

AT 8700134

OEFZS--4399

Juni 1987

LA--182/87



Österreichisches Forschungszentrum

Seibersdorf

Isotopenhäufigkeitsanalysen der Gerätekombination  
Elementaranalysator-Massenspektrometer  
(Anwendungen in der Lebensmitteluntersuchung  
und Umweltforschung)

Friedrich Pichlmayer

ISOTOPENHÄUFIGKEITSANALYSEN MITTELS DER GERÄTEKOMBINATION  
ELEMENTARANALYSATOR-MASSENSPEKTROMETER  
(Anwendungen in der Lebensmitteluntersuchung  
und Umweltforschung)

Friedrich PICHLMAYER

Vortrag, gehalten am 2. Carlo Erba Symposium  
"Elementaranalyse" Bad Soden, April 1987  
(gekürzte Fassung)

Österreichisches  
Forschungszentrum Seibersdorf  
Ges.m.b.H.  
A-2444 Seibersdorf

INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFT

## KURZFASSUNG

Die Isotopenhäufigkeitsanalytik von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel ist in vielen Forschungsgebieten von zunehmendem Interesse. Es wurde deshalb eine Methode entwickelt, durch Kopplung eines Elementaranalysators mit einem Isotopenmassenspektrometer die Gase Kohlendioxid, Stickstoff und Schwefeldioxid in rascher und einfacher Weise aus beliebigen festen oder flüssigen Proben zu erzeugen und zu messen. Anhand von Ergebnissen der Kohlenstoffisotopenbestimmung an Lebensmitteln wird gezeigt, daß Ausgangssubstanz und Verarbeitung bei Zucker, Ölen, Fetten, Mineralwässern, Spirituosen etc. überprüft werden können und Verfälschungen nachweisbar sind. Weiters werden Anwendungen auf dem Gebiet der Umweltforschung diskutiert.

## ABSTRACT

The use of stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulfur as analytical tool in many fields of research is of growing interest. A method has therefore been developed, consisting in essential of coupling an Elemental Analyzer with an Isotope Mass Spectrometer, which enables the gas preparation of carbon dioxide, nitrogen and sulfur dioxide from any solid or liquid sample in a fast and easy way. Results of carbon isotope measurements in food analysis are presented, whereat it is possible to check origin and treatment of sugar, oils, fats, mineral waters, spirituous liquors etc. and to detect adulterations as well. Also applications in the field of environmental research are given.

## Einleitung

Die Anwendung stabiler Isotope in den verschiedensten naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten hat in den letzten Jahren an Bedeutung stark zugenommen.

Die Ursachen hierfür sind einerseits das verstärkte Angebot an kommerziellen Isotopenmassenspektrometern hoher Präzision und Bedienungskomforts und andererseits die Verfügbarkeit einer breiten Palette isotopisch markierter Tracersubstanzen. Von großem Vorteil ist auch, daß die bei der Verwendung von Radioisotopen nötigen Strahlenschutzvorkehrungen entfallen.

Besondere Bedeutung für die Lebenswissenschaften haben die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel, deren Isotopenhäufigkeiten in den zu untersuchenden Substanzen allerdings nicht unmittelbar gemessen werden können; vielmehr müssen die genannten Elemente zunächst in geeignete Meßgase, nämlich CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> übergeführt werden, die dann im Massenspektrometer zur Analyse gelangen.

Zur Erzielung höchster Analysengenauigkeit sind dies magnetische Sektorfeldgeräte mit Elektronenstoßionisation, Mehrfachionenauf-fänger und Doppelgaseinlaß-System.

Die Meßgasaufbereitung erfolgte in der Vergangenheit in mehreren, meist naßchemischen Schritten, z.B. Kjeldahlaufschluß und Rittenbergmethode im Falle des Stickstoffs, sodaß Kosten und Arbeitsaufwand der Durchführung von Serienuntersuchungen im Wege standen.

Am Forschungszentrum Seibersdorf wurde nun durch den Einsatz eines Elementaranalysators zur Meßgaserzeugung eine nachweisempfindliche, schnelle und für viele Anwendungen ausreichend präzise Alternative entwickelt (1), (2).

