



Anorganische Geochemie mesozoischer Kohlen der Ostalpen (Österreich)

GERD RANTITSCH, REINHARD F. SACHSENHOFER & ERICH SCHROLL*)

6 Abbildungen und 4 Tabellen

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 55, 56, 58, 66, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 95, 98, 99, 100

Österreich
Mesozoikum
Steinkohle
Anorganische Geochemie
Geostatistik

Inhalt

Zusammenfassung	121
Abstract	121
1. Einleitung	121
2. Geologischer Überblick	123
3. Probenmaterial und Untersuchungsmethoden	124
4. Ergebnisse	124
4.1. Elementkorrelationen	124
4.2. Hauptkomponentenanalyse (HKA)	126
4.3. Elementanreicherungen und Elementverhältnisse	127
4.4. Regionale Verteilung der Analysendaten	130
5. Diskussion	130
Dank	133
Literatur	133

Zusammenfassung

In Aschen von mesozoischen Kohlen der Ostalpen (karnische Lunzer Kohlen der Nördlichen Kalkalpen, liassische Grestener Kohlen der Grestener Klippenzone und oberkretazische Gosau-Kohlen) wurden 24 Haupt-, Neben- und Spuren-Elemente analysiert. Die multivariate geostatistische Auswertung der Analysendaten zeigt, daß der regionale Faktor (detritus-lieferndes Hinterland, Bildungsraum) und weniger der Faktor der chemischen Bindung die vorhandene Elementassoziation bestimmt. Geochemische Indikatoren ergeben ein differenziertes Bild der jeweiligen Ablagerungsräume mit unterschiedlichem detritären Eintrag, Sauerstoffangebot und marinem Einfluß.

Inorganic Geochemistry of Mesozoic Coals from the Eastern Alps (Austria)

Abstract

The geostatistics of element concentrations in Mesozoic coal ashes of the Eastern Alps show a dominant influence of regional factors on the element association. Effects of the chemical binding forms of the elements are of secondary importance. Geochemical indicators reveal varying depositional environments of the coal with different detrital input, oxygen supply and salinity.

1. Einleitung

Die anorganischen Bestandteile von Kohlen (als Mineralphasen und als organisch oder anorganisch gebundene Elemente) zeigen stark schwankende Elementkonzentrationen. Ihre unterschiedlichen Bindungsformen und Anreicherungsmechanismen sowie die heterogene

Elementverteilung im Kleinbereich erschweren die Erstellung von Modellen, die die gegebene Elementverteilung erklären (BOUSKA, 1981; FINKELMAN, 1993).

Die Verteilungsgesetzmäßigkeiten anorganischer Komponenten in Kohlenlagerstätten ist sowohl im Mikro- als

*) Anschriften der Verfasser: Dr. GERD RANTITSCH, Univ.-Doz. Dr. REINHARD F. SACHSENHOFER, Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben; Univ.-Prof. Dr. ERICH SCHROLL, Geotechnisches Institut, BVFA Arsenal, Postfach 8, A-1031 Wien.

auch im Makrobereich eines Flözes vertikal und horizontal höchst variant und von biologischen, geologischen und hydrologischen Faktoren bestimmt. Der biologische Faktor ist nur bei Kohlen mit niedrigen Aschengehalten (unter 5 Gew.-%) von Bedeutung und beeinflusst insbesondere die Gehalte jener Elemente, die essentielle Bestandteile der Pflanze sind (z.B.: Ca, K, Mg, P und S, sowie die Spurenelemente B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo und Zn; SEVERSON & SHACKLETTE, 1988). Hohe Gehalte in der Asche sind durch die stoffliche Zusammensetzung des detritären Materials verursacht, das über die Medien Wasser und Luft sedimentiert wird. Nicht zu vernachlässigen sind dabei die klimatischen Bedingungen, unter denen die Verwitterung stattfindet. Ferner sind gerade die Prozesse der Sorption, Diagenese und Epigenese maßgeblich für die Anreicherung seltener Elemente, wobei das jeweilige geochemische Milieu zur Geltung kommt. Die Kohle wirkt wie ein Filter und adsorbiert Elemente, wie As, Be, Ge, Mo, Ni, Sb, V oder U. Mikrobiologische Prozesse sind besonders bei Fe, Mn, Se, S oder U über deren Redoxverhalten von außerordentlicher Bedeutung.

Vergleicht man die Durchschnittswerte von Kohlen mit den globalen Durchschnittswerten von Tonsedimenten, dann findet man (in Bezug auf die in der vorliegenden Arbeit analysierten Elemente) im Vergleich der Mittelwerte,

daß die Hauptelemente Mg, Na und K in Kohlen unterrepräsentiert sind, während andere, im besonderen Fe, Ca, P, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Sr, V, Y und Zn in Kohlen angereichert erscheinen (Abb. 1).

Die Kenntnis der Zusammensetzung der Kohlenaschen ist für zahlreiche Fragestellungen von Interesse. So beeinflusst der Chemismus der Kohlenaschen das Ascheschmelzverhalten. Unter bestimmten Umständen kann die Kohlenasche als potentieller Rohstoff betrachtet werden. Nicht zuletzt sind Gehalte an Problem- und Schadelementen bei der Deponierung oder Nutzung von Flugaschen, bzw. der Beurteilung des Gefährdungspotentials durch alte Bergbauhalden zu berücksichtigen. Darüber hinaus können geochemische Parameter wertvolle Hinweise zur Rekonstruktion des Ablagerungsraumes bzw. der herrschenden Bildungsbedingungen liefern (z.B.: SCHROLL, 1976 cum.lit.). So sind bestimmte Elementgehalte bzw. Elementverhältnisse Indikatoren der Salinität, des Sedimentationsmilieus oder Hinweise auf Liefergebiete des detritären Eintrages. Obgleich die mesozoischen Kohlen Österreichs zur Zeit ohne wirtschaftliche Bedeutung als Energieträger sind, ist deren geochemische Charakterisierung dennoch eine wissenschaftlich interessante Aufgabenstellung. Geochemische Untersuchungen österreichischer Kohlevorkommen liegen von

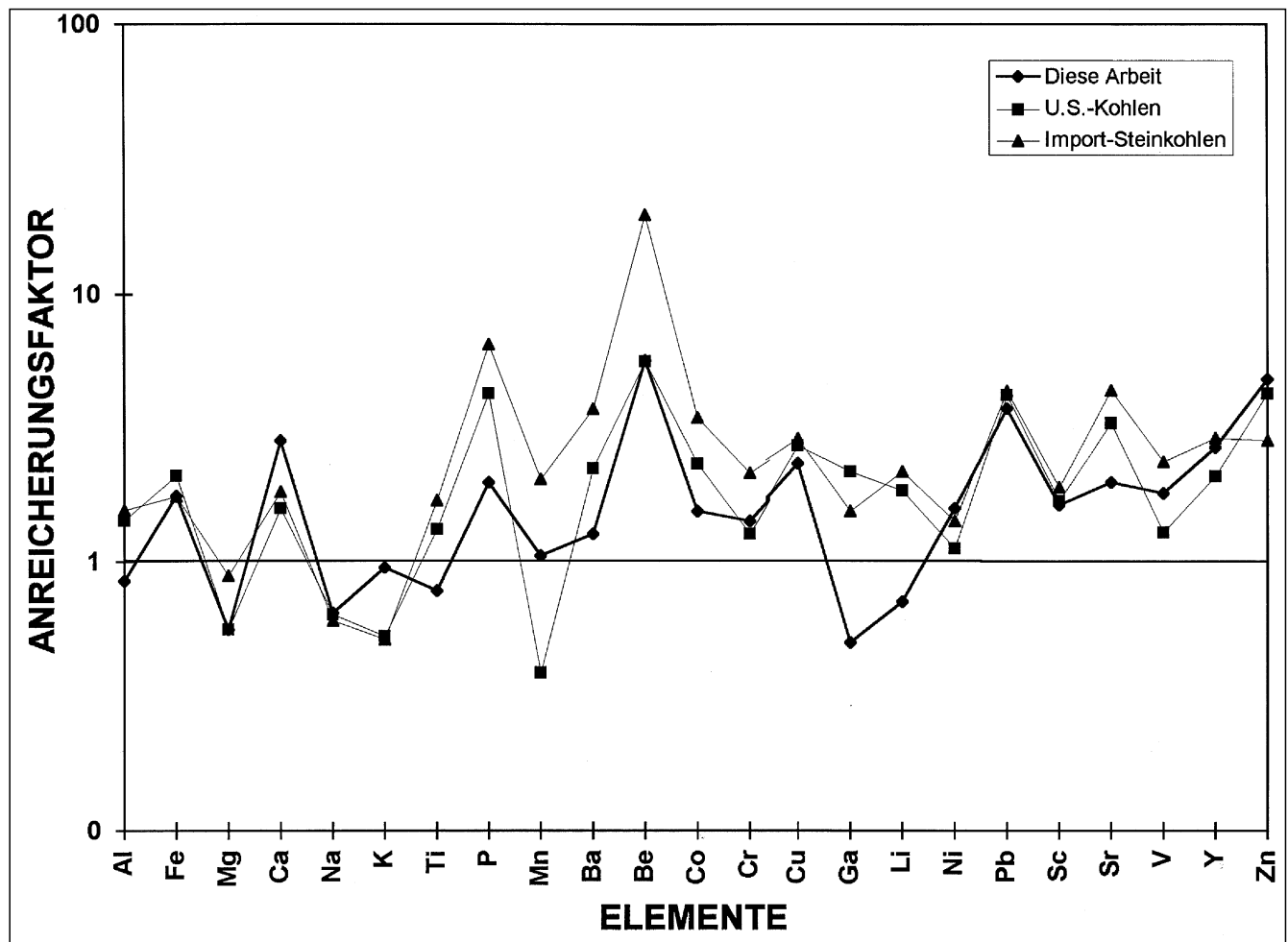


Abb. 1. Element-Anreicherung in Aschen österreichischer Import-Steinkohlen (in den Jahren 1986/87 importierte Steinkohlen aus Polen, ehemalige UdSSR, Südafrika und Australien sowie unbekannter Herkunft; AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL, 1988; 26 analysierte Proben), U.S.-Steinkohlen (FINKELMANN, 1993; bis zu 7900 Proben), und mesozoischer Kohlen der Ostalpen (Mittelwerte aller 59 Proben dieser Arbeit) im Bezug zu den Welt-Mittelwerten von Tongesteinen (Anreicherungsfaktor 1; TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961). In Kohlenaschen sind gegenüber Tongesteinen die Elemente Mg, Na und K unterrepräsentiert und die Elemente Fe, Ca, P, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Sr, V, Y und Zn angereichert.

