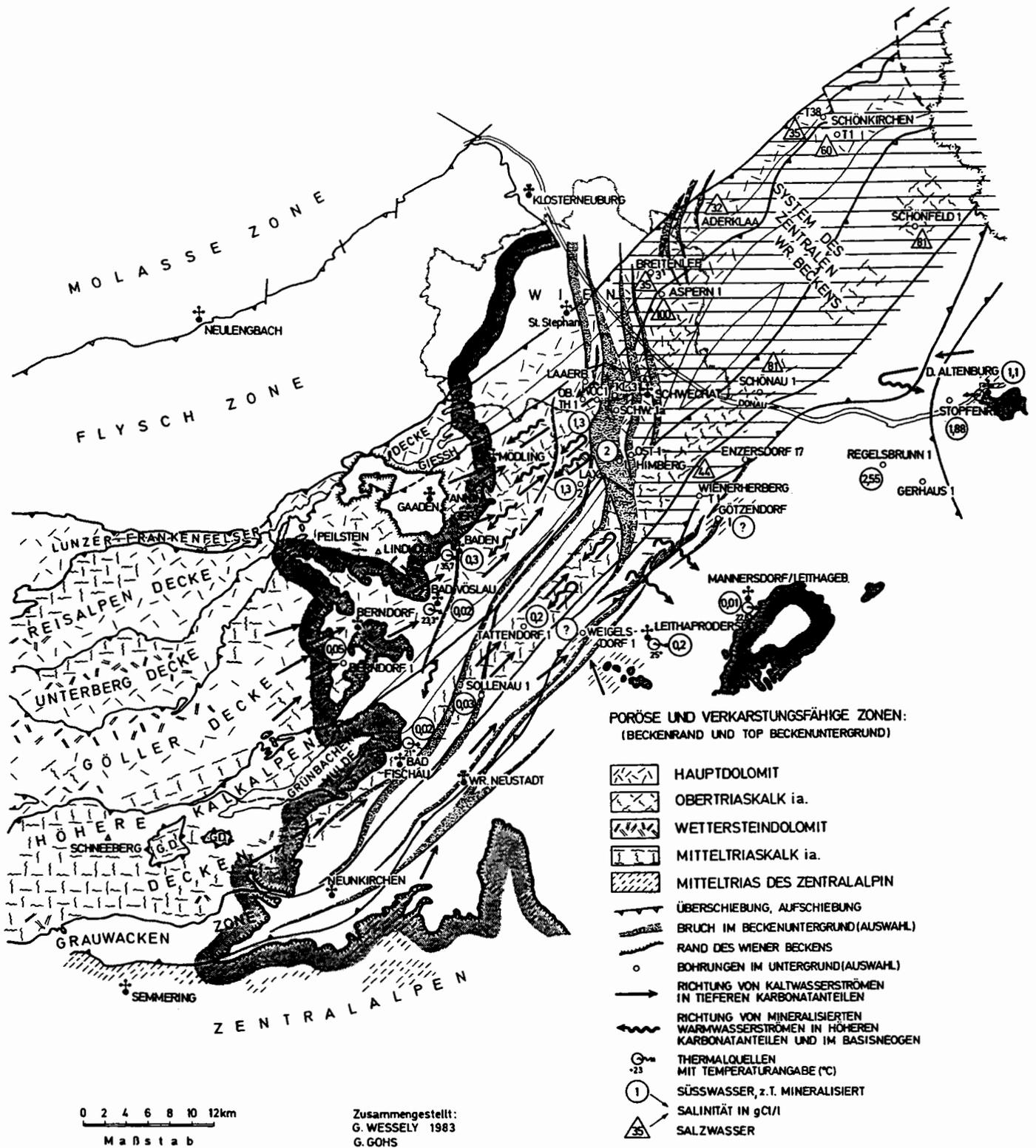


Abb. 18 Speichergesteinsverteilung und hydrologische Systeme am Kalkalpenostrand und im Untergrund des Wiener Beckens

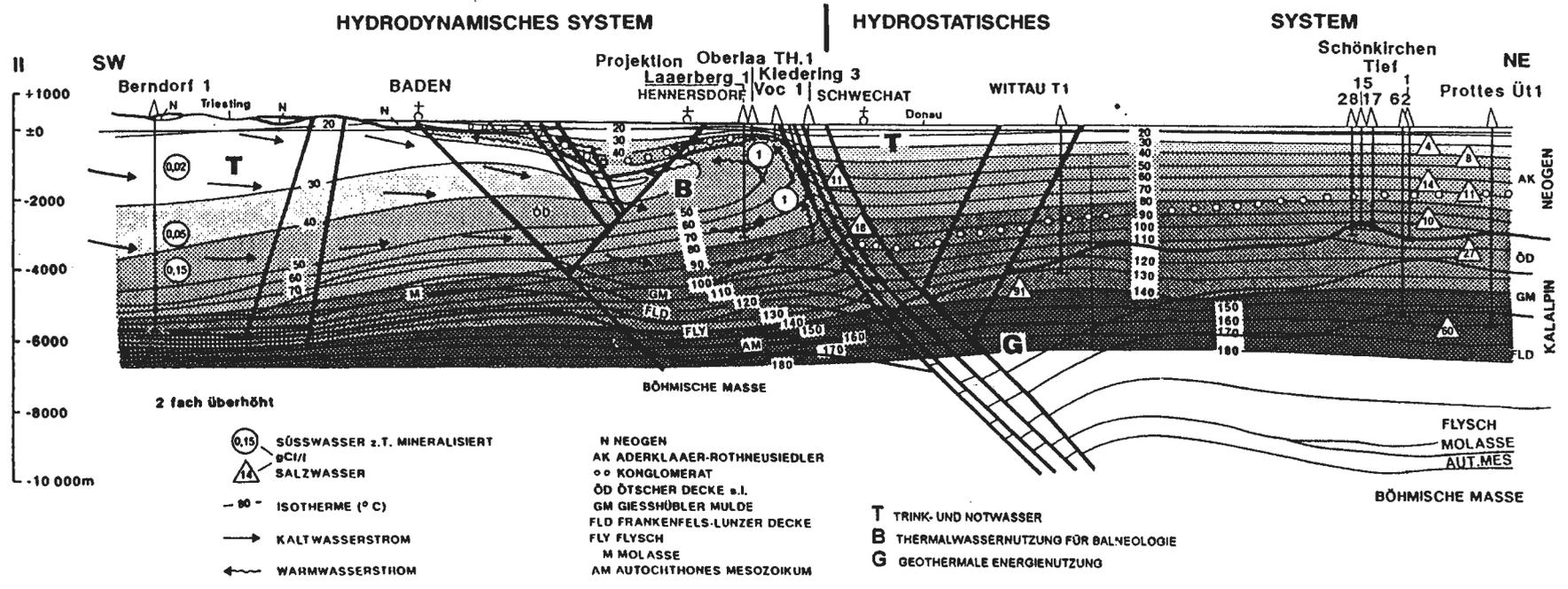
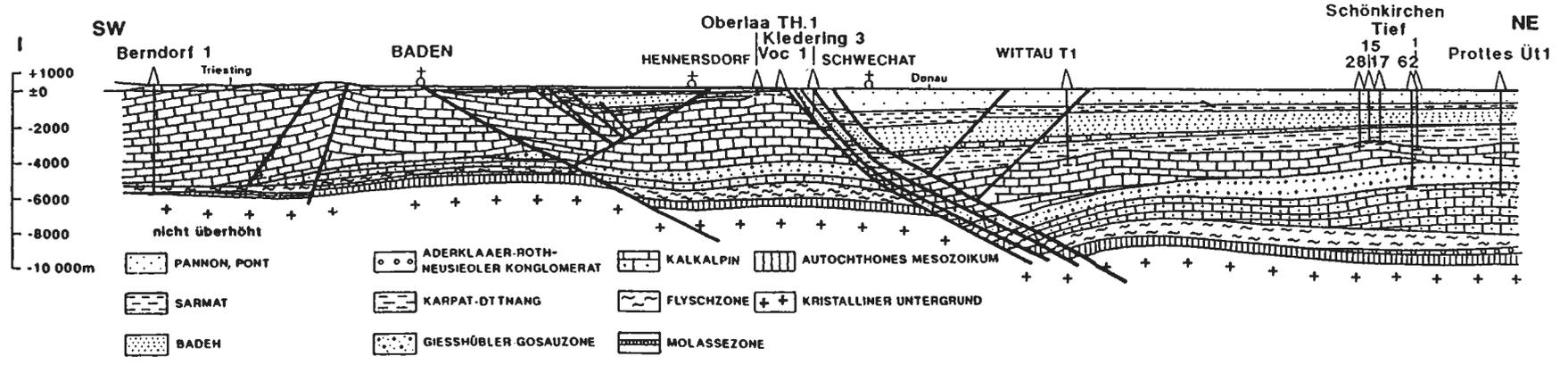


Abb. 19 *Geologie und hydrologische Systeme entlang eines Schnittes Berndorf-Schönkirchen.*
I. Geologie. II. Temperaturverteilung, Salinität, Hydrodynamik.

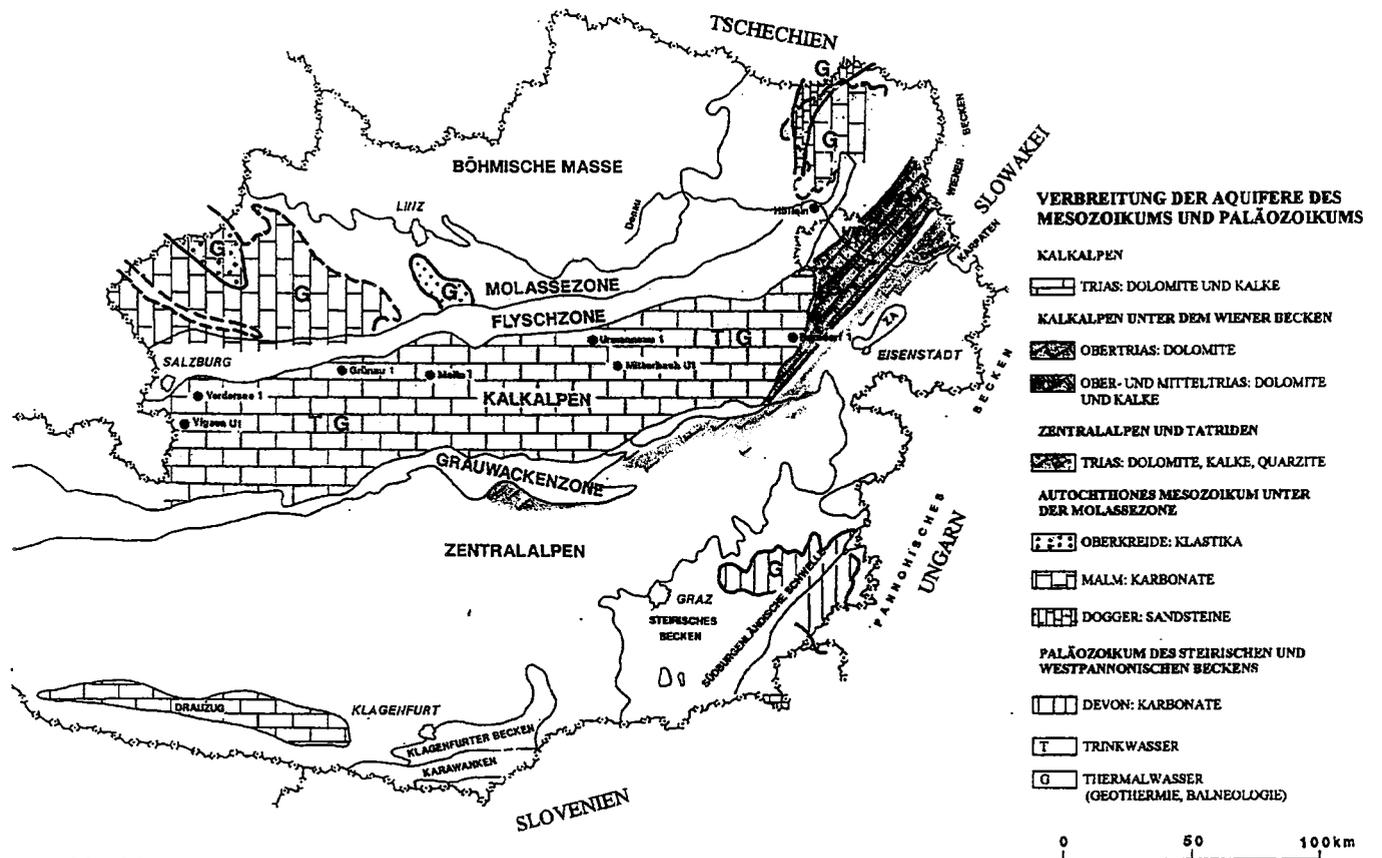
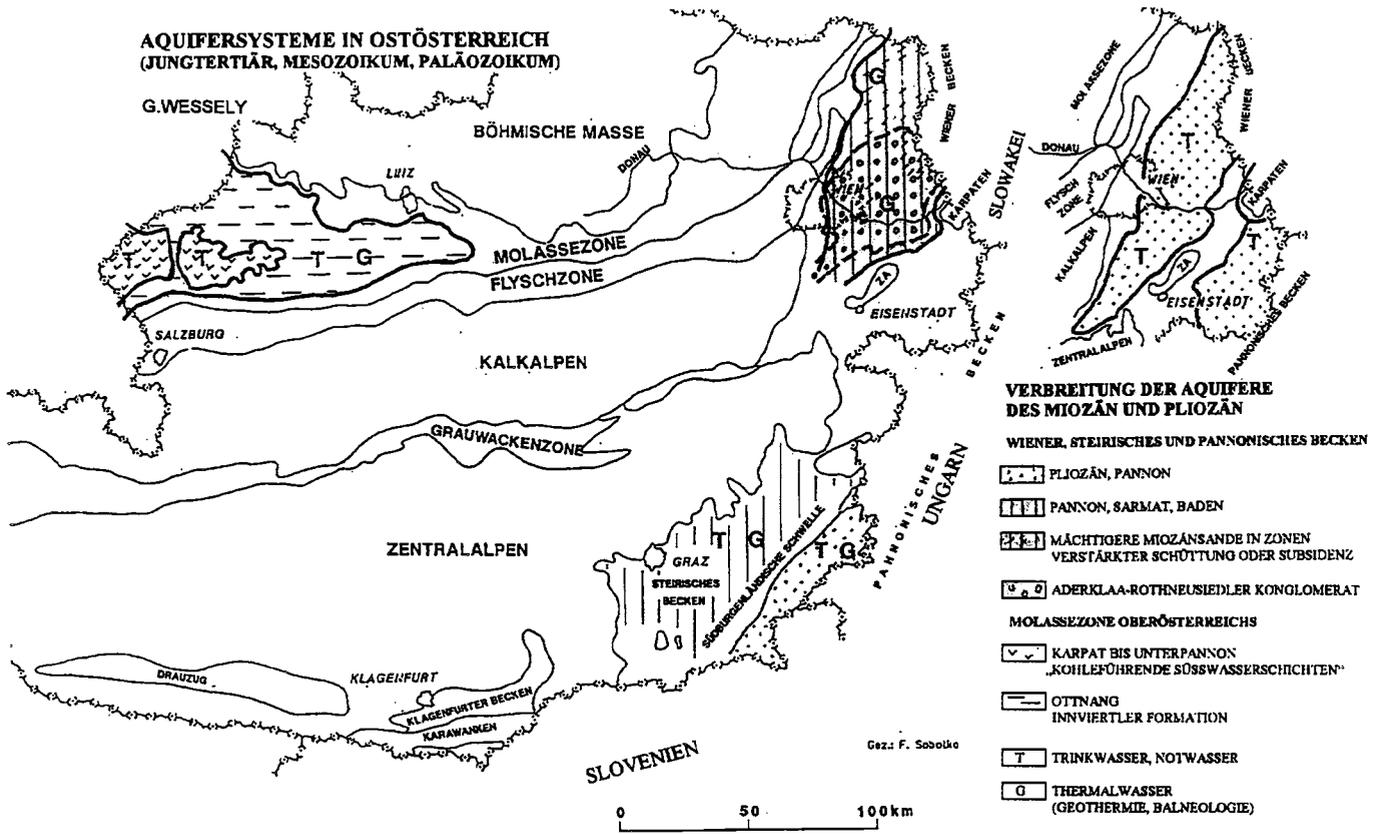


Abb. 20 Aquifersysteme und deren Nutzbarkeit in Ostösterreich

DISKUSSION :

Tiefenwässer - Kalkalpen und Wiener Becken

VÖLKL: Ich bin ja kein Geologe, ich bin Geograph, und es freut mich ausdrücklich, daß in letzter Zeit verstärkt Ansätze da sind, daß sich die Geologie mehr um Karstgesteine bemüht. Das war nicht immer so. Prof. Julius FINK, im Rahmen des Karstprogrammes in den 50-iger Jahren, ist am Dachstein gestanden, mehr oder weniger hin verpflichtet, um da zu arbeiten und hat auf die Tauern hinübergeschaut und den Ausspruch geprägt: "Da drüben ist die Geologie und ich stehe da mitten im Karst, was soll ich da?" Diese Meinung war unter Geologen ja durchaus einige Jahrzehnte weit verbreitet, und um so mehr freut mich jetzt diese Renaissance der Bedeutung der Karbonatgesteine, der Grundlagen und wie das zusammenspielt mit der gesamten Karst- und Wasserwirtschaft. Darf ich um ihre Wortmeldungen bitten.