Die durch Verbrennung der Probe nach Zufuhr einer definierten Sauerstoffmenge bzw. durch Pyrolyse entstehenden Gase CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> werden purifiziert, gaschromatographisch getrennt und nach entsprechendem Splitting des He-/Meßgasstromes in das Massenspektrometer eingelassen.

Die Isotopenhäufigkeiten werden aus der Integration der Ionenströme der entsprechenden Molekülsorten und nach Anwendung geeigneter Korrekturen (3) berechnet.

Die Meßergebnisse werden, wie üblich, in der  $\delta$ -Notation angegeben, das ist die relative Differenz der Isotopenverhältnisse von Probe und Standard, z.B. im Falle des Kohlenstoffs:

$$\delta^{13}\text{C} \text{ [‰]} = \frac{R_{13/12} \text{ Probe} - R_{13/12} \text{ Standard}}{R_{13/12} \text{ Standard}} \cdot 1000$$

wobei auf den PDB-Standard (Belemnit der Pee Dee Formation, South Carolina) bezogen wird.

### Methodenmerkmale und Anwendungsgebiete

Die Haupteigenschaften der Gerätekombination Elementaranalysator-Massenspektrometer sind:

- Selektive und sensitive Bestimmung des Gehaltes der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel, sowie deren Isotopenhäufigkeiten in beliebigen festen und flüssigen Proben
- Einwaage: 0,3 bis 30 mg/Probe
- Analysendauer: ca. 3 Min/Element
- Externe Präzision: ca. 0,1 bis 0,2 ‰ für C und N  
ca. 0,5 ‰ für S

Es ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten dieser analytischen Methode unter anderem auf folgenden Gebieten:

- Lebensmitteluntersuchungen (z.B. die Ausnützung der Kohlenstoffisotopenfeinvariation zwischen C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-Pflanzen)
- Umweltanalytik (Tracertechnik und Isotopenfeinvariation)
- Landwirtschaftliche Forschung (meist Tracerversuche z.B. Stickstoff-Fixierung von Pflanzen)
- Geologie (Erdölprospektion z.B. Reifegrad der organischen Substanz im Muttergestein)
- Forensische Chemie (Untersuchung der Kohlenstoffisotopen in Haaren, Nägeln etc.)
- Klinische Medizin (z.B. Frühdiagnose von Stoffwechselstörungen)
- Pharmakokinetik (Untersuchung von Resorption und Abbau von Arzneimitteln im Körper)
- Biotechnologie (Untersuchung von Reaktionsabläufen, Verfahrensoptimierung)

Die sogenannte Isotopenfeinvariation entsteht durch die Tatsache, daß die natürlich isotopische Zusammensetzung der einzelnen chemischen Elemente nicht konstant ist. So sind zum Beispiel in den Nuklidkarten lediglich Mittelwerte der natürlichen Isotopenhäufigkeiten angeführt. Der Grund für die Schwankung ist das durch die unterschiedlichen Kernmassen bedingte, geringfügig differente Verhalten der einzelnen Isotope bei physikalischen und chemischen Prozessen.

Die Isotopenfraktionierungsmechanismen sind im einzelnen:

- Isotopenaustauschreaktionen (Gleichgewichtsreaktionen)
- Kinetische Prozesse (Ein-Richtungsreaktionen)
- Phasenänderungen (Rayleigh-Destillation)
- Diffusion.

Zufolgedessen variiert die Isotopenkomposition des betrachteten Elementes je nach chemischer Verbindung, Substanzherkunft und Bildungsmechanismus. Die Unterschiede - sie liegen im  $\delta$ -Promillebereich - sind von der relativen Massendifferenz der Isotope abhängig und bei den leichten Elementen stärker ausgeprägt.

Diese Isotopenfeinvariation kann daher als natürliches (intrinsisches) Unterscheidungsmerkmal sonst gleicher Substanzen analytisch ausgewertet werden.

Im nachfolgenden wird auf die beiden ersten Anwendungsgebiete anhand von Beispielen näher eingegangen.