JANDA & SCHROLL (1959), BRANDENSTEIN et al. (1960) und AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL (1992) vor. Konzentrationen seltener Wertelemente, die den globalen Durchschnitt übersteigen, wurden nicht gefunden. In Auswertung der geochemischen Analysen österreichischer Kohlegesteine hat SCHROLL (1961) in den Glanzbraunkohlen der Kreide in stärkerem Maße As und Ge angereichert bewertet, in den Steinkohlen des Jura As, Be und Ge und in der Trias As, Be, Ge, Pb, Zn und Tl. Ein geochemischer Vergleich österreichischer und ungarischer Kohlen aus der Oberkreide zeigt, daß regionale Einflüsse die Elementverteilung in diesen Kohlen wesentlich bestimmen (SACHSENHOFER & TOMSCHY, 1992).

In der vorliegenden Arbeit werden die Konzentrationen von 24 Elementen in Kohlenaschen unterschiedlichen Alters (Lunzer Kohlen – Karn; Grestener Kohlen – Lias; Go-

sau-Kohlen – Oberkreide) untersucht. Bei der Diskussion der Ergebnisse werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Bindungsverhalten der Elemente.
- Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten und dem Alter der Kohlen (ev. Rückschlüsse auf den Pauschalchemismus des detritusliefernden Hinterlandes).
- Regionale Veränderungen der Elementgehalte innerhalb eines stratigraphischen Horizontes.
- Charakterisierung des Bildungsraumes mittels geochemischer Parameter und Vergleich der Ergebnisse mit der Moorfazies.

2. Geologischer Überblick

Im Mesozoikum der Alpen Ostösterreichs treten kohleführende Formationen in drei stratigraphischen Niveaus

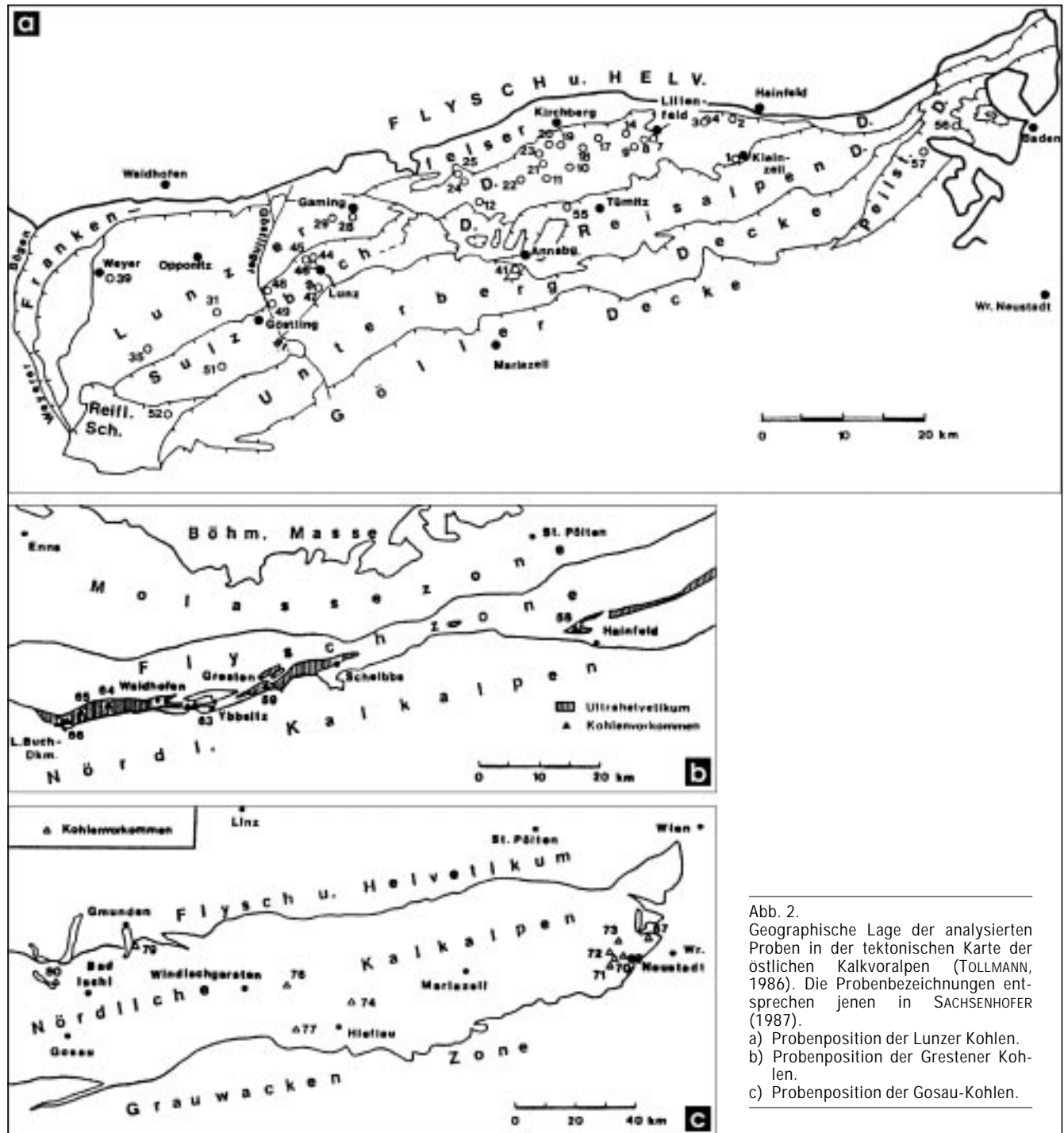


Abb. 2. Geographische Lage der analysierten Proben in der tektonischen Karte der östlichen Kalkvoralpen (TOLLMANN, 1986). Die Probenbezeichnungen entsprechen jenen in SACHSENHOFER (1987).
 a) Probenposition der Lunzer Kohlen.
 b) Probenposition der Grestener Kohlen.
 c) Probenposition der Gosau-Kohlen.

zu Tage. Es sind dies die karnischen Lunzer Schichten der Nördlichen Kalkalpen, die liassischen Grestener Schichten der Klippenzone sowie die oberkretazischen Gosau-Schichten. Die geographische und geologische Situierung der beprobten Vorkommen zeigt Abb. 2. Der folgende geologische Überblick folgt SACHSENHOFER (1987, cum lit.).

Lunzer Kohlen

Das Hauptverbreitungsgebiet der kohleführenden Lunzer Schichten (im Sinne einer Formation) befindet sich östlich der Enns in den Niederösterreichischen Kalkvoralpen. Hier sind sie am Aufbau mehrerer tektonischer Decken beteiligt. Die Mächtigkeit der Flöze erreicht tektonisch bedingt 7 m. Die ursprüngliche Mächtigkeit der Flöze betrug vermutlich weniger als 0,5 m. Verknetungen der Kohle mit dem Nebengestein erhöhen den bereits primär hohen Aschenanteil. Die Fauna der Zwischenmittel belegt brakisches Ablagerungsmilieu. Dieses korreliert mit dem hohen Schwefelgehalt der Kohle (bis 5 %). Aufgrund kohlenpetrographischer Untersuchungen und der Geometrie der Flöze wird ein subaquatisches Bildungsmilieu angenommen. Die Maceralvergesellschaftung der Kohlen ist im gesamten Verbreitungsgebiet ähnlich. Lediglich der Liptinitgehalt (v.a. Cutinit) unterliegt größeren Schwankungen (0–20 %) und deutet Faziesdifferenzierungen an. Unterschiedliche Inkohlung (Glanzbraunkohlen- bis Gaskohlenstadium) wird mit unterschiedlichen geothermischen Gradienten in prätektonischer Zeit (vor der alpidischen Gebirgsbildung) erklärt.

Grestener Kohlen

Kohleführende Grestener Schichten treten in einem E-W-streichenden Streifen entlang des Kalkalpennordrandes auf. Bergbaue befanden sich östlich der Enns zwischen dem Pechgraben und Hainfeld. Der Inkohlungsgrad reicht vom Glanzbraunkohlen- bis zum Gaskohlenstadium. Der Bildungsraum der Kohlen der westlichen Revier (Pechgraben, Buchschachen, Grossau) wird als stagnierendes, sauerstoffarmes Gewässer mit zumindest teilweiser mariner Beeinflussung gedeutet. Das Ablagerungsmilieu der Kohle der Bergbaue Ederlehen und Gresten wird als häufig trockenfallendes Moor einer Flußebene gedeutet.

Gosau-Kohlen

Während der Oberkreide wurden an der Basis zahlreicher Gosau-Becken kohleführende Sedimente abgelagert. Zum Teil wurde subaquatisch bitumenreiche Kohle mit Gagat gebildet (z.B. Unterlaussa, Gams), zum Teil kam es in (nicht näher charakterisierbaren) Sümpfen zu autochthoner Kohlenbildung. Letztere ist in der Grünbach-Neue Welt-Mulde am ausgeprägtesten. Die Gosau-Kohlen der östlichen Ostalpen sind generell Glanzbraunkohlen.

3. Probenmaterial und Untersuchungsmethoden

Im Rahmen einer Untersuchung zur Charakterisierung der Ablagerungsbedingungen und des Inkohlungsgrades der mesozoischen Kohlen Ostösterreichs (SACHSENHOFER, 1987) wurden 90 Kohlenproben von Bergwerkshalden, aus Sammlungen und Ausbissen untersucht. Von 59 Proben (42 Lunzer Kohlen, 11 Grestener Kohlen und 6 Gosau-Kohlen) wurde der Aschegehalt nach DIN 51719 (Veraschungstemperatur: 815°C) bestimmt. Die so gewonne-

nen Aschen bilden die Basis für die vorliegende Untersuchung. Nähere Angaben (genaue Lagebezeichnung, Immediatanalysen, organisch-petrologische Daten) sind SACHSENHOFER (1987) zu entnehmen.