UNBEKANNT: Auch der einseitige Freude von Seiten der Geologen muß Ausdruck verliehen werden, daß sich die Karst- und Höhlenforschung jetzt auch der Geologie etwas widmet und daß da wirklich eine gute Zusammenarbeit in dieser Richtung erfolgt.

VÖLKL: Es waren immer schon Geologen eingebunden, aber die sind manchmal etwas im Abseits gestanden, zumindest habe ich als Außenstehender den Eindruck gehabt, aber jetzt ist die Welt ja wirklich ganz in Ordnung.

KUSCHNIG: Gibt es ungefähre Abschätzungen, wie groß die möglichen Schüttungen sind, die Sammelmöglichkeiten von Wasser und das mögliche Sammelgebiet.

WESSELY: Wenn ich bei den Kalkalpen anfangе, ist es so, daß bei den Bohrungen natürlich nur Kurzzeittests gelaufen und bestimmte geregelte Intervalle zwei Stunden offen gewesen sind. Natürlich wäre der Zustrom größer gewesen, wenn man eine ganze Sektion

getestet hätte. Man kann immer nur Rückschlüsse, auch mit Hilfe des Druckes und des Druckabfalles, beim Test ziehen. Was die mengenmäßige Bedeutung anbelangt, sollte man zurückgreifen auf die Kohlenwasserstoff-Bohrungen, die momentan im Wiener Becken im Untergrund laufen, wo man Schüttungen auf lange Zeit erproben kann. Aber ich weiß, daß z.B. bei der Bohrung Berndorf 1, die ja momentan nur für Trinkwasser genutzt wird, alleine in den obersten Anteilen genügend kommt, obwohl die Karbonate bis 4500m reichen. Würde man die ganzen Wetterstein- und Hauptdolomite öffnen, wäre dort schon eine große Kapazität vorhanden.

Aber wenn ich die Hochquellenwasserleitung in Kaiserbrunn vergleiche mit dem, was ich aus einer Bohrung herausholen kann, dann kann letztere nicht damit Schritt halten, das ist klar. Wenn dort angenommen 300l pro Sekunde herausquellen, das kann man aus einer Bohrung nie herausholen, da muß man, mit 20 oder 25 Sekundenlitern zufrieden sein.

AUGUSTIN: Ich würde gerne wissen, warum gerade im Paläozän- und Eozänflysch die Speicher sind, was ist dort das besondere Merkmal.

WESSELY: In Matzen haben wir Kreideflysch, und es hat viele Produktionsversuche gegeben, die negativ waren. Im Steinberggebiet hat man Fördersonden von Erdöl im Paläozän/Eozän, wo eine bestimmte Matrixporosität vorhanden ist im Gegensatz zum Kreideflysch, der dichter, viel mehr zementiert ist. Vielleicht ist es an der Oberfläche anders, man muß immer unterscheiden, tief unten oder an der Oberfläche, denn da kann natürlich der Kreidesandstein auch seine Porosität durch die Verwitterung haben. Aber was ich noch vielleicht verabsäumt habe zu sagen, im Stein-

berggebiet ist mit dem Paläozän/Eozän noch eine bestimmte Klüftung verbunden. Und diese Klüftung ist enorm wichtig, darum sind auch im Hauptdolomit und im Karbonat an sich bei gleicher Porosität die Fließraten größer als im Sandstein. Wenn ich z.B. im Sandstein 10 % habe, ist es mies, wenn ich im Dolomit 10% habe, ist gut, warum, weil die Klüftung gut ist, weil sich die Klüfte schneiden und von allen Richtungen überall her Zuflüsse erfolgen. Und beim Eozänsandstein und in Steinberg ist das auch so.

AUGUSTIN: Also es ist reine Erfahrungssache. Vielleicht können wir eine zusätzliche Aufbesserung aus dem Bereich des Baden erwarten, vor allem, wo die Ur-Urdonau und die Ur-Ur-Schwechat geflossen sind.

WESSELY: Nach der Skizze kommt das besser heraus.

HERBST: Sie haben die Bohrung Vigaun erwähnt, und da ist ein bißchen südlich auch eine Bohrung in ziemlich große Tiefen abgeteuft worden, die nicht ergiebig war. Jetzt wollte ich fragen, nachdem man doch wahrscheinlich in derselben geologischen Region war wie bei der Bohrung Vigaun, wieso dort nicht und hier schon.

WESSELY: Ich weiß nur indirekt davon. Was die Schichtfolgen betrifft, hatte man zunächst einmal Jura und Werfener Schichten gehabt, und dann ist man eigentlich nicht in den Hauptdolomit, sondern in den Dachsteinkalk

gekommen, und ich glaube, das ist der Grund. Ich habe ja gezeigt, daß im Dachsteinkalk etwas tiefer die Klüfte alle zu sind. Es gibt kaum Porosität.

HERBST: Ich nehme an, das in Vigaun war Hauptdolomit.

WESSELY: Das war Hauptdolomit. Das Gute am Hauptdolomit ist, daß, wenn nicht zuviel Kalkgehalt irgendwo in der Nähe ist, die Klüfte offen bleiben, daß sie nicht mit Kalzit verkleidet werden im Unterschied zu Kalken. Das dürfte der Grund sein.

MÜLLER: Seit vielen Jahren gibt es eine Resolution des Wasserswirtschaftsverbandes, sich nicht auf die Erschließung von Tiefenwässern und sauberen Tiefenwässern zu konzentrieren, sondern lieber die seichten Grundwässer sauber und als Trinkwasserreservoir zu erhalten. Das betrifft nicht die Wissenschaft, aber die praktische Ausbeute.

VÖLKL: Es ist hervorgegangen, daß das ja eventuell für Notwasserversorgung eine Möglichkeit wäre und Dr. WESSELY hat ja auch von der Förderung und nicht von der Schütting gesprochen, was, glaube ich, auch ein wesentlicher Aspekt ist, denn so ganz freiwillig rinnt ja das Wasser meistens nicht, zumindest muß man ihm erst den Weg bahnen. Das ist uns schon allen bewußt und so richtige Versorgungen sind mir eigentlich auch keine bekannt.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. Kathalin AUGUSTIN - GYURITS
OFZ - Arsenal, Bereich Umwelt
Faradaygasse 3
A - 1031 Wien

Paul HERBST
Inst. f. Geologie Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg

Dr. G. KUSCHNIG
Wasserwerke d. Stadt Wien
Grabnergasse 4-6
A - 1060 Wien

Dipl. Ing. Prof. Walter MÜLLER
HTL Krems
Mühlhofstraße 2/15
A - 3503 Krems

MinR. Dr. Gerhard VÖLKL
Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtschaft
Stubenring 1
A - 1010 Wien

Dr. Godfried WESSELY
ÖMV Geologie (i.R.)
Siebenbrunnengasse 29
A - 1050 Wien

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am
Beispiel der Region Reichenhall

H. ZANKL

M. FELLEHNER



Payerbach,
5. Dezember 1997

INHALT

	Einleitung	183
1.	Die geologischen Voraussetzungen	184
2.	Die hydrochemischen Verhältnisse	185
3.	Geohydraulik	186
4.	Zusammenfassung	187
5.	Literatur	187
	Danksagung	187
	Abbildungen	188
	Diskussion	193

Anschrift der Verfasser:

*Univ.Prof. Dr. H.ZANKL
Dipl.Geol. Martin FELLEHNER
Philipps - Universität Marburg/Lahn*

*Hans-Meerwein-Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

Barbara-Gespräche Payerbach 1997	Band 4	"Events und Evolution" "Karsthydrologie und Wasserhaushalt"	Seite 181- 196 Abb. 1 - 5	Wien 2000
-------------------------------------	--------	--	------------------------------	-----------

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am Beispiel der Region Reichenhall

H. ZANKL

M. FELLEHNER

Einleitung

Im Rahmen der Stärkung der lokalen Infrastruktur des Alpenraumes kommen regionalen Wasserversorgungen eine immer größere Rolle zu. Seit den achtziger Jahren geht der Trend zu Eigenwasserversorgung der Städte und Gemeinden. Hier kommt dem Grundwasser aus noch nicht erschlossenen Festgesteinen eine besondere Bedeutung zu. Der Hauptdolomit – eine der mächtigsten Gesteinseinheiten der nördlichen Kalkalpen – ist zur Zeit verstärkt Ziel hydrogeologischer Untersuchungen. Mit Unterstützung der Stadt Bad Reichenhall wird diese Gesteinseinheit derzeit am Nordrand der Kalkalpen im Umfeld der kalkalpinen Trinkwassergewinnungsanlage „Listsee“, aus dem Hauptdolomit westlich von Bad Reichenhall auf ihre hydrogeologischen und hydrochemischen Eigenschaften hin untersucht. [Abb. 1; Abb. 2].

Hier besteht erstmals die Möglichkeit, Daten aus der seit 14 Jahren laufenden Erschließung und dem Betrieb von Felsbrunnen aus dem Hauptdolomit auszuwerten. Vor der Erschließung war bisher oberflächennahes Quellwasser so wie Wasser aus dem Quartär des Talkessels von Bad Reichenhall genutzt worden.

Bedingt durch eine mögliche hygienische Beeinträchtigung oberflächennaher Quellfassungen für die Trinkwasserversorgung der Stadt Bad Reichenhall (16 500 Einwohner derzeitiger Jahresverbrauch 1,73 mio m³) mußten in den 80'er Jahren neue Grundwasservorkommen erschlossen werden. Da die bisher genutzten Quellaustritte in lokaler und geringmächtiger Moräne über Hauptdolomit lagen, war die Annahme naheliegend, daß hier gespanntes Grundwasser über den Hauptdolomit in die Moräne eingespeist wurde. Daraus

entwickelte sich das Projekt „Trinkwassererschließung im Hauptdolomit des Listseegebietes“. 1986 wurde eine Erkundungsbohrung ca. 100 m nordwestlich des Listsees (ein künstlich angelegter, oligotropher Klarwassersee mit Quellaustritten am Grund) 180m in den Hauptdolomit abgeteuft („Brunnen Listsee,“), die gestützt auf Pumpversuche eine Fördermenge von 50 l/s Trinkwasser in hervorragender Qualität erbrachte. Die Bohrung wurde daraufhin zu einem Felsbrunnen ausgebaut, wobei bis 100 m Teufe ein Vollrohr einzementiert wurde, das höher gelegene Wasserzutritte ausschloß und darunter in einem freistehenden Felsbrunnen (bis 180 m Teufe) mehrere Zuflüsse aus dem Hauptdolomit erfaßt werden konnten.

In den folgenden Jahren wurden zwei weitere Erkundungsbohrungen und drei Pegelbohrungen abgeteuft, die schließlich zum Ausbau von zwei neuen Brunnen führten – „Brunnen Listanger,“ (152 m tief) und „Brunnen Listwirt,“ (145 m tief) [Abb. 3], der 1998 in Betrieb ging. Alle Brunnen fördern Trinkwasser aus dem Hauptdolomit mit einer gesamten maximalen Fördermenge von 80 l/s und einer möglichen jährlichen Gesamtförderung von 2,6 Mio. m³.

Welche Erfahrungen konnten in der 14-jährigen Erkundungs- und Betriebszeit aus dem Projekt Listsee für die Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit gewonnen werden ? Welche geologischen Voraussetzungen müssen gegeben sein, um erfolgreich eine Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit anzugehen ? Welche physikalischen und chemischen Eigenschaften des Grundwassers sind zu erwarten ?

Antworten auf diese Fragen sind um so wichtiger, da es sich im Listseegebiet um die erste größere Trinkwassererschließung aus dem Hauptdolomit in Bayern handelt und große Hauptdolomitkomplexe in den Nördlichen Kalkalpen als Grundwasserleiter noch weitgehend ungenutzt sind. Hier können noch große Reserven vermutet werden, die als Ersatz für die gefährdeten Trinkwassergewinnungsanlagen aus den Talauen sowie aus Karstwässern dienen können.

Für die aktuellen Untersuchungen wurde das Datenmaterial der Wassererschließung ausgewertet. Es fand eine detaillierte Geländeaufnahme der geologischen Einheiten sowie der struktureologischen Elemente statt.

Darüber hinaus wurden durch wasserchemische Analysen Aussagen zur Hydrochemie und Herkunft der geförderten Wässer getroffen und die charakteristischen Wässer des lokalen Hauptdolomit - Systems typisiert.

1. Die geologischen Voraussetzungen

Für die Wasserführung im Hauptdolomit sind seine struktureologische Lagerung sowie seine petrophysikalischen Eigenschaften von großer Bedeutung.

Das untersuchte Gebiet wird im Norden durch die alpine Deckengrenze und die Sedimente des Flysch begrenzt. Nach Osten hin bildet der Salzkörper im Talkessel von Bad Reichenhall die Begrenzung und im Süden folgt die Gebietsgrenze dem aufliegenden Hochjuvavikum [Abb. 2].

Im Untersuchungsgebiet, das sich über die Nordseite des Staufen über das Listseegebiet bis zum Thumsee erstreckt, befindet sich der Hauptdolomit in seinem ursprünglichen Verband, d. h. er wird im Liegenden vom ladinischen Wettersteinkalk und den karnischen Raibler Schichten unterlagert. Die stratigraphisch über dem Hauptdolomit folgenden jüngere Ablagerungen sind im engeren Untersuchungsgebiet nicht dokumentiert [Abb. 5].

Petrologisch handelt es sich beim Hauptdolomit um einen sehr reinen Dolomit mit geringem bituminösem Anteil. Der Hauptdolomit bildet einen Kluftgrundwasserleiter.

Das beobachtete Kluftsystem kann man nach seiner Kluftweite in drei Ordnungen unterteilen: Die Klüfte 1. Ordnung sind weit klaffende Spalten, die bis zu 0,5 m Weite erreichen können. Sie durchkreuzen sigmoidal die Bankung des Hauptdolomites, meist im spitzen Winkel zur Bankung orientiert und sind über mehrere Meter klaffend zu verfolgen. Sie enden in spitz zulaufenden Harnischflächen und setzen sich in Ruschelzonen fort. Die Kluftabstände liegen im 10-er Meter Bereich. Die Klüfte sind nicht unmittelbar miteinander verbunden, so daß kein ungehinderter Wasserdurchfluß möglich ist. Sie treten in den Umbiegezone größerer Faltenstrukturen auf, bzw. erscheinen eingespannt in junge Scherungszonen, die den Kalkalpenkörper durchtrennen.

Aus diesen Klüften 1. Ordnung erfolgt der Zufluß des Grundwassers in allen drei Brunnen. Dieser Zusammenhang konnte durch Kamerabefahrungen in den noch nicht ausgebauten Brunnen sowie durch Flowmeter-Messungen dokumentiert werden.

