

Rohstoffgeologische, lagerstättenkundliche und umweltgeochemische Untersuchungen des Lena-Beckens in Jakutien, Russland

Von der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor der Naturwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Geologe
Rainer Herd

aus Münster (Hessen)

Gutachter: Prof. Dr. H.-J. Voigt

Gutachter: Prof. Dr. E. Machens

Tag der mündlichen Prüfung: 20.11.2002

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde an der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der BTU Cottbus durchgeführt. Sie wurde durch die Kooperation des Lehrstuhls für Rohstoffwirtschaft und Ressourcenhaushalt mit der Fakultät für Geologie und Erkundung der Staatsuniversität Jakutsk, Russland ermöglicht.

Herrn Prof. Dr. E. Machens möchte ich für die Vergabe des Themas, die Ermöglichung meiner Forschungstätigkeit in Jakutien und die Unterstützung, auch nach seinem Ausscheiden aus der Universität, herzlichst danken. Herrn Prof. Dr. H.-J. Voigt gilt mein herzlicher Dank für die bereitwillige Übernahme des Ko-Referats.

Frau Prof. S. M. Prokopjewa, Herrn Prof. Dr. I. I. Kolodesnikow und Herrn Prof. Dr. G. N. Dobrewolski von der Staatsuniversität Jakutsk gilt mein Dank für die Betreuung vor Ort sowie die Unterstützung meiner oftmals ungewöhnlichen Ideen und Pläne. Herrn Prof. Dr. R. M. Skryabin und Herrn Dr. K. I. Mikulenko sowie weiteren Mitarbeitern des Jakutischen Internationalen Zentrums zur Entwicklung der nördlichen Gebiete „Sacha Inter Nord“ möchte ich für die Ermöglichung der kostenlosen Teilnahme an der Lena-Expedition 1994 herzlichst danken. Ferner gilt mein Dank meinen sibirischen Freunden I. Popov, E. Pribitkow und A. Pawluschin sowie deren Familien, die mich teilweise auf Expeditionen begleiteten, mich beherbergten, versorgten und mit ihren vielfältigen Kontakten so manches logistische Problem spielend lösten.

Das mitgebrachte kohlige Material wurde am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle an der RWTH Aachen aufbereitet und bearbeitet. Den Mitarbeitern des Lehrstuhls Herrn Prof. Dr. H-W. Hagemann, Herrn Dr. W. Pickel, Herrn Dr. G. Götz und Herrn R. Mildenberger möchte ich für die Unterweisung in petrographische und geochemische Untersuchungsmethoden und Gerätetechnik ganz herzlichst danken. Gesonderten Dank gilt Herrn Dr. G. Götz für die Durchführung von GC- und MS-Messungen und seine unermüdliche Diskussionsbereitschaft.

Die Herstellung der Durchlichtpräparate erfolgte teils beim Geologischen Dienst NRW, teils bei der Firma LAOP, Lauta. Allen involvierten Mitarbeitern gilt auch hier mein Dank. Besonders möchte ich Herrn Dr. W. Schneider (ehemals LAOP) für die ständige Bereitschaft zur fachlichen Diskussion danken.

Die Sediment- und Gewässerproben wurden je nach zur Verfügung stehender Gerätetechnik in den Laboren der BTU Cottbus, der Universität Göttingen, der Universität Heidelberg sowie dem Amt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg bearbeitet. Allen beteiligten, namentlich nicht genannten Mitarbeitern möchte ich für das Interesse und die geleistete Arbeit danken.

Zu guter Letzt möchte ich Frau Prof. Dr. B. Nixdorf und Herrn Prof. Dr. H.-J. Voigt für die Unterstützung in der schwierigen Zeit nach dem Ausscheiden von Prof. Dr. E. Machens meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es sowohl rohstoffgeologisch/lagerstättenkundliche als auch umweltrelevante Untersuchungen und Bewertungen im Lena-Becken durchzuführen.

Für die rohstoffgeologisch/lagerstättenkundlichen Fragestellungen wurden die wenig bekannten Kohlevorkommen des Lena-Kohlen-Beckens untersucht und hinsichtlich ihrer Genese, ihrer spezifischen Eigenschaften und ihres Verwertungspotentials charakterisiert.

Zehn verschiedene Lokalitäten innerhalb des Lena-Kohlen-Beckens wurden erkundet und beprobt. 67 Proben aus diesen Lokalitäten wurden chemisch-physikalisch, petrographisch, organisch-geochemisch und palynologisch untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kohlen des Lena-Beckens trotz beträchtlicher Entfernungen zueinander unter sehr ähnlichen Bildungsbedingungen entstanden sind. Es handelt sich bis auf zwei Ausnahmen um Humuskohlen, die hauptsächlich aus baumartigen und krautigen Pflanzen in oberjurassischen und unterkretazischen Waldmooren gebildet wurden. Die Vegetation dieser Waldmoore war artenarm und bestand hauptsächlich aus Gymnospermen.

Die westlichen Kohlevorkommen entstanden unter Plattform-Bedingungen am Rande des Sibirischen Kratons und zeichnen sich demzufolge durch weitgehend flache Lagerung und aufgrund geringer Versenkung durch geringere Inkohlungsgrade bei größeren Flözmächtigkeiten aus. Die östlichen Kohlevorkommen bildeten sich in der Vorsenke des Werchojansker Gebirges, eines mesozoischen Orogens, das durch die Kollision eines Mikrokontinents mit dem Sibirischen Kraton, als Gegenbewegung zur Öffnung des Atlantiks entstand. Aufgrund der tieferen Versenkung sind diese Kohlen stärker inkohlt und in der Nähe des Gebirges auch gefaltet. Die Inkohlungsgrade der untersuchten Kohlen reichen vom Mattbraunkohlen- bis zum Gasflammkohlenstadium und nehmen von Westen nach Osten in Richtung des Zentrums der Werchojansker Vortiefe zu.

Die große Verbreitung der Kohlen des Lena-Beckens, ihre über große Gebiete flachen, oberflächennahen Lagerungsverhältnisse (Koeff.: 0,8 - 4,5) sowie ihre Energieinhalte (H_v : 18 - 34 · 10³ MJ/t), niedrige Asche- (4 - 15 %) und Schwefelgehalte (0,2 - 1 %) machen sie zu einer interessanten Ressource, die sich für die Strom- und Wärmeerzeugung gut eignet.

Die derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (geringer lokaler Bedarf, unterentwickelte Infrastruktur) stellen jedoch, zusammen mit den schwierigen klimatischen Verhältnissen, ein ernsthaftes Hindernis für eine verstärkte Nutzung dar. Dies könnte sich ändern, wenn sich der begonnene wirtschaftliche Aufschwung Jakutiens auch auf andere ostsibirische Gebiete überträgt.

Durch die Untersuchung der umweltgeochemischen Verhältnisse wurden erste Erkenntnisse darüber gewonnen, inwieweit die großmaßstäblichen Bergbauaktivitäten, vornehmlich Gold- und Diamantenbergbau, das Großentwässerungssystem Lena mit Schadstoffen belasten. Zu diesem Zwecke wurden Wasser- und Sedimentproben aus der Lena und ihren beiden

Nebenflüssen Wiljuj und Aldan auf typische Verunreinigungen aus den o.g. Bergbauaktivitäten untersucht. Es sollte geklärt werden, ob bzw. in welcher Menge und Verteilung diese Schadstoffe vorhanden sind.

Hier ergibt sich folgendes Bild:

Schwermetalle

Die Schwermetalle Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, Ni, Tl und Sn sowie das Halbmetall As wurden in der Feinfraktion ($< 63 \mu\text{m}$) der Sedimente nach Vollaufschluss bestimmt und mit dem Durchschnittsgehalt für Tongesteine (Tonsteinstandard) nach WEDEPOHL (1984) verglichen.

Der Großteil der Proben aller drei Flüsse weist Schwermetallkonzentrationen auf, die im Bereich des Tonsteinstandards liegen. Nur lokal treten in der Lena erhöhte As-, Pb- und Ni-Werte und im Aldan leicht erhöhte As- und Ni-Werte auf. Die Proben aus dem Wiljuj zeigen ebenfalls nur einen lokal erhöhten Ni-Wert, daneben aber eine signifikante Belastung mit Thallium. Die Thallium-Konzentrationen nehmen flussaufwärts deutlich zu und sind auch im Mündungsbereich des Flusses Marcha präsent. Dieses Verteilungsmuster legt den Schluss nahe, dass es sich bei den Emittenten um die diamantengewinnenden Betriebe handeln könnte, welche Tl-haltige Clerici-Lösung für Dichtentrennungsprozesse einsetzt.

Auffällig ist, dass die Cd -Werte aller drei Flüsse deutlich über dem Tonsteinstandard liegen. Da das Zn/Cd-Verhältnis in den Proben dem typischen Verhältnis von Zn/Cd in natürlichen Zn-Erzen entspricht und ein anthropogener flächenhafter Eintrag weitgehend ausgeschlossen werden kann, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um ein generell angehobenes geogenes Hintergrund-Niveau handelt.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse lassen sich für die untersuchten Elemente, mit Ausnahme der Thallium-Belastung des Wiljuj, keine signifikanten bergbaubedingten Schwermetallbelastungen nachweisen.

Cyanide

Die Cyanid-Laugung ist ein weltweit verbreitetes, effektives Verfahren zur Extraktion von Gold aus Armerzen. Aufgrund der eingesetzten hochtoxischen Salze geht von diesem Verfahren ein großes Umweltrisiko aus. 14 Flusswasserproben aus den Flüssen Lena, Aldan und Wiljuj wurden auf Cyanide untersucht. In keiner Probe konnten Cyanide nachgewiesen werden (Bestimmungsgrenze: $20 \mu\text{g/l}$). Aufgrund möglicher Abbaureaktionen während des Transports sowie ungünstiger Bestimmungsmöglichkeiten wegen geringer Probenmengen sind diese Ergebnisse nur eingeschränkt verwendbar.

Quecksilber

Ebenso wie Cyanid wird auch Quecksilber zur Goldextraktion eingesetzt. Aus diesem Grunde wurden 16 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Aldan, Wiljuj und Marcha auf Hg nach dem Pyrolyseverfahren untersucht. Das Pyrolyseverfahren ist in Bezug auf die Bestimmungsgrenze ($100 \mu\text{g/kg}$) anderen Verfahren unterlegen, hat aber den Vorteil, dass die Bindungs-

form des Quecksilbers erkennbar ist. In keiner der untersuchten Proben konnten signifikante Hg-Kontaminationen nachgewiesen werden.

Radionuklide

Zur geophysikalischen Erkundung des tieferen Untergrundes von Jakutien wurden Nuklearsprengungen als seismische Quellen in tiefen Bohrlöchern eingesetzt. Hierbei kam es teilweise zum oberflächigen Austritt von Spaltprodukten (Radionukliden). Um die mögliche Verbreitung dieser Radionuklide durch die Gewässer zu klären, wurden insgesamt 25 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Wiljuj, Marcha und Aldan. gammaspektrometrisch untersucht. Die Untersuchungen erstreckten sich zum Teil auf das gesamte Sediment (16 Proben) und zum Teil auf den Feinkornanteil (Fraktion < 63 µm, 9 Proben). Die festgestellten Konzentrationen an Radionukliden waren sehr gering. Die Konzentration an Cs-137, welches bei der Untersuchung als Leitisotop diente, war geringer als durch den weltweiten Kernwaffentest-Fallout zu erwarten gewesen wäre. Die Ergebnisse lassen keine Belastung durch sonstige menschliche Aktivitäten erkennen. Der im Verhältnis zum Fallout der nördlichen Hemisphäre geringe Cs-137-Gehalt ist möglicherweise auf Auswaschungsprozesse zurückzuführen.

Die Ergebnisse der umweltrelevanten Wasser- und Sedimentuntersuchungen zeigen bezüglich der untersuchten Stoffe mit Ausnahme der Thallium-Belastung des Wiljuj keine direkten bergbaubedingten Kontaminationen.

Da es sich um Erstuntersuchungen mit teilweise stichprobenartigem Charakter handelt, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, bevor eine abschließende Beurteilung möglich ist. Hierzu zählen Jahreszeiten-Monitorings, um Ausräum- und Verdünnungseffekte sowie Abtransport durch Frühjahrshochwässer quantifizieren zu können. Ferner sollte die unmittelbare Umgebung der Bergbaubetriebe in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	1
ZUSAMMENFASSUNG	2
INHALTSVERZEICHNIS	5
1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	10
2 SITUATION DER REPUBLIK SACHA (JAKUTIEN)	12
2.1 Geographie.....	12
2.1.1 Lage und Demographie	12
2.1.1 Morphologie und Hydrographie.....	13
2.1.2 Klimatische Verhältnisse und Vegetation	16
2.1.3 Wirtschaft, Landnutzung, Verkehr	18
2.2 Geologie	19
2.2.1 Regionalgeologischer Überblick.....	19
2.2.2 Lagerstätten und Bergbauaktivitäten.....	22
2.2.2 Geologischer Überblick über die Kohlenvorkommen des Lena-Kohlen-Beckens.....	22
3 UNTERSUCHUNGSZIELE UND METHODIK.....	24
3.1 Probenahme und -aufbereitung	25
3.1.1 Probenahme	25
3.1.2 Probenaufbereitung	25
3.2 Physikalisch-chemische Untersuchungen	27
3.2.1 Immediatanalysen.....	27
3.2.2 Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes und Brennwertbestimmung.	27
3.2.3 Elementaranalyse	27
3.2.4 Bestimmung der Aschehauptkomponenten und Spurenelemente.....	28
3.3 Petrographische Untersuchungen.....	28
3.3.1 Maceralanalysen.....	28
3.3.2 Reflexionsmessungen.....	32
3.4 Organisch-geochemische Analytik.....	33
3.4.1 Extraktion	33

3.4.2	Säulenchromatographie (Kohlenwasserstoffgruppentrennung).....	33
3.4.3	Gaschromatographie (GC)	34
3.4.4	Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS)	35
3.5	Palynologische Untersuchungen	36
4	DIE KOHLENVORKOMMEN DES LENA-BECKENS IM EINZELNEN	38
4.1	Lagerstätte Kangalassy	38
4.1.1	Allgemeines und Lage.....	38
4.1.2	Geologie und Kohlenführung.....	38
4.1.3	Beprobung	41
4.1.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	42
4.1.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	43
4.1.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	46
4.1.6	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	48
4.1.7	Faziesmodell.....	49
4.2	Lagerstätte Charbalach	51
4.2.1	Allgemeines und Lage.....	51
4.2.2	Geologie und Kohlenführung.....	51
4.2.3	Beprobung	53
4.2.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	55
4.2.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	55
4.2.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	58
4.2.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	60
4.2.8	Faziesmodell.....	61
4.3	Lagerstätte Džebariki-Chaja.....	62
4.3.1	Allgemeines und Lage.....	62
4.3.2	Geologie und Kohlenführung.....	62
4.3.3	Beprobung	65
4.3.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	65
4.3.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	66
4.3.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	68
4.3.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	70
4.3.8	Faziesmodell.....	70
4.4	Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a	72
4.4.1	Allgemeines und Lage.....	72
4.4.2	Geologie und Kohlenführung.....	72
4.4.3	Beprobung	73
4.4.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	74
4.4.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	74

4.4.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	77
4.4.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen	78
4.4.8	Faziesmodell.....	78
4.5	Lagerstätte Sangar	80
4.5.1	Allgemeines und Lage.....	80
4.5.2	Geologie und Kohlenführung.....	81
4.5.3	Beprobung	82
4.5.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	82
4.5.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	83
4.5.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	86
4.5.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	87
4.5.8	Faziesmodell.....	88
4.6	Lagerstätte Kirov	89
4.6.1	Allgemeines und Lage.....	89
4.6.2	Geologie und Kohlenführung.....	90
4.6.3	Beprobung	92
4.6.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	92
4.6.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	93
4.6.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	96
4.6.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	98
4.6.8	Faziesmodell.....	98
4.7	Kohlenvorkommen Žigansk 1	100
4.7.1	Allgemeines und Lage.....	100
4.7.2	Geologie und Kohlenführung.....	100
4.7.3	Beprobung	102
4.7.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	103
4.7.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	103
4.7.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	106
4.7.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	108
4.7.8	Faziesmodell.....	108
4.8	Kohlenvorkommen Žigansk 2	109
4.8.1	Allgemeines und Lage.....	109
4.8.2	Geologie und Kohlenführung.....	109
4.8.3	Beprobung	110
4.8.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	111
4.8.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	111
4.8.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	114
4.8.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	115
4.8.8	Faziesmodell.....	115

4.9	Kohlenvorkommen Kjusjur	117
4.9.1	Allgemeines und Lage.....	117
4.9.2	Geologie und Kohlenführung.....	117
4.9.3	Beprobung	119
4.9.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	120
4.9.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	121
4.9.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	124
4.9.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	125
4.9.8	Faziesmodell.....	126
4.10	Kohlenvorkommen Tajmylr.....	128
4.10.1	Allgemeines und Lage.....	128
4.10.2	Geologie und Kohlenführung.....	129
4.10.3	Beprobung	132
4.10.4	Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen.....	132
4.10.5	Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen	132
4.10.6	Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen	134
4.10.7	Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.....	135
4.10.8	Faziesmodell.....	135
5	GESAMTBETRACHTUNG LENA-KOHLLEN-BECKEN	136
6	POTENTIELLE UMWELTRISIKEN IN JAKUTIEN UND DEREN UNTERSUCHUNG	141
6.1	Umweltrisiko Goldbergbau	141
6.1.1	Amalgamation mit Quecksilber (Hg).....	142
	Historischer Hintergrund.....	142
	Amalgamationstechniken	143
	Hg-Emissionen.....	144
6.1.1.1	Untersuchungsmethodik und –gebiet	145
6.1.1.2	Ergebnisse und Diskussion.....	146
6.1.2	Laugung mit Cyanid.....	148
6.1.2.1	Untersuchungsmethodik und –gebiet.....	150
6.1.2.2	Ergebnisse und Diskussion.....	151
6.2	Umweltrisiko Schwermetalle.....	152
6.2.1	Untersuchungsmethodik und –gebiet.....	152
6.2.2	Ergebnisse und Diskussion.....	153
6.3	Umweltrisiko Nuklearsprengungen.....	159
6.3.1	Untersuchungsmethodik und –gebiet.....	161
6.3.2	Ergebnisse und Diskussion.....	162

7	ZUSAMMENFASSUNG, UMWELTGEOCHEMISCHER TEIL.....	167
8	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN, TABELLEN UND ABKÜRZUNGEN...	169
	Abbildungsverzeichnis.....	169
	Tabellenverzeichnis.....	173
	Verzeichnis der Abkürzungen.....	176
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	177
10	ANHANG.....	186
11	ANLAGEN.....	187

1 Einleitung und Problemstellung

Durch die politischen Veränderungen in der Sowjetunion Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre bestand in der darauffolgenden Zeit erstmals wieder für westliche Wissenschaftler die Möglichkeit Forschungsprojekte in der ehemaligen Sowjetunion durchzuführen.

Im Frühjahr 1994 entschloss sich der Lehrstuhl Rohstoffwirtschaft und Ressourcenhaushalt die guten Verbindungen zur Fakultät für Geologie und Erkundung der Staatsuniversität Jakutsk zu intensivieren mit dem Ziel langfristig in Jakutien forschend tätig zu werden. Der geringe Kenntnisstand des Westens über die vielfältigen und reichen Rohstoffvorkommen Jakutiens einerseits sowie die potentiellen Umweltprobleme, die mit einer intensiven Rohstoffgewinnung einhergehen andererseits, waren wesentliche Gründe für das wissenschaftliche Interesse des Lehrstuhls an Jakutien. Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen dieser ersten Kooperation mit einem hohen organisatorischen Aufwand und den damaligen eingeschränkten Erkundungsmöglichkeiten. Die Ausrichtung der Thematik musste den Möglichkeiten und Restriktionen im Lande angepasst werden. Nicht alles was wünschenswert gewesen wäre, konnte letztlich auch realisiert werden.

Ziel der Arbeit war es erste sowohl rohstoffgeologisch/lagerstättenkundliche als auch umweltrelevante Kenntnisse zu erlangen.