Die Analyse von 22 Haupt-, Neben- und Spurenelementen der Kohlenaschen (Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Ni, Pb, Sc, Sr, Tl, V und Y) erfolgte mittels ICP-Atomabsorptionsspektrometrie (Luftmultiplenspektrometer Philips PV 8210) nach der gleichen Multielementanalysemethodik (Aufschluß von 0,5 g Probe im Teflontiegel mittels HClO_4 - HNO_3 [1 : 1]) wie bei der Analyse österreichischer Braunkohlen (AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL, 1992) und der in dieser Arbeit erwähnten Untersuchung von in Österreich importierten Steinkohlen (AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL, 1988). Die Elemente Li und Zn wurden atomabsorptionsspektroskopisch analysiert.

Die erste Kalibration wurde mit 26 SRM's (Silikatgesteine) vorgenommen, die Nachkalibration mit Wasser und einem Laborstandard. Die Analysenmethode wurde außerdem durch Vergleich der Daten mit denen anderer Multielementanalysemethoden (XRF, Aktivierungsanalyse [z.B. INNA] u.a.) auf ihre Verlässlichkeit überprüft.

Auf Grund der geringen Probenmengen mußte auf die Analyse weiterer Elemente verzichtet werden. Als Folge der hohen Veraschungstemperatur war die Analyse der leichtflüchtigen Komponenten, wie Hg und Mo auszuschließen.

4. Ergebnisse

Eine Zusammenstellung der Analysenergebnisse wird in Tab. 1 präsentiert.

4.1. Elementkorrelationen

Die Korrelationskoeffizienten aller 24 Elemente in den untersuchten 59 Proben sind Tab. 2 zu entnehmen. Dabei bleibt zu berücksichtigen, daß die Kohlenproben aus drei geologischen Zeitperioden stammen, die ihre eigene mineralogisch-geochemische Charakterisierung besitzen. Das Gewicht der Proben liegt in der Trias, deren Kohlen vorzugsweise tonige Aschebildner aufweisen. Im Gegensatz dazu stehen die Kreide-Kohlen, die starke karbonatische Einflüsse zeigen, aber nur durch eine geringe Probenanzahl repräsentiert werden.

Erwartungsgemäß korrelieren die an Silikate gebundenen Hauptelemente Al, K und Ti einschließlich des Spurenelementes Ga mit Korrelationskoeffizienten ($r > 0,5$). Das Elementpaar Sc und Li ist hoch korreliert und zeigt auch hohe Korrelationen mit den oben erwähnten Hauptelementen.

Die vorwiegend karbonatgebundenen Elemente Ca und Sr zeigen $r > 0,6$. Das Mg korreliert zwar mit Sr, aber nicht mit Ca. Hohe Korrelationskoeffizienten zeichnen auch die mafischen Elementpaare wie Mg/Ni, Ni/Co, Cr/Ni und Cr/Cu aus. Ferner fallen die Elementpaare Pb/Co, Pb/Cu, V/Ni und Y/Be auf. Die positive Korrelation zwischen P und Y könnte auf Yttriumphosphat (z.B. Xenotim) hinweisen. Signifikant negative Korrelationen weist hingegen das Ca mit K und Al auf. Schlecht korrelierbar sind die Elemente Fe, Na und Zn. Im Falle des Fe dürften Verwitterungsprozesse des Haldenmaterials eine gewisse Rolle spielen.

Erhöhte negative Korrelationskoeffizienten ergeben sich zwischen dem Aschegehalt und Co, Ni und Sr, was deren organische Bindung anzeigt. Schwache positive Korrelationen sind bei Al, K, Ga und Zn festzustellen.

Tabelle 1.

Elementgehalte aller Proben [in ppm] mit Aschengehalten und Vitrinitreflexion (Rr).

Proben-Nr.	Lokalität	Arche (%)	Rr (%)	ppm																							
				Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	Mn	Ba	Be	Co	Cr	Cu	Ga	Li	Ni	Pb	Sc	Sr	Tl	V	Y	Zn
TRIAS - LUNZER KOHLEN																											
1	Kleinzell	28,8	1,14	88.178	53.536	9.842	3.878	9.716	40.380	4.842	746	258	603,2	13,8	14,0	97,6	66,0	4,4	38,0	71,0	29,0	27,2	181,3	0,0	162,0	92,5	120
2	Hallbachtal	35,5	0,99	58.898	91.416	9.098	25.646	3.211	29.644	3.058	1.274	284	329,2	8,9	27,9	81,2	97,4	8,4	33,0	102,1	8,7	17,2	131,1	0,0	156,2	91,2	317
3	Benz'scher Bau	22,7	0,88	71.042	100.446	6.498	5.046	3.122	46.802	3.206	1.228	118	836,9	20,8	9,7	84,7	74,3	5,1	32,0	25,0	1,5	23,7	206,9	2,4	256,2	87,8	116
4	Wobachtal	26,9	0,88	70.610	41.936	8.306	45.934	5.482	35.544	3.792	1.486	236	308,9	10,7	19,4	70,4	114,3	9,0	36,0	87,3	59,4	27,0	204,0	0,0	144,3	109,0	416
7	Rudolfstollen	57,8	1,08	95.651	55.268	9.952	8.825	9.982	40.185	4.792	2.928	555	926,0	6,6	21,2	86,5	70,0	20,9	39,0	63,4	48,5	22,5	201,3	0,4	132,8	76,0	4.900
8	Annastollen	6,1	1,07	91.800	129.940	8.620	6.560	18.000	32.510	4.810	690	50	1.362,3	3,0	34,6	51,9	107,4	14,0	80,0	122,2	48,5	21,4	351,0	0,0	262,3	5,0	210
9	Neukarolus	41,3	1,02	62.950	46.825	6.736	4.800	9.822	22.723	3.792	784	933	516,5	5,7	22,7	93,9	76,0	13,6	33,0	73,7	38,8	16,5	122,9	0,0	124,7	38,6	11.800
10	Mittereck	13,8	0,89	59.578	153.791	10.903	66.414	3.690	20.223	2.917	2.657	5.150	1.278,0	10,6	34,7	82,6	150,9	8,0	52,0	135,7	121,2	18,1	494,4	0,0	164,9	110,1	125
11	Korngrub	11,3	0,86	79.682	105.683	8.219	9.886	4.003	26.267	3.713	1.700	1.820	2.614,1	14,3	19,8	92,5	124,3	11,0	58,0	87,7	66,0	39,2	364,4	3,9	260,1	104,5	178
12	Unterbuchberg	9,9	0,81	69.820	84.180	8.150	10.440	6,50	27.010	3,500	1,580	1,100	748,6	23,5	36,1	94,9	165,4	9,0	50,0	200,8	67,5	44,9	301,8	0,0	7,0	134,1	280
14	Bissiger-Hund	41,2	0,91	80.907	99.677	5,547	2,618	6,354	50,788	4,164	629	66	382,9	8,3	4,9	103,4	60,5	13,2	24,0	18,0	7,0	23,1	121,2	0,0	180,2	48,9	196
17	Wenigsthoft	17,1	0,91	51.374	108.410	4,744	12,090	1,986	21,844	2,722	1,940	1,164	625,5	17,9	9,8	86,2	84,9	9,0	32,0	43,2	7,0	21,3	252,1	0,0	93,5	125,8	98
18	Prinzbach	10,1	0,92	77.840	74.570	9,630	36,830	16,300	38,080	2,780	760	420	755,1	64,0	55,2	82,7	86,4	8,0	40,0	236,4	129,3	26,0	217,5	11,5	192,7	85,3	110
19	Schindleck	12,2	0,89	96.393	103.020	11,206	19,524	4,939	38,385	4,953	1,464	1,042	1.133,9	40,7	33,1	126,3	133,1	14,0	66,0	153,5	22,0	49,9	314,8	0,0	154,7	210,4	360
20	Rehgraben	15,3	0,84	62.300	172.245	5,887	10,443	5,207	33,125	3,281	718	312	620,4	15,6	15,4	83,7	143,5	9,0	24,0	82,8	53,7	22,2	289,6	0,0	174,0	95,4	92
21	Loichgraben	9,0	0,89	58.610	129.870	5,360	8,130	14,300	30,310	3,070	970	480	844,2	23,8	35,4	66,9	99,3	8,0	50,0	106,4	66,2	33,9	246,0	0,0	45,9	87,4	170
22	Guttenhofegg	13,2	0,89	63.904	150.168	5,719	11,346	1,963	23,868	3,166	683	430	964,8	23,7	20,8	107,5	132,4	7,0	46,0	84,1	173,9	24,6	195,2	4,0	82,3	94,4	168
23	Loich	29,5	0,89	56.546	60.448	4,678	2,988	3,789	28,873	2,640	384	90	421,1	20,2	6,5	75,4	64,6	6,2	34,0	28,4	5,7	19,6	120,0	0,0	165,9	95,2	49
24	Oberklaus	27,2	0,82	78.276	72.971	8,955	4,919	7,313	29,049	3,646	776	344	811,5	11,4	24,6	75,2	103,6	9,0	40,0	88,6	31,8	19,2	180,6	2,4	153,1	53,8	124
25	Köged	12,7	0,88	96.580	117.190	9,250	3,990	17,400	41,200	4,610	510	30	807,9	16,4	9,7	46,4	203,3	12,0	50,0	78,2	85,5	46,3	238,3	0,0	379,8	143,3	120
28	Gaming-1	16,2	0,95	12.242	63.870	1,368	25,252	200	2,960	596	438	326	76,7	8,6	12,9	15,1	50,2	2,0	24,0	54,3	29,1	3,1	119,6	0,0	3,0	22,7	60
28	Gaming-2	6,3	0,95	46.660	198.320	8,850	162,070	6,200	13,740	3,140	1,780	2,930	345,2	74,0	94,7	977,5	356,3	4,0	40,0	310,8	533,9	37,0	635,6	0,0	114,7	29,0	210
28	Gaming-3	3,5	0,95	78.600	174.800	9,400	61,300	11,400	23,800	5,875	6,400	225	462,3	112,3	96,8	15,5	175,3	9,0	75,0	897,3	128,3	23,0	959,3	0,0	357,5	441,5	375
29	Zürner	16,9	0,88	65.263	42.970	9,210	147,829	8,700	13,257	2,223	1,043	13	1.087,0	13,1	35,3	56,5	75,8	8,0	35,0	97,4	161,2	19,6	557,0	0,0	188,1	95,5	132
31	Moosau	5,5	0,69	41.367	86.416	7,367	163,383	200	13,200	2,850	2,300	4,283	707,8	15,8	70,5	11,2	197,8	3,0	28,0	199,0	213,3	17,0	651,7	0,0	20,3	207,0	357
35	Schnabb	22,8	0,48	96.428	88.334	9,422	4,828	5,994	38,602	5,112	608	132	571,0	14,1	10,7	128,4	90,4	8,6	30,0	47,8	31,7	21,9	209,5	0,0	143,1	68,4	128
39	Weyer	14,5	0,45	80.675	63.475	9,433	18,980	4,770	34,269	3,977	1,633	507	716,6	17,4	36,6	74,3	111,2	9,0	43,0	101,5	47,0	22,2	295,7	0,0	46,5	115,9	145
41	Schmelz	37,4	0,94	92.661	56.403	9,056	5,057	10,004	40,156	5,197	733	201	992,4	9,8	10,4	94,5	67,8	20,4	68,4	37,0	38,4	24,9	185,3	1,1	124,7	49,7	53
44	Holzapfel	9,4	0,45	71.049	85.718	9,407	38,954	6,081	22,591	3,879	1,102	899	601,9	6,3	15,4	69,0	77,2	9,0	29,0	55,6	22,2	16,4	647,6	2,3	130,9	41,7	188
45	Pramenrath-1	8,1	0,65	50.892	350.727	5,182	45,662	5,617	15,217	2,842	322	1,075	191,8	9,2	17,4	78,4	45,0	2,2	40,0	52,1	18,0	12,2	286,8	0,0	105,9	50,7	190
45	Pramenrath-2	16,9	0,65	23.681	31.781	3,614	33,479	2,034	7,677	1,258	394	748	86,5	8,8	13,0	29,3	21,9	3,0	10,0	39,8	19,4	7,3	170,0	0,0	13,0	43,5	68
46	Pöllenrath	12,4	0,71	9,235	30,969	3,760	414,001	300	1,600	2,239	1,990	7,710	105,8	11,4	93,3	115,8	69,9	0,0	28,0	317,6	237,6	45,3	783,0	0,0	1.353,6	116,9	50
47	Seekopf	27,8	0,73	74.112	61.738	7,530	2,244	5,608	32,880	4,200	408	96	457,6	5,4	7,7	73,6	71,4	4,5	59,0	25,5	32,3	19,3	183,5	1,4	113,9	22,6	96
48	Schöffal-1	-	0,65	77.579	122.836	8,402	2,684	5,370	30,877	3,564	857	139	360,4	11,8	39,4	101,2	87,0	17,6	35,0	75,0	8,4	29,7	105,4	0,0	230,5	48,4	61
48	Schöffal-2	-	0,65	58.932	85.155	7,859	2,755	5,318	20,541	2,935	1,654	1,646	612,2	4,9	11,6	70,8	55,6	10,5	31,0	72,9	12,0	20,1	105,7	0,9	134,2	45,8	55
49	Stiegenbachgr.	33,7	-	82.440	47.328	10,132	65,608	3,620	31,638	3,978	912	458	471,9	14,0	16,6	79,9	64,5	5,5	30,0	63,2	91,0	26,5	256,7	0,0	116,2	54,4	62
51	Großegg	13,0	0,48	23.270	36.790	4,190	63,090	4,400	9,900	1,430	660	1,070	497,0	0,2	16,8	13,1	18,9	4,0	10,0	70,5	88,3	7,7	466,3	1,7	136,9	4,0	110
52	Saggraben	39,4	0,86	57.718	166.120	6,913	6,343	4,997	26,642	2,781	1,754	2,001	469,7	15,5	11,8	72,9	60,1	13,4	34,0	37,4	13,2	22,0	153,3	0,0	87,4	119,9	147
54	Türnitz-1	27,8	0,82	82.586	23.344	9,295	12,527	4,648	38,760	3,971	440	258	358,0	12,8	5,3	66,5	49,3	12,0	18,0	25,0	43,0	22,1	116,9	0,0	454,4	25,5	50
54	Türnitz-2	29,1	0,82	77.490	24.727	8,822	12,450	4,080	35,297	3,702	432	315	384,2	10,5	7,0	46,6	56,0	8,0	19,0	24,7	62,9	18,6	140,3	0,0	248,2	31,3	42
56	Zobel	81,4	0,88	66.927	35.591	8,204	7,764	4,322	27,104	3,730	602	335	235,9	2,9	14,0	63,9	50,8	10,1</									