### **Lebensmitteluntersuchungen**

Kinetische Isotopie-Effekte reichern im allgemeinen das schwerere Isotop (C-13 im Falle des Kohlenstoffs) in den biosynthetisierten Substanzen ab. Andererseits werden durch Evapotranspirationsprozesse der Pflanzen die schwereren Isotope der Elemente in Blatt und Frucht angereichert (D, O-18).

Terrestrische Pflanzen, die Hauptquelle der Kohlehydrate unserer Nahrung, photosynthetisieren vor allem nach dem C<sub>3</sub>- (Calvin Bassham) und dem C<sub>4</sub>- (Hatch Slack) Mechanismus.

Die Isotopenfraktionierung dieser beiden Gruppen gegenüber dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von ca. -7 ‰ des Luft  $\text{CO}_2$  ist verschieden groß. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte betragen -24 bis -30 ‰ bei den  $\text{C}_3$ -Pflanzen (die meisten europäischen Pflanzen) und -9 bis -13 ‰ bei den  $\text{C}_4$ -Pflanzen (Mais, Zuckerrohr).

Während diese großen Schwankungsbreiten durch die unterschiedlichen Pflanzenarten und Klimaverhältnisse bedingt sind, streuen die Werte innerhalb einer Pflanzenart an einem Standort nur um wenige zehntel Promille. Die Bestimmung des C-13-Gehaltes stellt daher ein wertvolles Hilfsmittel zur Beurteilung von Herkunft und Behandlung von Nahrungs- und Genußmitteln dar. Dies ist umso wichtiger, als für Qualitätskontrollen von Lebensmitteln chemische Analysen allein nicht immer ausreichend sind.

In manchen Fällen ist die Isotopenanalyse am Gesamtkohlenstoff für die Interpretation nicht ausreichend; dann ist die Probe in die Inhaltstoffe Kohlehydrate, Proteine und Lipide aufzutrennen, die ihrerseits verschieden stark (und zwar in dieser Reihenfolgen zunehmend) gegenüber dem Luft  $\text{CO}_2$  isotopisch fraktioniert sind.

In den Tabellen 1, 2 und 3 sind Kohlenstoffgehalt und Isotopenzusammensetzung von verschiedenen Lebensmitteln als Mittelwerte aus jeweils mindestens sieben Messungen angeführt.

Die Standardabweichung der Isotopenanalyse beträgt 0,1 ‰.

Bei der ersten Produktgruppe, den Sprituosen (Kurzzeichen des Herkunftslandes in Klammer) sind die Unterschiede zwischen  $\text{C}_3$ - und  $\text{C}_4$ -Pflanzen deutlich zu erkennen. Die Whiskyherstellung erfolgt entweder aus Gerste oder Mais. Der Whisky, Marke "Teachers" ist eine Mischung beider Produkte. Aufgrund der Isotopenwerte der Ausgangsprodukte kann der Gerstenanteil zu 42 % errechnet werden. Der Whisky "Glenn Fiddich" ist, wie deklariert aus Gerste erzeugt. Ebenso ist der Rum "Bacardi" als Zuckerrohrprodukt einzustufen.



Das Weinäthanol ist isotopisch im wesentlichen durch den C<sub>13</sub>-Gehalt des Traubenmostes definiert, da bei der alkoholischen Gärung nur eine geringe Isotopenverschiebung auftritt. Aus Erdöl synthetisiertes Äthanol ist ebenso wie die synthetische Essigsäure isotopisch leichter als die entsprechenden Naturprodukte.

Bei den Zuckern (Tab. 2) tritt der Unterschied zwischen Zuckerrübe und Zuckerrohr zu Tage.

Die Rübenzucker aus Österreich sind isotopisch bemerkenswert einheitlich und vom Wein-Äthanol verschieden, sodaß letztlich auch Weinaufzuckerungen bei reinsortigen Weinen eines bestimmten Anbaugebietes erkennbar sein sollten.

Die Bemühungen, zwischen Wald- und Blütenhonigen zu unterscheiden, sind weniger erfolgreich. Immerhin ist die Falschdeklarierung des Maishonigs zu erkennen und ein eventueller HFCS (High-fructose corn syrup)-Zusatz wäre leicht nachzuweisen. Die Umgehung des Reinheitsgebotes für Biere ist im Falle von Mais- und Zuckerrohrzusätzen ebenfalls überprüfbar. Für die Öle gilt oben gesagtes sinngemäß. Bei den Fetten und Milchprodukten sind der Einfluß der Tierernährung sowie bakterielle Prozesse zu berücksichtigen.