Für den **rohstoffgeologischen/lagerstättenkundlichen Bearbeitungsschwerpunkt** sollten die bisher wenig bekannten Kohlenvorkommen des Lena-Kohlen-Beckens untersucht und bewertet werden. Das Lena-Kohlen-Becken ist eines der größten Kohlenbecken der Erde. Die geschätzten Ressourcen betragen 1650 Mrd. t an Braun- und Steinkohlen. Bisher werden diese Vorkommen aber nur in geringem Maße genutzt. Von Interesse waren insbesondere Erkenntnisse über Art und Qualität, petrographische und geochemische Zusammensetzung, Lagerungsverhältnisse, regionale Verbreitung und Unterschiede sowie Nutzungsmöglichkeiten. Zu diesem Zwecke sollten, möglichst über das ganze Becken verteilt, Proben entnommen und untersucht werden. Die durchgeführten Untersuchungen sollten dazu beitragen, den Kenntnisstand über dieses gewaltige Energiepotential zu erweitern.

Für den **umweltgeochemischen Bearbeitungsschwerpunkt** sollten erste Erkenntnisse darüber gewonnen werden, inwieweit die großmaßstäblichen Bergbauaktivitäten, vornehmlich Gold- und Diamantenbergbau, das Großentwässerungssystem Lena mit Schadstoffen belasten. Sediment- und Wasserproben aus der Lena und ihren beiden Nebenflüssen Wiljuj und Aldan sollten auf typische Verunreinigungen aus Bergbauaktivitäten untersucht werden. Da sich ganz Jakutien im Bereich des Permafrostes befindet, steht für die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung nur Oberflächenwasser zur Verfügung. Ferner ist die Bevölkerung aufgrund der klimatisch bedingten geringen Lebensmittelproduktion auf die Versorgung mit Fisch aus den Flüssen angewiesen. Die Erkundung des Belastungsgrades der Gewässer ist deshalb von zentraler Bedeutung für diese Region.

In den Jahren 1994, 1995 und 1999 wurden verschiedene Expeditionen in die unterschiedlichsten Bereiche des Beckens unternommen. Während dieser Geländeaufenthalte konnten sowohl wesentliche Kohlenvorkommen untersucht, als auch Sediment- und Gewässerproben entnommen werden. Das gesamte Probematerial wurde nach Deutschland transportiert und hier in den verschiedenen Instituten bearbeitet.

2 Situation der Republik Sacha (Jakutien)

2.1 Geographie

2.1.1 Lage und Demographie

Die Republik Sacha (Jakutien) liegt im Nordosten Sibiriens und gehört zur Republik Russland (Abb. 2-1). Die Fläche beträgt 3.103.200 km², das entspricht fast einem Fünftel der gesamten Fläche Russlands. Der nördlichste Punkt des Festlandes, das Kap Norwik liegt bei etwa 74° nördlicher Breite, der südlichste Punkt befindet sich im Stanowoi-Gebirge bei 55°30' nördlicher Breite. Die größte Nord-Süd-Ausdehnung beträgt 2000 km, die größte West-Ost-Erstreckung 2500 km. Innerhalb der Republik liegen 3 Zeitzonen. Die Entfernung von Moskau nach Jakutsk, der Hauptstadt der Republik Sacha, beträgt ca. 8470 km.

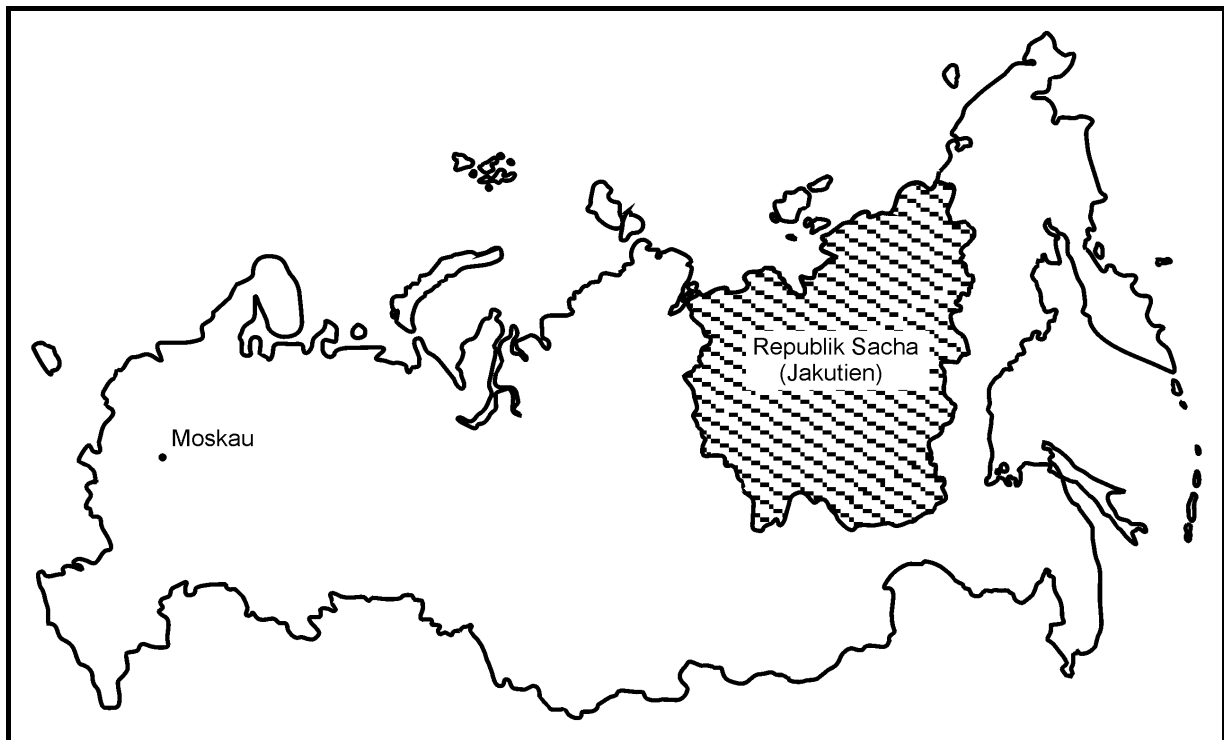


Abb. 2-1 Lage Jakutiens innerhalb Russlands

Eine stärkere Besiedlung erfuhr Jakutien erst gegen Ende des 19./Anfang des 20. Jahrhunderts, als reiche Bodenschätze entdeckt wurden. Zur Zeit der Sowjetunion wurden für die industrielle Erschließung Jakutiens Arbeitskräfte aus den anderen Sowjetrepubliken nach Jakutien geholt. Nach dem Zerfall der Sowjetunion erfolgte eine verstärkte Bevölkerungsabnahme durch Rückwanderung dieser Arbeitskräfte in die Einzelrepubliken. Heute leben in Jakutien etwas weniger als 1 Mio. Menschen (Bevölkerungsdichte: 0,32 EW/km²), ca. 200.000 davon in der Hauptstadt. Die Hauptmasse der Bevölkerung ist auf wenige Städte und deren nähere Umgebung verteilt. Bei diesen Städten handelt es sich grobteils um Bergbauzentren (Mirnyj, Aldan, Nerjungri, Udačnyj, Ust'-Nera etc.), die ihre Entstehung dem

Vorkommen von Bodenschätzen verdanken. Die Jakuten (40 %) stellen zusammen mit den Russen (47 %) den größten Bevölkerungsteil, Ukrainer sind zu 6 % vertreten (PROKOPIJEWA et al., 2002). Die Amtssprache ist russisch und jakutisch.

2.1.2 Morphologie und Hydrographie

Morphologie

Die Morphologie Jakutiens lässt sich in drei Bereiche einteilen. (siehe Abb. 2-2).

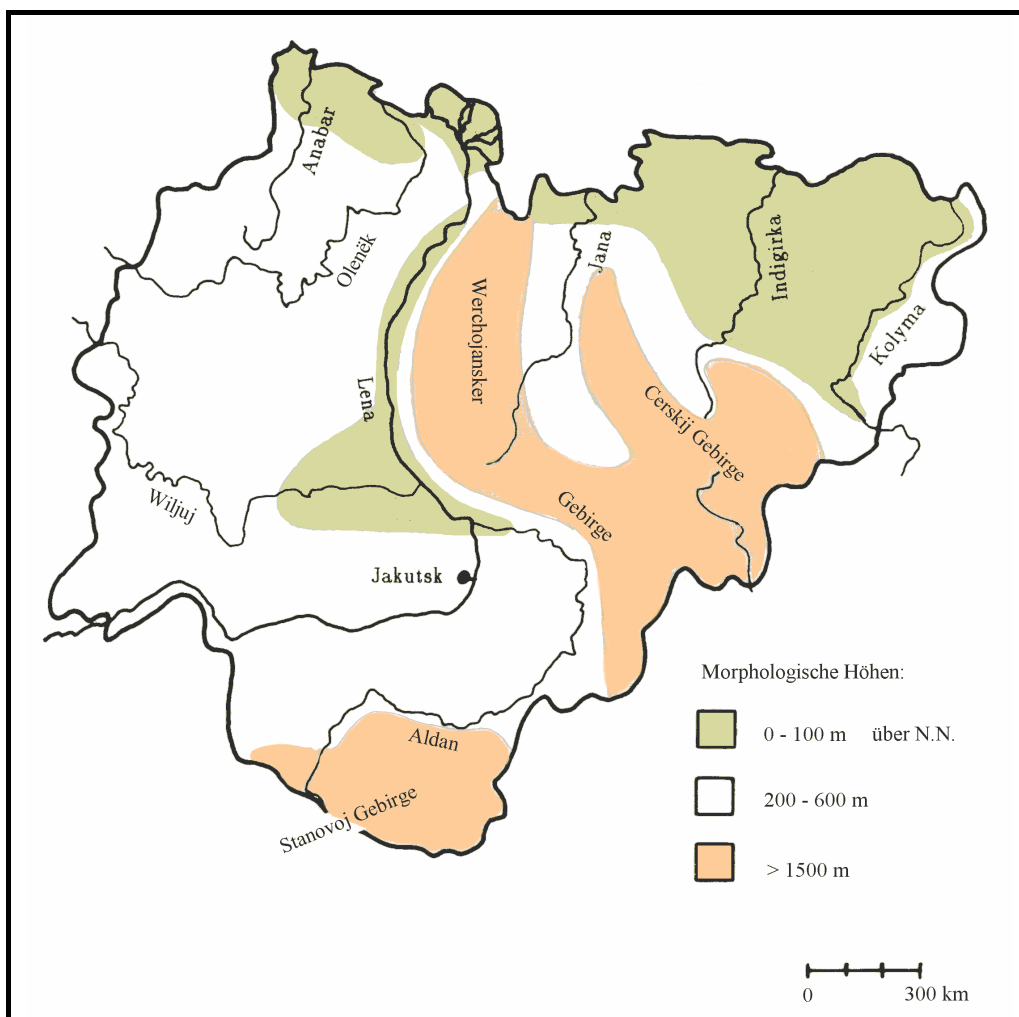


Abb. 2-2 Vereinfachte Physische Karte von Jakutien

Der Norden und vor allem der Nordosten des Landes ist bis auf einige Gebirgsausläufer äußerst flach (0 – 100 m ü. NN). 60 % der Fläche werden durch Seen und sogenannte Alasi (schüsselförmige wassergefüllte Senken) eingenommen. Sie sind zusammen mit Strukturböden und anderen Thermokarsterscheinungen typisch für die Permafrostregion. Alasi und Strukturböden entstehen durch das periodische Auftauen und Gefrieren des Bodens und dem damit zusammenhängenden Materialtransport (s. Kap. 2.1.3).

Der zentrale westliche Landesteil liegt etwas höher, zwischen 200 und 500 m über NN. Die Morphologie ist bedingt durch die geologischen Verhältnisse ebenfalls flach. Es handelt sich um den Bereich der Sibirischen Plattform, die seit dem Präkambrium mit Ausnahme der Wiljui-Gegend keine größeren Bewegungen erfuhr. Die Sedimente sind annähernd ungestört und liegen fast horizontal. Auch hier gibt es unzählige Seen und wassergefüllte Senken, wenn im Sommer der gefrorene Boden auftaut.

Der südliche und zentrale östliche Landesteil wird durch Hochgebirge eingenommen. Im Süden handelt es sich um das Stanowoi-Gebirge, einem Ausläufer des präkambrischen Aldan-Schildes. Im zentralen östlichen Teil sind es die annähernd nordwest/südost verlaufenden mesozoischen Gebirgsketten des Werchojansker- und Tscherski-Gebirges. Die Höhen betragen 2000 – 3000 m über NN. Die höchste Erhebung des Landes ist der Berg ‚Popeda‘ im Tscherski-Gebirge mit 3147 m.

Hydrographie

Jakutien wird durch sechs große Flusssysteme entwässert (siehe Abb. 2-2). Diese sind der Anabar, der Olenök, die Lena, die Jana, die Indigirka und die Kolyma. Alle diese Systeme entwässern in das nördliche Eismeer (Laptewsee, Ostsibirische See). Der größte Strom ist die Lena mit einer Länge von 4400 km. Sie ist der drittlängste Strom Russlands, ihr Einzugsgebiet umfasst 2,4 Mio km². 56 % des gesamten oberirdischen Abflusses Jakutiens fließt über sie ab (s. Tab. 2-1). In ihrem zentralen Teil ist sie 5 – 8 km breit und in eine Reihe von Nebenarmen verzweigt. Zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr kann sie eine Breite von 30 km erreichen.

Tab. 2-1 Prozentuale Verteilung des Oberflächenabflusses der sechs großen Flusssysteme Jakutiens (nach BOGATOVA et al., 1981)

Lena	Indigirka	Kolyma	Olenök	Jana	Anabar	Andere
56 %	11 %	11 %	7 %	7 %	3 %	5 %

Die absoluten jährlichen Abflussmengen sowie die Sedimentfracht der Ströme Anabar, Olenök, Lena und Jana sind in Abb. 2-3 dargestellt.

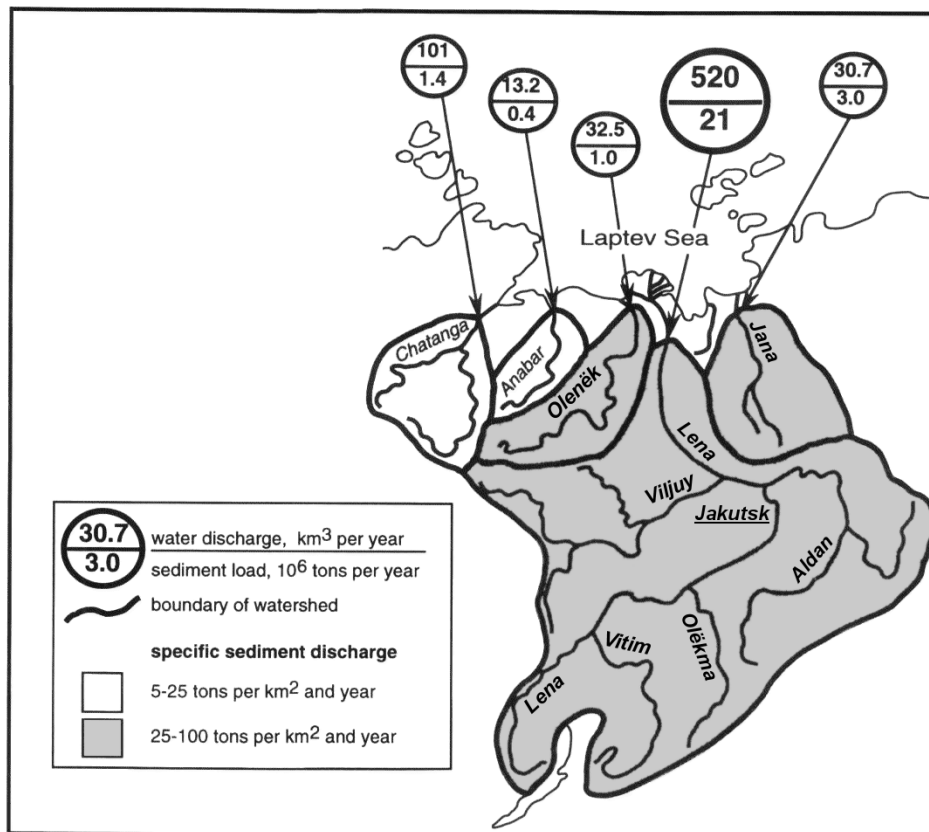


Abb. 2-3 Jährliche Abflussmengen und Sedimentfracht verschiedener jakutischer Flüsse (RACHOLD et al., 1996)

Die Abb. 2-4 zeigt das typische jahreszeitliche Abflussverhalten der Lena an ihrem Unterlauf (Station Kjusjur, 145 km vor der Mündung). 75 – 95 % des Abflusses erfolgt in der warmen Jahreszeit, wobei 50 % des Wassers aus der Schneeschmelze, 35 % von Niederschlägen und 15 % vom Grundwasser stammen (RACHOLD et al., 1996). Das Auftreten des Abflusspeaks ist abhängig von der geographischen Breite und der Morphologie des Beckens. Im Oberlauf der Lena tritt der Hauptabfluss im April, im Mittellauf im Mai und im Unterlauf, wie hier dargestellt, im Juni auf. Kleinere Flüsse haben nur einen sommerlichen Abfluss, im Winter sind sie bis zum Grund gefroren.

Die abfließenden Wassermengen als auch die Sedimentführung sind starken starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Im Frühjahr, gegen Mitte Mai, kann der Wasserpiegel der Flüsse innerhalb weniger Tage auf ein Vielfaches seiner normalen Höhe ansteigen. In Bulun an der Lena beispielsweise, wo der Fluss ein relativ schmales Durchbruchstal eintritt, wurden Wasserstandsunterschiede von 27 Metern innerhalb weniger Tage gemessen. Alljährlich kommt es zu Überschwemmungen, insbesondere dann, wenn die Temperaturen sehr abrupt ansteigen (z.B. die Hochwasserkatastrophe in der Region Lensk im Frühjahr 2001).

In den Wintermonaten sind auch die Flüsse gefroren, der Untergrund großer Flüsse jedoch nicht. An der Mündung des Wiljuy in die Lena kommt es häufig zur Verkeilung von Eis-

schollen, die den Wasserabfluss stark behindern. Der Rückstau überflutet dann weite Teile im Oberlauf.

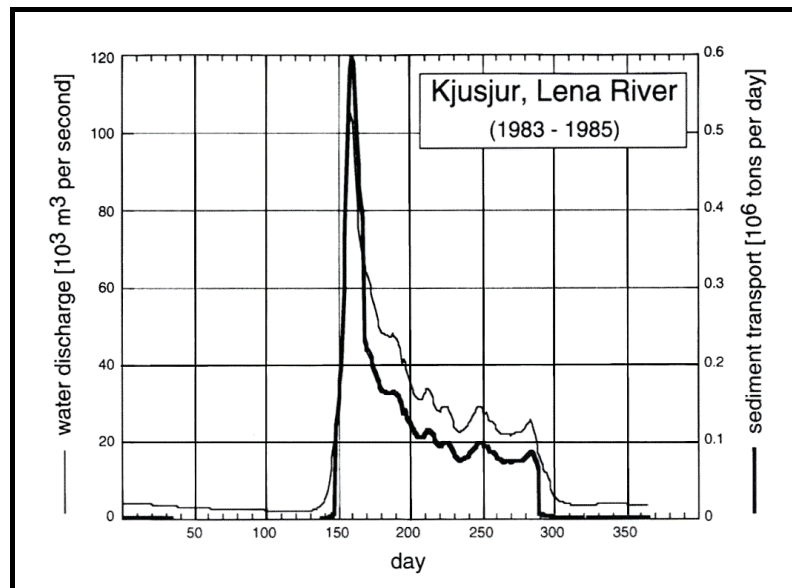


Abb. 2-4 Jahreszeitliche Schwankungen des Abflusses und der Sedimentfracht der Lena, aufgenommen an der Hydrometeorologischen Station Kjusjur (Unterlauf der Lena) (RACHOLD et al., 1996)

Analog zum Oberflächenabfluss verhält sich auch die Menge der mitgeführten Schwebfracht (s. Abb. 2-4). Zur Zeit des Frühjahr-Hochwassers erreicht die Schwebfrachtkonzentration in der Lena 60 – 80 mg/l. Im Winter fällt sie auf 5 mg/l und darunter.