Die Klüfte 2. Ordnung stehen meist senkrecht zu denen der 1. Ordnung. Sie lassen sich über Meter hinweg verfolgen; die Kluftweiten übersteigen selten Millimeterbeträge. Die Kluftabstände liegen im dm - Bereich. Es ist anzunehmen, daß die Klüfte 1. Ordnung über dieses System miteinander in Verbindung stehen. Da diese Klüfte häufig von schmalen Zerrüttungszonen begleitet sind, kann ein Wasserstrom nicht direkt durchfließen, es sind zahlreiche Umlenkungen notwendig, die den geradlinigen Durchstrom behindern. An Zonen, in denen diese Klüfte in Harnische mit tektonischer Striemung übergehen, erweist sich der Hauptdolomit als äußerst geringleitend.

Die Klüfte 3. Ordnung bilden das typische Zerlegungsgefüge des Hauptdolomites, wobei kleine, eben begrenzte Dolomitkörper von 5 bis 10 mm Kantenlänge entstehen. Sie bilden die typische Verwitterungsform des Hauptdolomit („Hauptdolomit-Grus,“). Die Kluftweiten liegen zwischen 10 und 40 µm. Die Kluftflächen sind mit idiomorphen Dolomitekristallen von m-Dimension bewachsen [Abb. 4], die auf ein freies Kristallwachstum im Klufttraum hinweisen. Die Oberflächenstruk-

turen der Kristallflächen deuten auf anhaltendes Kristallwachstum im kapillar festgehaltenem Kluftwasser hin.

Berechnet man die Kluftweiten der 3. Ordnung für das Gesamtgestein, so kommt ein Kluftporenvolumen von ca. 3 % heraus. Dieses Porenvolumen ist weniger für den Durchfluß von Bedeutung, es zeigt seine Wirkung eher bei der Übertragung des hydrostatischen Druckes durch das Kluftwasser im Gesamtsystem und in der Beeinflussung des Chemismus des Grundwassers im Ca:Mg Verhältnis.

Die Austritte eines gespannten Grundwasserkörpers im Listseegebiet sind an eine Ost-West streichende Muldenstruktur der Staufenhöllengebirgsdecke (= Tirolikum) gebunden [Abb. 5]. Diese Mulde wird im Norden vom Wettersteinkalk des Hochstaufer und Zwiesel begrenzt. Der Kammverlauf des Wettersteinkalkes bildet auch die nördliche Begrenzung des Einzugsgebietes für die Brunnen am Listsee. Durch einen nordgerichteten Deckenschub sind die triassischen Einheiten zu einer Synform mit E-W streichender Sattelachse eingemuldet, die nach Osten aushebt (HENRICH, 1983, HENRICH, 1984).

Im Muldenverlauf von West nach Ost sind die tonigen Raibler Schichten und Raibler Rauwacken zunehmend stärker tektonisch ausgedünnt, so daß sie im Listseegebiet nur noch als Scherkörper zwischen dem Wettersteinkalk und dem Hauptdolomit auftreten. Damit können die Karstwässer des Wettersteinkalkes weitgehend ungehindert in den angrenzenden Hauptdolomit übertreten.

Der Hauptdolomit bildet mit ca. 1000 m Mächtigkeit den Muldenkern; von dieser Mächtigkeit sind im Listseegebiet am austreichenden Ostrand der Muldenstruktur höchstens noch 400 m erhalten. Die Mulde ist nach Osten gegen das Becken von Bad Reichenhall steil auf jüngere Schichten des Jura und der Kreide aufgeschoben. Entscheidend für die Lenkung des Grundwasserabflusses ist die Lage von Längsstörungen, die als junge Scherzonen aus dem Saalach-Westbruch fiederartig abzweigen und nach Nordosten über die Kalkalpen hinaus in das Vorland reichen. Diese sinistralen Bewegungs-

zonen sind im Salzkammergut beispielhaft von DECKER et al. (1994) dokumentiert, sie bestimmen auch das jüngste Strukturinventar im Becken von Bad Reichenhall. Hier kommt als besonderes Element der über 1200 m mächtige untertriadische Salinarkörper von Bad Reichenhall hinzu (SCHAUBERGER et al., 1976, ZANKL & SCHELL, 1979). Er gehört in der Stockwerkstektonik den juvavischen Einheiten an. Sein plastisches Verhalten bei tektonischer Beanspruchung bewirkt ein verstärkt ruptuelles Zerlegen der umgebenden rigiden Gesteinskörper. Hierzu zählt im Becken von Bad Reichenhall auch der Hauptdolomit aus der unterlagernden tektonischen Einheit, dem Tirolikum.

Die orographische Lage am Nordrand der Alpen bedingt eine günstige Topoklimatologie, die eine hohe Grundwasserneubildung ermöglicht. Mit Gipfelhöhen bis zu 1700 m bewirkt dieser Gebirgszug den bekannten Nordstau für den Witterungsablauf am Nordrand der Kalkalpen mit den stark erhöhten Niederschlagsmengen bis zu 2000 mm/a, eine wichtige Komponente für die Grundwasserneubildung.

2. Die hydrochemischen Verhältnisse

Die für die Wasserchemie wesentlichen Daten wurden während der Erschließungsphase erhoben und werden im laufenden Betrieb weiterhin kontrolliert. Darüber hinaus konnten in 2 Monatsabständen über 14 Monate hinweg Vergleichswerte aus einer Testquelle im Hauptdolomit des Höllenbachtals 10 km westlich des Listseegebietes gewonnen werden. Hier ist gesichert, daß das Einzugsgebiet ausschließlich im Hauptdolomit gelegen ist. Eine weitere Reihe von Vergleichswerten aus dem gleichen Zeitraum stammt aus der Karstquelle am Wasserloch bei Inzell. Diese Karstquelle wird ausschließlich aus dem Wettersteinkalkkomplex des Inzeller Staufer gespeist.

Die Auswertung der erhobenen Daten ergibt, daß sowohl die Brunnen im Listseegebiet als auch die Quellen eine jeweils charakteristische Mineralisierung aufweisen. Diese ist auf die unterschiedlichen Einzugsgebiete, bzw. die Mischungsverhältnisse der Wässer zurückzuführen.

Erwartungsgemäß ist das Ca : Mg - Verhältnis die deutlichste Determinante für die Herkunft des Wassers. Am deutlichsten hebt sich das Karstwasser aus der Wettersteinquelle bei Inzell ab. Es weist die geringste Gesamtmineralisierung auf, das Ca : Mg - Verhältnis ist mit 5,0:1 am höchsten.

Im reinen Hauptdolomitwasser des Höllenbachs liegt das Ca : Mg-Verhältnis bei 1,9 : 1. Die Ca : Mg - Verhältnisse der Brunnen im Listseegebiet liegen zwischen 2,7:1 und 2,5:1. Dies deutet auf eine Durchmischung von Hauptdolomitwasser mit einem geringeren Anteil von Wettersteinkalkwasser hin. Im Brunnen Listwirt und in geringerem Maße in den Brunnen Listanger und Listsee deuten erhöhte Sulfatwerte (< 70 mg/l) auf den Zufluß von Grundwasser aus den Raibler Schichten hin. Die gipsführenden Raibler Schichten können als Lieferanten für den Sulfatanteil betrachtet werden.

Die charakteristische Mineralisierung jedes einzelnen Brunnens zeigen unterschiedliche Grundwasserströme aus den verschiedenen Einzugsgebieten. Es sind jedoch nicht nur die Wässer der einzelnen Brunnen unterschiedlich zusammengesetzt, auch innerhalb eines Brunnens sind die verschiedenen Zuläufe durch eine deutlich unterscheidbare Mineralisierung gekennzeichnet. Dies ist nur möglich, wenn eine stockwerksartige Trennung der Grundwasserströme vorliegt, die eine gleichförmige Durchmischung verhindert. Diese Annahme wird durch Pump- und Färbeversuche bestätigt, die eine Umläufigkeit zwischen den Stockwerken nicht nachweisen konnten.

3. Geohydraulik

Aufgrund des komplexen Kluftsystems des Hauptdolomites im Untersuchungsgebiet kann man verschiedene hydraulische Beobachtungen machen, die einer besonderen Erklärung bedürfen. So reagieren die umgebenen Quellen sowie die Pegel nicht linear auf die Veränderungen in den Förderungen aus den Brunnen. Einspeisung von Farbstoffen im Bereich der Brunnen sowohl direkt in den Listsee oder in das Festgestein (bzw. Moräne) lassen sich unterhalb der hydraulisch

gesperrten (80 - 100 m) höheren Brunnenräume auch nach 70 - tägigem Pumpversuch nicht nachweisen. Daraus schließen wir, daß der Grundwasserleiter bei der vorgesehenen Entnahmemenge keine Wegsamkeit für oberirdische Zuflüsse und für Grundwasserströme aus den höheren, gesperrten Brunnenbereichen aufweist, bzw. kein Zufluß gegen den aufsteigenden gespannten Grundwasserstrom möglich ist.

Während der Erschließung erfolgte eine Reihe von Pumpversuchen, die umfassende Erkenntnisse zur hydraulischen Beschaffenheit des Hauptdolomit - Grundwasserleiters erbrachten. Wie zu erwarten dokumentieren sich in den Pumpversuchen die Klüfte 1. und 2. Ordnung sowohl in den Absenkungs- als auch in den Wiederanstiegskurven. Pumpversuche, die während der Erschließung in unterschiedlichen Bohrteufen ausgeführt wurden, zeigen, daß der Grundwasserzustrom aus wenigen Großklüften erfolgt, zwischen Ihnen erweist sich der Hauptdolomit als Grundwasserhemmer bzw. Grundwassernichtleiter (DIN 4049). Das Kluftsystem 3. Ordnung mit seinem kapillar festgehaltenem Kluftwasser wirkt demnach als eine hydraulische Sperre. Theoretisch errechnete Durchlässigkeitsbeiwerte (die einen Sammelwert aus den gesamten Bohrungen darstellen) weisen auf Größenordnungen zwischen 10^{-7} bis 10^{-9} hin. Diese Beobachtung deckt sich in etwa mit den in EDEN et al. (1983) veröffentlichten Werten.

Über die Auswertung der Grundwasserganglinien nach Starkniederschlagsereignissen (> 50 mm/d) ist ersichtlich, daß das System einheitlich mit einer Verzögerung von wenigen Stunden hydrostatisch auf Niederschlagsereignisse reagiert. Chemische Analysen weisen darauf hin, daß es sich bei den beobachteten Anstiegen der Grundwasserganglinien nicht um eine direkte Beimengung von Regenwasser in die Brunnen des Untersuchungsgebietes handelt. Es zeigt sich vielmehr, daß der hydrostatische Druck durch eine Erhöhung der Grundwassersäule nach dem Einspeisen von Wasser aus Starkniederschlägen im gesamten System einen spontanen Anstieg erfährt.

Im Gegensatz dazu zeigen die isotopenchemischen Untersuchungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, daß die gefördertsten Wässer keinem jahreszeitlichen Gang unterliegen. Es ist daher anzunehmen, daß – bedingt durch die komplexe Vernetzung der Grundwasserströme im Kluftsystem – eine Durchmischung des Wassers erst über das Jahresniveau hinaus auftritt.

Das Kluftsystem 3. Ordnung mit seinem kapillar festgehaltenem Kluftwasser wirkt demnach als eine hydraulische Sperre.

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zeigen, daß der Hauptdolomit ein ausgezeichnete Grundwasserleiter sein kann. Die für die Grundwasserführung entscheidende Klüftigkeit des Hauptdolomites wird von drei Faktoren gesteuert: 1. Die Anlage einer weitgespannten Muldenstruktur; 2. Das Vorhandensein von Scherzonen der jüngsten alpidischen Gebirgsbewegungen; 3. Eine rupturale Tektonik (wie im Umfeld des Salinarkörpers von Bad Reichenhall).

Es bleibt außerdem festzuhalten, daß die Grundwasserführung im Hauptdolomit nicht mit Karstphänomenen erklärt werden kann.

Im klüftigen Grundwasserleiter orientiert sich der Grundwasserstrom in voneinander hydraulisch getrennten Teilströmen nach den tektonischen Vorzeichnungen. Hydrostatisch ist der gesamte Grundwasserkörper durch das vernetzte System von Klüften verbunden, die eine einheitliche Reaktion auf veränderte Druckverhältnisse zur Folge haben. Eine Durchmischung der Grundwasserströme verläuft langfristig, dies spricht für eine hohe Verweildauer des Grundwassers im Hauptdolomit.

Der Chemismus der Grundwassers wird wesentlich durch den ausgedehnten Kontakt zwischen Wasser und dem Dolomitgestein bestimmt. Dies läßt sich im Ca : Mg Verhältnis nachweisen. Eine leichte Erhöhung der Sulfatwerte läßt sich aus den Raibler Schichten ableiten.

5. Literatur

- DECKER, K., PERESSON, H. & FAUPL, P. (1994): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der „letzten Extrusion“, der Zentralalpen. *Jb. Geol. B.-A.*, 137, 5 - 18, Wien.
- EDEN, D., PRÖSL, K.-H., STICHLER, W. & UDLUFT, P. (1983): Der Einfluß quartärer Deckschichten auf den Wasserhaushalt eines kalkalpinen Einzugsgebietes. *Z. dt. geol. Ges.*, 134, 755 - 772, Hannover.
- HENRICH, R. (1983): Der Wettersteinkalk am Nordwestrand des tirolischen Bogens in den nördlichen Kalkalpen: der jüngste Vorstoß einer Flachwasserplattform am Beginn der Obertrias. *Geol. et Palaeont.*, 17, 137 - 177, Marburg.
- HENRICH, R. (1984): Facies, Dolomitization and Karstification of Lagoonal Carbonates: Triassic of the Northern Alps. *Facies*, 11, 109 - 156, Erlangen.
- SCHAUBERGER, O., ZANKL, H., KÜHN, R. & KLAUS, W. (1976): Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Bad Reichenhall. *Geol. Rundsch.*; 65, 558 - 579, Stuttgart.
- ZANKL, H. & SCHELL, O. (1979): Der geologische Bau des Talkessels von Bad Reichenhall (Nördliche Kalkalpen). *Geol. Jb.*, C 22, 11 - 20, Hannover.

Danksagung

Wir danken Herrn Aicher und Herrn Grinninger von den Stadtwerken Bad Reichenhall für die Hilfsbereitschaft und die freundliche Unterstützung sowie Herrn Dr. Wenger vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft für sein reges Interesse.

Dieses Projekt wird mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt.

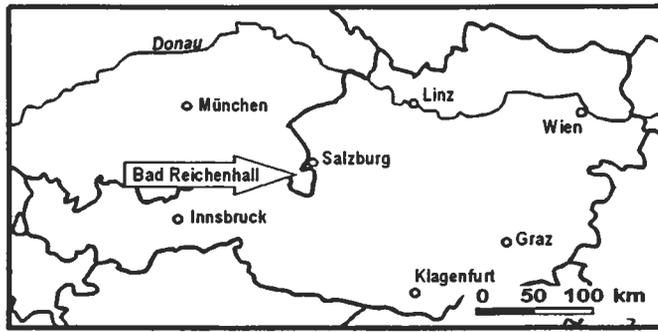


Abb. 1 : Lage des Untersuchungsgebietes.