Tabelle 2. Korrelationsmatrix aller analysierten Elementgehalte einschließlich der Aschegehalte. Signifikante Korrelationskoeffizienten sind hervorgehoben ($r > 0,60$ schattiert; $r > 0,40$ fett).

	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	Mn	Ba	Be	Co	Cr	Cu	Ga	Li	Ni	Pb	Sc	Sr	Tl	V	Y	Zn	Asche	
Al	1,00																									
Fe	-0,22	1,00																								
Mg	-0,29	0,16	1,00																							
Ca	0,61	-0,04	0,30	1,00																						
Na	0,27	0,11	0,07	-0,25	1,00																					
K	0,52	0,00	-0,06	0,62	0,37	1,00																				
Ti	0,37	-0,20	-0,27	-0,50	0,11	0,41	1,00																			
P	-0,14	0,10	0,18	0,11	-0,07	-0,18	-0,13	1,00																		
Mn	-0,37	0,13	-0,08	0,46	-0,27	-0,38	-0,28	0,45	1,00																	
Ba	0,03	0,04	0,32	-0,12	-0,05	-0,04	0,15	0,13	-0,07	1,00																
Be	0,26	0,20	-0,11	-0,13	0,30	0,12	0,29	0,14	-0,02	-0,03	1,00															
Co	-0,26	0,13	0,29	0,63	0,02	-0,46	-0,18	0,31	0,44	-0,10	0,45	1,00														
Cr	-0,01	0,19	0,20	0,32	-0,03	-0,21	0,03	0,00	0,09	0,01	0,16	0,36	1,00													
Cu	0,26	0,22	0,15	0,06	0,18	-0,11	0,20	0,09	0,11	0,08	0,43	0,45	0,55	1,00												
Ga	0,31	-0,28	-0,31	-0,49	0,26	0,30	0,71	0,00	-0,25	0,12	0,09	-0,26	0,04	0,23	1,00											
Li	0,59	-0,04	-0,03	-0,21	0,31	-0,01	0,53	-0,03	-0,18	0,14	0,26	0,12	0,31	0,50	0,55	1,00										
Ni	-0,22	0,25	0,57	0,41	0,06	-0,34	-0,16	0,34	0,12	0,19	0,37	0,61	0,42	0,39	-0,22	0,26	1,00									
Pb	-0,23	0,15	0,17	0,53	-0,01	-0,39	-0,16	0,04	0,40	-0,06	0,27	0,14	0,12	0,42	0,45	0,06	0,34	1,00								
Sc	0,63	-0,23	-0,23	-0,15	0,00	-0,08	0,52	-0,05	-0,07	0,07	0,27	0,14	0,12	0,42	0,45	0,61	0,06	0,08	1,00							
Sr	-0,41	0,10	0,74	0,60	-0,13	-0,49	-0,36	0,17	0,02	0,20	-0,19	0,46	0,40	0,17	-0,30	0,14	0,66	0,28	-0,08	1,00						
Tl	0,04	0,01	-0,01	-0,13	0,21	0,19	-0,08	-0,10	-0,07	0,09	0,22	0,00	-0,10	-0,08	-0,05	-0,03	-0,05	0,05	-0,07	-0,12	1,00					
V	0,05	-0,18	0,00	0,53	0,01	-0,22	0,05	-0,01	0,27	-0,01	0,03	0,34	0,38	0,18	0,06	0,32	0,44	0,20	0,34	0,31	-0,09	1,00				
Y	0,04	0,21	0,08	-0,05	0,04	0,06	0,11	0,61	0,25	0,19	0,58	0,36	-0,24	0,19	-0,03	0,04	0,41	0,04	0,11	-0,05	-0,06	-0,01	1,00			
Zn	0,02	-0,08	0,01	-0,10	0,16	0,04	0,03	0,00	-0,02	-0,04	-0,11	-0,03	-0,02	-0,07	0,15	-0,05	-0,04	-0,07	-0,06	-0,05	-0,06	-0,08	-0,06	-0,08	1,00	
Asche	0,25	-0,30	-0,24	-0,37	-0,01	0,39	0,20	-0,03	-0,13	-0,16	-0,28	-0,47	-0,17	-0,27	0,38	-0,14	-0,45	-0,38	-0,11	-0,46	-0,08	-0,19	-0,22	-0,29	0,29	1,00

In den Import-Steinkohlen, bei denen auch S analysiert worden ist, sind Korrelationen des S mit Fe, Cr, Cu, V ($r > 0,5$) bzw. mit Ni und Co ($r > 0,3$) festzustellen. Eine ähnliche Korrelation wäre auch für die untersuchten mesozoischen Kohlen der Ostalpen zu erwarten.

4.2. Hauptkomponentenanalyse (HKA)

Mit Hilfe der HKA können aus einer multivariaten Datenverteilung Faktoren extrahiert werden, die die Gesamtvarianz der Datenmatrix repräsentieren. Grundlage dafür ist die Varianz/Kovarianz-Matrix. Der Einfluß der Ausgangsvariablen ist an den entsprechenden Faktorenladungen erkennbar. Somit ergibt sich die Möglichkeit die Dimension einer komplexen Datenmatrix zu reduzieren und signifikante Einflußfaktoren zu erkennen (DAVIS, 1986).

Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, daß es sich beim Großteil der Proben um Haldenmaterial handelt, das bereits Verwitterungsprozessen ausgesetzt gewesen ist. Die Bindung chalkophiler Elemente, wie Fe, Co, Ni, Cu, Pb oder Zn an den Schwefel in Form von Pyrit oder anderen Sulfiden ist sicher gestört. Auch ist in Rechnung zu stellen, daß verschiedene Elemente in geteilten Bindungsverhältnissen, d.h. in verschiedenen Mineralarten, wie Oxyden, Silikaten, Sulfiden, Sulfaten, Phosphaten und Karbonaten etc. oder an die organische Substanz der Kohle gebunden vorliegen können.