2.1.3 Klimatische Verhältnisse und Vegetation

Klimatische Bedingungen und Auswirkungen

In Jakutien herrscht extrem kontinentales Klima (sehr kalte Winter, warme trockene Sommer). Es weist die höchste Kontinentalität der gesamten besiedelten Festlandsfläche der Erde auf. Der Winter dauert im Norden fast neun Monate, in Jakutsk ein halbes Jahr. Die Temperaturen sinken bis auf unter $-50 \text{ }^\circ\text{C}$, im Januar liegen die mittleren monatlichen Temperaturen zwischen -30 und $-50 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Umgebung der Siedlung Oimjakon im südlichen Werchojansker Gebirge gilt als der Kältepol der nördlichen Hemisphäre. Hier fallen die Temperaturen auf $-70 \text{ }^\circ\text{C}$. Im Juli liegen die mittleren monatlichen Temperaturen bei $8 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$, nicht selten werden aber auch $30 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht. Häufig beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Sommer und Winter $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Tab. 2-2 verdeutlicht die mittleren monatlichen Lufttemperaturen an drei Lokationen. Station Tscherski befindet sich im äußersten Nordosten, Werchojansk im zentralen Teil und Jakutsk im südlichen Teil des Landes.

Die Niederschläge sind gering. Mit Ausnahme der gebirgigen Regionen im äußersten Süden und im zentralen westlichen Landesteil liegen sie im Jahresmittel unter 250 mm, in weiten Gebieten sogar unter 200 mm. Die niederschlagsreichsten Monate sind der Juli und der

August. Die Pflanzen beziehen ihr Wasser vorwiegend aus dem aufgetauten Boden.

Tab. 2-2 Monatsmittel der Lufttemperatur (in °C) an drei Stationen in Jakutien (aus WEIN, 1999)

Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
Tscherski	-35,8	-33,4	-26,0	-15,6	-2,9	9,6	11,8	8,6	2,3	-10,6	-24,2	-35,5	-12,4
Werchojansk	-48,9	-43,7	-29,9	-13,0	2,0	12,7	15,3	11,0	2,6	-14,1	-36,1	-45,6	-15,6
Jakutsk	-43,2	-35,8	-22,0	-7,4	5,6	15,4	18,8	14,8	6,2	-7,8	-27,7	-36,6	-10,2

Das gesamte Land liegt im Bereich des Permafrostbodens. Seine durchschnittliche Tiefe liegt in Jakutien bei 100 – 500 m. Die größte festgestellte Tiefe beträgt 1500 m, in Jakutsk beträgt die Mächtigkeit 200 – 250 m (BAU & PROKOPJEWA, 1993).

Der Frostboden weist einen sehr unterschiedlichen Eisgehalt auf. Er liegt in der Regel beim sogenannten Grundeis zwischen 25 und 60 %. Beim sommerlichen Auftauen der oberen Bodenschicht (Tautiefe 0,2 – 8 m, in Jakutsk durchschnittlich 2 m) kommt es zu großräumigen Senkungen des Geländes. Sie werden bei winterlichem Gefrieren von Hebungen in gleicher Größenordnung abgelöst. Da die Bewegungen relativ gleichförmig verlaufen, bilden sich keine besonderen morphologischen Formen, es sei denn das Gleichgewicht zwischen den Prozessen wird gestört. Besonders anfällig reagiert der Frostboden auf die Zerstörung der Vegetation. Das kann ohne menschliche Einwirkung z.B. nach Waldbränden infolge Blitzeinschlages geschehen. An diesen Stellen treffen die Sonnenstrahlen im Sommer direkt auf den Erdboden und erwärmen ihn stark. Dies führt zu einem tiefgründigem Auftauen und einer lokalen Geländeabsenkung. Da das Schmelzwasser nicht abfließen kann - der gefrorene Boden ist praktisch wasserundurchlässig - bilden sich zuerst kleine Tümpel, die sich dann zu Seen vereinigen. Nach dem Prozess, der zu ihrer Bildung führt, werden sie als Thermokarstseen bezeichnet (HRABOWSKI, 1990).

Aufgrund des Permafrostbodens gibt es keine Brunnen zur Wasserversorgung. Trinkwasser wird aus Oberflächenwasser gewonnen. Sämtliche Bauwerke werden heute auf Pfählen (vorgefertigte Stahlbetonpfähle) gegründet. Sämtliche Rohrleitungen müssen oberirdisch auf Stelzen verlegt werden. Im Boden verlegt würden sie diesen erwärmen und so langsam versinken. Zum Schutz vor der Kälte müssen sie mehrfach ummantelt werden. Gerodete Flächen, die z.B. für den Straßenbau geschaffen wurden, müssen schnellstmöglich mit einer Trag- und Isolierschicht abgedeckt werden, da sich sonst durch Sonneneinstrahlung innerhalb kurzer Zeit ein abflussloser See bildet.

Vegetation

Im extremen Norden des Landes wird ein schmale Fläche durch die Tundra eingenommen. Sie erstreckt sich von 70° nördlicher Breite bis zur Eismeerküste.

Nach Süden geht die Tundra in die Waldtundra und schließlich in die Taiga über, die ca. 80 % des Landes einnimmt. Hierbei handelt es sich um einen lichten Wald, der zu 3/4 aus Lärchenarten bestanden ist. Nach Süden nimmt die Artenvielfalt zu.

Die Gebirgsregionen zeigen eine ausgeprägte vertikale Gliederung. Die Hochlagen sind ohne Bewuchs, in den mittleren Lagen herrscht die Gebirgstundra vor. Sie ähnelt der Vegetation im Küstenbereich mit Moosen und Flechten. Die Talbereiche sind meist mit Lärchenwald bestanden.

2.1.4 Wirtschaft, Landnutzung, Verkehr

Wirtschaft und Landnutzung

Die Wirtschaft des Landes ist stark monostrukturiert. Sie wird im wesentlichen vom Bergbau dominiert. Über 90 % der Staatseinnahmen stammen direkt aus dem Bergbau (vorwiegend aus der Diamantengewinnung). Verarbeitende Industrie existiert nur in geringem Umfang. Jakutien verfügt neben Gold und Diamanten über reichhaltige Eisen-, Buntmetall-, Kohle- und Erdgaslagerstätten.

Die Landnutzung umfasst in Jakutien die Bereiche Ackerbau, Viehzucht (Fleisch- und Milchwirtschaft), Holzwirtschaft. Neben Rohstoffen wird Holz exportiert.

Jakutien befindet sich in der Zone des risikvollen Ackerbaus (Spät- und Frühfröste, sommerliche Trockenheit). Dieser ist im zentralen und südlichen Landesteil beschränkt möglich. Es wird Weizen, Gerste, Hafer, Kartoffeln, Gemüse im Freiland und Gurken und Tomaten in Gewächshäusern angebaut. Hauptproblem des Ackerbaus ist die kurze Vegetationsperiode, sie beträgt im mittleren Jakutien nur 95 Tage. Teilweise kann sie durch die hohe Anzahl von Sonnenstunden, die im Jahresmittel mit 2266 angegeben werden, ausgeglichen werden. Die angebauten Getreidearten können aber dennoch vielfach nicht ausreifen und werden als Futtermittel verwendet. Etwa 10 % der Ackerfläche muss aufgrund der geringen Niederschlagsmenge bewässert werden. Da der Dauerfrostboden ein Versickern des Wassers in tiefere Bodenschichten verhindert, treten lokal Versalzungen auf.

Viehzucht (Rentierzucht) wird hauptsächlich in den nördlichen und östlichen Landesteilen betrieben. Der Bestand beträgt ca. 400.000 Tiere. Die Lebensmittelproduktion deckt den Eigenbedarf des Landes nur zur Hälfte, die andere Hälfte wird importiert.

Infrastruktur

Da die Infrastruktur in Jakutien nur gering entwickelt ist, sind die Flüsse die Haupttransportwege des Landes. Im Sommer werden die Waren per Schiff und im Winter per LKW auf den zugefrorenen Flüssen transportiert. Die Vereisungsdauer beträgt sechs bis sieben Monate. Für den Personenverkehr gibt es neben den Schiffen und Tragflügelbooten eine Reihe von Flugverbindungen. Eine Eisenbahnlinie, die Jakutsk mit der weiter im Süden verlaufenden BAM-Eisenbahnlinie (Baikal-Amur-Magistrale) verbindet, ist im Bau. Die bekannte Transsibirische Eisenbahn verläuft weiter im Süden und berührt das Territorium der Republik Sacha nicht.

2.2 Geologie

2.2.1 Regionalgeologischer Überblick

Das Gebiet der Republik Sacha wird durch zwei geologische Großeinheiten eingenommen. Der westliche Teil gehört zum Sibirischen Kraton, der östliche zur Pazifischen Geosynklinale, in der jüngeren Literatur ‚Pacific mobil belt‘ genannt. Die Grenze zwischen beiden Großeinheiten verläuft annähernd Nord/Süd, entlang der Flüsse Lena und unterer Aldan. Sie teilt Jakutien in zwei etwa gleich große Teile. Abb. 2-5 zeigt die Lage Jakutiens innerhalb der geologischen Großstrukturen der ehemaligen UdSSR.

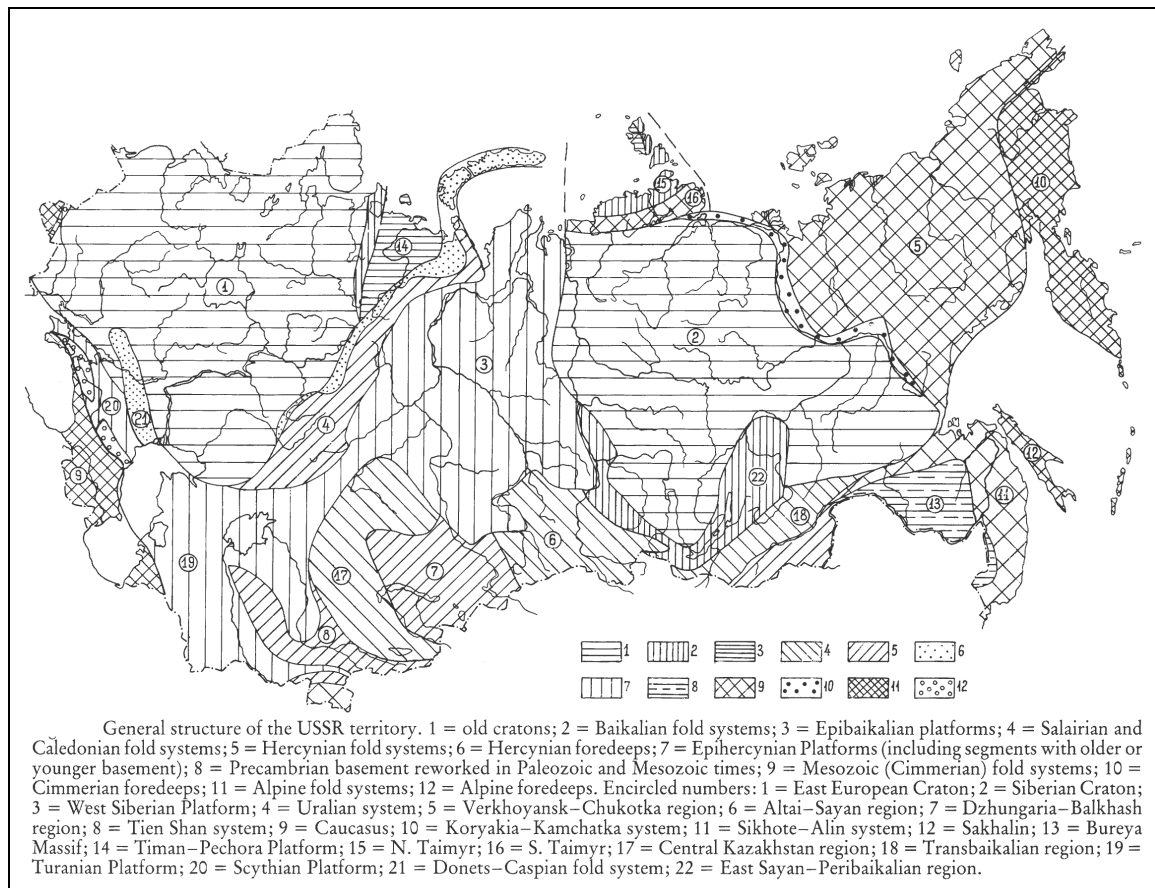


Abb. 2-5 Lage Jakutiens innerhalb der geologischen Großstrukturen der UdSSR (KHAIN, 1985)

Grosseinheit Sibirischer Kraton

Der im Westen befindliche Sibirische Kraton ist der eigentliche Festlandskern des asiatischen Kontinents. Er liegt zwischen Yennisej und Werchojansker Gebirge und wird im Süden vom Sayan Gebirge und den Baikal-Falten begrenzt. Der Sibirische Kraton ist archaisch und proterozoisch gefaltet und metamorphisiert. Er wird diskordant vom Oberen Proterozoikum und Altpaläozoikum überlagert.

An zwei Stellen tritt das Grundgebirge an die Erdoberfläche. Diese sind der Aldan Schild im Südosten und das Anabar Massiv im Norden (s. Abb. 2-6). Ersterer besteht vorwiegend aus ultrabasischen Gesteinen, Graniten und untergeordnet aus Gneisen. Radiometrische Altersbestimmungen ergaben ein Alter von 4500 – 2500 Mio. a. Stellenweise ist das Gestein

jünger überprägt. Das Anabar Massiv besteht vorwiegend aus basischen Gesteinen, kristallinen Schiefen, Quarziten, Granodioriten und Migmatiten. Metamorphose der Granulitfazies liegt vor. Radiometrische Altersbestimmungen ergaben hier ein Gesteinsalter von 2900 – 2350 Mio. a. Diese Gesteinsalter werden jedoch als unsicher eingestuft (KHAIN, 1985). Neben den beiden Grundgebirgsaufwölbungen sind zwei große Beckenstrukturen, die Tugunskaja- und die Wiljuj Syneklise, vorhanden.

Die Tugunskaja Syneklise befindet sich im westlichen Teil des Kratons, umfasst eine Fläche von 1.200.000 km² und ist ca. 1500 km breit. Sie gilt als die spektakulärste Struktur des Sibirischen Kratons. Fast über die gesamte Fläche der Syneklise erstrecken sich oberpermische bis untertriassische "Trapp"-Plateau-Basalte. Die Formation besteht im unteren Teil aus 600 – 800 m mächtigen Tufflagen und im oberen Teil aus 2,5 – 3 km mächtigen Laven. Daneben gibt es ältere Sedimente, die durch eine Reihe von Dikes und Sills durchbohrt sind. Seismische Untersuchungen ergaben eine Tiefe der Syneklise von 8 – 10 km.

Die Wiljuj Syneklise ist kleiner und jünger als die Tugunskaja. Sie hat die Form eines Dreiecks und ist nach NE geöffnet, in Richtung der Werchojansker Vortiefe, wo diese aus der EW Richtung in die NS Richtung übergeht. Hier liegt auch die größte Tiefe der Depression. Das Basement liegt bei 10 – 12 km Tiefe. Das Mesozoikum erreicht 6 – 8 km Mächtigkeit. Die Wiljuj Syneklise hat den Charakter eines komplizierten Aulakogens. Im zentralen südwestlichen Teil befindet sich eine Horststruktur, die Suntar Schwelle. Sie wird von Gräben flankiert, die mit paläozoischen und proterozoischen Sedimenten gefüllt sind. Auch devonische Evaporite kommen vor.

Die Kapchagai Schwelle bildet das östliche Pendant zur Suntar Schwelle. Festgestellt wurden hier devonische Basalte und Kimberlit-Pipes. Letztere führen mehr Diamanten als die Mesozoischen Röhren, die im zentralen und nördlichen Teil des Kratons auftreten (KHAIN, 1985).

Großeinheit Pazifische Geosynklinale (Pacific mobile belt)

Den Raum der Pazifischen Geosynklinale unterteilt man in zwei Bereiche: in den westlichen Bereich der Mesozoiden (Werchojansk-Chukotka Region) und den östlichen Bereich der Alpiden (Koryakia-Kamtschatka System). Ersterer grenzt im Westen mit der Werchojansker Vortiefe und dem Sette-Daban Trog an den Sibirischen Kraton. Die Grenze zu den Alpiden im Osten bildet der Ostasiatische Vulkangürtel.

Das wesentlichste Element des westlichen Bereiches ist das Werchojansker Gebirge. Hierbei handelt es sich um ein Mesozoisches Orogen. Die Entwicklung begann im frühen Karbon (Visé). Es wurden mächtige terrigene Sedimente, des Werchojansker-Komplexes bis zum Mittleren Jura abgelagert. In der Kimmerischen Tektogenese (Oberjura/Unterkreide) erfolgte die Auffaltung. Synorogen traten granitische Intrusionen auf. Im Westen des Orogens bildete sich eine 2000 km lange Randsenke mit 2000 – 3500 m mächtigen, teilweise kohleführenden Molassebildungen des Oberjura bis Unterkreide. Die Werchojansk-Chukotka Region enthält noch verschiedene ältere Massivs (Okhotsk, Kolyma, Omolon und Chukotka). Diese werden als Reste des präkambrischen Basements angesehen (KHAIN, 1985).

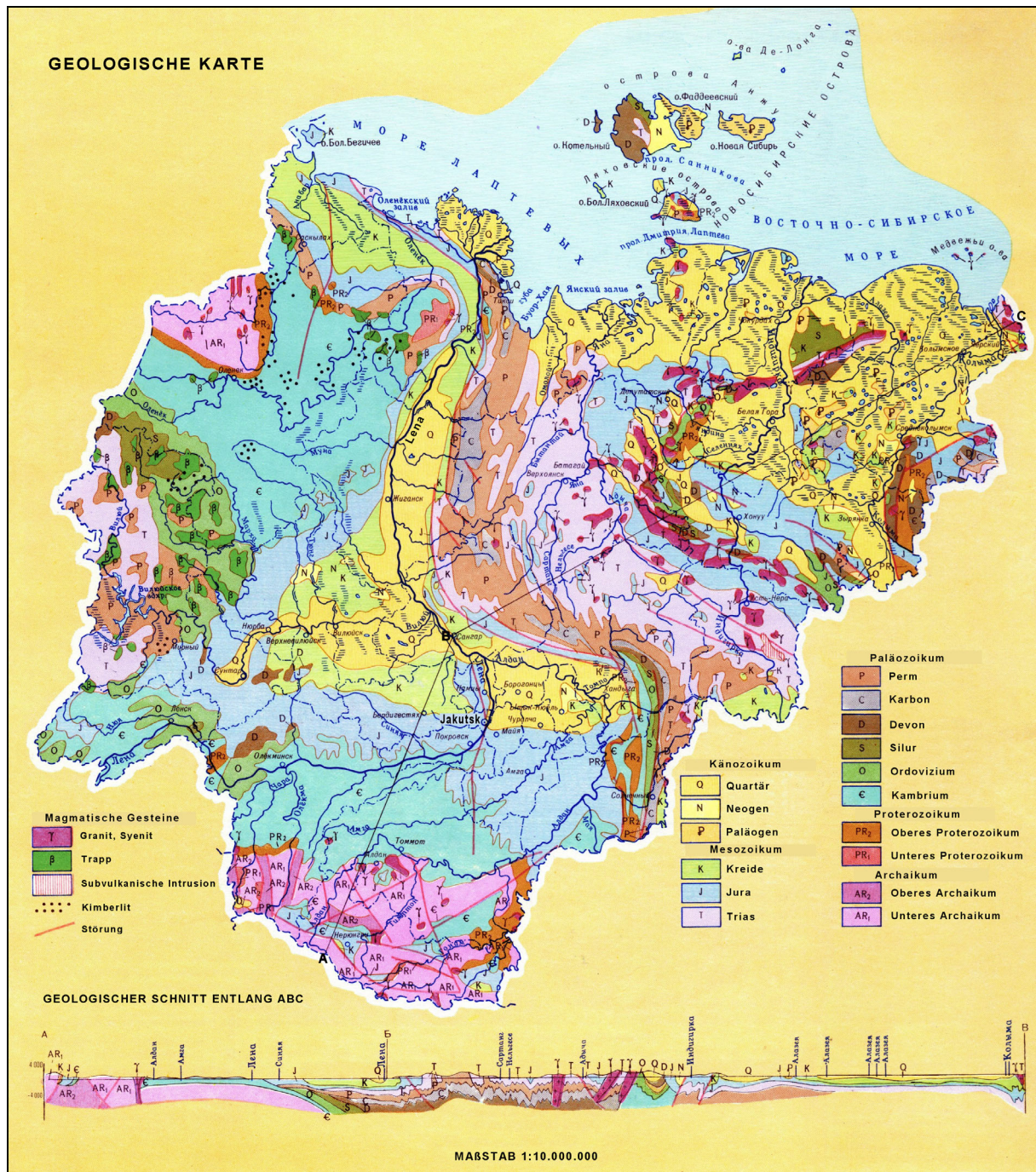


Abb. 2-6 Vereinfachte Geologische Karte Jakutiens (SIVZEV, 1981)

2.2.2 Lagerstätten und Bergbauaktivitäten

Die Republik Sacha (Jakutien) ist ein typisches Bergbau-Land. 75 % der industriellen Produktion entfallen auf den Bergbausektor (MINISTRY OF FOREIGN RELATIONS, 1995). Dieser wird durch zwei Bereiche a) die Diamantengewinnung und b) die Goldgewinnung dominiert. Im Westen des Landes werden an drei Standorten (Mirnyj, Udačnyj und Aichal) Diamanten aus Kimberlit-Schloten gewonnen (s. Anlage 1) mit einer Jahresförderung von ca. 23 Mio. Karat. 90 % der Haushaltseinnahmen der Republik stammen aus der Diamantengewinnung (WEIN, 1999)

Im Norden, Osten und Süden des Landes wird Gold vorwiegend aus Flussschotterlagerstätten gewonnen mit einer Jahresförderung (1997) von 23 t.