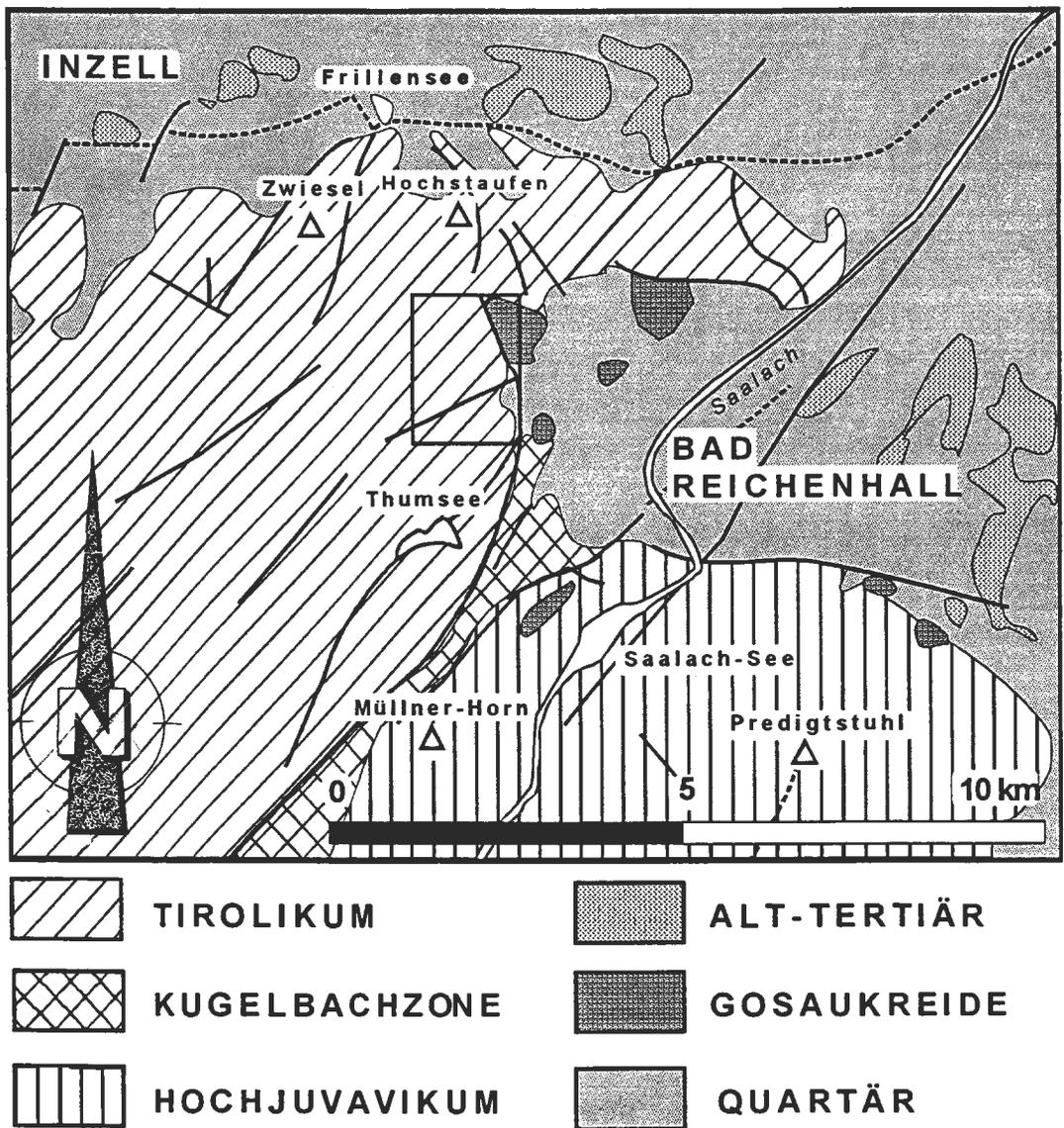


Abb. 2 : Strukturgeologische Übersichtskarte mit eingezeichneter Lage des Untersuchungsgebietes.

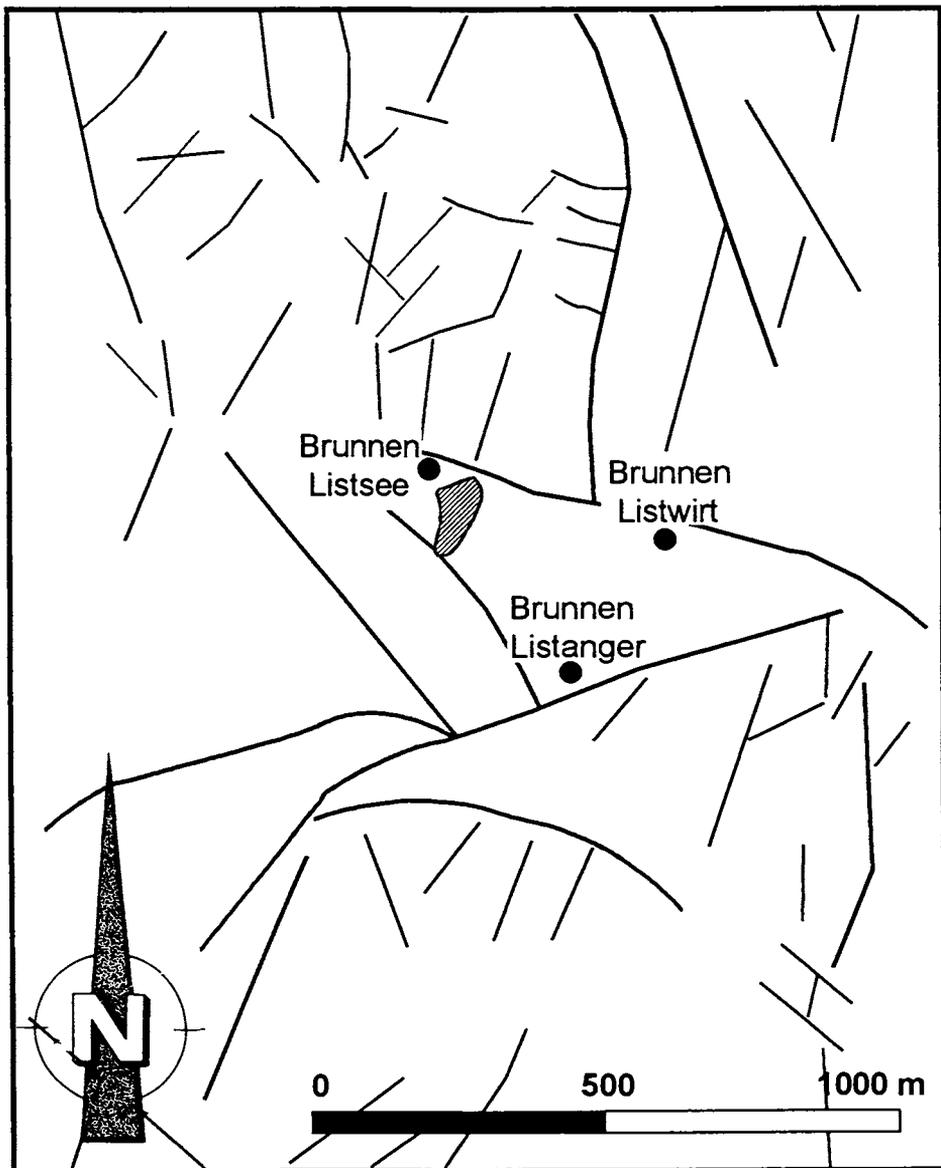


Abb. 3 : Lage der Brunnen im Untersuchungsgebiet mit Darstellung von Luftbildlinearen.



Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Kluftfläche 3. Ordnung mit idiomorphen Dolomikristallen

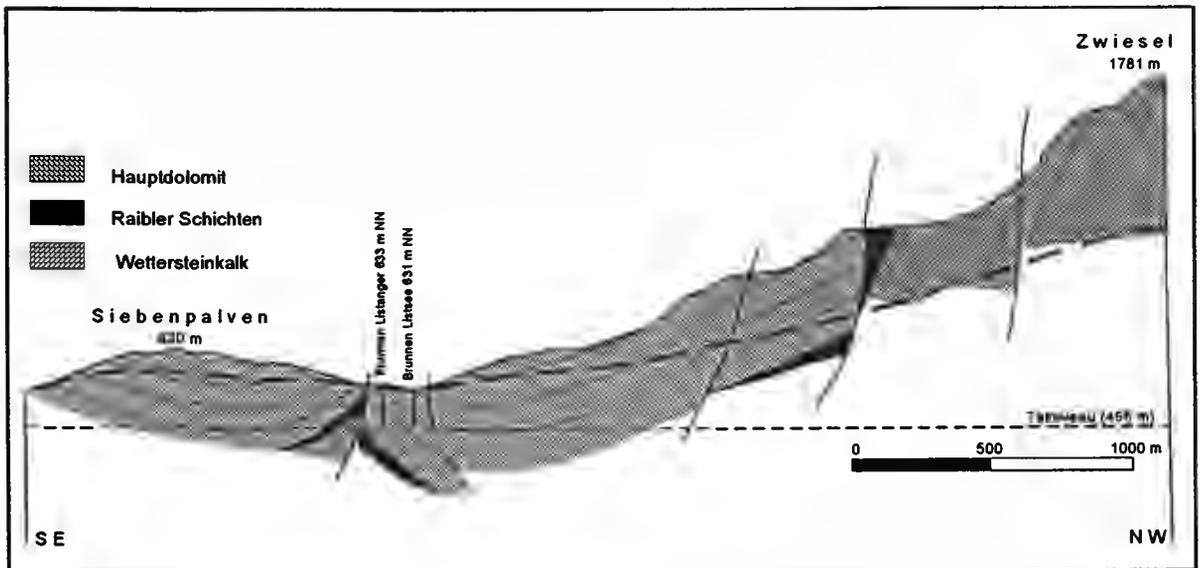


Abb. 4 : Schematischer Profilschnitt durch das Untersuchungsgebiet mit vermuteter Lage des Grundwasserdruckspiegels

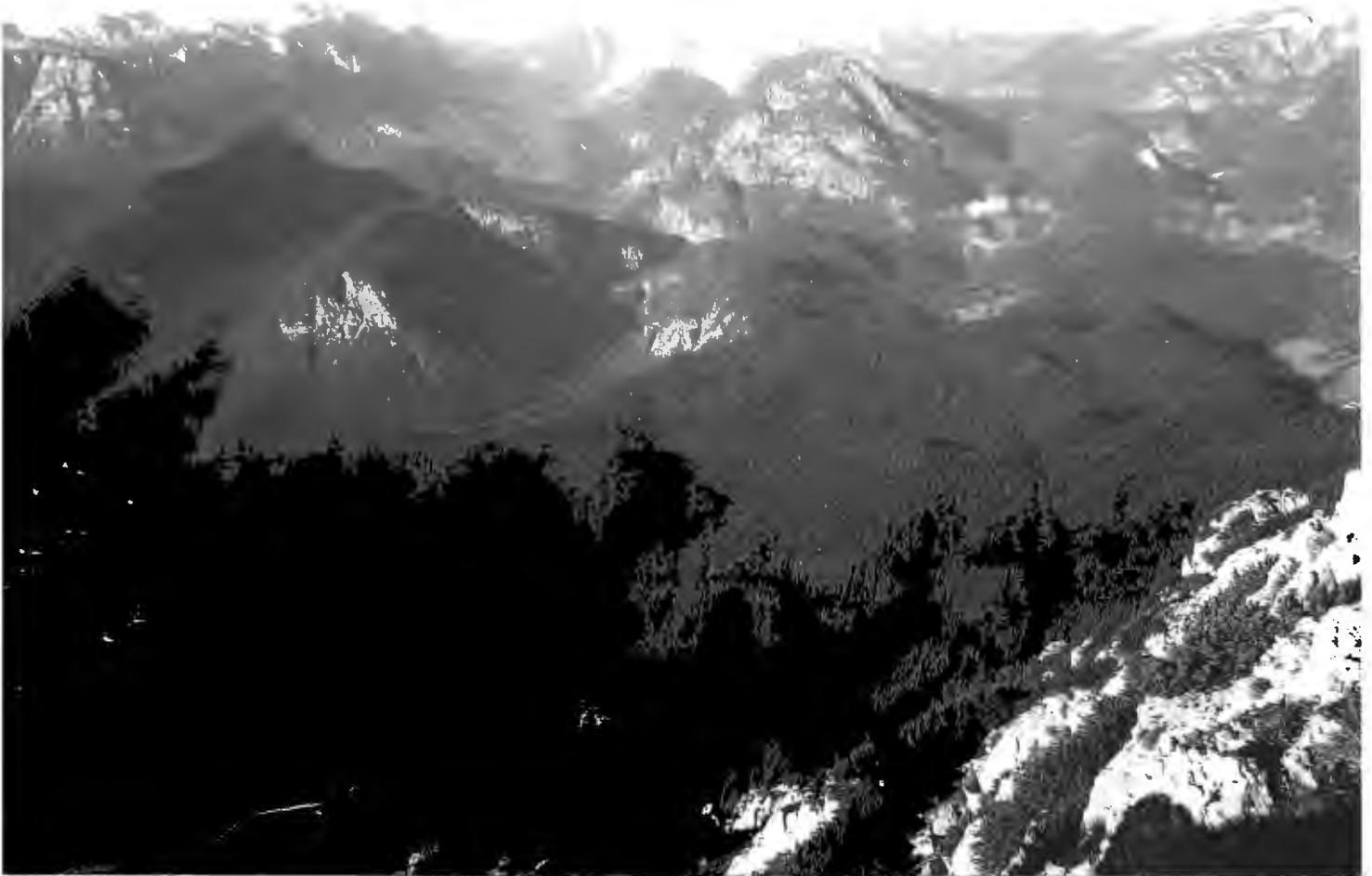


Bild: Tiefblick vom Hochstaufen (1781 m NN) nach Südwesten auf das Trinkwassererschließungsgebiet Listsee im Hauptdolomit (600 - 800 m NN). Deutlich heben sich die tektonischen Strukturen als Schlagschatten im bewaldeten Hügelland ab. Der Saalachwestbruch entlang des Saalachtals durchtrennt NE-SW streichend das Tirolikum der Unken Mulde (im Bild rechts oben) mit Sonntagshorn und Ristfeuchthorn vom Hochjuvavikum der Reiteralm (im Bild links oben). Nach Westen hebt das Tirolikum in den Loferer Steinbergen aus. (Foto Fellehner 1996)

DISKUSSION :

Der Hauptdolomit als potentieller Trinkwasserspeicher am Beispiel der Region Reichenhall

RIEHL - H.: Das war ein eindrucksvolles Bild, das Sie da vom Staufen herunter gezeigt haben. (siehe vorhergehendes Bild)

VÖLKL: Das hat mir auch das Herz übergehen lassen, das war ja mein Dissertationsgebiet, ein wunderschönes Bild, und mir liegen jetzt eine Menge Fragen und Bemerkungen auf den Lippen und ich nehme an, sie werden auch aus dem Saale kommen.

RANK: Die erste Frage betrifft nicht die Isotopen. Haben Sie in dem System ohne zu pumpen Druckunterschiede? Oberes und unteres System steht ja unter verschiedenem Druck, haben sie Ausgleichsströmungen?

ZANKL: Wenn wir die drei Brunnen untereinander betrachten, ohne daß wir sie belasten, haben wir bereits ein Gefälle.

RANK: Wenn sie jetzt abgemauert sind, kann man es nicht mehr feststellen. Wenn Sie Flowmetermessung gemacht haben, haben Sie die auch im Ruhezustand gemacht?

ZANKL: Die Flowmetermessungen haben wir in einem Brunnen auch im Ruhezustand gemacht und da hatten wir eine Anströmung von unten.

RANK: Sie haben also von vornherein Druckunterschiede im System?

ZANKL: Ja, von vornherein. Einmal haben wir das testen können und dann haben wir das direkt messen können.

RANK: Und die zweite Frage, das Bild, das vom Tritium abhängt, das hat es in sich, da stimmt etwas nicht.

ZANKL: Das habe ich mir schon gedacht. Die Münchner Werte (IGU, Institut für angewandte Isotopen-, Gas- und Umweltunter-

suchungen, D - 8031 Wörthsee) werden nicht akzeptiert.

RANK: Diese Halbwertszeitgerade ist zu steil, denn dann hätten Sie nur den Zerfall, keine Erneuerung. Sie ist einfach zu steil dafür, in diesen 12,4 Jahren dürfte sie nur die Hälfte aufweisen.

ZANKL: Sie würden sie bei 40 TU ansetzen?

RANK: Wenn Sie links mit 70 TU beginnen müßten Sie oben nach 12 Jahren auf 35 TU sein. Dies ändert die Zustände.

ZANKL: Ich würde eher umgekehrt vorgehen, ich würde sie darunter setzen

RANK: Egal wo, sie muß auf jeden Fall flacher sein, flacher als der Abfall des Tritiums, sonst paßt das System nicht.

ZANKL: Das gebe ich zu, und ich habe diese Daten von den Münchnern so bekommen und es geht ja darum, wie wird das Vermischungsverhältnis gesteuert und wann haben wir sozusagen unser altes Wasser aufgebraucht und sind nur noch angewiesen auf das jährlich dem System zuströmende neue Wasser.