Im gegebenen Fall ergibt sich eine interpretierbare HKA unter Berücksichtigung von 19 der 24 analysierten Elementgehalte. Die ersten drei extrahierten Faktoren repräsentieren 60,6 % der Gesamtvarianz (Tab. 3). Trägt man die Faktorenladungen (Tab. 4) gegeneinander auf so zeigt sich eine Gruppierung der Elemente, die das unterschiedliche Bindungsverhalten der Elementkonzentrationen widerspiegelt (Abb. 3).

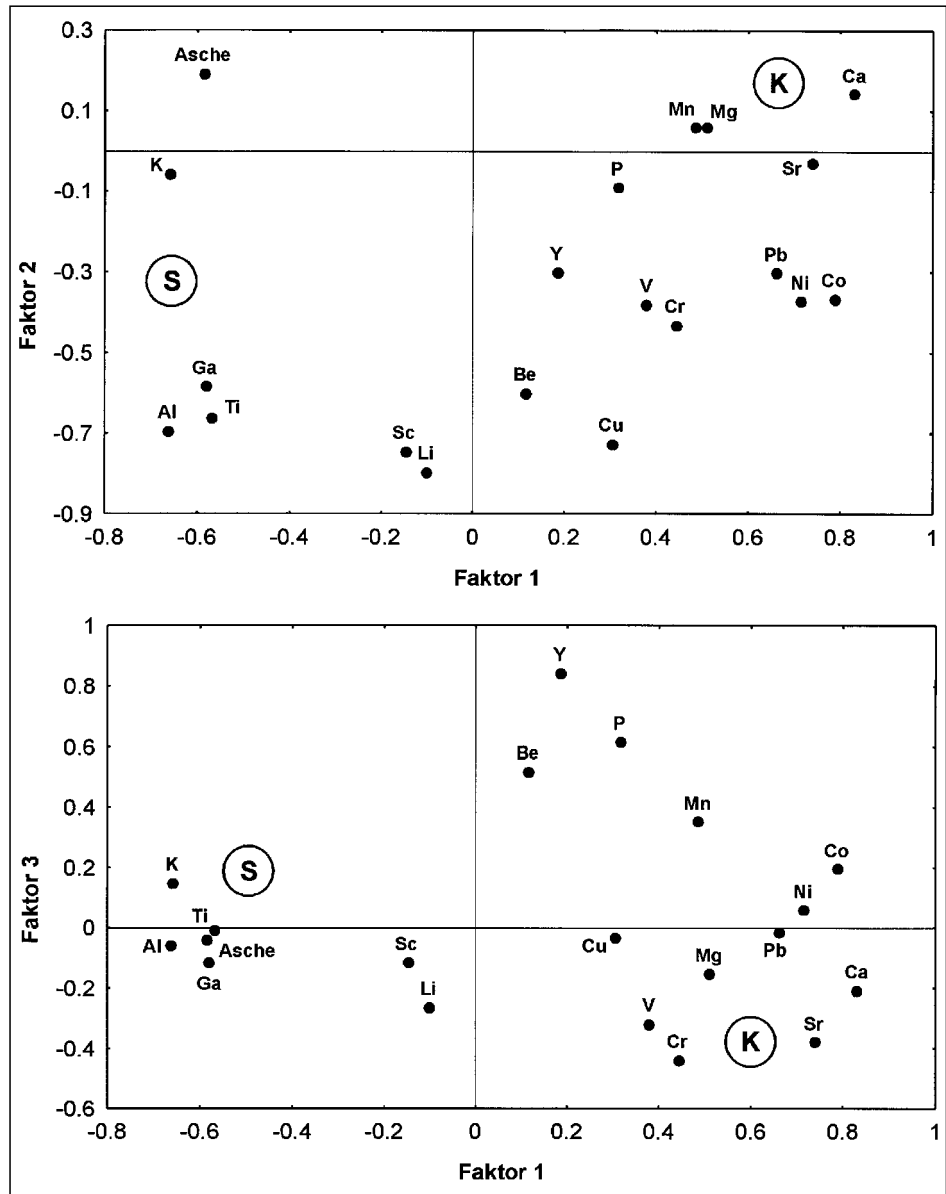
Folgende Gruppen können unterschieden werden:

Abb. 3. Unrotierte Diagramme der ersten drei Faktoren aus der Hauptkomponentenanalyse. Abgrenzbar ist eine silikatisch beeinflusste (S) und eine karbonatisch beeinflusste (K) Elementgruppe.

- 1) Elementassoziation des Anteils der Tonminerale (silikatische Fraktion): Al, K, Ti, Ga, Li, Sc.
- 2) Elementassoziation des karbonatischen Anteils: Ca, Sr, (Mg).
- 3) Intermediäre Elementassoziation: P, Mn, Be, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y.

In dieser Gruppierung, die im wesentlichen den Daten für tertiäre österreichische Braunkohlen (AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL, 1992) entspricht, können Elemente in silikatischer Bindung deutlich von Elementen in karbonatischer Bindung abgetrennt werden. Die intermediäre Elementgruppe vereinigt Elemente in oxydischer, sulfidischer und organischer Bindung, sowie Elemente, die sowohl in silikatischer als auch karbonatischer Bindung auftreten.

Die signifikanten Faktorenladungen (Tab. 4) erlauben keine sichere Interpretation der einzelnen Faktoren.



4.3. Element anreicherungen und Elementverhältnisse

Die analysierten Elementkonzentrationen werden – getrennt für die einzelnen stratigraphischen Horizonte – in Abb. 4 mittels einer Box-Plot Darstellung veranschaulicht. Zusätzlich sind in diese Abbildung die Mittelwerte der Elementgehalte von Aschen österreichischer Importkohlen nach AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL (1988) eingetragen.

Generell liegen die Werte der mesozoischen Kohlen Österreichs in der gleichen Größenordnung wie die von AUGUSTIN-GYURITS & SCHROLL (1988) angegebenen Mittelwerte. Vergleicht man die analysierten Elementgehalte

Tabelle 3. Eigenwerte aus der Hauptkomponentenanalyse von 19 Elementen und der Aschengehalte (cf. Abb. 3).

Faktor	Eigenwert	%Varianz	Eigenwerte kumm.	Varianz kumm.
1	5,78	28,91	5,78	28,91
2	4,18	20,89	9,96	49,80
3	2,15	10,76	1,21	60,57
4	1,71	8,54	1,38	69,11
5	1,38	6,88	1,52	75,99

Tabelle 4. Faktorenladungen der extrahierten Faktoren. Signifikante Ladungen sind hervorgehoben.

Element	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
Al	-0,67	-0,69	-0,06	-0,04	-0,05
Mg	0,51	0,06	-0,15	-0,72	0,02
Ca	0,83	0,14	-0,20	0,25	-0,15
K	-0,66	-0,06	0,15	-0,30	0,24
Ti	-0,57	-0,66	-0,01	-0,02	-0,04
P	0,31	-0,09	0,62	-0,14	-0,47
Mn	0,49	0,06	0,35	0,56	-0,30
Be	0,11	-0,60	0,52	-0,01	0,43
Co	0,78	-0,36	0,20	0,13	0,09
Cr	0,44	-0,43	-0,44	0,08	0,21
Cu	0,30	-0,72	-0,03	0,04	0,29
Ga	-0,58	-0,58	-0,11	0,03	-0,26
Li	-0,10	-0,80	-0,26	-0,14	-0,19
Ni	0,71	-0,37	0,06	-0,43	-0,11
Pb	0,66	-0,30	-0,01	0,35	0,46
Sc	-0,15	-0,74	-0,11	0,19	-0,19
Sr	0,74	-0,03	-0,38	-0,45	-0,20
V	0,38	-0,38	-0,32	0,24	-0,44
Y	0,18	-0,30	0,84	-0,22	-0,14
Asche	-0,59	0,19	-0,03	0,10	-0,21