Gegebenenfalls ist die Korrelation mit den Isotopenanalysen anderer Elemente (N-15, O-18, Deuterium) nützlich.

### **Umweltanalytik**

Zu den Aufgabenstellungen der Umweltanalytik zählt neben anderem die Untersuchung von Schadstoff-Ausbreitungsvorgängen in Luft, Wasser und Boden, sowie die Verursacherermittlung. In beiden Fällen können durch Isotopenanalysen zusätzliche Informationen gewonnen werden.

Die Isotopenverhältnis-Tracermethoden in der Schadstofftransport- und Ausbreitungsanalyse sind:

- Explizite Tracer (sie werden den Emittenten zugesetzt z.B.:  $^{13}\text{CO}_2$ ,  $^{13}\text{C}^{10}\text{O}_2$ ,  $^{13}\text{CD}_4$ )
- Intrinsische Tracer: Meßtechnische Nutzung der geringen Isotopenverhältnisunterschiede (Isotopenfeinvariation) in Gas, Aerosolen, Niederschlägen etc. zwischen den verschiedenen Emittentengruppen.

Als Probensammler fungieren diverse technische Sammeleinrichtungen oder die Natur selbst (Schneesichten, See-Sedimente, Bioindikatoren).

Ein instruktives Beispiel der Bestimmung bzw. des Ausschlusses eines Schadstoffemittenten mittels der Isotopenfeinvariationsanalyse lieferte die Untersuchung von verschmutzten Schneeschichten in der Umgebung eines Kohlekraftwerkes. Es war in diesem Fall nachzuweisen, ob die Schneekontamination auf die kraftwerkspezifischen Substanzen nämlich Kohlestaub und/oder Rauchgas-Entschwefelungsprodukt (REA) zurückzuführen ist. Mögliche Emissionsquellen sowie Schneeproben von definierten Immissionsmeßpunkten wurden hinsichtlich ihrer  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte analysiert, sowie im selben Meßvorgang auch die Gehalte von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Schneeproben 1 bis 11 stammen aus der Umgebung des Kraftwerks, die Vergleichsprobe 12 aus einer anderen Region. Die eingesetzte Kohle weist einen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-23,5 \text{ ‰}$ , auf, während der des REA-Produktes mit  $-37,5 \text{ ‰}$  wesentlich negativer ist. Die Ursache hierfür dürfte in der Isotopenfraktionierung bei der chemischen Umsetzung von Teilen des Rauchgas- $\text{CO}_2$  zu Karbonaten in der REA zu suchen sein. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Schneeproben liegen im Bereich zwischen  $-23,7$  und  $-25,0 \text{ ‰}$ .

Signifikante Beiträge des REA-Produktes zu den Immissionen der untersuchten Meßpunkte können aufgrund seines stark abweichenden Kohlenstoffisotopenverhältnisses ausgeschlossen werden. Gut zu erkennen ist hingegen der Beitrag der Bodenerosion zur Probe 6. Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Bodens dieses Gebietes ist wegen des Gehalts an natürlichen Karbonaten weniger negativ, er beträgt  $-14,6 \text{ ‰}$ . Die Probe 6 weist als Mischung von Bodenbeitrag und Aerosolanteil den dazwischenliegenden Wert von  $-17,2 \text{ ‰}$  auf.

Aufgrund der stark verschiedenen Konzentrationsverhältnisse Kohlenstoff zu Schwefel im Kohlestaub einerseits und in den Schneeproben andererseits ist ein merklicher Kohlestaubanteil an der Schneekontamination ebenfalls auszuschließen.

Ein anderes Beispiel sind Isotopenuntersuchungen zum Kohlenstoffhaushalt von Seen. Die daran beteiligten, komplexen Prozesse liefern Produkte, welche jeweils unterschiedliche  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen:

- Organisch gebundenes C (autochthone Flora und Fauna)
- Eintragung von organischem C (Zuflüsse, Ufererosion, Zivilisationsabfall)
- Eintragung von anorganischem C (Karbonate)
- Im Wasser gelöste Karbonate
- $\text{CO}_2$ -Austausch (Luft/Wasser)
- Sedimentierung
- $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ -Produktion aus dem Schlamm.