RANK: Und die zweite Frage wäre nach der Messgenauigkeit, ob man diese Einsenkungen z.B. als nach Schneeschmelze interpretieren kann oder ob es nur Meßfehlerschwankungen sind, die ein bißchen über die Meßfehlerschwankungen hinausgehen?

ZANKL: Diese Depression war im Winter 1990-1991, die haben wir in allen drei Brunnen gemessen und eine gleichlaufende Kurve bekommen. Deswegen glaube ich, ist sie jahreszeitlich bedingt.

RANK: Das würde also heißen, daß die alte Komponente überlagernd es doch ein unmittel-

baren direkten Einfluß von Schneeschmelze oder Niederschlägen gibt.

ZANKL: In der Zumischung.

RANK: Ja

ZANKL: Aber in welcher Geschwindigkeit läuft das zu, wie stark ist nun die Anströmung aus dem darauf gepackten Wasser in unser System?

RANK: Die Frage, die da herauskäme, wäre natürlich in Richtung Schutzgebiet. Diese mittlere Verweilzeit beträgt, wie Sie sagten, im Dolomit einige Jahre, 5-10 Jahre oder so etwa. Aber wenn das überlagert wäre, dann wären das ganz kurzfristige Einflüsse, da die Schneeschmelze auch direkt durchkommt. Nicht vollständig, aber ein kleiner Teil.

ZANKL: Eine Zumischung in unserem gepumpten Wasser, aber wie könnten wir den Teil jetzt da herausfiltern?

RANK: Ich möchte den Münchner Kollegen jetzt nicht vorgreifen, aber das kann man schon herausfiltern. Es ist interessant, wenn sie diese Direkteinflüsse haben, haben sie natürlich ein Problem. Wasser kommt direkt durch und damit ist natürlich schon die Schutzgebietsproblematik da, da kann man nicht davon ausgehen, es käme sehr viel später dazu, sondern man muß vom direkten Einfluß überlagernden Wassers und seiner mittleren Verweilzeit ausgehen, aber ich möchte den Münchner Kollegen nicht vorgreifen.

SCHROLL: Der Sauerstoff ist sowas wie ein Höheneffekt?

ZANKL: Wir haben Sauerstoff-Isotopen-Untersuchungen gemacht und die Auswertung ergab, daß unser mittleres Zufuhrniveau bei 1.200m SH liegt.

SCHROLL: Darf ich noch etwas zu diesen Bildern kurz ergänzen. Diese wunderschöne Geschichte mit diesem Dolomit ist es wert, näher angesehen zu werden. Man kann die Bildung wahrscheinlich tadellos beweisen, wenn das im temperierten System gewachsen ist. Dann kann man ja analysieren, man kann den Kohlenstoff-Sauerstoff von den Sauerstoff-Sauerstoffisotopen im Dolomit trennen, das ist

heute durchaus möglich, auch Kleinstmengen genau zu bearbeiten. Auf der anderen Seite ist auch die chemische Zusammensetzung erfaßbar, wenn Eisen, Mangan, und anderes eingebaut wird. Wenn man den Sauerstoffgehalt dieses Wassers berücksichtigt, kann man das mit dem Gleichgewichtssystem mit der Temperatur übereinstimmen. Es ist ein sehr interessanter Fall, der meiner Meinung nach grundsätzlich einer strengeren Studie und auch einer Publikation bedürfte.

ZANKL: Genau an der Frage arbeiten wir auch, scheitern im Augenblick aber noch daran, für die Analyse exakt das Material zu bekommen, das die Kluftwände bedeckt. Die sind nur im Bereich von 10-30 μ und bedecken nur die Oberfläche; wenn ich etwas tiefer komme, komme ich bereits auf den normalen Hauptdolomit.

SCHROLL: Das müßte man auch kennen, wir haben dessen Isotopenzusammensetzung, aber ich glaube, man müßte das mit der Laser-methode abkratzen, um eine genügende Menge zu bekommen.

SCHÖPFER: Meine Frage an Sie betrifft die Strukturgeologie. Sie haben gesagt, diese großen Klüfte sind tektonisch, haben Sie Kleinstrukturen in Ihrem Arbeitsgebiet, aus denen man Rückschlüsse ziehen kann auf diese Großstrukturen, daß diese tektonisch sind? Ich bezweifle, daß diese soweit aufgehen können.

ZANKL: Sie können das in Beziehung setzen zu den kleineren Kluftstrukturen, da gibt es eine geometrische Beziehung, zu diesen weitklaffenden Klüften. Die stehen nie senkrecht, sondern haben immer einen Winkel zwischen maximal 40-50° und dann gehen sie bis horizontal runter.

Wir haben alle möglichen Lagen, und das Kluftsystem, das ich als zweites Kluftsystem bezeichnet habe, das geht relativ senkrecht durch diese Strukturen hindurch mit einem Winkel von etwa 60° zum ersten System. Die ganzen Großklüfte stehen in irgend einer Beziehung zu dieser Struktur, zu der Muldenstruktur, aus der wir ja hier unsere Wassergewinnung beziehen

HERBST: Ist die Ordnung der Luftsysteme eine relative Altersabfolge oder ist das nur eine Bezeichnung?

ZANKL: Es ist für uns eine Geländeansprache. Für die direkte Altersbeziehung würde ich sagen, daß dieses Kluftsystem, das uns die Wasserführung gibt, das breite Kluftsystem, sicher eine ganz junge Anlage, im Verhältnis zu den anderen Klüften, im speziellen zu dem kleinen Kluftsystem im Zehntelmillimeterbereich. Das mag sehr viel älter sein.

FINK: Es ist sehr interessant von Ihnen zu hören, daß dieser Dolomitmkörper fast oder überhaupt nicht verkarstet ist. Ich möchte nur als Karst- und Höhlenforscher sagen, im östl. Bereich der Kalkalpen, der Kalkvoralpen, auch in Niederösterreich, sind bedeutende, gewaltige Karstquellen im Hauptdolomit. Da wäre z.B. der Göller mit der Höhlenseige, einer Karstriesenquelle, der Ötscher, bei dem zwar das Geldochsystem im Dachsteinkalk ansetzt, aber über die Grenze Dachsteinkalk/Hauptdolomit sich tief hinein großvolumig in den Hauptdolomit erstreckt. Ich wollte damit sagen, man wird wahrscheinlich so wie immer im Karst nicht verallgemeinern dürfen, Verkarstung ist durchaus im Dolomit und wahrscheinlich auch im Salzburger Bereich sehr wohl bekannt.

ZANKL: Natürlich erhebt sich auch die Frage, wann ist diese Verkarstung eingetreten, wie alt sind diese großen Höhlen und Karstsysteme, sind sie noch aktiv? Das ist eine Frage, die ich immer wieder im Zusammenhang mit den Höhlenuntersuchungen im Nationalpark Berchtesgaden aufgeworfen habe. Die Anlage dieser Höhlen, die immer wieder mit Oberflächenniveaus in Korrelation stehen, geht offensichtlich weit ins Tertiär hinein. Das Höhlensystem ist offensichtlich über die lange Zeit hinweg unter ganz verschiedene Bedingungen hindurch einmal aktiv, einmal inaktiv und weiter wechselnd in Entwicklung gewesen. Die großen Höhlen im Nationalpark sind nur noch im tieferen Bereich aktiv, oben, in den höheren Bereichen, gibt es keine aktiven Höhlen, sondern nur noch Höhlenruinen, etwa am Hagengebirge. Und nur in größerer Tiefe wird dort Wasser gefunden.

VÖLKL: Darf ich an dieser Stelle ein bißchen unterbrechen, es läuft nämlich die Diskussion an einem Mann vorbei, der bei uns in der Mitte sitzt, Dr. HASEKE vom Nationalpark Nördliche Kalkalpen, der genau dieses Kapitel im Salzburger Höhlenbuch mitverfaßt hat, und ich kenne das Gebiet auch gut. Gerade im Bereich des Bildausschnittes, im Müllnerberg, aber auch im benachbarten Lattengebirge, gibt es auch eine ganze Reihe von Höhlen, darunter aktive Wasserhöhlen, die Adventhöhle etwa.

Aber wenn ich auch den Einwand wegen der Klüfte berücksichtige, sind es meines Erachtens eben doch karstmäßig erweiterte Klüfte, die Sie soeben gezeigt haben, die jetzt wieder interessanterweise von einem Dolomitsinter überzogen werden. Ich hätte geglaubt, daß Calcit in den Klüften ausfallen würde. Also dieses Problem interessiert mich ungemein und das wäre wirklich eine Studie wert. Sie haben gesagt Härteklasse 2, sind das Deutsche Härtegrade?

ZANKL: Härteklasse 2, die deutschen Härtegrade liegen zwischen 9° und 12° dH.

VÖLKL: Aber daran sieht man doch auch, daß es Karstwasser ist, es ist sehr wohl ein Karstphänomen.

SCHROLL: Wie ist das Kalzium-Magnesium-Verhältnis?

ZANKL: Kalzium liegt etwa bei 50 mg, Magnesium bei durchschnittlich 20 mg, die Sättigungsintensität für Dolomit ist annähernd erreicht, für Kalzit ganz schwach darüber.

KUSCHNIG: Mich hätte interessiert, wie die Abgrenzung des Schutzgebietes vorgenommen worden ist. Bezeichnet auf der Karte, auf der Sie mit dem blauen Pfeil die Einzugsgebiete eingezeichnet haben, die strichlierte Linie die Grenze des Schutzgebietes?

ZANKL: Wir sahen keine andere Möglichkeit, und dies wurde auch akzeptiert, das Wasserwirtschaftsamt hat auch keine bessere Idee gehabt, als die oberflächliche Wasserscheide als Grenze des Schutzgebietes zu nehmen, wohl wissend, daß die unterirdische nicht dort liegt, wo die oberirdische Wasserscheide liegt. Ich vermute, daß das Einzugsgebiet sehr viel

weiter nach Westen hin reicht und im Norden des Schutzgebietes kann es durchaus sein, daß die unterirdische Wasserscheide weiter nach Süden verlegt ist. Aber wir haben die oberirdische Wasserscheide als Begrenzung des Schutzgebietes genommen.

VÖLKL: Ich darf vielleicht einstreuen, im anschließenden Tiroler Raum, ein paar Kilo-

meter Luftlinie entfernt, haben wir im Hauptdolomit Markierungsversuche gemacht, und nach 5 Jahren war der Farbstoff das erste Mal in der Quelle feststellbar. Man muß da in viel längeren Zeiträumen denken, die Wasserbewegungen im Dolomit sind langsam.

Diskussionsbeiträge von:

Dr. Max FINK

*Metzkergergasse 5
3400 Klosterneuburg*

Paul HERBST

*Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg*

Dr. G. KUSCHNIG

*Wasserwerke d. Stadt Wien
Grabnergasse 4-6
a - 1060 Wien*

Hofrat Dr. Dieter RANK

*Bereich Umwelt
ÖFPZ-Arsenal
Arsenal - Obj. 214
A - 1030 Wien*

Dr. Georg RIEHL - H

*Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf*

Martin SCHÖPFER:

*Inst. f. Geologie
Univ. Salzburg
Georg Kropp Straße 16
A - 5020 Salzburg*

Univ.Prof. Dr. Erich SCHROLL

*Haidbrunnngasse 14
2700 Wr. Neustadt*

MinR Dr. Gerhard VÖLKL

*Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft
Stubenring 1
A - 1010 Wien*

Univ.Prof. Dr. H.ZANKL

*Philipps - Universität Marburg/Lahn
Hans-Meerwein-Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Karstforschungen der Wiener Wasserwerke zur
Sicherung der Wasserversorgung

G. KUSCHNIG



Payerbach,
5. Dezember 1997

Anmerkung der Redaktion:

Da das Originalmanuskript der Langfassung zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht vorgelegen ist, findet hier die beim Vortrag aufgelegte Kurzfassung Verwendung

Anschrift des Verfassers:

*Dr. G. KUSCHNIG
Wasserwerke d. Stadt Wien
Grabnergasse 4-6
A - 1060 Wien*

Karstforschungen der Wiener Wasserwerke zur Sicherung der Wasserversorgung

G. KUSCHNIG

1. Projektumfang und Projektbetreiber

Seit Bestehen der Wiener Hochquellenleitungen gibt es in den Quellgebieten Untersuchungen, die im Interesse der Wasserversorgung durchgeführt wurden. Aber erst 1991 wurde ein Programm gestartet, welches den Anspruch hatte, die Quellgebiete in einer umfassenden Weise einer wissenschaftlichen Betrachtung zu unterziehen.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt Hochschwab Schneealpe, Rax und Schneeberg (600-700 km²).

Im Bereich Hochschwab wird das Projekt, soweit es die Geologie und die Hydrogeologie betrifft, gemeinsam mit dem Land Steiermark und dem BMWV im Rahmen der Bund/Bundesländerkooperation durchgeführt. Das deshalb, weil das Land Steiermark im südlichen Hochschwab Wassernutzungsinteressen hat.

Der Projektzeitraum wird mindestens 10 Jahre betragen.

2. Projektziele

Übergeordnetes Ziel ist die quantitative und qualitative Sicherung der Wasserversorgung. Durch die Diversifizierung der Wiener Wasserversorgung und die Senkung des Verbrauchs erscheinen zusätzliche Erschließungen nicht notwendig. Trotzdem sind quantitative Untersuchungen erforderlich vor allem im Hinblick auf die Erstellung von Wasserhaushaltsbilanzen, der Dynamik der Quellschüttungen, genauerer Quellstatistiken und somit der Erfassung langjähriger Trends. Weiters sollen die zur Zeit genutzten Quantitäten in gleichbleibender und teilweise in einer besseren Qualität verfügbar sein.

Diese Qualitätserfordernisse erfordern einen genaueren Wissensstand über Einzugsgebiete, Infiltrationsbedingungen und Gefährdungspotentiale. Bei der qualitativen Beurteilung geht es um eine Unterscheidung von natürlicher und anthropogener Beeinträchtigung des Quellwassers. Anthropogene Beeinträchtigungen sollen lokalisiert und der Wassergewinnung konkurrierenden Nutzungen (Tourismus, Alm-, Forst- und Jagdwirtschaft, Infrastruktur, etc.) zugeordnet werden können. Natürliche Beeinträchtigungen können mit Niederschlagsereignissen oder Schneeschmelze in Zusammenhang gebracht werden. Die daraus folgenden Planungshilfen erlauben eine optimale Bewirtschaftung der einzelnen Quellen.

Die Wassergewinnung und alle Massnahmen zu ihrer Sicherung müssen so durchgeführt werden, daß der Naturraum in seiner ökologischen Funktionsfähigkeit erhalten bleibt.

Ein effizienterer Quellschutz, der ein weiteres Ziel ist, muss sowohl die Sicherung der Wasserversorgung, die ökologischen Erfordernisse als auch die Interessen anderer Nutzer berücksichtigen

3. Strategien zur Zielerreichung

Um diese Ziele erreichen zu können, unterscheiden wir zwischen internen Faktoren und externen Faktoren. Interne Faktoren sind jene, die wir über die Quellennutzung und die Bewirtschaftung in den Eigengebieten der Stadt Wien selbst steuern und beeinflussen können. Externe Faktoren sind jene, die wir - auch in den Eigengebieten der Stadt Wien - nur bedingt oder nicht beeinflussen können. Dazu zählen Wanderwege, Hütten, Beweidungsrechte, Forstwirtschaft, Jagdrechte,

Luftverschmutzung aber auch naturräumliche Gegebenheiten wie Geologie, Boden, Vegetation und Wetter.

Das Projekt selbst wird in zwei Schritten durchgeführt. Der erste Schritt besteht in der Erhebung der Grundlagendaten über die gesamte Untersuchungsfläche. Dazu gehören geologische, hydrologische, meteorologische und boden- und vegetationskundliche Daten. Mit Hilfe dieser Datenbasis sollen in einem zweiten Schritt lokal aber auch über die gesamte Fläche hinweg gezielte Fragen beantwortet werden können.