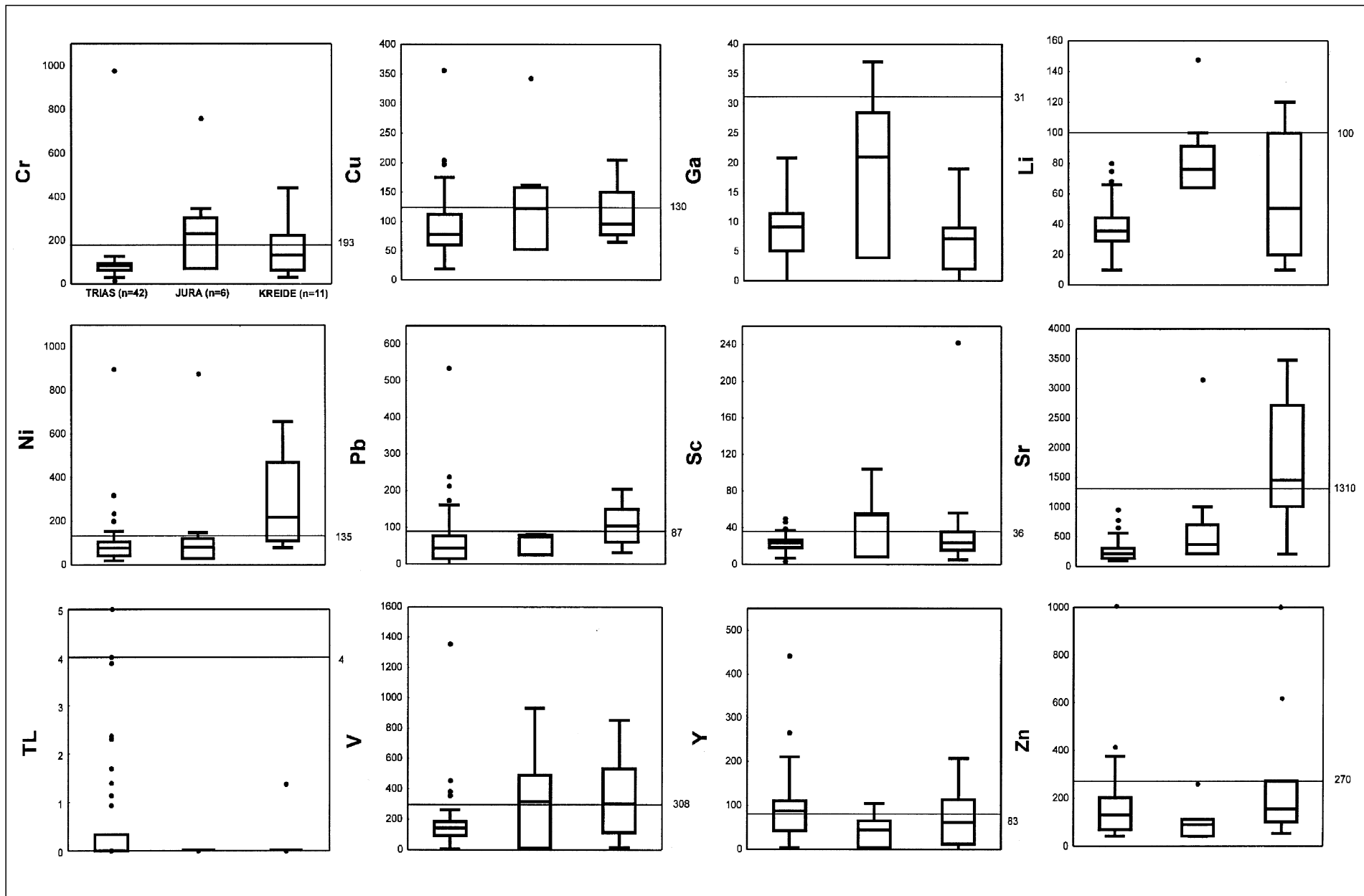
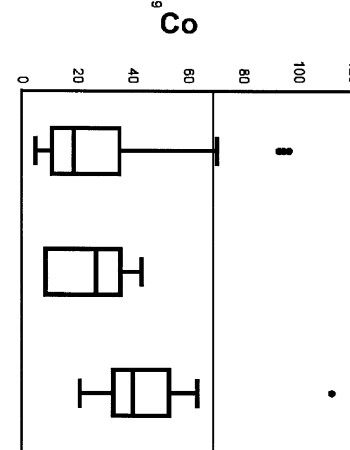
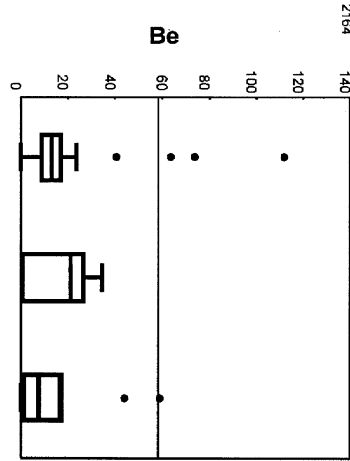
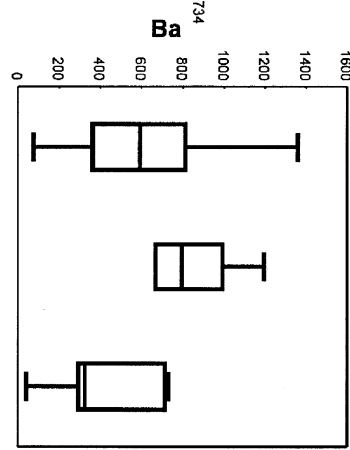
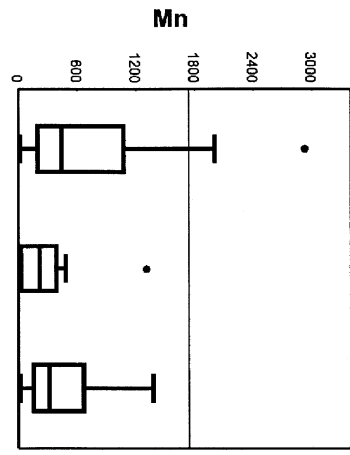
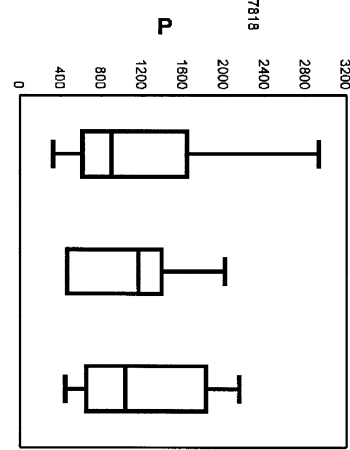
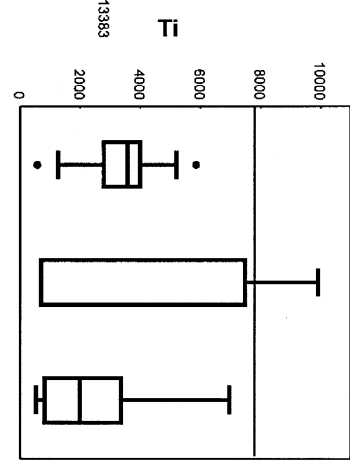
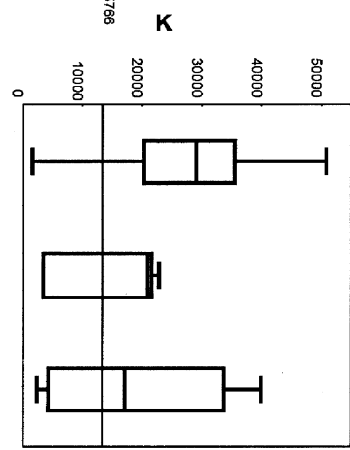
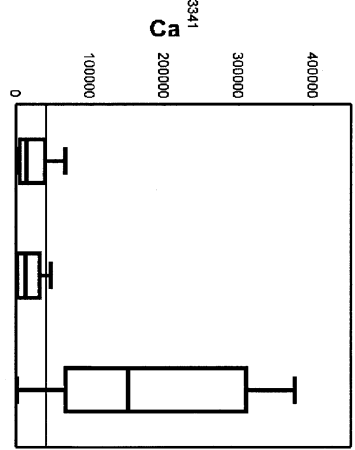
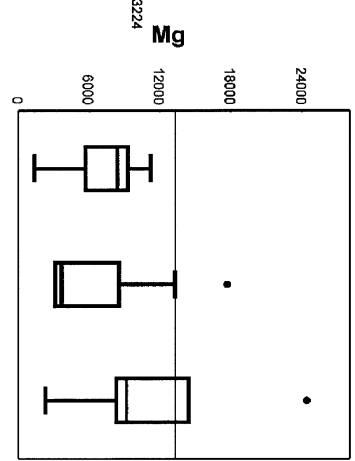
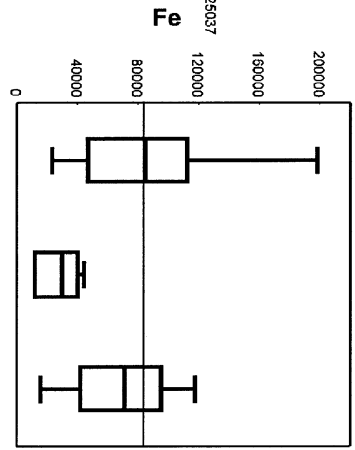
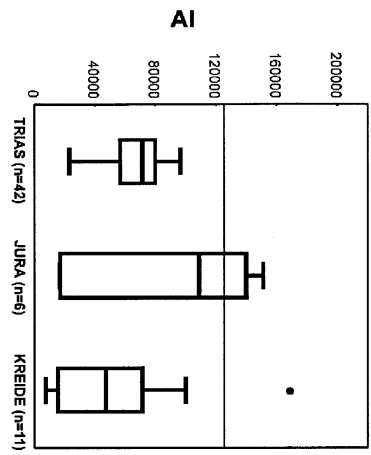


Abb. 4. Boxplots aller analysierten Elemente (in ppm) getrennt nach stratigraphischem Alter (42 Proben der triadischen Lunzer Kohlen, 6 Proben der jurassischen Grestener Kohlen und 11 Proben der kretazischen Gosau-Kohlen) mit den Mittelwerten der Import-Steinkohlen als Referenzkonzentration (horizontale Linie).



1734

5766

125037

83224

13341

40501

2164

13383

7818

5007

59

59

mit jenen von U.S. – Steinkohlen und österreichischen Importkohlen, so fallen allerdings verminderte Al-, Ga- und Li-Konzentrationen auf (Abb. 1, 4).

Unterschiede in den Gehalten zwischen den einzelnen stratigraphischen Horizonten lassen sich zum Teil auf das Liefergebiet zurückführen. So kann in der Trias ein verstärkter detritärer Eintrag durch erhöhte K-Gehalte erkannt werden. Gosau-Kohlen werden dagegen durch erhöhte Ca-Gehalte (und damit einhergehenden erhöhten Sr-Werten) charakterisiert. Zumindest zum Teil ist dies auf epigenetischen Kalzit in Kohlenklüften zurückzuführen. Kohlen aus der Kreide zeichnen zudem durch erhöhte Ni- (und Co-) Gehalte ein ultrabasisches Liefergebiet nach (cf. SACHSENHOFER & TOMSCHEY, 1992). Das Cr/Ni-Verhältnis der Gosau Kohlen ist halb so groß (0,5) wie jenes in den Grestener Kohlen (deutlich über 1). Dies und eine starke Cr-Anreicherung in den Grestener-Kohlen indizieren ein basisches Liefergebiet.

Der detritäre Background aller Proben wird durch vorwiegend alkalische Elemente gebildet (Anreicherung von Na und K), sodaß eine Illit-betonte und weniger eine Kaolinit-betonte Hintergrundsedimentation den Aschengehalt bestimmt.