Im zentralen nördlichen Landesteil gibt es Buntmetallgruben, die vor allem Zinn gewinnen.

Aufgrund der veränderten wirtschaftlichen Bedingungen in Russland wurden viele Gruben in den letzten zehn Jahren unrentabel, so dass die Bergbauaktivitäten vor allem in den entlegenen Gebieten stark zurückgingen.

Jakutien verfügt ferner über polymetallische Erzlagerstätten, kleinere Erdgaslagerstätten und umfangreiche Kohlenvorkommen, die aber bisher nur wenig erkundet sind.

2.2.3 Geologischer Überblick über die Kohlenvorkommen des Lena-Kohlen-Beckens

Das Lena-Kohlen-Becken ist eines der größten Kohlenbecken der Erde. Es umfasst eine Fläche von 500.000 km². Die N/S Ausdehnung beträgt 1500 km, die größte O/W Ausdehnung 1200 km. Die geschätzten Ressourcen betragen 1650 Mrd. t an Braun- und Steinkohlen (ŽELINSKIJ, 1994).

Das Lena-Kohlen-Becken befindet sich aus geologischer Sicht am nordöstlichen Rand der Sibirischen Tafel. Es besteht im wesentlichen aus zwei Großstrukturen: der Wiljuj Syneklise und der Werchojansker Vortiefe. Die Werchojansker Vortiefe stellt eine s-förmige 2000 km lange Depression dar, die auf der Westseite des Werchojansk Falteingürtels in der Jura- und Kreidezeit durch die Kollision eines Mikrokontinents mit der Sibirischen Tafel gebildet wurde (PARFENOV, 1991; ŽELINSKIJ, 1994).

Die Kohlenbildungen begannen im Lena-Becken bereits im Oberen Paläozoikum (Karbon) und reichen bis ins jüngste Tertiär. Der Hauptbildungszeitraum lag im Oberjura und in der Unterkreide (ŽELINSKIJ, 1994; MATVEEV, 1960). Die Mächtigkeit der kohlenhaltigen oberjurassischen und unterkretazischen Formationen nimmt von der Wiljuj Syneklise in Richtung zur Werchojansker Vortiefe zu und erreicht 2000 – 3500 m. Darin sind ungefähr 150 Kohlenflöze enthalten. 50 Flöze erreichen Mächtigkeiten von über 1 m.

Der Inkohlungsgrad der Kohlen reicht von Braunkohlen bis Anthrazit (ŽELINSKIJ, 1994). Die Kohlen lagern über weite Bereiche horizontal und oberflächennah. Nur die Flöze im direkten Einflussbereich des Orogens sind verfalltet. Bergbauaktivitäten sind auf die unterjurassischen

und oberkretazischen Hartbraunkohlen und Steinkohlen im südlichen Beckenbereich beschränkt.

Eine Überblicksdarstellung über das Lena-Kohlen-Becken gibt Abb. 2-7.

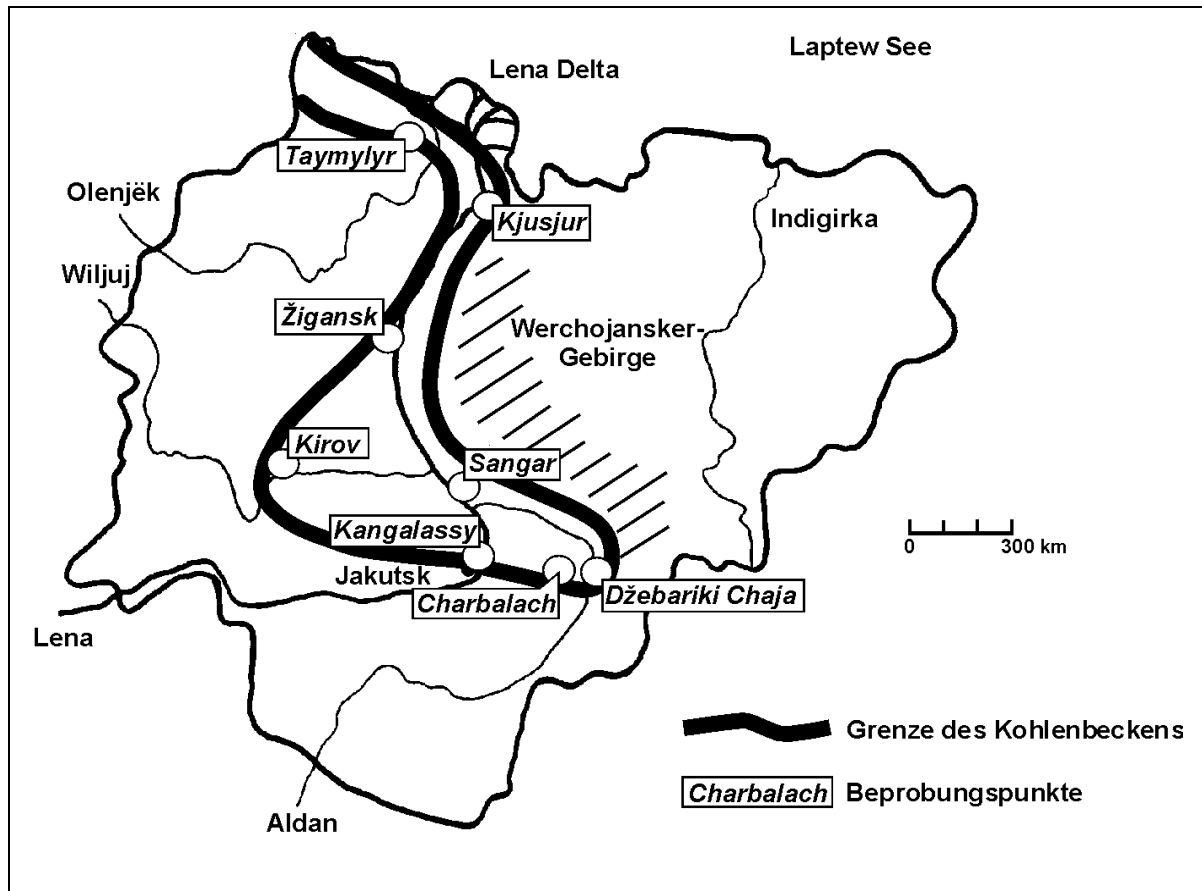


Abb. 2-7 Lage des Lena-Kohlen-Beckens innerhalb Jakutiens sowie Beprobungspunkte

3 Untersuchungsziele und Methodik

Für den rohstoffgeologisch/lagerstättenkundlichen Bearbeitungsschwerpunkt sollten die wenig bekannten Kohlenvorkommen des Lena-Kohlen-Beckens untersucht und hinsichtlich ihrer Genese, ihrer spezifischen Eigenschaften und ihres Verwertungspotentials charakterisiert werden. Von Interesse waren insbesondere Erkenntnisse über Art und Qualität, petrographische und geochemische Zusammensetzung, Lagerungsverhältnisse, regionale Verbreitung und Unterschiede sowie Nutzungsmöglichkeiten. Zu diesem Zwecke sollten, möglichst über das ganze Becken verteilt, Proben entnommen und untersucht werden. Die durchgeführten Untersuchungen sollten dazu beitragen, den Kenntnisstand über dieses gewaltige Energiepotential zu erhöhen.

In den Jahren 1994, 1995 und 1999 konnten verschiedene Expeditionen in die unterschiedlichsten Bereiche des Beckens unternommen werden. Die Expeditionen erfolgten in den Sommermonaten per Schiff auf den Flüssen Lena, Aldan und Wiljui. Zehn Lagerstätten konnten beprobt werden. Die Lage der aufgesuchten und beprobten Kohlenlagerstätten sind als Übersicht in Abb. 2-7, sowie im Detail in den Karten der Anlage 1 bis Anlage 7 dargestellt. Diese Lagerstätten sind z.T. in Abbau (im weiteren als „Lagerstätten“ i.e.S. bezeichnet), z.T. sind sie unverritz (im weiteren als „Kohlenvorkommen“ bezeichnet). Es erfolgte eine Beprobung durch den Autor vor Ort. Probenahme, Konservierung und Transport entsprachen den eingeschränkten Möglichkeiten vor Ort (s. Kap. 3.1).

Zur Analyse der Genese, der Eigenschaften und Verwertungsmöglichkeiten der Kohlen wurden folgende Untersuchungsverfahren angewandt, die in den Kap. 3.2 bis 3.5 erläutert werden:

Physikalisch-chemische Untersuchungen

- Immediat- oder Kurzanalysen (Wasser- und Aschegehalt, Gehalt an flüchtigen Bestandteilen)
- Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff und des Brennwertes
- Elementaranalyse (Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff)
- Analyse der Aschehauptkomponenten und Spurenelemente

Petrographische Untersuchungen

- Maceralanalyse
- Reflexionsmessungen

Organisch-chemisch Untersuchungen

- Bitumenextraktion, Kohlenwasserstoffgruppentrennung u. Analyse der Alkanfraktion

Palynologische Untersuchungen

3.1 Probenahme und -aufbereitung

3.1.1 Probenahme

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 67 Proben aus 10 verschiedenen Kohlenlagerstätten und Kohlenvorkommen verwendet. Bei den entnommenen Proben handelt es sich um 62 sog. Bereichsproben und 5 Einzelproben.

Eine Bereichsprobe repräsentiert einen definierten Flözbereich (z.B. die obersten 2 m eines Flözes). Sie unterscheidet sich von einer Schlitzprobe dadurch, dass sie sich nicht aus der gesamten Bereichslänge, sondern aus den makroskopisch erkennbaren unterschiedlichen Einzelpartien eines Bereiches zusammensetzt. Die Entnahme von Bereichsproben war eine Kompromisslösung, da die Entnahme von Schlitzproben aus logistischen und Transportgründen nicht möglich war.

Alle Bereichsproben wurden vom Autor selbst während mehrerer Kampagnen vor Ort entnommen. Bei den 5 Einzelproben handelt es sich um Stückproben, die von einem Bergwerksbetreiber und aus dem Materialbestand einer früheren russischen Expedition zur Verfügung gestellt wurden.

3.1.2 Probenaufbereitung

Die Aufbereitung der Proben erfolgte entsprechend dem in Abb. 3-1 dargestellten Flussdiagramm.

Ein repräsentativer Teil der Proben wurde auf die Korngröße < 1 mm zerkleinert und für die Herstellung der Kohlenanschliffe und der Durchlichtpräparate verwendet.

Zur Herstellung der Kohlenanschliffe für Reflexionsmessungen wurde das körnige Probenmaterial entsprechend DIN 22020, Teil 2 (1986) in Kunstharz eingebettet sowie nach dem Erhärten angeschliffen und in mehreren Schritten poliert.

Zur Herstellung der Durchlichtpräparate für palynologische Untersuchungen wurde das Probenmaterial mazeriert, welches sich als schwierig erwies. Erst nach einigen Versuchsreihen mit verschiedenen Mazerationsmitteln und variierenden Penetrationszeiten konnten gute Mazerationsergebnisse erzielt werden (s. Kap. 3.5 Palynologische Untersuchungen). Die Mazerationsrückstände wurden auf Objektträger übertragen und abgedeckt.

Für die physikalisch-chemischen und organisch-chemischen Untersuchungen wurde das Probenmaterial mit einer Ultramühle auf eine Korngröße $< 0,2$ mm zerkleinert und entsprechend des jeweiligen Untersuchungszweckes weiterbehandelt. Da die Elementverteilung und die Aschehauptkomponenten flözweise betrachtet werden sollten, wurden hierfür gesondert Mischproben gebildet.

Ein weiterer repräsentativer Probenteil wurde von Hand in einem Achatmörser (um metallische Kontaminationen durch Mühlenteile auszuschließen) auf Korngröße $< 0,2$ mm zerkleinert und anschließend der Spurenelementuntersuchung zugeführt.

Da die Spurenelementuntersuchung flözspezifisch durchgeführt werden sollte, wurden auch hierfür Mischproben gebildet.

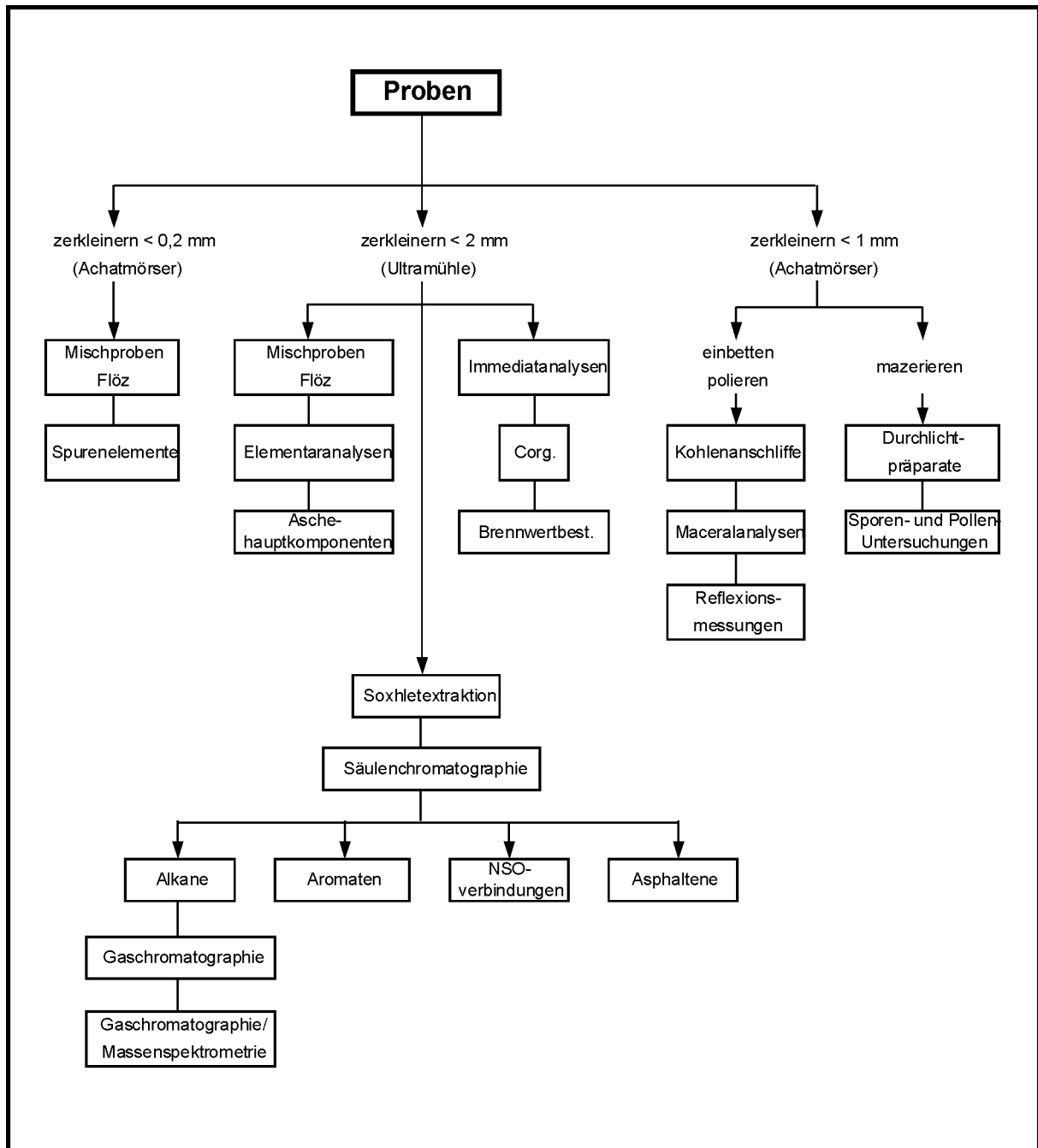


Abb. 3-1 Flussdiagramm der Probenaufbereitung

3.2 Physikalisch-chemische Untersuchungen

3.2.1 Immediatanalysen

Als Immediat- oder Kurzanalysen werden die Bestimmungen der Kohlengrundparameter Wasser- und Aschegehalt sowie der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezeichnet.

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte entsprechend DIN 51718 (1978) bei einer Temperatur von 106 °C. Der Wassergehalt repräsentiert hier die Analysenfeuchte, nicht den Rohwassergehalt, da die Proben während des Transports und bei der Lagerung Feuchtigkeit verloren haben.

Der Aschengehalt wurde nach DIN 51719 (1978) durch Verbrennen der Proben bei 815 °C im Zweikammerofen bestimmt.

Die Bestimmung des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen erfolgte durch Erhitzen der Analyseproben unter Luftabschluss bei einer Temperatur von 900 °C gemäß DIN 51720 (1978).

3.2.2 Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes und Brennwertbestimmung

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff wurde nach einer Behandlung mit Salzsäure mittels eines LECO CR-12 Carbon Determinators bestimmt.

Der Brennwert wurde entsprechend DIN 51900 (1977) mit einem adiabatischen Bombenkalorimeter bestimmt.

3.2.3 Elementaranalyse

Die Bestimmung der Gesamtgehalte von Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff erfolgte analog DIN 51721 (1950) durch Verbrennung der Probe im Sauerstoffstrom über einem Katalysator bei ca. 950 °C mit anschließender Detektion der gebildeten Verbrennungsgase im Wärmeleitfähigkeitsdetektor. Der Gesamtschwefelgehalt wurde entsprechend DIN 51724, Teil 1 (1986) durch Verbrennung der Probe bei 1250 °C im Sauerstoffstrom und anschließender infrarot-spektrometrischer Detektion des gebildeten SO₂ bestimmt. Der Sauerstoffgehalt wurde nicht bestimmt.

3.2.4 Bestimmung der Aschehauptkomponenten und Spurenelemente

Zur Bestimmung der Aschehauptkomponenten Si, Al, Mg, Ca, K, Na, Fe, Ti und P wurden die Proben verascht und ein Totalaufschluss (HNO_3/HF -Gemisch in einer Hochdruckbombe) analog BB 22022, Teil 2, hergestellt. Die Detektion der in der Lösung enthaltenen Ionen erfolgte anschließend mittels ICP-OES entsprechend DIN 38406-22 (1988).

Die Bestimmung der Spurenelemente As, Hg, Ba, Be, Pb, Cd, Co, Cu, Sr, V, Zn, Ge, Ga, B, Cr, Zr, U, Ag, Y und Sc erfolgte nach Mikrowellendruckaufschlüssen der Proben und anschließender Detektion mittels ICP-AES entsprechend DIN 38405-18 (1985) für As, sowie DIN 38406-22 (1988) für alle anderen Elemente.

3.3 Petrographische Untersuchungen

3.3.1 Maceralanalysen

Als Macerale bezeichnet man die kleinsten lichtmikroskopisch sichtbaren Bestandteile einer Kohle, vergleichbar den Mineralen eines Gesteins. Macerale entstehen während der Inkohlung aus den verschiedenen pflanzlichen Ausgangsmaterialien durch unterschiedliche chemisch-physikalische Prozesse und unterscheiden sich in Reflexionsvermögen, Form und Relief. Die qualitative und quantitative Verteilung der einzelnen Macerale in der Kohle liefert Informationen über die Art des pflanzlichen Ursprungsmaterials, über das Ablagerungsmilieu sowie über die Bedingungen, denen das Pflanzenmaterial auf dem Wege zur Kohlenbildung ausgesetzt war. Macerale werden entsprechend ihren ähnlichen optischen Eigenschaften (Reflexionsvermögen für Licht) in Maceralgruppen zusammengefasst.