Aus den Sedimentschichten kann bei bekannter Sedimentierungsrate die zeitliche Entwicklung der Ablagerung organischen Materials abgelesen werden.

In der Abbildung 1 ist die Isotopenzusammensetzung des anorganischen Kohlenstoffs, des organischen Kohlenstoffs und des Gesamtkohlenstoffs in verschiedenen Schichttiefen eines Sedimentbohrkernes wiedergegeben. Beprobte wurde ein österreichischer Alpensee. Mittels Cs-137 und Pb (Po)-210 Datierung erfolgte die Bestimmung der Sedimentationsrate (8). Sie beträgt an dieser Stelle ca. 3 mm/Jahr. Gleichzeitig mit den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Proben wurde auch die anorganischen- und organischen Kohlenstoffgehalte bestimmt. Diese betragen in den älteren Schichten ca. 7 % bzw. 1,7 %, während die jüngste gemessene Probe (Nr. 303) einen anorganischen C-Gehalt von 7,6 % und einen organischen C-Gehalt von 2,1 % aufweist. Die anorganischen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sind über die Sedimenttiefe relativ konstant und liegen bei -4 ‰, bei den Werten des organischen Kohlenstoffs ist für die jüngere Zeit eine Abnahme um ca. 2 ‰ festzustellen, welche als verstärkte Eintragung von Erdölprodukten gedeutet werden kann. Für eine genaue Interpretation ist jedoch eine Vielzahl von Messungen sowie die Einbeziehung auch anderer analytischer Daten nötig.

Weiters sind zur Zeit Untersuchungen im Gange, welche die Möglichkeiten erforschen, aus den Isotopenhäufigkeiten der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel von Bioindikatoren (z.B. Flechten) auf Schadstoffemittenten zu schließen. Auch in diesem Falle ist die Durchführung größerer Meßserien erforderlich, welche nun mit der hier beschriebenen Gerätekombination in ökonomischer Weise abgewickelt werden können.

## Literaturverzeichnis

- (1) Pichlmayer, F., OEFZS-Ber. 4366 (1986)
- (2) Pichlmayer, F., Colombo, B., Blochberger, K., OEFZS-Ber. A-0864 (1986)
- (3) Craig, H., Geochim. Cosmochim. Acta, 12, 133 (1957)
- (4) Winkler, F. J., Schmidt, H. L., Z. Lebensm. Unters. Forsch. 171, 85 (1980)
- (5) Bricout, J., in: Schmidt, H. L., Förstel, H. and Heinzinger, K., Stable Isotopes, Elsevier (1982)
- (6) Hübner, E., ZFI, Nr. 36 (1983)
- (7) Schmid, E. R., et al., Z. Lebensm. Unters. Forsch. 166, 89, (1978)
- (8) Irlweck, K., Danielopol, D. L., Hydrobiologia 128, 175 (1985)

Tabelle 1.: KOHLENSTOFFGEHALTE (C<sub>t</sub>) UND  $\delta^{13}\text{C}$ -WERTE VERSCHIEDENER GENUSSMITTEL SOWIE ESSIG UND ÄTHANOL