Bezüglich der zum Teil ungewöhnlich hohen TI-Gehalte in Lunzer Kohlen (mit Einschränkungen auch in den Gosau-Kohlen, s. auch Tab. 1) bleibt anzumerken, daß TI zusammen mit As und Ge typisch für die Pb/Zn-Vererzungen der kalkalpinen Trias ist. Extrem hohe Zn-Werte in den Lunzer Kohlen treten insbesondere im Bereich Lilienfeld auf. Interessanterweise korreliert der Zn-Gehalt aber nicht mit dem Pb-Gehalt. Die hohen Zn-Gehalte stimmen mit einem Fund von Sphalerit in der Kohle des Lilienfelder Revieres überein. Die Anreicherung von Pb, Zn und TI in den Trias Kohlen ist aber wohl eher eine Frage des generellen Angebotes aus dem damaligen eher sauren geochemischen Milieu als der Einfluß von Verwitterungslösungen der Erzmineralisationen.

Die Durchlüftung des Ablagerungsraumes kann durch das Mn/Ni-Verhältnis (WEGEHAUPT, 1961; gut durchlüftet 5–10, schlecht durchlüftet 0,5–1,5) und das V/Cr-Verhältnis (KREJCI-GRAF, 1966; ERNST, 1970; anaerob 2–10, eingeschränkt durchlüftet 1–2) abgeschätzt werden. Unter Berücksichtigung der Mittelwerte für die einzelnen stratigraphischen Horizonte zeigt das Mn/Ni-Verhältnis (1,8) eine schlechte Durchlüftung des Ablagerungsraumes der jurassischen und kretazischen Kohlen an. Das V/Cr-Verhältnis (>2) der Kreide-Kohlen ist typisch für anaerobe Bedingungen.

Das Verhältnis von Ca zum Mg wird zur Unterscheidung limnischer ($Ca/Mg > 5$) und mariner ($Ca/Mg < 5$) Ablagerungsräume herangezogen (WERNER, 1963). Die beobachteten Werte kennzeichnen marine Beeinflussung während der Ablagerung der Lunzer und Grestener Kohlen, wohingegen die Ca/Mg-Verhältnisse der Gosau Kohlen für limnische Verhältnisse sprechen.

4.4. Regionale Verteilung der Analysendaten

Die große Probenanzahl aus den Lunzer Kohlen erlaubt den Entwurf von regionalen Verteilungskarten für einzelne Elemente (Abb. 5). Die Karten wurden mittels Krieging (cf. DAVIS, 1986) erstellt.

Im Verbreitungsgebiet der triadischen Lunzer Kohlen findet man für Be, Cr, Pb und V in der Region Gaming – Moosau, für Ba, Tl und Zn in der Region Türrnitz – Lilienfeld und für P in der Region Weißenbach die höchsten Konzen-

trationen. Der Ca- und Sr-Gehalt nimmt nach Westen hin zu (Abb. 5).

In den jurassischen Kohlen sind vorwiegend im Gebiet von Gams und Piesting erhöhte Konzentrationen von Ni und Co nachweisbar, die auf Einflüsse basischen bzw. ultrabasischen Gesteinsmilieus zurückzuführen sind.

Die regionale Verteilung der faziestypischen Elementverhältnisse ergibt ein wesentlich deutlicheres Bild (Abb. 6). Durch das Ca/Mg-Verhältnis ist ein überwiegend mariner Einfluß während der Bildung der triadischen Kohlen ablesbar. Lediglich die Region um Moosau zeigt limnische Elementverhältnisse. Dies steht im deutlichen Gegensatz zur kretazischen Probengruppe, für die generell limnische Verhältnisse angezeigt werden. In den Jura-Kohlen ergeben sich nur im Bereich Grestener nicht-marine Elementverhältnisse. Im Fall der Gosau Kohlen ist allerdings zu berücksichtigen, daß zumindest ein Teil des Karbonats epigenetischen Ursprungs ist.

Der V/Cr-Indikator zeigt in den triadischen Kohlen im Bereich Türrnitz-Gaming und Moosau anaerobe Verhältnisse, ansonsten ein eingeschränktes Sauerstoffangebot an. In den kretazischen Kohlen im Bereich Piesting und in der gesamten jurassischen Probengruppe (mit Ausnahme der Region Ederlehen) ist eine eingeschränkte Durchlüftung des Bildungsraumes ersichtlich. Im Jura ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung dieses Parameters mit dem Mn/Ni-Indikator. Mn/Ni-Verhältnisse aus der Trias und aus der Kreide zeigen leicht abweichende Sauerstoffverhältnisse an, der generelle Trend ist aber auch hier ersichtlich.

5. Diskussion

Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse wurde versucht, bestimmte Elemente einer unterschiedlichen chemischen Bindungsart zuzuordnen. Das erreichte Signifikanzniveau verdeutlicht, daß die Bindungsart der Elemente nicht der die Elementverteilung bestimmende Faktor ist. Vielmehr bestimmen regionale Faktoren wie detritärer Eintrag, pflanzlicher Eintrag, Lösungstransport und das chemische Milieu des Bildungsraumes die Geochemie der untersuchten Kohlen. Daher werden die drei zeitlich verschiedenen Probengruppen durch unterschiedliche Elementverteilungen charakterisiert:

□ In den karnischen Lunzer Kohlen kann aufgrund der hohen K-Konzentration ein verstärkter überregionaler Illit-betonter detritärer Eintrag erkannt werden. Obwohl die Lunzer Sandsteine Chromit führen (BEHRENS, 1972) sind die Lunzer Kohlen durch geringe Cr-Gehalte gekennzeichnet (Abb. 4). Die Geochemie der Kohlenaschen zeigt einen überwiegend marin beeinflussten, anaeroben bis dysoxischen (TYSON & PEARSON, 1991) Bildungsraum an.

Die vermuteten Eh-Bedingungen stimmen mit dem kohlenpetrographischen Befund und dem hohen Sideritgehalt der Kohlen (SACHSENHOFER, 1987) überein.

□ Erhöhte Cr-Gehalte und Cr/Ni-Verhältnisse in den liasischen Grestener Kohlen werden durch einen basisch beeinflussten Sedimenteintrag in den Bildungsraum erklärt. Dieser Bildungsraum kann aufgrund von geochemischen Parametern als großteils marin und schlecht durchlüftet charakterisiert werden. Das anzunehmende eingeschränkte Sauerstoffangebot der Jura-Kohlen entspricht der sapropelitischen Moorfazies des Bereiches Grossau – Pechgraben, wohingegen

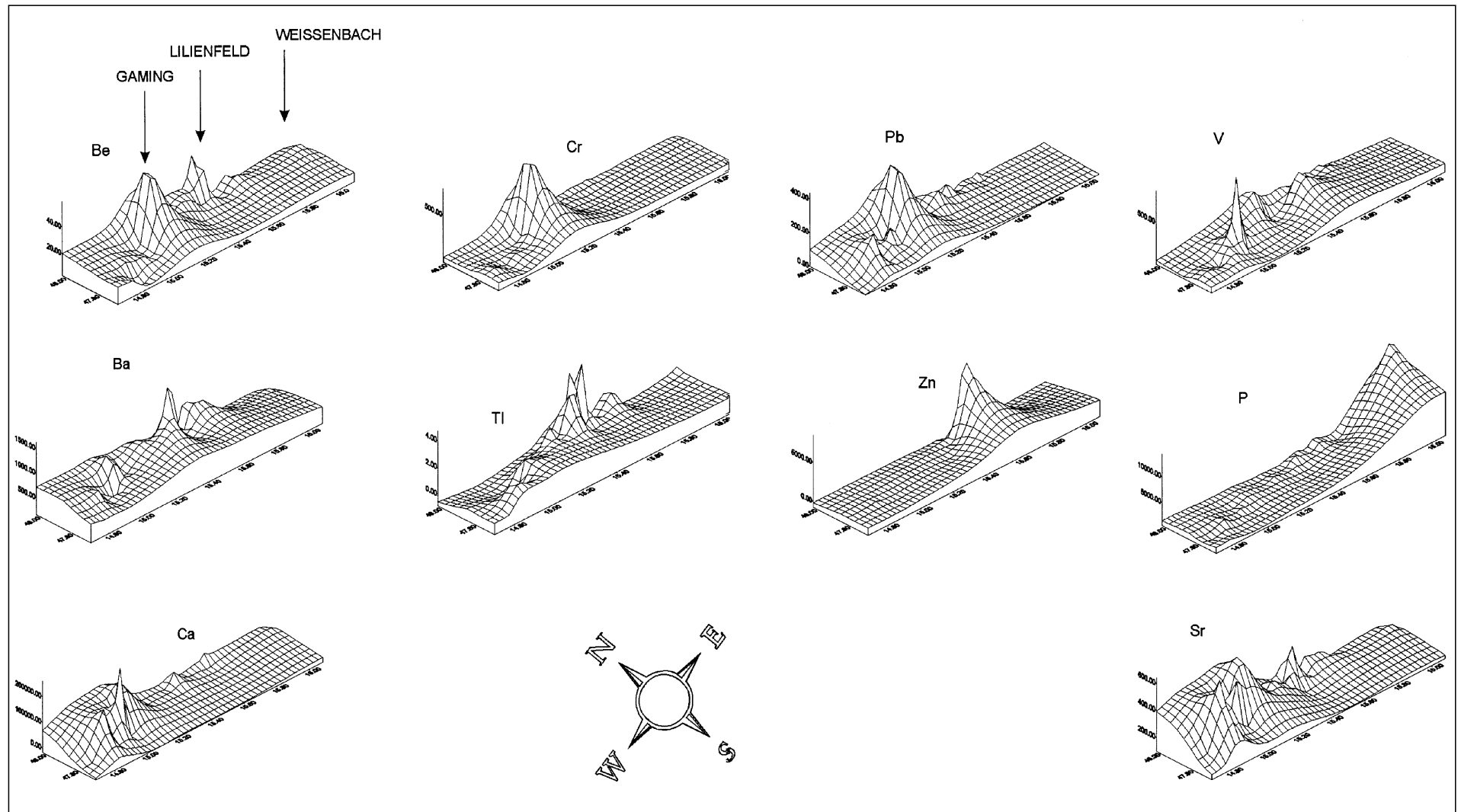


Abb. 5.
 Regionale Verteilung (mit geographischer Länge und Breite) von allen 42 Analysendaten [in ppm] der Lunzer Kohlen.
 Alle Diagramme zeigen den Ausschnitt der Karte in Abb. 2a.