Man unterscheidet drei Maceralgruppen (STACH, 1982):

1. Vitrinit (in Steinkohlen) bzw. Huminit (in Braunkohlen)
2. Inertinit
3. Liptinit

Als Vitrinit werden die Bestandteile eines Kohlenanschliffes bezeichnet, die ein mittleres Reflexionsvermögen besitzen und somit eine mittelgraue Farbe aufweisen. Inertinit besitzt ein größeres Reflexionsvermögen und erscheint daher hellgrau bis weiß. Liptinit hat das geringste Reflexionsvermögen und erscheint dunkelgrau bis schwarz.

Die Macerale der Inertinit- und der Liptinitgruppe haben in Braun- und Steinkohlen das gleiche Erscheinungsbild. Im Gegensatz dazu zeigen die Macerale der Vitrinite große Unterschiede in ihrem Aussehen in Braun- und Steinkohlen. Aus diesem Grund gibt es für diese Maceralgruppe eine eigene Braunkohlen- und Steinkohlen-Nomenklatur. In Tab. 3-1 ist die Vitrinit-Nomenklatur (für Steinkohlen) und Huminit-Nomenklatur (für Braunkohlen) gegenübergestellt (ICCP, 1995).

Tab. 3-1 Vitritin- und Huminit-Nomenklatur (ICCP, 1995)

Steinkohlen			Braunkohlen		
Maceralgruppe	Maceraluntergruppe	Maceral	Maceralgruppe	Maceraluntergruppe	Maceral
Vitrinit	Telovitrinit	Telinit Collotelinit	Huminit	Humotelinit	Textinit Ulminit
	Detrovitrinit	Vitrodetrinit Collodetrinit		Humodetrinit	Attrinit Densinit
	Gelovitrinit	Corpogelinit Gelininit		Humocollinit	Corpohuminit Gelininit

Aufgrund der Tatsache, dass bei den untersuchten Kohlen fast ausschließlich Steinkohlen-macerale angetroffen wurden, findet hier die hier Steinkohlen-Nomenklatur Verwendung. In Tab. 3-2 sind die einzelnen Maceralgruppen und Macerale der Steinkohlen bzgl. ihrer Charakteristika kurz dargestellt.

Tab. 3-2 Übersicht über die Macerale der Steinkohlen

Maceralgruppe	Maceraluntergruppe	Maceral
Vitrinit	Telovitrinit	Telinit, Collotelinit
	Detrovitrinit	Vitrodetrinit, Collodetrinit
	Gelovitrinit	Corpogelinit, Gelininit
Liptinit		Sporinit, Cutinit, Resinit, Alginit, Bituminit, Fluorinit, Exsudatinit, Liptodetrinit
Inertinit		Fusinit, Semifusinit, Macrinit, Micrinit, Sclerotinit, Inertodetrinit

Die nachfolgende kurze Beschreibung der Maceralgruppen, -untergruppen und Einzel-macerale lehnt sich eng an die im ‚International Handbook of Coal Petrography‘ (zuerst veröffentlicht von ICCP 1963, ergänzt und erweitert 1971, 1975, 1985, 1993 und 1995) enthaltenen Definitionen und schließt Erläuterungen von STACH et al. (1982), BUSTIN et al. (1983), WOLF (1988) sowie TAYLOR et al. (1998) ein. Auf das Zitieren dieser Literatur nach jedem Begriff wird verzichtet.

Vitrinit

Die Maceralgruppe Vitrinit umfasst drei Untergruppen und sechs Macerale. Vitrinit zeigt im Anschliff unter Ölimmersion eine graue Farbe, sein Reflexionsvermögen liegt zwischen dem des dunkleren Liptinit und dem des helleren Inertinit. Vitrinit entsteht aus Stämmen, Ästen, Rinden, Wurzeln und Blättern terrestrischer Pflanzen, die unter weitgehend anaeroben Bedingungen abgelagert wurden (TEICHMÜLLER, 1982).

➤ Telovitrinit

Die Untergruppe Telovitrinit umfasst diejenigen vitrinitischen Macerale, bei denen die pflanzliche Zellstruktur noch erhalten ist.

- *Telinit:* Als Telinit werden die deutlich erkennbaren Zellwände von Pflanzengewebe bezeichnet.
- *Collotelinit:* Als Collotelinit wird homogener, strukturloser Vitrinit bezeichnet. Reste von Zellwandstrukturen sind nur noch in gering inkohlten Kohlen zu erkennen.

Collotelinit bildet sich aus Telinit durch fortschreitende Zellwandquellung und Vergelung.

➤ Detrovitrit

Die Untergruppe Detrovitrit umfasst vitrinitische Partikel, die entweder isoliert vorkommen oder eine vitrinitische Grundmasse bilden.

- *Vitrodetrinit:* Als Vitrodetrinit werden kleine diskrete, vitrinitische Fragmente unterschiedlicher Form bezeichnet, die dadurch erkennbar sind, weil sie von nicht-vitrinitischem Material umgeben sind.
- *Collodetrinit:* Als Collodetrinit wird die gesprenkelte vitrinitische Grundmasse bezeichnet, in die andere Macerale oder auch Minerale eingelagert sind.

➤ Gelovitrit

Die Untergruppe Gelovitrit umfasst kolloidale, vitrinitische Ausfüllungen von ehemaligen Hohlräumen.

- *Corpogelinit:* Als Corpogelinit werden homogene, diskrete Körper bezeichnet, die Füllungen von Zellhohlräumen darstellen.
- *Gelinit:* Als Gelinit bezeichnet man die homogenen und strukturlosen Füllungen von Spalten und Klüften.

Liptinit

Als Liptinit werden die inkohlten Produkte von Sporen, Pollen, Algen, Harzen, Kutikulen, ätherischen Ölen, Wachslamellen von Korkgeweben sowie sekundär, während der Inkohlung gebildete bituminöse Stoffe bezeichnet. Liptinitmacerale (Liptinite) enthalten relativ große Mengen aliphatischer Verbindungen, sind also wasserstoffreich. Die kettenförmigen Moleküle lassen nur einen losen Stoffverband entstehen, welcher das einfallende Licht nur in geringem Maße zu reflektieren vermag. Liptinit ist aufgrund seines geringen Reflexionsvermögens neben Ton die dunkelste Komponente eines Kohlenanschliffs unter Ölimmersion.

Bei einer Bestrahlung mit Blau- oder UV-Licht zeigt Liptinit eine deutliche Fluoreszenz. Hierdurch lassen sich die einzelnen Liptinitmacerale gut erkennen, zuordnen und von anderen Kohlenkomponenten unterscheiden.

- *Sporinit:* Als Sporinit bezeichnet man die inkohlten Außenhäute (Exinen und Perinen) von Sporen und Pollenkörnern. In Steinkohlen sind diese Häute meist zusammengepresst, so dass sich in Schnitten senkrecht zur Schichtung eine linsenförmige Form ergibt. Der ursprüngliche Hohlraum deutet sich nur noch als dünne Linie an. Ausbuchtungen oder wurmförmige Anhänge gehen auf Skulpturen der Außenhäute zurück.
- *Cutinit:* Als Cutinit bezeichnet man ein Maceral, das aus Kutikulen entstanden ist. Die Kutikula ist die äußerste Schicht der Epidermiszellen der Gefäßpflanzen. Sie tritt an Blättern und Stengeln auf. In Schliffen senkrecht zur Schichtung hat Cutinit die Form von ungezackten oder einseitig gezackten Leisten, parallel zur Schichtung erkennt man die Struktur der Epidermiszellen.
- *Resinit:* Resinite sind aus Harzen und Zellexkreten hervorgegangen. Harze und Zellexkrete kommen in verschiedenen Pflanzenteilen (Rinde, Holz, Blätter) vor. Resinite können als Zellausfüllungen in Geweben oder isoliert vorkommen.

- *Alginit:* Als Alginit werden die Inkohlungsprodukte von Algen bezeichnet. Typische Algen finden sich nur in Ölschiefen und sapropelitischen Kohlen. In Humuskohlen wird die Morphologie nur selten erhalten. Wichtige Formen sind *Pila*, *Reinschia* und *Tasmanites*, wobei *Pila* als identisch mit der rezenten, im Süßwasser lebenden Grünalge *Botryococcus braunii* angesehen wird. Alginit zeigt unter Blaulicht-Anregung eine intensive gelb-grüne Fluoreszenz.
- *Bituminit:* Das Maceral Bituminit zeichnet sich durch das Fehlen einer charakteristischen Form aus. Bituminit tritt oft in Form von unregelmäßigen Schlieren auf oder ist grundmassebildend. Man nimmt an, dass es sich bei Bituminit um ein Abbauprodukt von Algen handelt. Bituminit zeigt unter Blaulichtanregung eine bräunliche Fluoreszenz, die bei längerer Bestrahlung zunimmt und in eine orange Farbe übergeht.
- *Fluorinit:* Das Maceral Fluorinit wurde erst durch die Einführung der Fluoreszenz-Mikroskopie (Blaulicht/UV-Anregung) entdeckt. Unter weißem Auflicht erscheint Fluorinit als schwarze, körnige Substanz, die oft lagenförmig in der Kohle auftritt und leicht mit Ton verwechselt werden kann. Unter Blaulicht-Anregung zeigt Fluorinit eine starke gelb bis gelbgrüne Fluoreszenz. Da Fluorinit oft zusammen mit Cutinit vorkommt, nimmt man an, dass er eventuell aus dessen ätherischen Ölen hervorgeht.
- *Exsudatinit:* Exsudatinit ist ein sekundäres Maceral, das bei der Inkohlung gebildet wird, wenn ölartige Substanzen aus dem lipoiden Material der Liptiniten oder der Vitriniten entstehen. Exsudatinit füllt Spalten, Brüche, Zellhohlräume und ist genetisch verwandt mit hell fluoreszierenden Flüssigkeitsaustreibungen, die gelegentlich zu beobachten sind. Die Fluoreszenzfarbe und -intensität des Exsudatinit variieren stark.
- *Liptodetrinit:* Das Maceral Liptodetrinit umfasst alle kleinen liptinitischen Partikel, die aufgrund ihrer detritischen Art und geringen Größe nicht anderen Liptinit-Maceralen zugeordnet werden können. Hierunter fallen Bruchstücke, Fragmente und Reste von Liptiniten sowie sonstige kleine Partikel, die entsprechend ihren Fluoreszenzfarben den Liptiniten zuzurechnen sind.

Inertinit

Die Maceralgruppe Inertinit umfasst Macerale, die aufgrund ihres höheren Reflexionsvermögens die hellsten kohligen Komponenten in einem Kohlenanschliff unter Ölimmersion darstellen. Die Macerale der Inertinit-Gruppe sind im wesentlichen aus den gleichen Pflanzenresten entstanden wie die der Vitrinit-Gruppe, waren aber besonderen Bedingungen unterworfen (verstärkte Oxidation, Temperatureinwirkung, Bakterien- und Pilzbefall) Diese Bedingungen führten zu einem Anstieg des C-Anteils aufgrund von Aromatisierungs- und Kondensationsreaktionen und somit zu einem höheren Reflexionsvermögen.

- *Fusinit:* Als Fusinit werden stark reflektierende Zellwände von gut erhaltenen Geweben bezeichnet. Man unterscheidet Pyrofusinit und Degradofusinit. Ersterer zeigt häufig typische Lochsieb- und Bogenstrukturen und entsteht im wesentlichen durch unvollkommene Verbrennung bei Wald- und Torfbränden (fossile Holzkohle). Letzterer entsteht durch die Einwirkung von Bakterien und Pilzen.
- *Semifusinit:* Semifusinit besteht aus Zellwänden, deren Reflexionsvermögen zwischen dem des Vitriniten und dem des Fusiniten innerhalb der gleichen Kohle liegt. Er repräsentiert sozusagen ein Übergangsstadium vom Telinit zum Fusinit. Die Zellwände des Semifusiniten sind oft zusammengedrückt und weniger deutlich erhalten.
- *Macrinit:* Macrinit ist eine strukturlose, helle Substanz, die in unregelmäßigen Formen auftritt. Die Entstehung von Macrinit ist bisher nicht eindeutig geklärt. Einige Autoren gehen davon aus,

dass es sich bei Macrinit um das Oxidationsprodukt eines stark gelifizierten Gewebes handelt (DIESEL, 1982).

- *Micrinit:* Als Micrinit bezeichnet man hell leuchtende winzige Pünktchen, die einzeln, oft aber gehäuft z.B. als Zellhohlraumfüllung in Teliniten auftreten. Micrinit ist ein sekundäres Maceral, das offensichtlich aus Liptiniten während der Inkohlung entsteht. Micrinit-reiche Kohlen entstammen häufig einer sapropelitischen Fazies. Untersuchungen haben gezeigt, dass Micrinit nicht besonders kohlenstoffreich ist, sondern vielmehr dem Chemismus der Liptinite ähnelt. Sein hohes Reflexionsvermögen resultiert nach TAYLOR & LIU (1989) aus Interferenzeffekten aufgrund der sehr geringen Korngröße.
- *Sclerotinit:* Als Sclerotinit werden die inkohlten Reste von Pilzen bezeichnet. Hierzu gehören Hyphen, Mycelien, Plectenchyme, Sporen und Sclerotien.
- *Inertodetrinit:* Unter dem Begriff Inertodetrinit werden alle Reste, Fragmente und Bruchstücke von Fusinit, Semifusinit, Macrinit und Sclerotinit zusammengefasst, die kleiner als 10 µm und nicht näher zuordenbar sind.

Die Maceralanalysen wurden unter weißem Auflicht entsprechend DIN 22020, Teil 3 (1986) an Körnerpräparaten durchgeführt. Zum Einsatz kamen ein Zeiss Axioplan und ein Leitz Ortholux Mikroskop mit Ölimmersionsobjektiven (400fache bzw. 320fache Gesamtvergrößerung). Unter Verwendung eines Fadenokulars und eines Point-Counters der Firma Swift wurden 500 Macerale je Probe bestimmt und gezählt.

Zur genaueren Quantifizierung und Bestimmung der Liptinite erfolgte anschließend eine nochmalige Zählung unter Blaulicht-Anregung. Liptinite zeigen unter Blaulichtanregung eine deutliche Fluoreszenz und sind so wesentlich besser erkenn- und bestimmbar. Zum Einsatz kam hierfür ein Zeiss Axioplan Mikroskop mit einem Neofluar 50/ Trockenobjektiv. Bei 500facher Vergrößerung wurden ebenfalls unter Verwendung eines Point-Counters 500 Punkte je Probe bestimmt und gezählt.

Die prozentualen Gehalte an Liptinit fielen bei der Zählung unter Blaulicht-Anregung meist höher aus als unter weißem Auflicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Liptinite unter weißem Auflicht, wie bereits erwähnt, schlechter erkennbar sind und leicht für Ton gehalten werden können (s. auch PICKEL, 1991). In die Auswertung ging deshalb der unter Blaulicht-Anregung ermittelte Liptinitgehalt ein. Der Differenzbetrag wurde am Ton-Anteil bzw., falls der Ton-Anteil nicht ausreichte, am Collodetrinit-Anteil abgezogen.

3.3.2 Reflexionsmessungen

Eine Methode zur Bestimmung des Inkohlungsgrades von Kohlen und inkohltem organischem Material ist die Messung der Vitrinitreflexion.

Die Bestimmung des mittleren Reflexionsgrades R_r (%) erfolgte am Maceral Telocollinit mit einem Zeiss Mikroskop-Photometer (Zeiss Universal R 928) unter Verwendung eines Ölimmersionsobjektives Epiplan 40/85, einer stabilisierten Halogenlampe (100 W), einer Leuchtfeldblende von 0,4 mm Durchmesser, einer Messblende von 0,25 mm Durchmesser und einem Interferenzfilter von 546 nm. Als Kalibrierstandard diente ein Yttrium-Aluminium-

Granat mit einem Reflexionsgrad von 0,88 %. Entsprechend DIN 22020, Teil 5 (1986) wurden 100 Messpunkte je Probe gemessen.

3.4 Organisch-geochemische Analytik

Organisch-geochemische Untersuchungen liefern wichtige Informationen zur Charakterisierung von Kohlen. Sie geben Auskunft über die Menge und Verteilung charakteristischer Kohlenwasserstoffe, geben Hinweise auf das pflanzliche Ursprungsmaterial, das Ablagerungsmilieu sowie Anhaltspunkte über die Bedingungen, denen das pflanzliche Material bei der Entwicklung zur jeweiligen Kohlenart unterworfen war.

Organisch-geochemische Untersuchungen beinhalten die Extraktion der Proben mit organischen Lösungsmitteln, die Auftrennung der Stoffklassen des Extrakts mit Hilfe der Säulenchromatographie sowie die Detektion der einzelnen Stoffe mittels Gaschromatographie und Gaschromatographie/Massenspektrometrie.

3.4.1 Extraktion

Ca. 7 g der analysenfein gemahlten Kohlenproben (Korngröße < 0,2 mm) wurden auf vorgereinigte Zellulosehülsen gegeben und nach dem Soxhlet-Verfahren mit Dichlormethan 24 Stunden bei einer Temperatur von ca. 40 °C extrahiert. In den Proben eventuell vorhandener elementarer Schwefel wurde durch die Zugabe von aktiviertem Kupferblech gebunden. Nach dem Ende der Extraktion wurde die Extraktionslösung filtriert, am Vakuumrotationsverdampfer eingeeengt, der Extrakt in Pillengläser überführt und das Restlösungsmittel abgedampft.

3.4.2 Säulenchromatographie (Kohlenwasserstoffgruppentrennung)

Die gewonnenen Extrakte wurden mittels Flash-Chromatographie, einem Niederdruckverfahren mit inertem N₂ (MOINELO et al., 1987), in die verschiedenen Kohlenwasserstoffgruppen (Alkane, Aromaten, NSO-Verbindungen und Asphaltene) aufgetrennt.

Als stationäre Phase diente Kieselgel 60 (Fa. Merck, Korngröße 60 – 200 µm), das in eine Chromatographiesäule von 50 cm Länge und 1 cm Durchmesser gefüllt und mit n-Hexan konditioniert wurde. 20 – 200 mg Extrakt wurden ebenfalls auf Kieselgel aufgezogen und auf die Säule gegeben. Anschließend wurde mit n-Hexan, Dichlormethan, und Methanol (jeweils 40 ml) eluiert. Die Eluation wurde unter einem N₂-Druck von 1 - 1,5 bar durchgeführt. Es erfolgte eine Extraktauftrennung in der Reihenfolge Alkane, Aromaten, NSO-Verbindungen. Der Anteil der einzelnen Fraktionen am Extrakt wurde nach Abdampfen des Lösungsmittels durch Wägung bestimmt. Die hochmolekularen Verbindungen (Asphaltene) verblieben als Residuum auf der Säule, ihr Anteil wurde aus der Differenz zwischen eingesetzter Extraktmenge und der Summe der erhaltenen Fraktionen berechnet.

3.4.3 Gaschromatographie (GC)

Die Alkanfraktion der gewonnenen Extrakte wurde gaschromatographisch bezüglich ihrer Einzelkomponenten untersucht.

Analysiert wurde mit zwei Kapillar-Gaschromatographen der Firma Carlo Erba :

- HRGC 5160 MEGA Series, gekoppelt mit 7270 MEGA Series Integrator sowie
- GC6000 VEGA Serie 2, gekoppelt mit Merck-Hitachi D-2000 Integrator

unter den folgenden Bedingungen :

- Säule:
 - Fused-silica-Kapillarsäule (Länge 25 m, Ø 0,25 mm)
 - Chemisch gebundenes SE 54
 - Filmdicke 0,25 µm
- Trägergas:
 - Wasserstoff
 - Flussrate 1,5 ml/min
- Temperaturprogramm:
 - isotherm bei 80 °C (2 min)
 - 4°C/min bis 300 °C
 - isotherm bei 300 °C (20 min)

Der Injektor wurde mit einem Splitverhältnis von 1:10 betrieben. Zur Komponentenerfassung diente ein Flammenionisationsdetektor. Die Identifizierung der einzelnen Stoffe erfolgte durch den Retentionszeitvergleich mit Standardsubstanzen bzw. durch den Vergleich der Retentionszeiten mit Literaturdaten.

Die Analyse der Bestandteile der Alkanfraktion gestattet Aussagen zum Milieu der Ablagerungsbedingungen. Folgende Parameter und Verhältnisse sind als „Biomarker“ von Bedeutung:

Alkanverteilung

Eine Alkanverteilung bei der langkettige n-Alkane von nC₂₃ bis nC₃₃ dominieren weist eindeutig auf eine Herkunft von Kutikulen und Wachsen höherer Pflanzen hin (EGLINGTON & HAMILTON, 1967; TISSOT & WELTE, 1984; HOLLERBACH, 1985)

In aliphatischen Kohlenwasserstoffen, die von pflanzlichen Materialien abstammen dominieren ungeradzahlige n-Alkane da sie sich nach biochemisch induzierter Decarboxylierung von geradzahligen Carbonsäuren, Alkoholen und Estern ableiten. Im Laufe des geochemischen Diageneseprozesses verlieren die ungeradzahligen n-Alkane ihre Vorherrschaft und nähern sich im Verteilungsspektrum den geradzahligen n-Alkanen an (TISSOT & WELTE, 1984; HOLLERBACH, 1985).