Eine effiziente Archivierung und Auswertung der erhobenen Daten wird in einem geographischen Informationssystem erfolgen.

4. Beispiel Zeller Staritzen (NE Hochschwab)

Die im Rahmen des gegenständlichen Forschungsprojektes durchgeführte geologische Neukartierung ergibt gegenüber den älteren Aufnahmen ein anderes wesentlich komplizierteres Bild. Innerhalb der Mürzalpendecke konnte ein grossräumiger Schuppenbau erfasst werden. Auf der Nordseite des Hochschwab konnte eine grosse Überschiebung ausgeschieden werden, die den Hochschwab in zwei Schuppen, die Türnachschuppe im Norden und die Hochschwabschuppe im Süden unterteilt. Diese beiden Schuppen sind durch kleinere Schuppen und Blattverschiebungen intern nochmals gegliedert. Diese Erkenntnisse sind für die potentiellen Wasserwegigkeiten und damit die Wasserversorgung und den

Quellschutz von grosser Bedeutung. Eine weitere Änderung betrifft die stratigrafische Einstufung der Riffkalke und Dolomite von Obertrias (Hauptdolomit, Dachsteinriffkalk) zu Mitteltrias (Wettersteinkalk, Wettersteindolomit). Dies betrifft die Höhenlage des Stauers und damit das potentielle Speichervolumen.

Das Gebiet der Zeller Staritzen wird zum überwiegenden Teil durch mitteltriadische Wettersteinkalke und -dolomite aufgebaut. Charakteristisch ist eine von W nach E zunehmende Dolomitisierung. Durch intensive hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen konnten die Einzugsgebiete der einzelnen Quellen und Quellgruppen festgelegt werden und es wurden die wesentlichen Aquiferkennzahlen ermittelt. Gemeinsam mit den Ergebnissen der geologischen Kartierung können jetzt das Abflussverhalten, die Schüttungsdynamik und die tatsächlichen Abflusswege genauer bestimmt werden und bilden somit wichtige Hilfsmittel für die Bewirtschaftung der Quellen. Auch für den Quellschutz sind diese Untersuchungen unentbehrlich. Neben den geologischen Verhältnissen sind aber für die Infiltrationsbedingungen die Vegetation und die Böden von entscheidender Bedeutung. Erst die Kenntnis ihres Zustandes und ihrer Verteilung ermöglicht eine Ausscheidung von Bereichen unterschiedlicher Vulnerabilität sowie eine objektive Beurteilung unterschiedlicher Maßnahmen und Eingriffe in den Trinkwasserschongebieten.

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Schwankungen im oberflächennahen Grundwasser und
Wasserhaushalt im südlichen Wiener Becken

G. RIEHL-HERWIRSCH, P. GOTTSCHLING, D. RANK



Payerbach,
5. Dezember 1997

*Anschrift der Verfasser:**Dr. Georg RIEHL-HERWIRSCH**Hauptstrasse 70
A - 2801 Katzelsdorf**Hofrat Dr. Peter GOTTSCHLING
Amt der NÖ Landesregierung
Gruppe Baudirektion, Allgemeiner Baudienst**Landhausplatz 1
A - 3109 St. Pölten**Univ.Prof. Hofrat Dr. Dieter RANK
Abt. Umwelt
(vorm. Geotechn. Inst.,
Abt. Geohydrologie)
ÖFPZ-Arsenal**Arsenal - Obj. 214
A - 1030 Wien*

Schwankungen im oberflächennahen Grundwasser und Wasserhaushalt im südlichen Wiener Becken

G. RIEHL-HERWIRSCH, P. GOTTSCHLING, D. RANK

Das "oberflächennahe Grundwasser" steht hier im Gegensatz zu den von G. WESSELY betrachteten "Tiefenwässern".

Bei diesen "oberflächennahen Grundwässern" handelt es sich um Porenwässer in Kies- und Sandablagerungen (mit Schluffeinschaltungen) der Schwemmfächer, die von SW und S in das jüngste Bruchsystem des Wiener Beckens, einem verhältnismäßig rasch absinkenden Mittelstreifen, eingelagert worden sind.

Die sedimentäre Auffüllung entspricht etwa der Absenkung. Die Leitha als Abflußgerinne aus Schwarza und Pitten hat diesen Schwemmfächer geschüttet und fließt heute ziemlich an dessen Ostbegrenzung entlang dem Nordostsporn des zentralalpiner Kristallins, dem Rosaliengebirge.

Aus allgemeinen geologischen Überlegungen ist anzunehmen, daß Schwarza und Pitten nicht so wie heute in einem einzigen Gerinne gegen NE entwässert haben; es ist durchaus anzunehmen, daß beide getrennt mit gleitenden Wechselläufen bis in den Raum von Wr. Neustadt geflossen sind und erst am Widerstand des Wöllersdorfer Schotterfächers nach E gedrängt und vereint worden sind. Dessen Begrenzung wird heute durch den Verlauf der Warmen Fische markiert und bringt auch im Untergrund sicher zahlreiche Überschneidungen mit schluffig - tonigen Ablagerungen, die sich im gesamten Grundwasserregime widerspiegeln.

Hier sei besonders auf eine Darstellung von H. KÜPPER 1954 verwiesen, der diese Situation in der Lage seiner chemischen Grundwassertypen beschreibt und in der Fortsetzung einer südlichen zentralen Rinne den „Fische - Dagnitz - Typus“ gegen NE verfolgt.

Gerade diese Tatsache hat in dem folgenden Abschnitt von D. RANK zu dem schönen Ergebnis geführt, welches uns zeigt, daß die

³H-Maxima der Wässer (die Berechnung basiert auf Isotopenuntersuchungen) zwischen 1960 und heute gegenüber dem Niederschlag um 8 - 10 Jahre zeitlich verschoben sind.

Daraus konnte eine mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit von knapp 2 km/Jahr (ca. 5,5 m in 24 Stunden) errechnet werden (siehe Abb. 6 sowie den Abschnitt „Isotopische Charakterisierung des Wiener Beckens“ von D. RANK).

Die Transportwege und Gerinne aus der Zeit der Ablagerung sind als vorgezeichnete Wasserwege verblieben.

Die jüngste NE - SW verlaufende Einbruchsrinne in der Beckenachse vom Semmering aus gegen Schwechat, mit Übertiefungen und Schollenverkipungen, geht über weite Strecken auf ein "Durchpausen" einer "flower structure" zurück.

Diese als „Mitterndorfer Senke“ bekannte wassererfüllte Rinne wurde von J. STINI 1932 beschrieben, von H. KÜPPER in zahlreichen Arbeiten behandelt und von J. REITINGER 1973 hydrologisch bearbeitet. Zuletzt stehen isotopenhydrologischen Arbeiten in einen nördlichen Teil von P. HACKER 1992, W. PROCHASKA hat 1983 den südlichen Teil bearbeitet. Über die Messungen der NÖ Landesregierung im Zusammenhang mit der Verbreitung der chlorierten Kohlenwasserstoffe hat W. KASPER bei den Barbara - Gesprächen 1993 berichtet.

Ein Vergleich der Wasserstandsmessung im Raum Wr. Neustadt 1896 - 1911, M. KLEB 1912 wird den Messungen der letzten Jahrzehnte gegenübergestellt (Abb. 1). Bei gleichbleibender Schwankung der Jahresniederschläge erhöht sich die Amplitude der Spiegelschwankungen beträchtlich.

Berücksichtigt man die Darstellung (Abb. 2) von E. REIDINGER 1995, so wird der Unter-

schied in der Höhe zwischen den Meßpunkten geringer, da die Meßstelle „Heizhaus“ grundwasserstromaufwärts liegt und auch die Daten unsicherer werden, je weiter wir sie in der historischen Zeitrechnung zurückverfolgen.

Im Verhältnis zu den Messungen von Kleb 1896 - 1911 (Militärakademie und Lokomotivenfabrik) müßten dann die Schwankungen beim Heizhaus ca. 4 m betragen. Statt dessen beträgt die Amplitude 8 m, es ist also eine Verdoppelung der Schwankungsbreite in den letzten 90 Jahren aufgetreten.

Dies hat nicht unerhebliche Auswirkungen auf die Siedlungsqualität. Offensichtlich werden die starken Grundwasserschwankungen bei den Siedlungen an den Baggerseen, die einmal trocken fallen (Abb. 3), dann wieder so

aufspiegeln, daß auch höher gelegene Häuser unter Wasser gesetzt werden (Abb. 4). Auch häufige Kellerüberschwemmungen durch Grundwasser im Stadtbereich von Wr. Neustadt, vor allem im vom ehemaligen Stadtgraben umgrenzten Teil, sind die Folge.

Die Erhöhung der Amplitude scheint zum Großteil auf anthropogene Anteile zurückzuführen zu sein. Die Möglichkeiten der Steuerung der oberflächennahen Grundwässer im südlichen Wiener Becken und die Möglichkeit anderer Einflußnahmen sind zu diskutieren.

(Anm. d. Redaktion: Im Band „Barbara-Gespräche 1999“ wird dieses Thema nochmals aufgegriffen und der letztangeführte Punkt ausführlich behandelt)

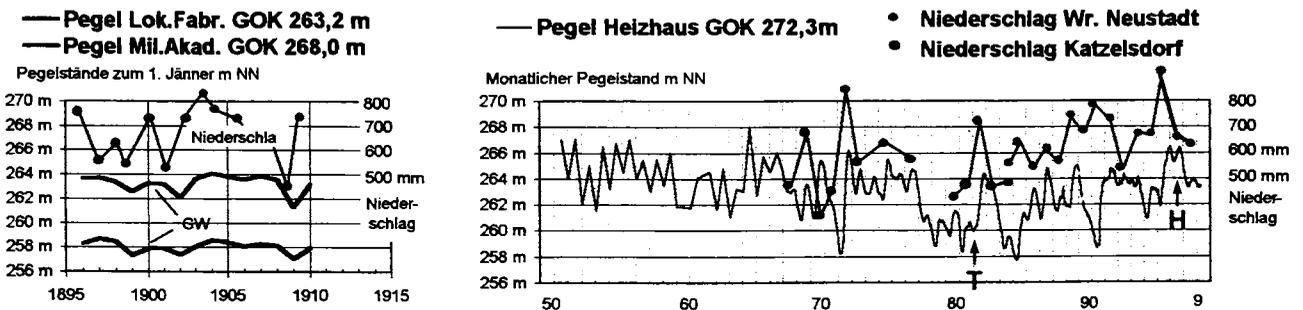


Abb. 1: Im linken Diagramm sind die Grundwassermessungen von M. KLEB 1895 - 1915 in den Pegeln Militärakademie und Lokomotivfabrik den damaligen Niederschlägen gegenübergestellt, im rechten Diagramm die Registrierungen 1951 - 1999 beim Pegel Heizhaus. Deutlich ist ab 1963 die größere Amplitude der Grundwasserschwankung bei etwa gleichbleibenden Niederschlagsmengen erkennbar (Grafik P. CARNIEL 1999). Der Zeitpunkt des Wasserstandes von Abb 3,4 ist mit T (Tiefstand), der von Abb5 mit H (Hochstand) bezeichnet.

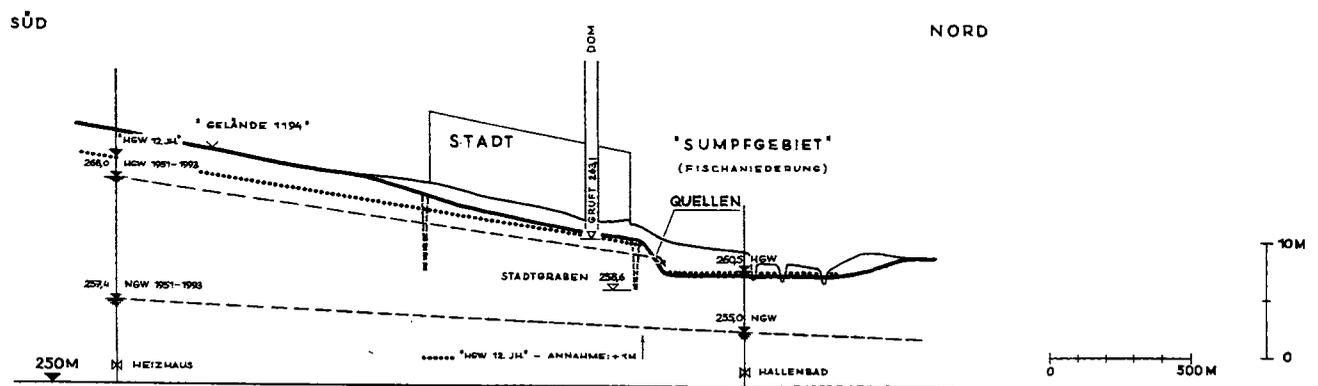


Abb. 2: Geländeschnitt (stark überhöht, L:H=1:40) durch Wr. Neustadt und die Fischaniederung mit den bisher höchsten und niedrigsten beobachteten Grundwasserständen. Punktiert ist die Annahme des HGW im 12. Jh. (aus: E. REIDINGER, 1995)



Abb. 3: Ehemaliger Kiesabbau („Föhrensee“) bei Wr. Neustadt während eines Niedrigwasserstandes (1981-08-08/ VI. Bild 6-7); um den Wasserspiegel zu erreichen, mußten die Grundstücksbesitzer oft lange Treppenwege vom Haus zum Restsee anlegen (siehe Pfeil T- Tiefstand in der Schwankungskurve Abb. 1 pg. 204)



Abb. 4: Ehemaliger Kiesabbau („Föhrensee“) bei Wr. Neustadt während eines Niedrigwasserstandes (1981-08-08 VI, Bild 3) zum Zeitpunkt des Verkaufes der „Badeparzellen“ (siehe Pfeil T - Tiefstand in der Schwankungskurve Abb. 1 pg 204)



Abb. 5: Ehemaliger Kiesabbau („Föhrensee“) während des Winterhochwassers 1997 (P97-01-11, Bild 8-11), wobei Dammbauten und Zufahrten erhöht werden mußten. Im Vordergrund verschwindet die Umzäunung der Gärten im Wasser (siehe Pfeil H - Hochstand in der Schwankungskurve Abb. 1 pg. 204)

Isotopische Charakterisierung der Wässer des südlichen Wiener Beckens (D. RANK)

Wenn auch bis jetzt keine systematische isotopenhydrologische Gesamtbearbeitung des südlichen Wiener Beckens existiert, so lassen die vorliegenden Daten von Einzeluntersuchungen doch einige Schlüsse zu.

Das im südlichsten Teil des Wiener Beckens aus versickerndem Schwarza- und Pittenwasser gebildete Grundwasser, das vor allem durch die Mitterndorfer Senke in Richtung Donau fließt, ist isotopisch durch das höher als das Becken gelegene Einzugsgebiet der beiden Flüsse gekennzeichnet ($\delta^{18}\text{O} \approx -11\text{‰}$). Es ist daher leicht vom Grundwasser zu unterscheiden, das aus lokal versickernden Niederschlägen im Wiener Becken gebildet wird ($\delta^{18}\text{O} \approx -9,5\text{‰}$).

Es fällt auf, daß der $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert der Leitha, die in ihrem Oberlauf im wesentlichen Pittenwasser führt ($\delta^{18}\text{O} = -10,1\text{‰}$), im weiteren Verlauf offensichtlich durch Zufluß

von Wässern aus höher gelegenen Einzugsgebieten (z.B. Exfiltration von aus versickertertem Schwarzawasser gebildeten Grundwasser) signifikant abnimmt.

Die Entnahme des Wassers für die 1. Wiener Hochquellenwasserleitung aus dem Einzugsgebiet der Schwarza hat die Isotopenverhältnisse des Grundwassers in der Mitterndorfer Senke nur unwesentlich verändert. Geht man davon aus, daß die entnommene Wassermenge ungefähr 15-20 % der Fracht der Schwarza bei Gloggnitz beträgt, so liegt die mögliche Änderung im $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Schwarza ($\delta^{18}\text{O} = -11,1\text{‰}$) in der Größenordnung von 0,1 ‰. Etwas größer dürften die mittelfristigen Änderungen der Isotopenzusammensetzung der jungen Wässer des Wiener Beckens als Folge der Änderungen der Isotopenverhältnisse in den Niederschlägen durch Klimaschwankungen sein.