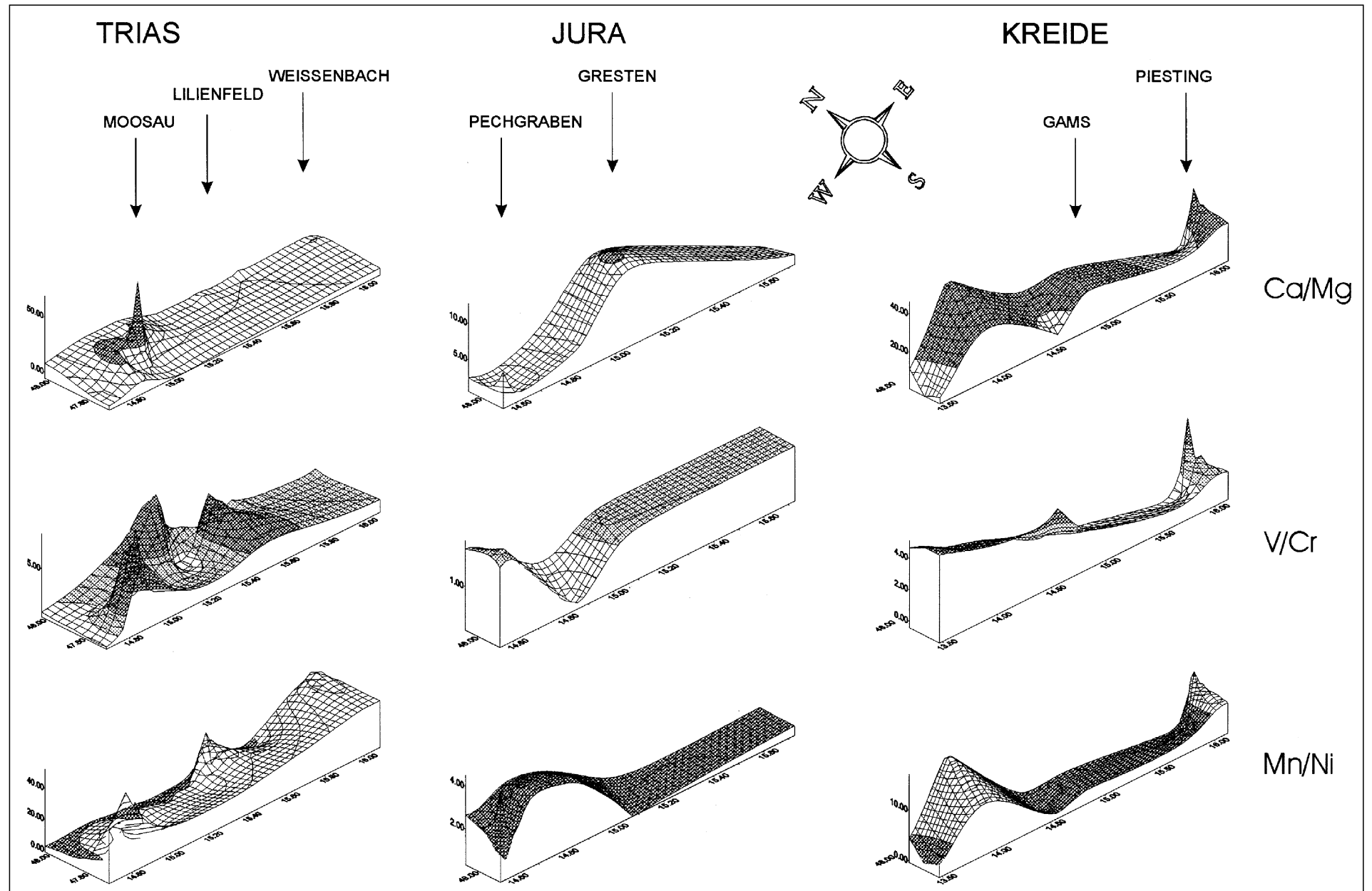


Abb. 6.

Regionale Verteilung faziestypischer Elementverhältnisse.

Das Ca/Mg-Verhältnis erlaubt die Unterscheidung zwischen limnisch (schattiert) und marin (weiß), das V/Cr- und Mn/Ni-Verhältnis zeigt die Eh-Bedingungen des Bildungsraumes an (V/Cr: gut durchlüftet [weiß], schlecht durchlüftet [leicht schattiert], anaerob [schattiert]; Mn/Ni: gut durchlüftet [weiß], schlecht durchlüftet [schattiert]).

Alle Diagramme zeigen den Ausschnitt der Karte in 2a (mit geographischer Länge und Breite).

aufgrund organisch-petrologischer Daten für den Bereich Gresten – Ederlehen mit deutlich oxydierenderen Verhältnissen gerechnet werden muß (SACHSENHOFER, 1987).

- Die oberkretazischen Gosau-Kohlen zeigen die Merkmale eines ultrabasisch beeinflussten Liefergebietes und eines limnischen, schlecht durchlüfteten Bildungsraumes. Das angenommene Liefergebiet wird durch die serpentinitreichen Sandsteinen der Gosau-Gruppe (WAGREICH, 1993) bestätigt. Die Ca-Anreicherung in den Kreide-Kohlen werden durch die häufig auftretenden epigenetischen Kalzitklüfte innerhalb dieser Kohlen (SACHSENHOFER, 1987) erklärt. Daher sind die „limnischen“ (hohen) Ca/Mg-Verhältnisse nicht für den Ablagerungsraum repräsentativ. Die schlechte Durchlüftung entspricht dem reduzierenden Bildungsmilieu mancher Kreide-Kohlen (SACHSENHOFER, 1987).

Mit der vorliegenden Untersuchung wird gezeigt, daß geochemische Indikatoren wertvolle Hinweise auf das detritusliefernde Hinterland geben können. Die Beurteilung der Fazies des Bildungsraumes kann nicht alleine aufgrund geochemischer Daten erfolgen, sondern bedarf der zusätzlichen organisch-petrologischen Charakterisierung. Relativ sichere Aussagen erlaubt das Ca/Mg-Verhältnis hinsichtlich der Salinitätsbedingungen, wohingegen die Beurteilung der Durchlüftung des Ablagerungsraumes mit Hilfe der V/Cr- und Mn/Ni-Verhältnisse problematischer erscheint.

Dank

Die Verfasser danken dem Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben für die ermöglichten EDV-Arbeiten sowie dem geotechnischen Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal (Wien) für die Analytik, insbesondere dem Institutsleiter HR DDr. Mag D. SAUER und dem Analytiker OR DR. P. DOLEZEL.

Literatur

- AUGUSTIN-GYURITS, K. & SCHROLL, E.: Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihren Verbrennungsprodukten. – Unveröff. Bericht des Bu-Mi. f. w. A., Projekt Nr. ÜLG 14/86, 123 S., Wien 1988.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & SCHROLL, E.: Beitrag zur geochemischen Charakterisierung österreichischer Kohlen. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **38**, 195–211, Wien 1992.
- BEHRENS, M.: Schwermineralverteilung und Sedimentstrukturen in den Lunzer Schichten (Karn, Trias, Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **116**, 51–83, Wien 1972.

- BRANDENSTEIN, M., JANDA, I. & SCHROLL, E.: Seltene Elemente in österreichischen Kohlen- und Bitumengesteinen. – Tscherma mineral. und petrogr. Mitt., **7**, 260–285, Wien 1960.
- BOUSKA, V.: Geochemistry of coal. – Coal Science and Technology, **1**, 284 S., Amsterdam (Elsevier) 1981.
- DAVIS, J.C.: Statistics and data analysis in geology, 646 S., New York (Wiley) 1986.
- ERNST, W.: Geochemical facies analysis. – In: Methods in Geochemistry and Geophysics, Amsterdam (Elsevier) 1970.
- FINKELMAN, R.B.: Trace and minor elements in coal. – In: ENGEL, M.H. & MACKO, S.A. (Hrsg.): Organic Geochemistry – Principles and applications, 593–607, New York (Plenum Press) 1993.
- JANDA, I. & SCHROLL, E.: Über Borgehalte in einigen ostalpinen Kohlen und anderen Biolithen. – Tscherma mineral. und petrogr. Mitt., **7**, 118–129, Wien 1959.
- KREJCI-GRAF, K.: Geochemische Faziesdiagnostik. – Freiburger Forsch.-H. RC, **224**, Freiberg 1966.
- SACHSENHOFER, R.F.: Fazies und Inkohlung mesozoischer Kohlen der Alpen Ostösterreichs. – Mitt. österr. geol. Ges., **80**, 1–45, Wien 1987.
- SACHSENHOFER, R.F. & TOMSCHEY, O.: Gosau-type coals of Austria and Hungary – a preliminary geochemical comparison. – Acta Geologica Hungarica, **35**, 49–57, Budapest 1992.
- SCHROLL, E.: Seltene Elemente in biogenen Sedimenten. – Tscherma Min. Petr. Mit., **7**, 488–490, Wien 1961.
- SCHROLL, E.: Analytische Geochemie, Band II: Grundlagen und Anwendungen, 374 S., Stuttgart (Enke Verlag) 1976.
- SEVERSON, R.C. & SHACKLETTE, H.T.: Essential elements and soil amendments for plants: Sources and use for agriculture. U.S. Geol. Survey Circ., **1017**, Washington 1988.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. Band 3, Gesamtübersicht. – 718 S. Wien (Deuticke) 1986.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H.: Distribution of the elements in some major units of the Earth crust. – Geol. Soc. America Bull., **72**, 175–191, Boulder 1961.
- TYSON, R.V. & PEARSON, T.H.: Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. – In: TYSON, R.V. & PEARSON, T.H. (Hrsg.): Modern and ancient continental shelf anoxia. – Geol. Soc. Spec-Publ., **58**, 1–24, Oxford (Blackwell Scientific) 1991.
- WAGREICH, M.: Serpentinitreiche Sandsteine als Anzeiger verschwundener Suturzonen am Beispiel der Oberkreide der Nördlichen Kalkalpen (Gosau-Gruppe), Österreich. – Zbl. Geol. Paläont. Teil1, **1992**, 663–673, Stuttgart 1993.
- WEGEHAUPT, H.: Zur Petrographie und Geochemie des höheren Westfal A von Westerholt. – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., **3**, Krefeld 1961.
- WERNER, H.: Über das Ca/Mg-Verhältnis in Torf und Kohle. – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., **10**, 279–282, Krefeld 1963.