Das Verhältnis der ungeradzahligen zu den geradzahligen n-Alkanen lässt sich durch den CPI-Wert (Carbon Preference Index) definieren (BRAY & EVANS, 1961) und wird seit längerem als geochemischer Reifeparameter verwendet.

$$\underline{CPI} = 0,5 * \frac{C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+ C_{33}}{C_{24}+C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}} + \frac{C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+ C_{33}}{C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34}}$$

Die Präsenz kurzkettiger n-C₁₅ bis n-C₁₇ Alkane ist als Indikator für den Input von Algen anzusehen (BRASSELL ET AL., 1983; HOLLERBACH, 1985; TISSOT & WELTE, 1984; VOLKMANN & MAXWELL, 1986; VOLKMANN, 1988)

Pristan/Phytan

Bei Pristan und Phytan handelt es sich um die oxidierte bzw. reduzierte Seitenkette des Chlorophylls. In einem Ablagerungsmilieu mit hohem Sauerstoffanteil wird mehr Pristan als Phytan gebildet. Das Pristan/Phytan-Verhältnis ist vom Inkohlungsgrad und vom Ablagerungsmilieu (Oxidation/Reduktion) abhängig (TISSOT & WELTE, 1984; CHAFFEE et al., 1986) und kann begrenzt als Indikator für das Paläoenvironment angesehen werden (TEN HAVEN et al., 1987).

Cyklische Diterpane

Cyklische Diterpane wie Norpimaran und Norisopimaran sind typische Biomarker für fossile und rezente Gymnospermen (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990) und deuten auf eine Beteiligung von Gymnospermen bei der Bildung der Kohlen hin.

Nach CHAFFEE et al., (1986) werden Diterpenoide auf die Harze der Gymnospermen zurückgeführt.

Hopane

Eine höhere Konzentration von C₂₇-C₃₃-Hopanen weist auf eine stärkere mikrobielle Überprägung und damit Zersetzung der Kohle hin. Die erweiterten Hopane (C₃₁- bis C₃₅-Homohopane lassen sich über diagenetische Zwischenprodukte auf die Zellmembrankomponente Bakteriohopantetrol zurückführen, welche nur in Bakterien vorkommt, während das Hopan und seine niedrigeren Homologe (< C₃₀ Norhopan) auch aus C₃₀-Vorläuferverbindungen, z.B. Diplopten oder Diplopterol ableitbar sind. Diese treten neben den Bakterien auch in niederen Pflanzen, Flechten und Moosen auf (OURISSON et al., 1984; DAS & MAHATO, 1983; PETERS & MOLDOWAN, 1991, 1993).

3.4.4 Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS)

Die Massenspektrometrie dient der Identifizierung und Strukturklärung einzelner Verbindungen. Sie wurde zur Klärung einiger weniger Komponenten der Alkanfraktion eingesetzt.

Verwendet wurde ein VARIAN 3700 Gaschromatograph gekoppelt mit einem Finnigan MAT 8200 Massenspektrometer. Mit Ausnahme des Trärgases (Helium) wurden die gleichen Chromatographie-Parameter wie in Kap. 3.4.3 verwandt. Das Massenspektrometer wurde unter folgenden Bedingungen betrieben:

Ionisierungsenergie:	70 eV
Ionenquellentemperatur:	240 °C
Emissionsstrom:	1,0 mA
Scan-Zyklus:	50 - 700 u / 1,1 s.

Die Erfassung und Verarbeitung der Daten erfolgte mittels eines INCOS-Datensystems (IDOS III, Version 6.1). Die Identifizierung der einzelnen Komponenten wurde durch den Vergleich der Massenspektren mit Literaturdaten erreicht.

3.5 Palynologische Untersuchungen

Die Palynologie vom griechischen ‚παλυνω‘ (= ich bestreue) abgeleitet, ist ein Wissenschaftszweig, der sich mit Mikrofossilien und Mikroflora in sedimentären Gesteinen beschäftigt. Diese sind gegenüber den meisten Zersetzungsformen außerordentlich widerstandsfähig, weil sie aus Sporopollenin, Chitin oder ähnlichen Substanzen bestehen. Zu diesen mikroskopisch kleinen Überresten, die gegenüber einer Aufbereitung mit starken Säuren und Laugen resistent sind, gehören u.a. Pollen, Sporen, Dinoflagellaten, Chitinozoen etc.

Palynologische Untersuchungen wurden bezüglich Pollen und Sporen durchgeführt, um Informationen darüber zu erhalten, welche Pflanzengruppen und Pflanzengesellschaften in den jeweiligen Sumpfmoores vertreten waren und somit als Flözbildner anzusehen sind. Anhand der palynologischen Ergebnisse ist eine Aussage über die Moorvegetation und die kohlenbildenden Pflanzen möglich.

Hierzu wurden die Kohlenproben auf eine Korngröße von ca. 1 mm zerkleinert und anschließend mazeriert. Unter einer Mazeration versteht man die Behandlung von Sedimenten und Kohlen mit oxidierenden Säuren, im wesentlichen HNO_3 und oder weiteren Oxidationsmitteln wie H_2O_2 oder KClO_4 zum Zwecke des Herauslösen von feinkörnigen, resistenten Gemengteilen wie z.B. Sporen, Pollen und Kutikulen (Blatthäute). Anhand derer dann die Vegetation rekonstruiert werden kann.

Verschiedene Mazerationsmethoden finden sich in STACH (1949), TRAVERSE (1988) sowie in WOODS et al. (1996) beschrieben.

Für die Mazeration der hier behandelten Kohlen waren einige Versuchsreihen mit Variation der Oxidationsmittel sowie der Penetrationszeiten nötig, bis zufriedenstellende Ergebnisse erreicht wurden. Im folgenden ist die Verfahrensweise beschrieben, die bei den zu untersuchenden Hartbraunkohlen bis niedrig inkohlten Steinkohlen das beste Ergebnis lieferte.

Mazerationsweise, Präparatherstellung:

- ca. 3,5 g Kohleprobe (\varnothing 1 mm) mit 25 ml dest. Wasser und 50 ml 32 %iger HNO_3 ansetzen,
- 9 Tage stehen lassen,
- mit Wasser auffüllen, abdekantieren; wiederholen bis die Flüssigkeit klar ist,
- mit 100 ml Wasser und 10 %iger KOH auffüllen,
- 24 Stunden stehen lassen,
- zentrifugieren, Braunfärbung dekantieren, mit Wasser auffüllen (~ 5mal), bis die Flüssigkeit klar ist,
- Material mit Pipette aufnehmen und auf Objektträger mit Glyceringelatine und etwas Formalin vermengen
- mit Deckglas abdecken, Deckglas andrücken (wegen Arbeitsabstand bei großer Vergrößerung)
- Deckglas mit Nagellack abdichten

Durch die Behandlung mit Salpetersäure werden die kohligen Bestandteile weitestgehend oxidiert und bilden künstlich 'regenerierte' Humussäuren (dunkelbraune Substanz), welche durch die Zugabe von Kalilauge gelöst werden. Anschließend lassen sich die vom Mazerationsmittel nicht angegriffenen Bestandteile wie z.B. Sporen, Pollen und Kutikulen entnehmen und als Präparat mikroskopisch untersuchen.

Die durchgeführten palynologischen Untersuchungen beschränkten sich auf die Zuordnung der Pollen und Sporen. Verwendet wurde ein Zeiss Axioskop Mikroskop mit 20x, 40x, und 50x-Objektiven.

4 Die Kohlenvorkommen des Lena-Beckens im Einzelnen

4.1 Lagerstätte Kandalassy



4.1.1 Allgemeines und Lage

Die Lagerstätte Kandalassy befindet sich im südlichen Teil des Lena-Kohlen-Beckens. Sie liegt am linken Ufer der Lena 45 km nördlich der Hauptstadt Jakutsk (s. Anlage 4). Die Lagerstätte bzw. die Siedlung Kandalassy sind mit der Stadt Jakutsk über eine geteerte Straße verbunden. Als weitere Verkehrsverbindung dient der Haupttransportweg des Landes, die durchgängig schiffbare Lena. Die Region, in der sich die Lagerstätte befindet, gehört zu den am dichtesten bevölkerten der Republik.

Die Grube Kandalassy ist eine der ältesten Kohlegewinnungsbetriebe des Landes. Erste bergbauliche Aktivitäten begannen im Jahre 1929. Damals baute man das am Steilufer der Lena ausbeissende Flöz Rudničnyj mit Hilfe eines Stollens ab. Die Jahresförderung betrug 2.000 t. Im Laufe der Jahre wurde die Förderung kontinuierlich gesteigert. Ab 1956 ging man zum Abbau im Tagebau-Verfahren über. Heute beträgt die Jahresförderung ca. 600.000 t. Der Abbau der Kohlen erfolgt durch Schreitbagger, nachdem der Kohlenverband vorher durch Sprengstoff (Einsatz: 0,13 kg Sprengstoff/t Kohle) gelockert wurde. 92 % der Produktion werden für die Erzeugung von Fernwärme verwendet, 8 % für Hausbrand. Der Abtransport der Kohlen erfolgt zu 80 % per LKW und zu 20 % per Schiff. Der Bergbaubetrieb beschäftigt insgesamt 437 Personen, 85 davon sind direkt im Abbau tätig (1995). Abgebaut werden zwei Flöze, das Flöz Verchnij mit durchschnittlich 12,3 m Mächtigkeit und das Flöz Nižnij mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 5,4 m. Das Abraum/Kohle-Verhältnis (Koeffizient) beträgt 2,5 - 4,5.

Die erkundeten Reserven der Lagerstätte betragen 190 Mio. t (persönliche Mitteilungen der Mitarbeiter des Betriebes).

4.1.2 Geologie und Kohlenführung

Die Lagerstätte Kandalassy befindet sich, geologisch gesehen, in der Wiljuj Syneklise im südlichen Teil des Lena-Kohlen-Beckens. Die Wiljuj Syneklise ist eine der großen positiven Strukturen innerhalb der Sibirischen Plattform (s. Kap. 2.2). Hier kamen mehrere Kilometer mächtige terrigene Sedimente des Juras und der Kreide zur Ablagerung (MALANDIN, 1973a).

Im Bereich der Lagerstätte Kandalassy treten die kohlenführenden terrigenen Sedimente sowohl des Oberjura (Nižneviljuj-, Marykčan- und Bergein-Folge) als auch der Unterkreide (Batylych-Folge) auf (s. Abb. 4-2 und Abb. 4-3). Die Lagerstätte, die ausstreichenden Flöze sowie die Abbau- und Reservfelder zeigt die Abb. 4-1.

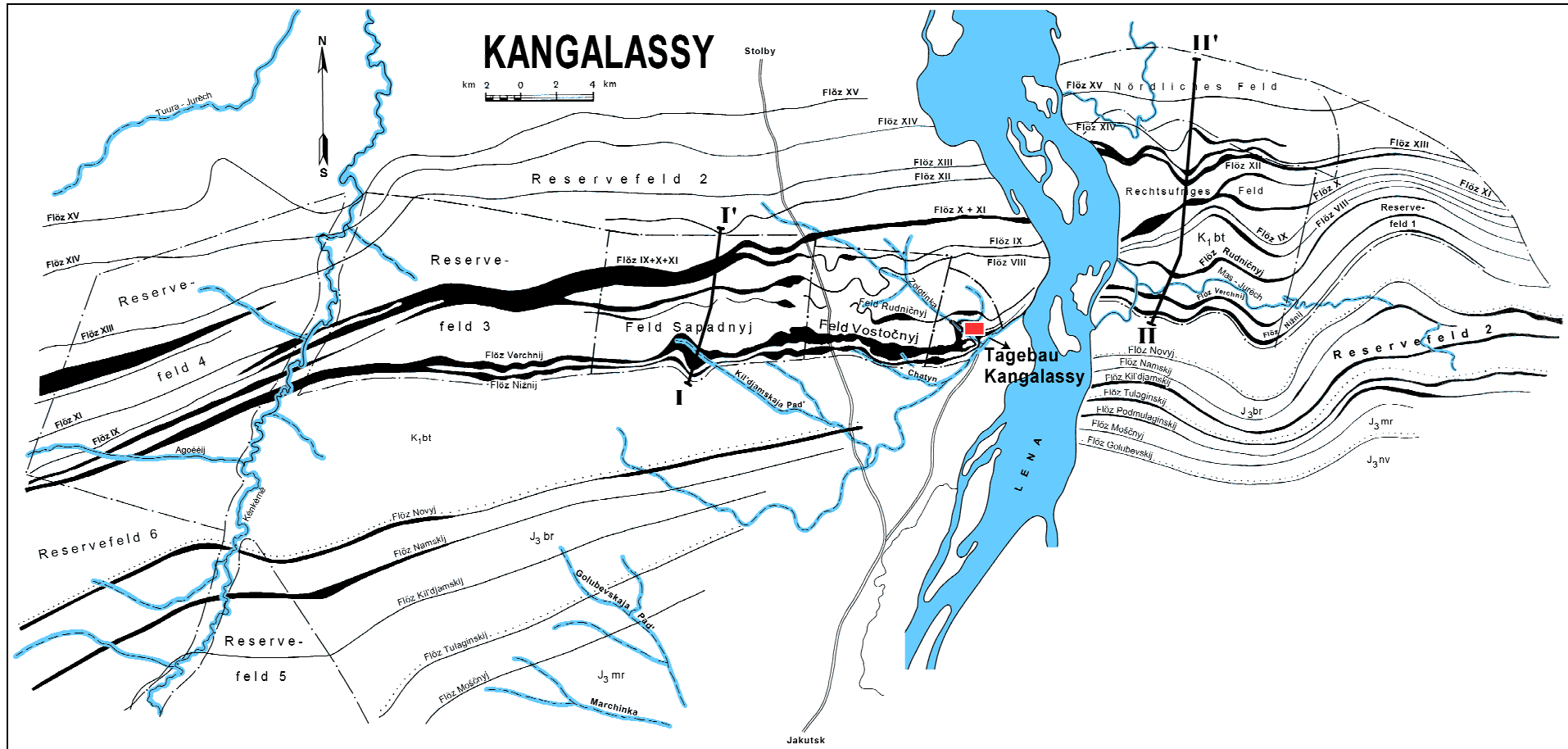


Abb. 4-1 Lagerstätte Kangalassy

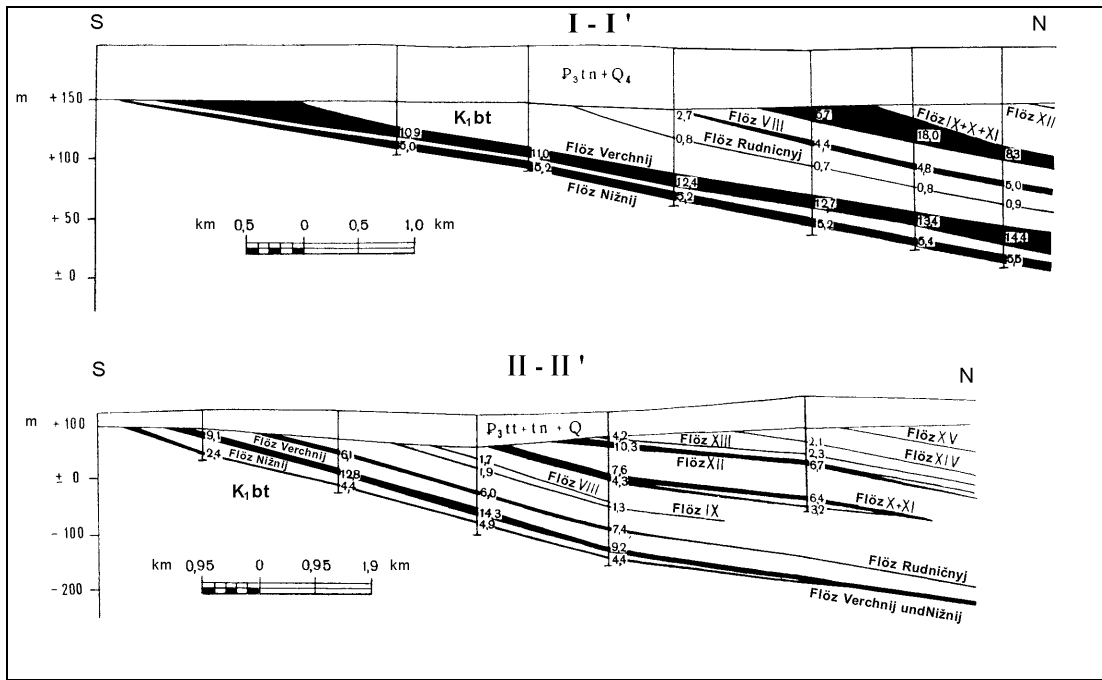


Abb. 4-2 Geologische Profile durch die Lagerstätte Kangalassy (zur Lage der Profillinien s. Abb. 4-1) (nach Betreiberunterlagen, unveröff.)

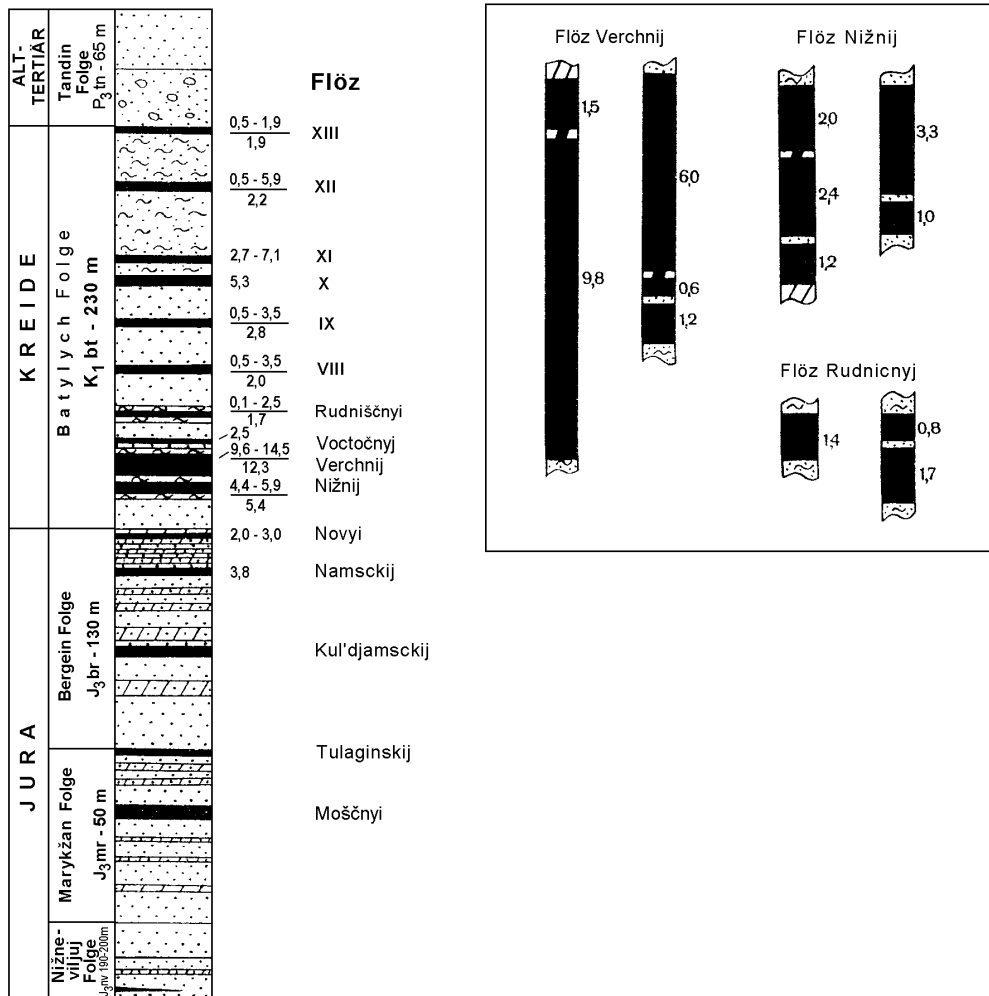


Abb. 4-3 Stratigraphisches Profil (links) und schematisierter Flözaufbau (rechts) der Lagerstätte Kangalassy (nach Betreiberunterlagen, unveröff.)