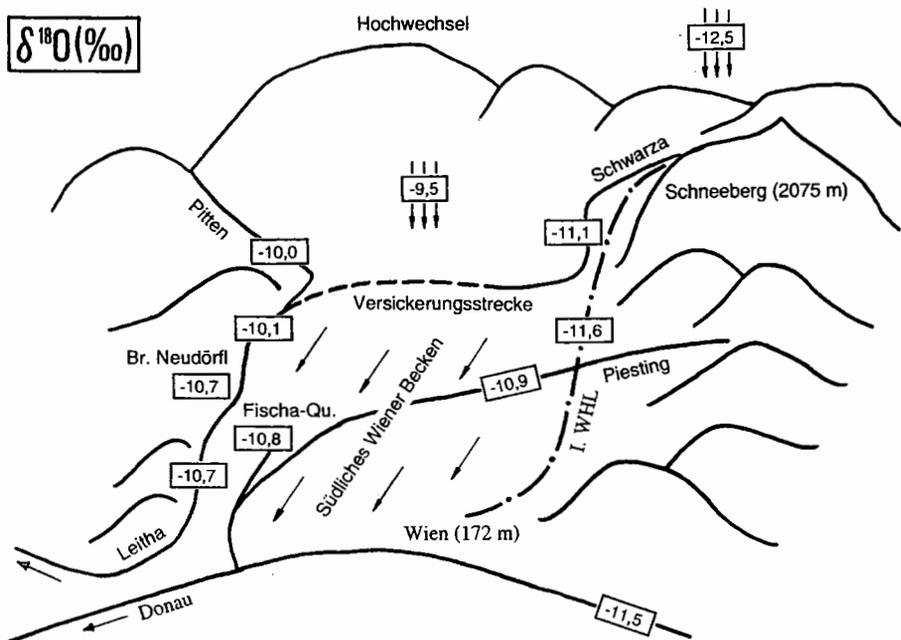


Abb. 6: Südliches Wiener Becken: ^{18}O -Gehalt von Niederschlag, Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser (Jahresmittelwerte, Daten des ÖFPZ Arsenal) Schematische Darstellung

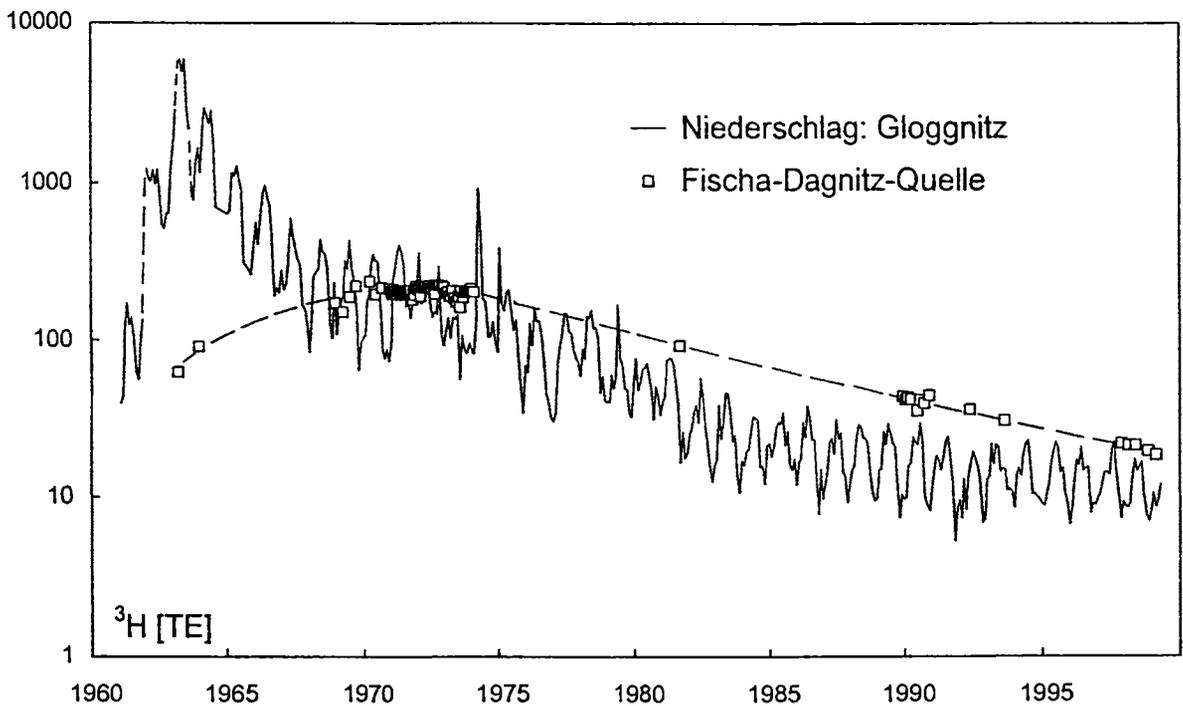


Abb. 7: Langfristiger Verlauf der ^3H -Konzentration im Niederschlag (monatliche Mischproben der Sammelstation Gloggnitz, ergänzt durch Werte der Station Wien, Hohe Warte, für 1961-1965) und im Wasser der Fischa - Dagnitz - Quelle. Das ^3H -Maximum im Quellwasser ist gegenüber dem im Niederschlag um ca. 8 - 10 Jahre zeitlich verschoben.

Aus dem Vergleich des Langzeitverlaufes der ^3H -Gehaltes im Niederschlag mit dem im Wasser des Fischa-Dagnitz-Ursprunges läßt sich (Abb.2) ein Hinweis auf die Grundwasser - Fließgeschwindigkeit in diesem Teil des Wiener Beckens ableiten. Das ^3H -Maximum bei der Fischaquelle ist gegenüber dem im Niederschlag um 8-10 Jahre zeitlich verschoben. Geht man davon aus, daß der Abstand der Quelle von der Versickerungsstrecke der Schwarza im südlichen Steinfeld ungefähr 20 km beträgt, so ergibt sich daraus eine mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit von knapp 2 km pro Jahr. Eine Modellrechnung mit genauerer Berücksichtigung der Dispersion im Grundwasserkörper wird diese Aussage noch präzisieren.

Bei den entlang der Thermenlinie austretenden Mineral- und Thermalwässern sind herkunftsmäßig zumindest drei Komponenten zu unterscheiden: Zunächst die aus dem Wiener-

wald kommenden Karstwässer mit einer mittleren Verweilzeit von über 50 Jahren (^3H -arm), wie sie beispielsweise in der Bohrung Berndorf angetroffen worden sind. Die zweite Hauptkomponente bilden eiszeitliche Tiefenwässer aus dem Wiener Becken. Als dritte Komponente sind den Quellwässern der Thermenlinie ^3H -hältige junge, aus lokalen Einzugsgebieten stammende unterschiedliche - auch jahreszeitlich unterschiedliche - Wasseranteile beigemischt. Die alten Tiefenwässer des Wiener Beckens sind durch einen niedrigen ^{18}O -Gehalt ($\delta^{18}\text{O} \approx -12,5\text{‰}$) als Folge des niedrigen ^{18}O -Gehaltes der eiszeitlichen Niederschläge gekennzeichnet sowie durch eine niedrige ^{14}C -Konzentration.

Die bisher ältesten untersuchten Wässer sind das Thermalwasser Oberlaa und Wasser aus der neuen Bohrung in Bad Vöslau mit einem Wasseralter von mehr als 30.000 Jahren.

Literatur:

- F. BRIX, 1981 Der tertiäre und quartäre Anteil auf Blatt 76 Wr. Neustadt, Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 76, Wiener Neustadt, in Lindabrunn, Wien 1981
- F. BRIX, B. PLÖCHINGER, mit Beiträgen von G. FUCHS, H. TRIMMEL, F. BOROVIČZENY 1988, Erläuterungen zu Blatt 76 Wiener Neustadt, 85 S., 7 Abb., 4 Tab., Geologische Bundesanstalt, Wien 1988
- P. HACKER, 1992 Ein Beitrag zur Hydrogeologie am Westrand des südlichen Wiener Beckens,, NÖ Schriften Wissenschaft, 58, pg 1-18, 26Abb., 16 Tab., Wien 1992
- W. KASPER, 1995, Behebung von Umweltschäden am Beispiel des Grundwassers der Mitterndorfer Senke, Barbara-Gespräche 1993, Bd. 1, 117-140, 6 Abb., Wien 1995
- M. KLEB, 1912, Das Wiener Neustädter Steinfeld, Geogr. Jahrsber. aus Österr., 10, 1-67, 14 Abb., 14 Tab., 2 Beil., Wien 1912
- K. KREJCI - GRAF 1969, Zur Geochemie des Wiener Beckens, Erdöl-Erdgas-Z., 85, pg. 304-309, Wien 1969
- H. KÜPPER, 1953, Uroberfläche und jüngste Tektonik im südlichen Wiener Becken, -Skizzen zum Antlitz der Erde, 376-386, Wien 1953
- H. KÜPPER, 1954, Geologie und Grundwasservorkommen im südlichen Wiener Becken, Jb. Geol. B.-A., 97, 161-210, 6 Abb., 5 Taf., 6 Tab., Wien 1954
- W. PROCHASKA, 1983, Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse am Westrand des südlichen Wiener Beckens, Diss. Univ. Wien, 161 S., 21 Abb., 5 Tab., 1 Anh., 23 Beil., Wien 1983
- E. REIDINGER, 1995, Planung oder Zufall - Wiener Neustadt 1192, 398 S., merbod, Wr. Neustadt 1995
- J. REITINGER, O. BEHR, G. HAIDINGER, 1973, Mensch und Wasserwirtschaft im südlichen Wiener Becken, Österr. Wasserwirtschaft, 25, 15-22, 2 Abb., 2 Tab., Wien 1973
- J. STINY, 1932 Zur Kenntnis jugendlicher Krustenbewegungen im Wiener Becken, Jb. Geol. B.-A., 82, 75-103, 7 Abb., Wien 1932
- G. WESSELY, 1983, Zur Geologie und Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken und seiner Randzone, Mitt. österr. Geol. Ges., 76, 27-68, Wien 1983

Kartenwerke:

- F. BRIX & B. PLÖCHINGER; 1988, Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Blatt 76 Wr. Neustadt, GBA, Wien 1988
- W. FUCHS & R. GRILL, 1984, Geologische Karte von Wien u. Umgebung 1:200.000, GBA, Wien 1984

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1997

Geologische Zeittabelle

G. RIEHL – HERWIRSCH
M. HACKENBERG



Payerbach,
4. - 5. Dezember 1997

Zur geologischen Zeittabelle

Diese geologische Zeittabelle wurde im Zuge der Vorbereitungen zu den Barbara-Gesprächen 1997 erstellt, um den Tagungsteilnehmern und Lesern dieses Bandes die Möglichkeit zu bieten, neben geologischen Ereignissen auch die bisher bekannten Impakte zeitlich zuzuordnen.

Ebenso wurden in dieser Spalte sieben Großereignisse mit Massensterben eingetragen, für jenes an der K/T-Grenz gilt heute der Impakt eines Meteoriten als nachgewiesen (Chicxulub). Aufgenommen wurden Krater bis 20 km Durchmesser, um auch regional bedeutende Events zu erfassen.

Neben der Impaktspalte sind schwarz/weiß gemustert die Zeitspannen von je 10 Mio. Jahren dargestellt; dies soll auf die zeitliche Ungleichwertigkeit einer solchen geologischen Zeittabelle hinweisen.

Die Folgespalten enthalten die Namen der einzelnen Zeitalter von der Ära bis zur Stufe. Die danach angeführte Zeitspalte gibt den Beginn der jeweiligen Einheit auf Jahrmillionen gerundet an.

Die Formationsbezeichnung Tertiär ist heute nicht mehr gültig. Sie wurde durch Paläogen und Neogen ersetzt. Auch die in der Tabelle angeführten Stufen sind heute zum Teil obsolet, aber sowohl die Bezeichnung „Tertiär“ als auch die Stufenbezeichnungen treten so oft in der umfangreichen Literatur auf, daß sie jedenfalls noch angeführt werden sollten. Besonders die Stufen des Miozän spielen eine große Rolle in der Regionalgeologie Österreichs (Molassezone, Wr. Becken, Steir. Becken usw.).

Nach einer einfach und kurz gehaltenen Spalte, die einen Überblick über die Entwicklung des Lebens geben soll, folgt eine Übersicht der geologischen Entwicklung mit dem regional begründeten Schwerpunkt auf den Nördlichen Kalkalpen.

Rechts abgeschlossen wird die vorliegende Tabelle von zwei Nebenspalten, deren erste die Orogenphasen, die zweite die Positionen der Kaltzeiten zeigt.

Anschrift der Autoren:

M. HACKENBERG
 Bergbaumuseum Enzenreith
 Am Schrammelteich
 A - 2640 Enzenreith

Dr. G. RIEHL - H.
 Hauptstraße 70
 A - 2801 Katzelsdorf

BISHER ERSCHIENEN

Band 1 BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1993 (Doppelband)

Mitteilungen für Baugeologie und Geomechanik	Band 3	Baugeologische Tage Payerbach 1991	Seite 1 - 99	Wien 1994
Barbara-Gespräche	Band 1	"Grenzen der Geotechnik" Payerbach 1993	Seite 101 -216	Wien 1994

Teil 1

BAUGEOLOGISCHE TAGE Payerbach 1991

ABFALL LAGERUNG - WASSER

Seminar:

W. KOLLMANN
G. RIEHL-HERWIRSCH
E. VITEK
F. PJANIC
TH. LAHNER E. BINNER
P. CARNIEL, P. MELICHAR

Hydrogeol. Einführung in das südliche Wiener Becken
Aufbau und Funktionen der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau
Begrünungsversuch Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau
Die Hausmüll-VA. Breitenau aus der Sicht der Baudurchführung
Maßnahmen zur Verbesserung des Abbauverhaltens org. Substanz
von Mülldeponien am Beispiel der Hausmüll-VA. Breitenau
Geophysikalische Messungen - "Deponieerkundung" am Beispiel
Breitenau
Die Hausmüll-VA Breitenau aus der Sicht der Wasser-Wirtschaft

W. KASPER

Vorträge:

W. VORTISCH
M. GANDOLLA
H. HÖTZL
W. POZAREK
W. DEMMER
F. OTTNER B. SCHWAIGHOFER
G. RIEHL-HERWIRSCH
D. RANK

Entwicklungen und Probleme mineralischer Dichtungen für
Abfalldeponien
Tendenzen der Deponietechnik in der Schweiz
Hydrogeol. Standortbewertung für Sonderabfalldeponien
Umweltverträglichkeitsprüfung bei NÖ Sonderabfalldeponie-
Standorten
Grundsatzkonzept für die Möglichkeit der Endlagerung von
radioaktivem Abfall aus der Sicht des Baugeologen
Untersuchungen von Dichtungseigenschaften toniger
Barrieregesteine
Die "Diagenetische Inertisierung" eine umweltneutrale
Rückeinbindung von Abfall in den natürlichen Stoffkreislauf
Natürliche und künstliche Markierungen in der Geohydrologie /
Istopenverhältnisse und Radionuklide

DER SEMMERINGBASISTUNNEL - NEUE ÖSTERREICHISCHE TUNNELBAUWEISE NÖT

G. W. MANDL, A. MATURA
G. HAMMERSCHMID
A. STEMPKOWSKI
W. FÜRLINGER, G. RIEDMÜLLER
P. REICHL, H. ZOJER
M. JOHN, W. PURRER
M. HACKENBERG
R. PAP

Geologischer Überblick über das Semmeringgebiet
Die Bedeutung des Semmeringtunnels aus verkehrspolitischer Sicht
Das Tunnelprojekt des Semmering Basistunnels
Die geologischen Vorarbeiten für den Semmering-Basistunnel
Hydrogeologische Untersuchungen im Zuge der Planung des
Semmering-Basistunnels
Geotechnische Aspekte bei der Anwendung der NÖT beim
Ärmelkanaltunnel
Der Bergbau Grillenberg
Der Bau der ersten Gebirgsbahn Europas über den Semmering