	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) ( $\pm 0,1\%$ )	LITERATURANGABEN (H.L.Schmidt, F.J. Winkler, J. Bricout, H. Hübner, E.R. Schmid)
Grand Marnier, (Cordon Rouge), (F)	23,3	- 25,3	Cognac: - 25,8  Grainwhisky (Mais): - 10,9 Gerstenmalzwhisky: - 24,2 Zuckerrohr: - 10,3 bis - 12,2
Barack Palinka, (H)	10,5	- 25,0	
Rosso Antico, (I)	12,8	- 23,0	
Scotch Whisky, blended (Teachers)	11,7	- 16,5	
Scotch Whisky, malt (Glenn Fiddich)	13,0	- 24,9	
Rum Bacardi, Carta Blanca	10,4	- 10,3	
Inländer Rum (Spitz), (A)	10,0	- 22,3	
Weinbranntverschnitt (Bouchet), (A)	6,3	- 22,1	
Sherry (Croft), (E)	10,4	- 22,5	
Grappa di Barolo, (I)	12,6	- 24,8	
Cherry Brandy (Maraska), (Y)	25,8	- 24,1	
Kirschwasser (Schladerer), (D)	12,1	- 25,3	
Amaretto di Saronno, (I)	21,1	- 24,6	
Calvados, Duc d'Arthour, (F)	11,1	- 25,1	
Sljivovica, Stara Damaca, (Y)	9,3	- 23,5	
Wein, weiß (Riesling), (A)	4,9	- 25,7	
Wein, weiß (Grüner Veltliner), (A)	5,3	- 26,5	
Wein, weiß (Grüner Veltliner), (A)	5,2	- 25,1	
Wein, weiß (Rheinriesling), (A)	5,4	- 26,5	
Wein, weiß (Orvieto), (I)	4,3	- 26,7	
Wein, weiß (Retsina), (G)	5,3	- 24,8	
Wein, rosé (A)	5,1	- 25,6	
Wein, rot (Blauer Portugieser), (A)	3,4	- 25,1	
Wein, rot (Blauer Portugieser), (A)	4,3	- 26,1	
Wein, rot (Barolo), (I)	5,5	- 25,9	
Wein, rot (Sassela), (I)	4,8	- 25,7	
Met, (Alpenbienenhof), (D)	6,8	- 21,1	
Essig (Molkenessig, Mautner), (A)	2,2	- 19,6	
Essigsäure (synth./Fluka)		- 27,9	
Äthanol (synth., Merck)		- 30,8	

Tabelle 2.: KOHLENSTOFFGEHALTE ( $C_t$ ) UND  $\delta^{13}C$ -WERTE VERSCHIEDENER ZUCKER, HONIGE, KONFITÜREN UND GETRÄNKE

	C (%)	$\delta^{13}C$ (‰) ( $\pm 0,1\%$ )	Literaturangaben (H.L.Schmidt, F.J. Winkler, J. Bricout, H. Hübner, E.R. Schmid)
Zucker (Kristallzucker), (A)	40,6	- 23,9	Zuckerrübe: - 24,3 bis - 26,3
Zucker (Staubzucker), (A)	40,7	- 23,9	
Zucker (Kristallzucker, Tulln), (A)	41,4	- 23,8	
Zucker (Hellma-Wien), (A)	40,7	- 24,9	
Zucker (Wigast), (A)	39,9	- 23,9	
Zucker (Hera-Wien), (A)	40,2	- 24,2	
Zucker (Lauer-Gmünd), (A)	40,5	- 24,0	
Zucker (Zucchero Semolata), (I)	40,5	- 24,5	
Zucker (GR)	41,8	- 24,4	
Zucker (Rohrzucker)	40,1	- 11,5	
Kandisin (Kreidl, Rutter & CO), (A)	27,9	- 23,3	
Honig (A)	33,7	- 24,1	- 22,5 bis - 27,5 HFCS: - 10
Honig (naturrein, ausländisch)	35,7	- 24,0	
Honig (Kastanie), (A)	32,7	- 24,1	
Honig (TR)	34,1	- 24,3	
Honig (1983), (A)	34,8	- 23,3	
Honig (Waldhonig), (A)	33,8	- 23,2	
Honig (A)	35,4	- 23,4	
Honig (1986), (A)	32,8	- 24,6	
Honig (GR)	32,0	- 23,4	
Honig (Kirschblüten), (A)	37,5	- 24,4	
Honig (deklariert als Maishonig), (A)	31,7	- 23,6	Mais ( $C_4$ -Pflanze): - 11
Konfitüre (Heidelbeer + Zucker), (I)	27,7	- 19,2	
Konfitüre (Rote Ribisel + Zucker), (A)	29,8	- 23,0	
Apfelsaft (Happy Day)	4,6	- 24,8	C <sub>3</sub> -Pflanzen: - 24 bis - 30
Orangensaft (Goldland)	4,8	- 25,0	
Coca Cola	3,3	- 23,5	
Bier (Gösser Märzen)	3,6	- 25,1	Gerste: - 25,6