Die Schichten fallen mit geringer Neigung ($1 - 2^\circ$) nach Norden ein, so dass im südlichen Teil der Lagerstätte die älteren jurassischen Flöze an der Erdoberfläche ausstreichen und im nördlichen Teil kretazische Bildungen oberflächlich anstehen.

Die Kohlenflöze der Jura-Formation treten in einer Wechsellagerung mit Sandsteinen und Sanden, die Kohlenflöze der Kreide-Formation in Wechsellagerung mit Sanden und lehmigen Sanden auf (s. Abb. 4-3). Teilweise werden die mesozoischen Sedimente durch kiesig-sandige Ablagerungen der alttertiären Tandin-Folge überlagert.

Die ökonomisch interessantesten Flöze der Lagerstätte sind die Flöze Verchnij und Nižnij. Ersteres hat eine schwankende Mächtigkeit von 9,6 - 14,5 m, mit einem Durchschnitt von 12,3 m. Die Mächtigkeit des letzteren schwankt von 4,4 - 5,9 m mit einem Durchschnitt von 5,4 m. Beide Flöze zeigen meist einen einfachen Bau und sind nur selten durch mineralische Einschaltungen in einzelne Lagen aufgespaltet.

Getrennt werden beide Flöze durch eine siltig-tonige Zwischenschicht von 2 - 4 m Mächtigkeit (nach Betriebsunterlagen des Tagebaubetreibers, unveröffentlicht).

4.1.3 Beprobung

An acht verschiedenen Punkten innerhalb des Tagebaus wurden Beprobungen durchgeführt. Die Lage der Probennahmepunkte ist in Abb. 4-5 dargestellt. Je nach Aufschlussgegebenheiten an den einzelnen Punkten wurde nur das Flöz Verchnij, nur das Flöz Nižnij oder auch beide beprobt. Die Proben wurde in Form von Bereichsproben (vgl. Kap. 3.1) genommen. Eine Sonderstellung nimmt Punkt A ein, hier wurde das gesamte aufgeschlossene Flözprofil (Verchnij und Nižnij) meterweise beprobt. Einen Eindruck von der Lagerstätte und dem Tagebau gibt die Abb. 4-4.



Abb. 4-4 Blick nach Westen in den Tagebau der Lagerstätte Kangalassy

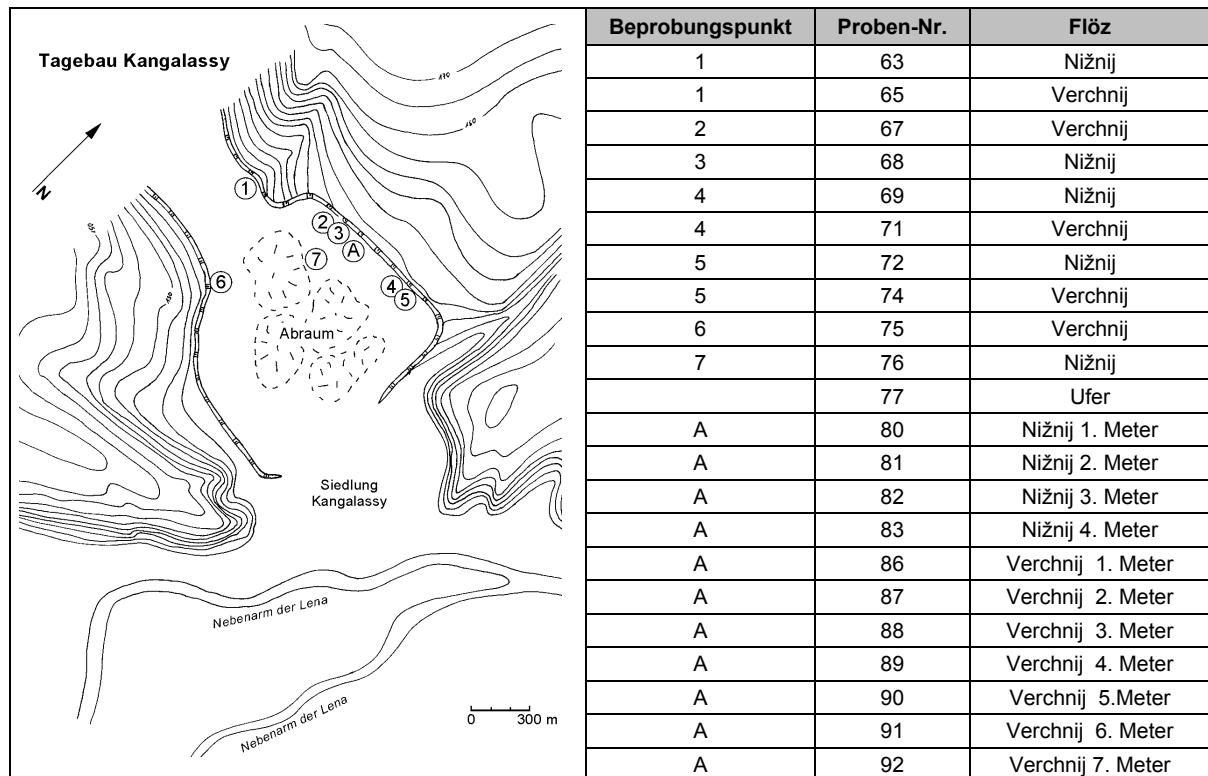


Abb. 4-5 Beprobungspunkte, Proben-Nummern und beprobte Flöze der Lagerstätte Kagalassy

4.1.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Detaillierte Untersuchungsergebnisse zu den einzelnen Proben sind in in Tab. 4-1 zusammengestellt. Die Kohlenproben der Lagerstätte Kagalassy weisen einen geringen Wasser- und Aschegehalt auf. Der Wassergehalt beträgt durchschnittlich 8,5 %, der durchschnittliche Aschegehalt 11,2 %. Entsprechend dem festgestellten durchschnittlichen Reflexionsgrad von $R_r = 0,36$ befindet sich die Kohle im Rang einer Mattbraunkohle. Auch der durchschnittliche Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie der Brennwert belegen einen Rang im Bereich der Matt- bis Glanzbraunkohle.

Die Wassergehalte liegen unterhalb der für dieses Inkohlungsstadium zu erwartenden Gehalte, da es sich beim Wassergehalt zum Analysenzeitpunkt nicht um den Rohwassergehalt der Kohlen handelte (Wasserverlust durch Trocknung infolge von Exposition und Transport). Der Wassergehalt kann für die Reifebestimmung hier nicht herangezogen werden. Dieses gilt analog für die Kohlen der im weiteren behandelten Lagerstätten (Kap. 4.2.4 bis 4.10.4).

Tab. 4-1 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für die Lagerstätte Kangalassy

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	C _{org} daf	H,o an	H,o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
63	8,0	10,0	52,4	68,5	21920	26464	0,34
65	5,3	10,4	54,1	69,8	23630	27867	0,36
67	9,3	8,9	46,6	70,4	22320	27021	0,36
68	8,9	11,2	43,2	69,4	21580	26696	0,36
69	7,6	10,0	50,9	71,0	23470	28207	0,38
71	8,5	13,4	44,2	68,5	20950	26439	0,37
72	7,0	8,0	52,9	69,2	23340	27276	0,36
74	5,2	14,8	57,0	70,7	23390	28943	0,37
75	7,3	10,5	51,6	70,5	23340	28125	0,37
76	10,4	7,7	42,7	70,5	22540	27248	0,33
77	10,5	7,0	43,4	72,8	22330	26830	n. b.
80	10,2	9,4	45,1	69,8	22470	27609	0,36
81	10,9	8,6	48,1	70,3	22330	27416	0,37
82	10,9	9,2	49,9	72,9	21770	26914	0,29
83	8,8	9,6	47,2	69,3	22930	27812	0,39
86	10,0	13,5	45,0	71,6	21680	27823	0,36
87	8,2	16,5	49,1	70,4	21270	27749	0,37
88	7,4	18,4	50,1	69,3	21450	28354	0,38
89	4,7	17,7	62,0	73,4	23980	30569	0,30
90	9,4	12,7	46,6	72,8	21900	27704	0,36
91	10,1	6,6	47,4	73,8	23500	27987	0,31
92	8,1	11,9	53,3	72,3	23500	29031	0,35
∅	8,5	11,2	49,2	70,8	22527	27731	0,35

4.1.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Makroskopisch betrachtet handelt es sich bei den Kohlen der Lagerstätte Kangalassy um matte bis halbgänzende braune Kohlen, die bei Austrocknung schnell Risse bekommen und leicht zerfallen. Häufig treten glänzend schwarze Lagen von ausgefallenen Humusgelen auf.

Die Ergebnisse der Maceralanalysen (Tab. 4-2, Abb. 4-6) zeigen, dass Vitrinit die hauptsächlich vertretene Maceralgruppe darstellt. Innerhalb der Vitrinitgruppe herrschen die Telovitrinite, gefolgt von den Detrovitriniten vor. Der durchschnittliche Gehalt an Telovitrinit liegt bei 36,4 %. Extreme Vertreter sind hier Probe 82 und Probe 89 mit über 80 % Telovitrinit.

Die Kohlen enthalten einen geringen Anteil an Inertinit von durchschnittlich 2,8 %. Eine deutliche Ausnahme bildet Probe 83, hier treten 17 % Inertinit auf welcher hauptsächlich aus Semifusinit und Inertodetrinit besteht.

Der Liptinitgehalt der Kohlen schwankt von 4,8 bis 47,6 %, mit einem Durchschnitt von 15,8 %. Die liptinitreichste Probe ist Nr.74 mit 47,6 % Liptinit.

Die häufigsten Liptinite sind Cutinit, Liptodetrinit und Resinit.

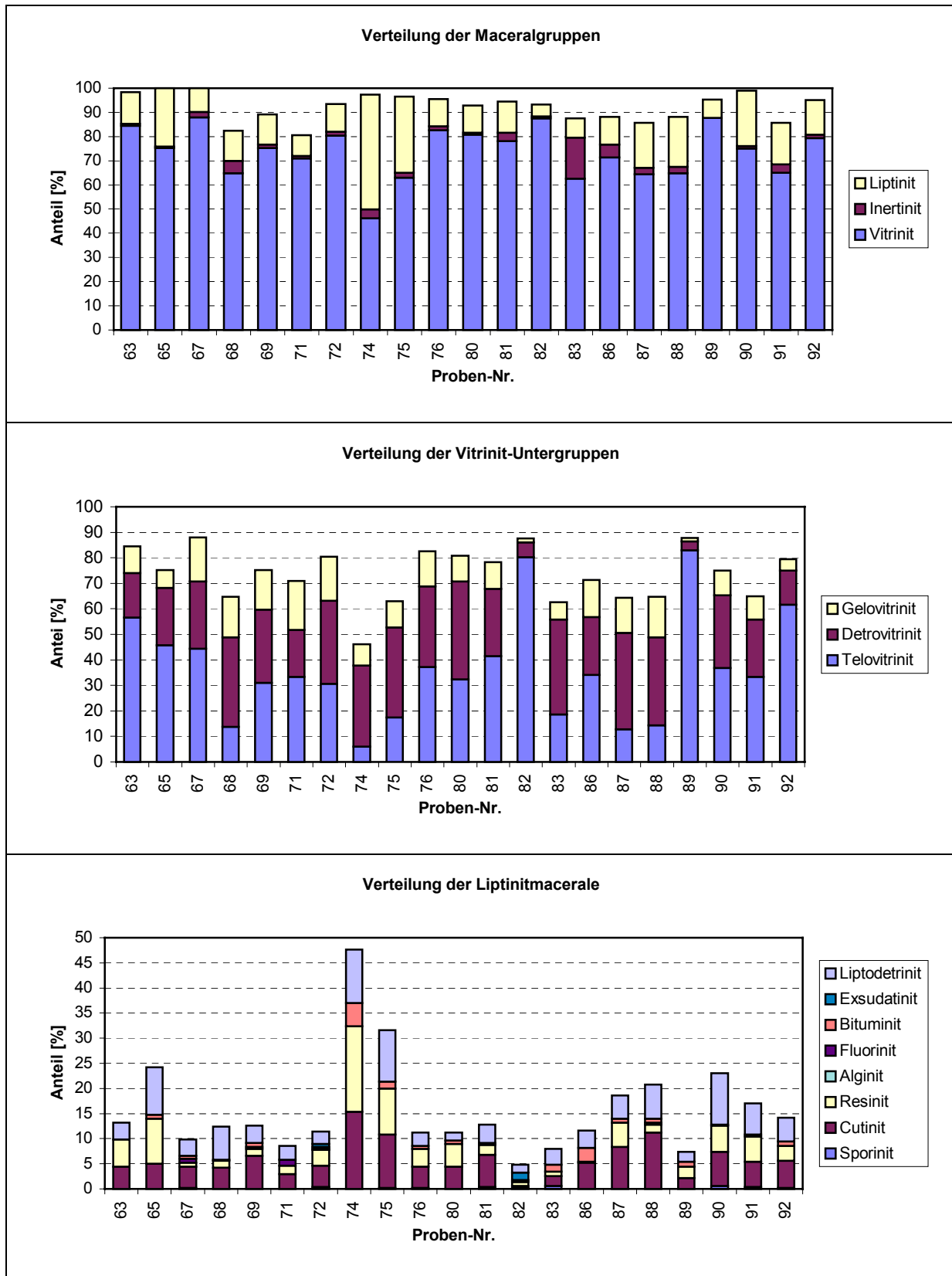


Abb. 4-6 Ergebnisse der Maceralanalyse der Lagerstätte Kangalassy (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.1.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Extraktmengen der untersuchten Kohlen von Kangalassy reichen von 23,7-218,5 mg/gC_{org.} (Tab. 4-3). Die durchschnittliche Extraktmenge liegt bei 61,1 mg/gC_{org.}. Dieser Wert ist typisch für Mattbraunkohlen (HOLLERBACH, 1985) und bestätigt den physikalisch-chemisch und petrographisch festgestellten Reifegrad der Kohlen. Die hauptsächlichen Extraktanteile entfallen auf die Gruppen der Asphaltene und NSO-Verbindungen, Aromaten und Alkane treten nur in äusserst geringen Mengen auf (1,9 bzw. 0,9 %).

Auffällig ist die mit 218,5 mg/g C_{org.} extrem große Extraktmenge von Probe 68 mit einem deutlich angehobenen Gehalt an Aromaten von 8,6 %, die sich durch die petrographische Zusammensetzung der Kohle allein nicht eindeutig erklären lässt. Tatsache ist, dass Probe 68 einen relativ großen Anteil an detritischem Material (dunklem Collodetrinit) enthält, ferner dass die Kohlenpartikel im mikroskopischem Massstab stark zerbrochen, rissig, löchrig sind und die Probe die höchsten Gehalte an Pyrit von allen Kangalassy Proben aufweist. Die zusätzlich durchgeführten gaschromatographischen Untersuchungen dieser Probe zeigen extrem hohe Gehalte an Hopanen, (s. Tab. 4-4) die auf eine starke bakteriologische Zersetzung in der frühen Phase der Flözbildung hinweisen und zusammen mit den erhöhten Gehalten an Collodetrinit die hohen Extraktmengen erklären.

Tab. 4-3 Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Kangalassy

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org.}]				
63	3,0	43,1	0,1	0,5	11,6	30,9
65	6,0	86,7	1,4	2,8	50,6	31,8
66	0,5	35,4	0,3	0,3	28,9	5,9
67	3,5	49,1	0,6	1,6	30,7	16,1
68	15,2	218,5	3,4	8,6	83,4	123,0
69	5,3	75,2	1,2	2,9	37,3	33,8
71	3,2	47,0	0,8	1,1	33,4	11,7
72	3,1	44,9	0,2	0,5	25,8	18,4
74	7,5	106,0	1,1	2,9	50,1	52,0
75	4,8	68,2	1,1	1,7	53,7	11,6
76	2,6	36,3	0,3	1,3	22,3	12,5
77	6,0	82,3	0,9	2,4	54,3	24,7
80	2,5	35,7	0,5	1,4	22,1	11,6
81	2,0	27,9	0,6	1,4	17,9	7,9
83	3,4	49,2	0,7	1,4	32,2	14,9
86	3,1	43,1	0,6	1,4	25,4	15,6
87	2,4	33,8	0,6	0,9	25,2	7,2
88	4,6	66,6	0,9	2,0	35,2	28,5
89	4,6	63,1	1,1	1,8	37,3	22,9
90	4,8	65,5	1,3	1,8	55,0	7,4
91	1,8	23,7	0,4	1,5	16,0	5,8
92	3,1	42,6	0,9	1,7	33,8	6,2
∅	4,2	61,1	0,9	1,9	35,6	22,8

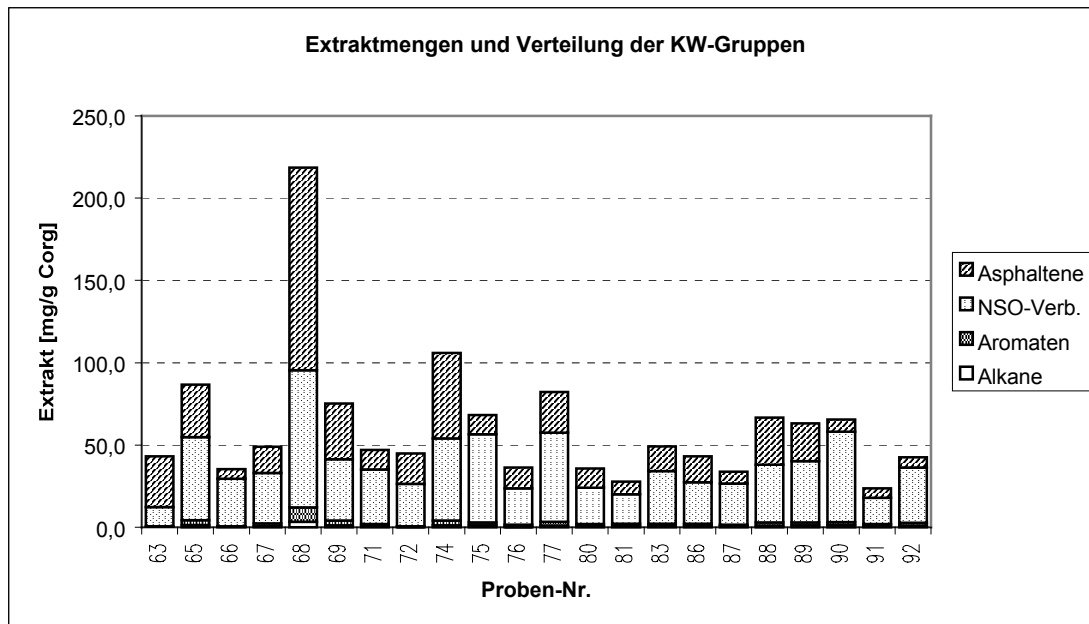


Abb. 4-7 Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Kanggalassy

Für die gaschromatographischen Untersuchungen wurden einige Proben ausgewählt.

In der nachfolgenden Tabelle und Abbildung sind einige organisch-geochemische Parameter sowie Biomarker dargestellt, die Aussagen über die Reife und das Ablagerungsmilieu ermöglichen. Erläuterungen zu den einzelnen Parametern finden sich in Kap. 3.4.3 .

Der Carbon Preference Index (CPI 17-29), welcher das Verhältnis der ungeradzahigen n-Alkane zu den geradzahigen n-Alkanen im Intervall von n-C₁₇ bis n-C₂₉ ausdrückt, ist bei allen untersuchten Proben deutlich >1, was auf eine relativ geringe Reife der Kohlen hinweist. Dies korreliert gut mit dem C_{max}-Wert der hauptsächlich im Bereich 21 und 23 liegt. Die Proben 87, 88 und 89 zeigen einen etwas höheren C_{max}., der auf Kutikulen-bürtige Kohlenwasserstoffe hinweist und teilweise mit den erhöhten Cutinitgehalten korreliert.

Das Pristan/Phytan Verhältnis schwankt um 1 und deutet daraufhin, dass das abgelagerte Pflanzenmaterial sowohl oxidierenden als auch reduzierenden Bedingungen ausgesetzt war. Ein Phytan/C₁₇ Verhältnis von < 1 bei neun von zehn Proben spricht für das generelle Vorhandensein von Algen und ebenso für reduzierende Bedingungen. Cyclische Diterpane wie Norpimaran und Norisopimaran sind typische Biomarker für fossile und rezente Gymnospermen (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990) und deuten auf eine Beteiligung von Gymnospermen bei der Bildung der Kanggalassy Kohlen hin. Das Auftreten von Hopanen in teilweise beachtlichen Konzentrationen bestätigt die bakterielle Aufarbeitung von höherem Pflanzenmaterial (KILLOPS & KILLOPS, 1997; PETERS & MOLDOWAN, 1993).