GRENZEN DER GEOTECHNIK

P.H. BRUNNER

Abfall als Langzeitrisiko

W. KASPER

Behebung von Umweltschäden - am Beispiel des Grundwassers der Mitterndorfer Senke

H. KALLENBACH

Zur Geologie von Berlin: Wirtschaftliche Nutzung und ökologische Probleme

E. SEMENZA, M. GHIROTTI

Vaiont / Longarone - 30 Jahre nach der Katastrophe

H. LUDESCHER, P. OBERNHUBER

Das Verhalten der Kölnbreinsperre nach der Errichtung einer talseitigen Abstützkonstruktion

Band 2 BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1995

Barbara-Gespräche	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau" Payerbach 1995	Seite 1 - 290	Wien 1997
-------------------	--------	--	---------------	-----------

1. Tag

GEOGEN-ANTHROPOGEN

Wertstoffe - Schadstoffe

Entstehung und Wirkung auf die Umwelt

W. TUFAR

Rezente hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung (Komplexmassivsulfiderze - "Schwarze Raucher") an aktiven Spreizungsrücken am Ozeanboden

K. AUGUSTIN-GYURITS

Geochemische Untersuchungen an Fluß- und Bachablagerungen in Niederösterreich - Vergleich mit Bodendaten

R. GÖD

Die Arsenanomalie Feistritz / Wechsel

G. MÜLLER

Schwermetallgehalte in Fluß- und Seeablagerungen als Spiegelbild der historischen Entwicklung - weltweite Beispiele - Entsorgungsfragen

O. SCHERMANN

Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche und ihre Anwendung in der Umweltekundung

G. WESSELY

Die Bohrung Payerbach-Thermal TH1 Geologische Grundlagen - Ergebnisse

2. Tag

HAUSMÜLL-VERSUCHSANLAGE BREITENAU

8 Jahre Untersuchungsergebnisse

A. LAGERKVIST, H. ECKE

Deponieversuchsanlagen aus internationaler Sicht

G. RIEHL-HERWIRSCH,
P. CARNIEL M. HACKENBERG

Die Versuchsanlage Breitenau - Aufbau und Wasserwegsamkeiten, Ergebnisse und Fragen

E. BINNER, Th. LAHNER

Wasserhaushalt und Emissionssituation am Beispiel der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau

D. RANK

Isotopenuntersuchungen an Sickerwässern der Versuchsanlage Breitenau

P. LECHNER

Die Emissionen von Deponien - derzeit und in Zukunft

Band 3 BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach1997

Barbara-Gespräche	Band 3	"Verkehrswege im Osten Österreichs" "Wasser - Boden - Luft, Grenzwerte-Richtwerte, Sinn oder Unsinn" Payerbach 1995	Seite 1 - 290	Wien 1998
-------------------	--------	--	---------------	-----------

1. Tag**VERKEHRSWEGE IM OSTENÖSTERREICHS***Nach Ostöffnung und EU-Beitritt***W. DEMMER**Der Geologe em.Univ.Prof. DDr. E. Clar
als Lehrer und Leitbild der österreichischen Ingenieurgeologie**F. ZIBUSCHKA**

Die Verkehrsplanung in Ostösterreich

W. GOBIET

Anbindung Südostösterreichs an die europäischen Verkehrswege

G. SPAUN

Geologische Voruntersuchungen zur Umfahrung Haag - St. Valentin

J. KAISERDie geologische Erstaufnahme beim Bau des Sondierstollens für den
Semmeringbasistunnel als Grundlage aller weiteren Arbeiten und
Berechnungen**K. KLIMA**

Geologische Erkundung zur Trasse des Traidersbergtunnels, Steiermark

N. TOPLITSCH

Barbara - Weg einer Heiligen durch die Jahrhunderte

2. TAG**WASSER - BODEN - LUFT***Grenzwerte - Richtwerte, Sinn oder Unsinn?***J. WIMMER**How clean is clean, how safe is safe? Warum es ohne Grenzwerte nicht
geht - und mit ihnen nicht viel besser.**H.D. GREGOR**

Der "Critical Loads" - Ansatz als Konzept zur Grenzwertfindung

G. EDERStoffeintrag in das Grundwasser aus Böden mit landwirtschaftlicher
Nutzung (Lysimeteranlage Gumpenstein)**M. HACKENBERG**

"Arsen und Spitzenhäubchen". Zur Geschichte des Arsens

TH. FRISCHEROzon und seine Auswirkungen auf kindliche Atemwege -
Untersuchungen in NÖ**M.P. JAUMANN**

Können Grenzwerte oder Richtwerte die Menschen schützen?

Band 1 (ATS 300,--), Band 2 (ATS 380,--) Band 3 (ATS 380,--) und Band 4 (ATS 380,-) können über folgende Adressen bezogen werden:

Geol. Dienst des Landes NÖ, HR Dr. P. GOTTSCHLING, A - 3108 St. Pölten, Landhausplatz 1

oder: Geoschule Payerbach, 2650 Payerbach, Villenstraße 11, Fax 02666/52930

oder: Dr. G. RIEHL - H., 2801 Katzelsdorf, Hauptstraße 70, Fax 02622/78 24 44

IN VORBEREITUNG

Band 5 BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1998

Im Jahr 1998 fanden die Barbaragespräche der Geoschule Payerbach unter dem Ehrenschatz von Landeshauptmann Dr. Erwin PRÖLL mit Fachvorträgen und ausführlichen Diskussionen zu folgenden Themenkreisen statt: Die Drucklegung der nachfolgend angeführten Fachvorträge und ausführlichen Diskussionen ist in Vorbereitung.

- 1. Tag KLIMA - ENTWICKLUNG**
Geogener Ablauf und menschlicher Einfluß
- W. W. HAY** Die Klimaentwicklung im Verlauf der Erdgeschichte
R. ZAHN, Klimaentwicklung und der Beitrag des ozeanischen Wärmetransportes
J. NEGENDANK Maare und Eiskerne als Zeugen des Klimawandels
D. RANK, W. PAPESCH Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf - Indikatoren für Klimaänderungen
W. VORTISCH Menschliche Bodennutzung und Klima
J. NEGENDANK Die Möglichkeiten von Altersbestimmungen in den Erdwissenschaften
- 2. Tag ABFALLENTSORGUNG AUS ERDWISSENSCHAFTLICHER SICHT**
Alte Deponien-Verbrennung-Ablagerung mit Vorbehandlung
- W. ENTENMANN** Schutz des Grundwassers durch Basisdichtungen
S. MELCHIOR Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten - mögliche Varianten und Ergebnisse aus der Überwachung ausgeführter Systeme
K. SCHEIDL Die thermische Abfallverwertung im Umweltvergleich
H. HUBER, M. JAROS, P. LECHNER Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken
M. HUMER, D. GRASSINGER, P. LECHNER Deponiebürtige Methanemissionen und deren Vermeidung; mechanisch - biologische Abfallbehandlung
W. VORTISCH Die endgültige Abfallagerung nach dem Vorbild der Natur

Band 6 BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1999

Im Jahr 1999 fanden die Barbaragespräche der Geoschule Payerbach mit Fachvorträgen und ausführlichen Diskussionen zu nachstehenden Themenkreisen statt. Die Drucklegung der Fachvorträge und der ausführlichen Diskussionen ist in Vorbereitung.

- 1. Tag EISEN**
Vom Erz zum Stahl
- M. HACKENBERG** Bergbau im Semmeringgebiet - ein geographisch-historischer Überblick
W. TUFAR Die gegenwärtige Weltrohstoffversorgung mit Eisen aus lagerstättenkundlicher Sicht
W. PROCHASKA Entstehung von Sideritlagerstätten, Interpretation von Flüssigkeits einschlüssen

- L. WEBER* Zur metallogenetischen Karte Österreichs - Vorstellung der CD-rom
H. STRAUBE Der Weg vom Erz zum Stahl mit historischen Schwerpunkten

2. Tag

MINERALISCHE MASSENROHSTOFFE

Abbau und gesellschaftliche Akzeptanz

- K. AUST* Massenrohstoffe und Baurohstoffe - Abbauproblematik aus Sicht der Behörden
G. POPPINGER Kiesgruben - Abbauproblematik von Massenrohstoffen aus Sicht der Wirtschaft
H. AUGUSTIN Schlacken als Rohstoff im Straßenbau
G. RIEHL - HERWIRSCH Neugestaltung einer ökologischen Landschaft als Ziel der Rekultivierung und Nachnutzung von Abbaubereichen
E. REIDINGER Wiener Neustadt A.D. 1192 - Stadtplanung im Grundwasser
-

VORSCHAU

BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 2000

1. Tag **VULKANISMUS - ERDBEBEN**

Grenzen der Normalität ?

Dr. Kurt DECKER, Universität Wien. Geozentrum, Institut für Geologie
Erdbeben - sichtbare Zeichen anhaltender Gebirgsbildung in
den Ostalpen

Univ.Prof. Dir. Dr.Jochen ZSCHAU, GeoForschungsZentrum Potsdam
Vulkan- und Erdbebenkatastrophen - Herausforderung
zwischen Fortschritt und menschlichem Versagen

2. Tag **WIRTSCHAFTLICHKEIT - VORGABE DER NATUR - UMWELT**

Entscheidungen im Spannungsfeld

Dr. Hannes FARNLEITNER, Bundesminister f. wirtsch. Angelegenheiten a.D.
Entscheidungen zwischen Politik, Wirtschaft und
Umweltpflege

Komm.Rat Gerold NEUPER, Dolomitwerke Eberstein, Kärnten
Festgesteinsabbau im Spannungsfeld von Geologie,
Wirtschaftlichkeit und Umwelt

Ass.Prof. Dr. Walter PROCHASKA, Montanuniv. Leoben, Institut f. Geologie
Lassing - Analyse einer Katastrophe

MR Doz. Dr. Leopold WEBER, Montanbehörde, Bundesministerium f.
Wirtschaft und Arbeit
Die Bergwasser - „Explosion“ Nassereith, Ursache und
Problemlösung

DDipl.Ing. Dr. Helmut HABENICHT, M.S.
Schluß dem Überfluß - Die Falle der menschlichen Mängel bei
der Bewahrung der Umwelt

PODIUMSDISKUSSION MIT DEN VORTRAGENDEN

und

Vorstandsdir. a.D. Ing. Gerhard POPPINGER

Univ.Prof. Dr. German MÜLLER

Univ. Prof. Dr. Heinz KALLENBACH:

u.A.



GEOLOGISCHE ZEITTABELLE

M. HACKENBERG; G. RIEHL - H.

GROSSEREIGNISSE		FORMATION	EPÖCHEN	GRUPPEN	ZEIT (Mio Jahre)	FAUNA UND FLORA	WICHTIGERE BEGEBENISSE	gebirgs-BILDUNG	GLAZIALE																																																								
10 Mio. Jahre 10 Mio. Jahre		nach Unterlagen des geol. Institutes TU Wien, THENIUS 1953, 1964, THENIUS & VAVRA 1996; TOLLMANN 1965, 1993; BRINKMANN 1966; FLÜGEL & SCHÖNLAUB 1972; SEIBOLD 1974; SCHÖNLAUB 1979; mit Ergänzungen nach den Kurzfassungen der Barbara Gespräche 1997 und REIMOLD 1997, zusammengestellt für die Barbara - Gespräche 1997																																																															
* nur Krater über 20km																																																																	
KÄNOZOIKUM Elgytyn 23 km Nördlinger Ries 24 km Houghton 20 km Chesapeake 85 km Mastash 29 km Popigal 100 km Kamenak 25 km Montserrat 45 km Loganscha 20 km Chocoma 240 km Kara /Ust-K. 60/25 km Manson 35 km Boltych 25 km Steen River 25 km Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN	QUARTÄR Holozän Würm Ries Mindel Günz Pleistozän	(Mio Jahre) 0,01 0,7 1,8	Erscheinen des Menschen	anthropogene Einflüsse, Seetone, Torf, Ausbleich übersteilter Talflanken Wechsel Kalt/Warmzeiten, Akkumulation/Erosion, starke Übersteilung der Talflanken, Abtragung tertiärer Verwitterungsschichten, glaziale Sedimente, Löss, Moränen, Terrassen	endgültige Heraushebung der Alpen Verlandung des Wr.Beckens Abtauchen des Wiener Beckens Sedimente der Molassezone Sedimente der Flyschzone Sedimente der Gosaubecken Sedimente der Nördlichen Kalkalpen	quartäre Kaltzeit nachglaziale Phasen alpidisch: vorgesaltische																																																										
		MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN	TERTIÄR Miozän Oligozän Eozän Palaeozän	Pont Pannon Sarmat Baden Karpat Ottinang Egerburg Eger Aquitan alt: Pannon Sarmat Torton Helvet Burdigal					5 24 38 56 65	Aussterben Saurier, Ammoniten u.s.	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																																				
				MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN					KREIDE Oberkreide Cenoman Unterkreide Neokom	Maastricht Campan Santon Coriolic Turon Alb Aft Cenoman					71 83 87 89 91 97 113 119 144	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																															
										MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN					JURA Malm Dogger Lias						Rhät Nor Karn Ladin Anis Skyth	163 187 210 218 225 230 237 240 248	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																								
																MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	TRIAS Keuper Muschelkalk Buntsandstein						Rhät Nor Karn Ladin Anis Skyth	218 225 230 237 240 248	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																	
																							MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	PERM Zechstein Rotliegend						Zechstein Rotliegend	286 296	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																										
																														MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	KARBON Pennsylvanien (Oberkarbon) Mississippian (Unterkarbon)						Pennsylvanien (Oberkarbon) Mississippian (Unterkarbon)	330 380	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																			
																																					MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	DEVON Oberdevon Mitteldevon Unterdevon						Oberdevon Mitteldevon Unterdevon	376 390 408	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische												
																																												MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	SILUR Oberasilur Unterasilur						Oberasilur Unterasilur	418 438	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische					
																																																			MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km						NEOGEN PALAEOGEN	ORDOVICIUM Oberordovicium Mittelordovicium Unterordovicium						Oberordovicium Mittelordovicium Unterordovicium	460 480 505
MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN					KAMBRIUM Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium	Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium	520 560 590	ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere																																																	alpidisch: vorgesaltische							
		MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN			PROTEROZOIKUM Ediacara-Fauna erste wirbellose Tiere	Ediacara-Fauna erste wirbellose Tiere	2900				ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																																				
				MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN	ARCHAIKUM Blaualgen Leben	Blaualgen Leben	4600									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																															
						MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN	PERM Zechstein Rotliegend		Zechstein Rotliegend	286 296													ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																								
								MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km		NEOGEN PALAEOGEN	KARBON Pennsylvanien (Oberkarbon) Mississippian (Unterkarbon)					Pennsylvanien (Oberkarbon) Mississippian (Unterkarbon)						330 380									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																																	
											MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km					NEOGEN PALAEOGEN						DEVON Oberdevon Mitteldevon Unterdevon	Oberdevon Mitteldevon Unterdevon						376 390 408									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																										
																						MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN						SILUR Oberasilur Unterasilur	Oberasilur Unterasilur						418 438									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische																			
																													MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN						ORDOVICIUM Oberordovicium Mittelordovicium Unterordovicium	Oberordovicium Mittelordovicium Unterordovicium						460 480 505									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische												
																																				MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN						KAMBRIUM Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium	Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium						520 560 590									ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische					
																																											MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN						PROTEROZOIKUM Ediacara-Fauna erste wirbellose Tiere	Ediacara-Fauna erste wirbellose Tiere						2900								
MESOZOIKUM Carwell 39 km Azusa 30 km Gosses Bluff 22 km Morolowang 340 km Rochesauart 23 km Putschesch 80 km Manicouagan 100 km St. Martin 23 km Argentinhe Dome 40 km Clearwater E+W 22/30 km Slete Isl. 30 km Charlevoix 46 km Siljan 52 km Strangway 24 km Teague 26 km Sudbury 140 km Vredfort 300 km	NEOGEN PALAEOGEN								ARCHAIKUM Blaualgen Leben																																									Blaualgen Leben	4600						ERA der DINOSAURIER und AMMONITEN Archæopteryx mächtige Korallenriffe frühe Säugetiere	alpidisch: vorgesaltische							