Tabelle 3.: KOHLENSTOFFGEHALTE (C<sub>t</sub>) UND  $\delta^{13}\text{C}$ -WERTE VERSCHIEDENER NAHRUNGSMITTEL

	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Literaturangaben (H.L.Schmidt, F.J. Winkler, J. Bricout, H. Hübner, E.R. Schmid)
Speiseöl (Bona, 100% Maiskeimöl)	77,4	- 15,9	Normalwert: - 15
Speiseöl (Bona, 100% Pflanzenöl)	77,6	- 28,8	
Speiseöl (Olivenöl, Bertolli), (I)	77,9	- 26,9	Normalwert: - 28,7
Schweineschmalz, (A)	76,9	- 25,6	
Suppenwürfel (tier.Fett,Hefeextr.)(D)	38,3	- 22,4	
Bratensaft (Maggi), (A)	44,2	- 22,1	
Pflanzeneiweiß (Hefefl.a.Melasse), (D)	41,9	- 21,8	
Margarine (Rama), (A)	64,0	- 25,8	
Margarine (Thea), (A)	67,6	- 26,8	
Kokosfett (Ceres), (A)	77,7	- 28,4	Kokospflanzenöl: - 27,5
Teebutter, (A)	71,8	- 24,4	
Milch (Vollmilch), (A)	7,3	- 22,6	
Milch (Alpenmilch, Maresi), (A)	14,5	- 26,2	
Milch (Milchgold, Maresi), (A)	16,1	- 26,9	
Milchpulver (Milfri), (B)	38,3	- 22,3	
Käse (Monte Nero), (A)	38,3	- 27,0	
Käse (Kräuter Gervais), (A)	27,2	- 22,3	
Kaffee (Gala Tropicana, Eduscho), (A)	50,0	- 26,9	
Kaffee (Wiener Mischung, Eduscho), (A)	50,0	- 26,8	
Kaffee (Feine Milde, Tschibo), (D)	49,5	- 28,0	
Kakao (Benco), (A)	43,5	- 25,5	
Reis (Langkorn), (A)	40,1	- 25,5	Reis: - 26
Reis (A)	39,2	- 26,7	
Mais (Streithofen), (A)	44,9	- 10,6	Mais: - 11



Tabelle 4.: N, C, S-Konzentrationen, Isotopenanalysen ( $^{13}\text{C}$ ) von kraftwerkspezifischen Substanzen und anderen Emissionsquellen sowie von Schneeproben (Nr. 1 - 12)

Probe	Feststoffe (g/m <sup>2</sup> )	% N	% C	% S	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Kohle (poln. Steink.)		1,2	70,3	0,8	- 23,5 ± 0,1
Heizöl schwer		0,5	86,8	1,5	- 27,2 ± 0,1
Boden (bei Pos. 6)		0,13	1,8	0,02	- 14,6 ± 0,2
REA-Produkt		0,05	1,7	13,1	- 37,5 ± 0,2
Flugasche		0,02	1,5	0,2	- 23,0 ± 0,3
1	0,42	4,9	10,6	12,9	- 23,7 ± 0,2
2	0,35	2,9	14,5	8,5	- 25,0 ± 0,2
3	0,45	4,0	10,7	8,0	- 23,9 ± 0,2
4	0,44	2,6	9,1	10,6	- 24,3 ± 0,3
5	0,44	4,7	12,1	10,7	- 24,4 ± 0,2
6	1,36	0,52	3,5	0,8	- 17,2 ± 0,3
7	0,52	0,8	6,6	10,2	- 23,9 ± 0,2
8	0,50	3,6	9,4	8,4	- 23,9 ± 0,2
9	0,48	4,6	10,4	8,8	- 24,8 ± 0,4
10	0,57	3,8	9,8	7,7	- 24,5 ± 0,2
11	0,44	4,1	11,1	8,2	- 24,5 ± 0,2
12	0,45	5,5	12,6	10,5	- 25,0 ± 0,2

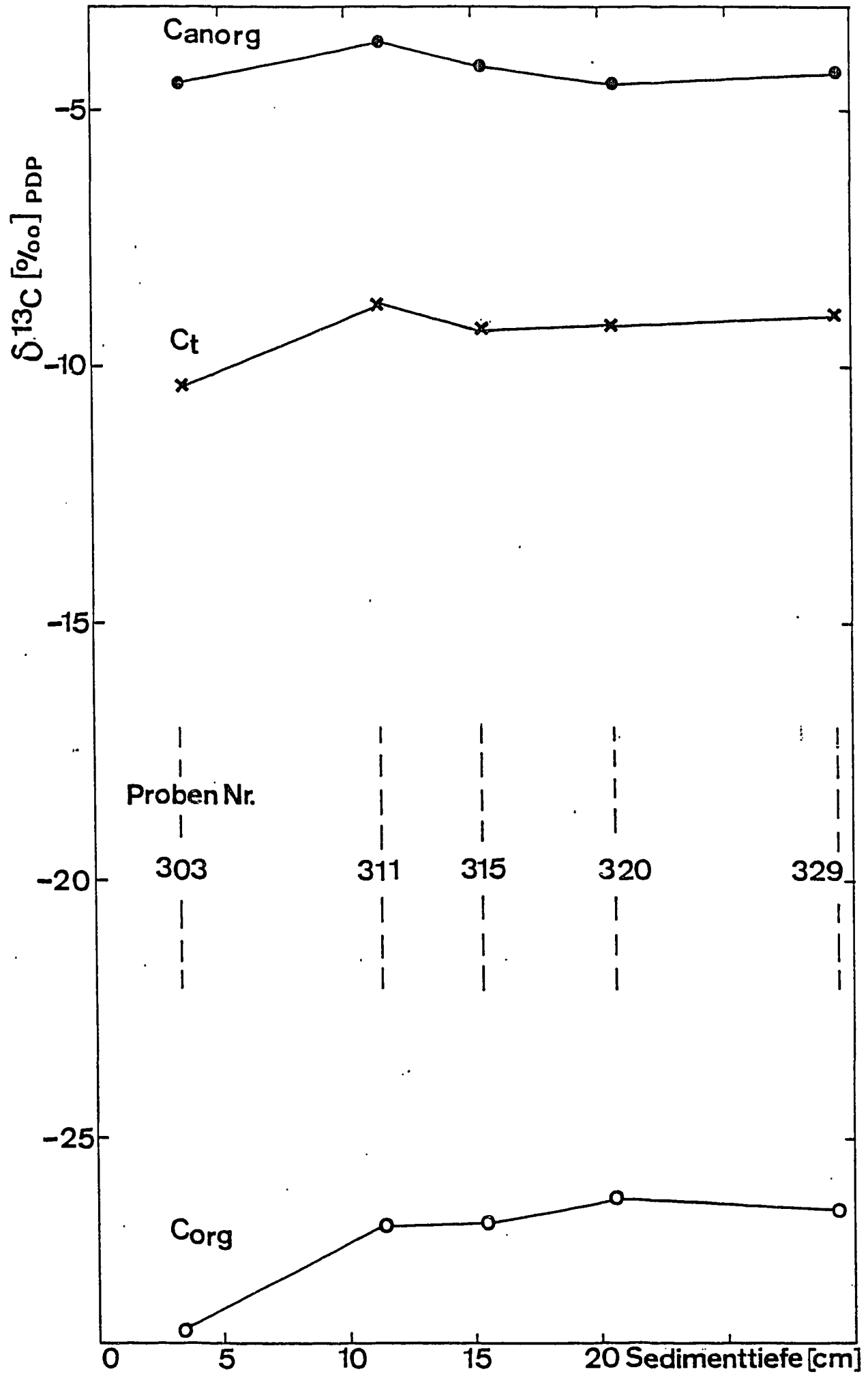


Abb.1 KOHLENSTOFF-13 GEHALT VON SEE SEDIMENTEN

ÖEFZS-Berichte

Herausgeber, Verleger, Redaktion und Hersteller:

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges.m.b.H.

A-2444 Seibersdorf, Tel. (02254) 80, Telex 014-353

Alle Rechte vorbehalten.