Tab. 4-4 Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Kandalassy

Proben-Nr.	C _{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane Hopane	
						[mg/kg]	
63	21	2,6	0,2	0,4	0,7	0,6	3,0
68	23	2,9	1,0	1,2	0,1	8,2	224,9
72	21	2,4	-	0,8	0,0	1,6	8,8
76	21	2,2	0,6	0,5	0,4	3,4	19,0
81	23	2,4	1,1	0,9	0,4	0,0	0,0
86	25	3,2	1,0	0,6	0,3	16,1	22,5
87	27	3,1	0,3	0,4	0,1	1,3	0,0
88	23 (27, 33)	1,7	0,9	0,2	0,1	0,0	0,0
89	27	2,7	0,4	0,3	0,1	388,4	2,9

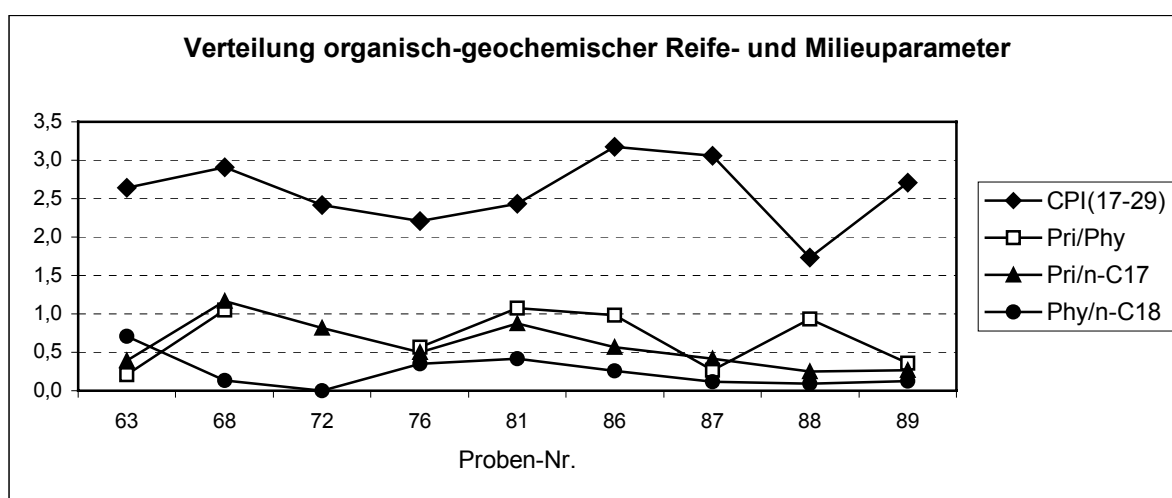


Abb. 4-8 Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Kandalassy

4.1.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um Informationen darüber zu erhalten, welche Pflanzengruppen und Pflanzengesellschaften im Sumpfmoor von Kandalassy vertreten waren und somit als Flözbildner anzusehen sind wurde Probe 76 (Flöz Nižnij, unterkretazische Batylych-Folge) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht.

In Probe 76 wurde eine gut erhaltene Mikroflora vorwiegend bestehend aus bisaccaten Pollen, sowie einigen laevigaten, verrucaten und reticulaten Sporen festgestellt. In der Pflanzengemeinschaft des Kandalassy Moores dürften somit Gymnospermen und Farne vertreten gewesen sein. Als Vertreter der Gymnospermen mit bisaccaten Pollenformen kommen Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht (GOTHAN & WEYLAND, 1954). In der Makroflora der Batylych-Folge wurde *Cephalotaxus*, eine Taxacee nachgewiesen (MALANDIN, 1973a).

4.1.8 Faziesmodell

Im folgenden ist das geringfügig modifizierte Faziesmodell nach MUKHOPADHYAY (1986) auf die Ergebnisse der Maceralanalysen angewandt. In diesem Modell werden einzelnen Maceralgruppen Bildungsbereiche eines Kohlenmoores zugeordnet. Es werden drei Bildungsbereiche unterschieden.

Im *Bildungsbereich des Waldmoores* (forest swamp) werden aus den dort gedeihenden Pflanzen und den herrschenden Bedingungen vorzugsweise die Macerale Telinit, Collotelinit, Corpogelinit, Sporinit, Resinit, Suberinit, und Fluorinit gebildet.

Im *Bereich eines Riedmoores* bilden sich im Laufe der Inkohlung die Macerale Vitrodetrinit, Collo-detrinit, Gelinit, Liptodetrinit und Alginit.

Der dritte *Bildungsbereich* wird mit „*trocken*“ umschrieben. Als typisches Maceral bzw. Maceralgruppe werden diesem Bildungsbereich die Vertreter der Maceralgruppe der Inertinite zugeordnet.

Für die Kohlen der Lagerstätte Kangalassy ergibt sich folgendes Bild:

Die Kohlen der Lagerstätte wurden vorzugsweise in einem Waldmoor gebildet. Es traten in der Flözentwicklung aber auch Phasen mit einem höheren Wasserstand auf der die Bildung von rietbestandenen Flächen begünstigte. Die annähernd gleiche Verteilung der Proben des Flözes Verchnij und des Flözes Nižnij deuten daraufhin, dass die Flöze trotz zeitlicher Trennung eine sehr ähnliche Entwicklung nahmen.

An Probenahmepunkt A wurden das gesamte Flözprofil beprobt (vgl. Abb. 4-5). Hier lassen sich die Entwicklungsphasen des Moores vom Liegenden zum Hangenden rekonstruieren :

Der unterste Bereich des Flözes Nižnij (Probe 80) wurde in einem Moor gebildet in dem relativ feuchte Rietflächen zusammen mit relativ trockenen Waldmoorflächen auftraten. Darauf folgte eine Phase zunehmender Verlandung mit sukzessiver Bildung eines baumbestandenen Waldmoores (Proben 81 und 82). Durch Waldbrand wurde die Vegetation teilweise vernichtet (Probe 83 mit den höchsten Fusinit- und Semifusinitanteilen, vgl. Tab. 4-6). Anschliessend wurde die Moorentwicklung infolge des verstärkten Eintrags von klastischem Material beendet (siltig-tonige Zwischenschicht zwischen Flöz Nižnij und Verchnij). Durch Verringerung bzw. Stagnation der Absenkungsbewegung erfolgte erneut die Ausbildung einer Moorvegetation (Probe 86). Zum Hangenden des Flözes Verchnij sind weitere Wechsel in der Moorvegetation zu erkennen (Proben 87-92).

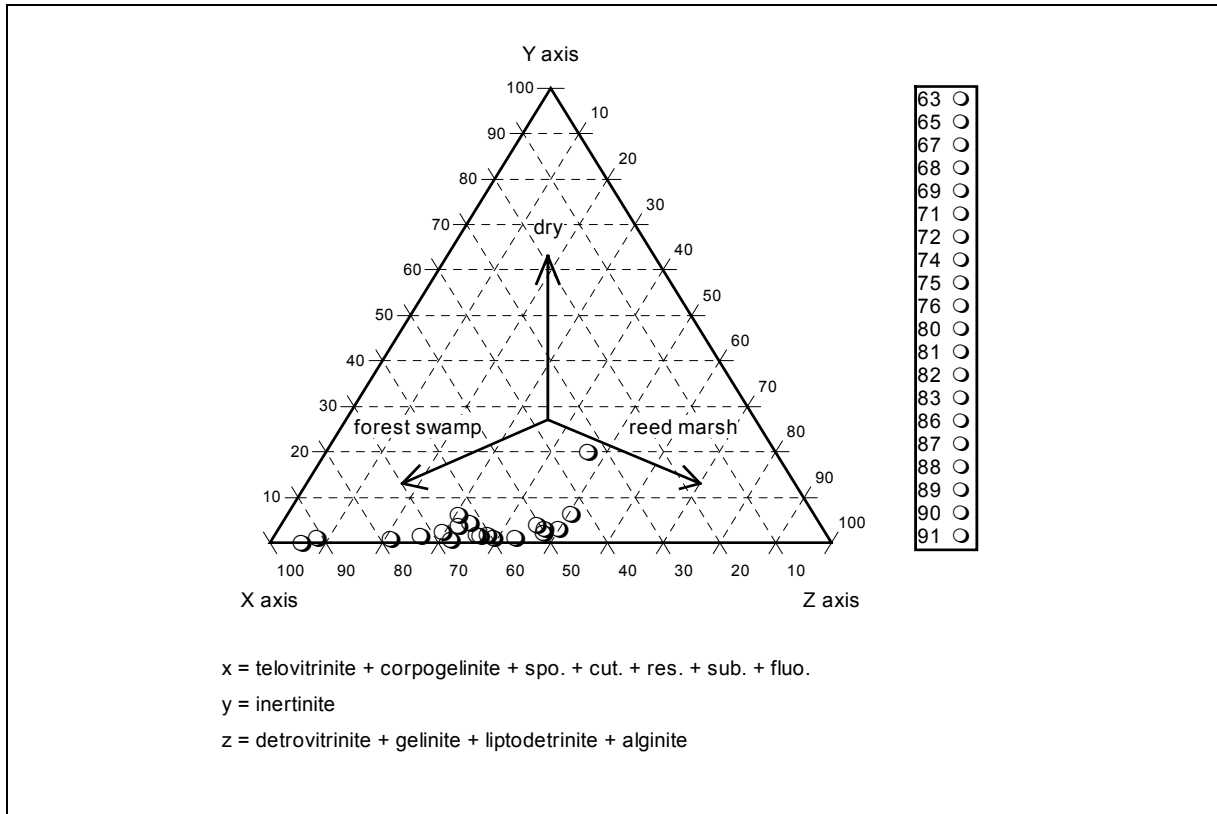


Abb. 4-9 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Kagalassy (alle Proben) nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

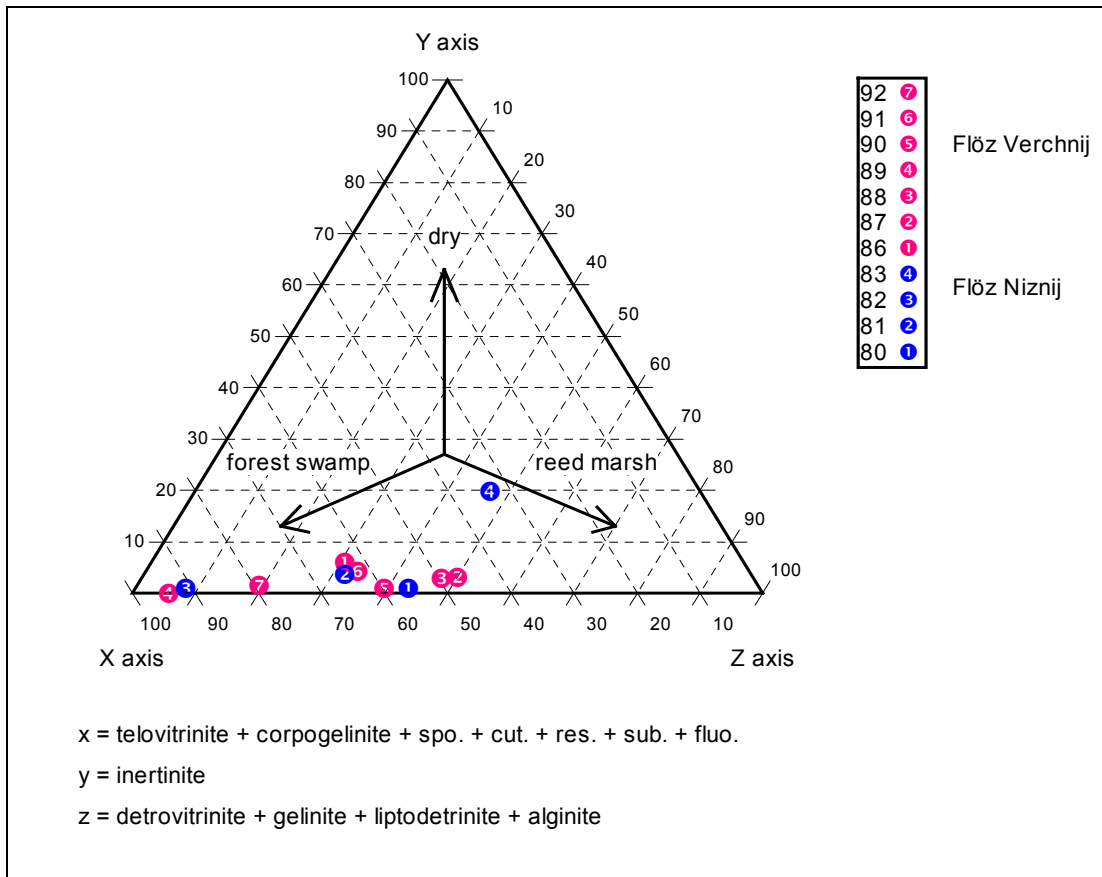


Abb. 4-10 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Kagalassy (Profil am Beprobungspunkt A) nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.2 Lagerstätte Charbalach



4.2.1 Allgemeines und Lage

Die Lagerstätte Charbalach befindet sich im südöstlichen Bereich des Lena-Kohlen-Beckens. Sie liegt im Alexejevski Rayon, ca. 2,5 km nördlich der Siedlung Charbalach, direkt am linken Ufer des Flusses Amga, ungefähr 120 km flussaufwärts von dessen Mündung in den Fluss Aldan (s. Anlage 7).

Die Lagerstätte bzw. die Siedlung Charbalach sind über eine Schotterpiste mit dem Rayon-Zentrum Ytyk-Kjuël (ca. 40 km westlich gelegen) und der Hauptstadt Jakutsk verbunden. Als weitere Verkehrsverbindung dient der 180 – 200 m breite Fluss Amga für Motorboote. Aufgrund der geringen Wassertiefe ist eine reguläre Schifffahrt nur während des Frühjahrs-hochwassers (Ende Mai - Juni) möglich.

1966 begannen erste Schürfe und Erkundungsarbeiten im Bereich der Lagerstätte, seit 1985 besteht ein regulärer Tagebau. Gefördert werden 100.000 t/a. Die Grube versorgt damit 2 Rayone mit ca. 40.000 Personen. 90 % der Förderung wird zur Erzeugung von Fernwärme eingesetzt, 10 % für Hausbrand.

Der Betrieb beschäftigt 57 Mitarbeiter, 14 davon sind direkt im Abbau tätig (1995). Die Abbauarbeiten erfolgen saisonal getrennt, im Sommer Abraumbeseitigung, im Winter Kohlegewinnung. Der Abbau erfolgt durch Bulldozer ohne Einsatz von Sprengstoff.

Das Abraum/Kohle-Verhältnis (Koeffizient) beträgt 1,35 - 2.

Auf den rekultivierten Fläche gedeihen, laut Mitarbeiterangaben, Kartoffeln.

1995 wurden die Kohlen für umgerechnet 5,4 €/t verkauft.

Die bisher auf einer Fläche von 0,35 km² erkundeten Reserven (A+B+C₁) betragen 1,5 Mio. t (persönliche Mitteilungen der Mitarbeiter vor Ort im Sommer 1995). Da die gesamte Flächenausdehnung der Lagerstätte 126 km² beträgt, sind nach SJUNDJUKOV et al. (1991) Ressourcen von 80 Mio. t zu erwarten.

4.2.2 Geologie und Kohlenführung

Die Lagerstätte Charbalach befindet sich geologisch gesehen im Bereich der Werchojansker Randsenke.

In dieser Region sind annähernd horizontal gelagerte, mesozoische Sedimente des Juras verbreitet. Die jurassischen Ablagerungen sind in der Umgebung der Lagerstätte ca. 840 m mächtig und lagern diskordant auf kambrischen Kalksteinen, Dolomiten, Mergeln und Quarziten. Eine bemerkenswerte Kohlenführung ist nur im Oberjura zu verzeichnen. Der Oberjura ist in dieser Region durch drei Folgen repräsentiert (vom ältesten zum jüngsten): Nižneviljujsk-, Marykčan- und Bergein-Folge (SJUNDJUKOV et al., 1991). Teilweise werden diese drei Folgen auch als Čečum-Folge zusammengefasst.

Im Bereich der Lagerstätte treten oberjurassische terrigene Ablagerungen der Čečum/Bergein-Folge sowie quartäre Ablagerungen auf. Innerhalb der Čečum/Bergein-Folge ist das Flöz Karernyj entwickelt (Abb. 4-11). Es ist in zwei Unterflöze, Verchnij und Nižnij, aufgespalten. Die Mächtigkeiten dieser Unterflöze betragen durchschnittlich 4 m bzw. 2,7 m. Die Mächtigkeit der Zwischenschicht variiert von 0,5 - 1,1 m. Sie besteht aus grobsiltigem Siltstein.

Im Liegenden des Flözes folgen ebenfalls Silt- bzw. feinkörnige Sandsteine. Überlagert wird das Flöz durch feinkörnige Sandsteine, die aber nicht flächenhaft durchhalten (s. Abb. 4-12), so dass teilweise kiesig/sandige quartäre Ablagerungen direkt auf das Flöz folgen. Weiter zum Hangenden folgen als jüngste Ablagerungen gemischtkörnige Sande und dunkelgraue Tone mit Eislin sen (Abb. 4-11).

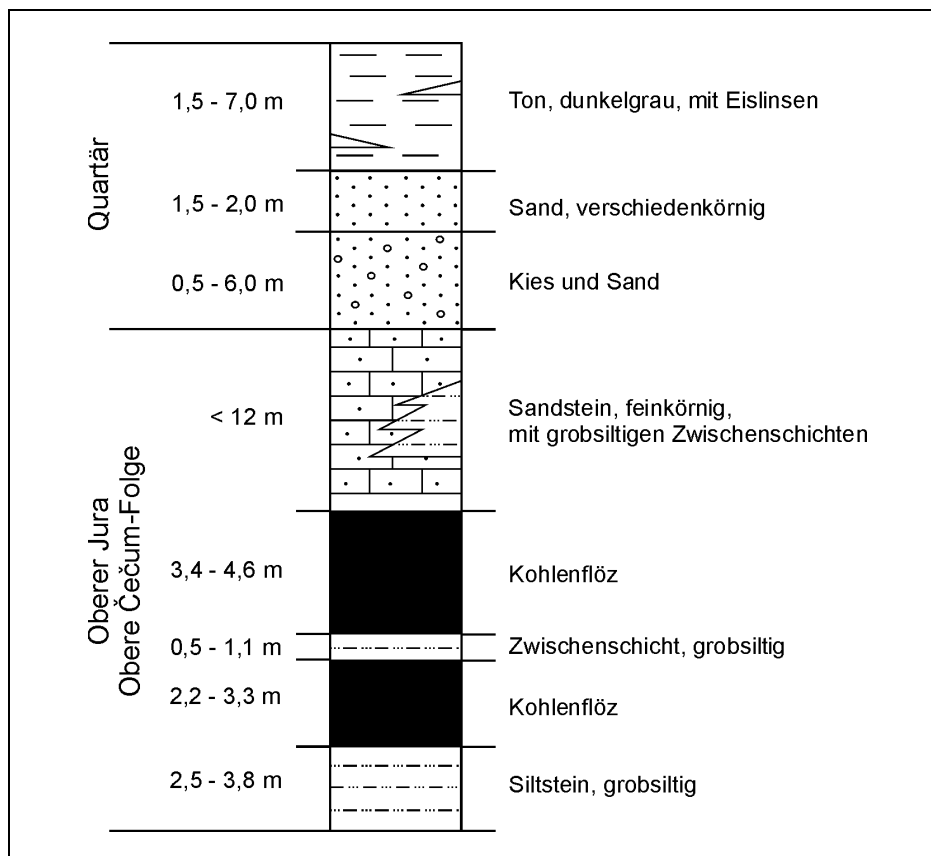


Abb. 4-11 Lithologisches Profil der Lagerstätte Charbalach (nach Betreiberunterlagen, unveröff.)

Die Lagerung des Flözes ist annähernd horizontal mit geringem Einfallen ($1 - 3^\circ$) nach Norden (Betreiberunterlagen, 'Projekt Rekonstruktie Ražrež Charbalachskij', unveröffentlicht). Die Profile AB und CD in (s. Abb. 4-12) vermitteln einen Eindruck der Lagerstättenstruktur.

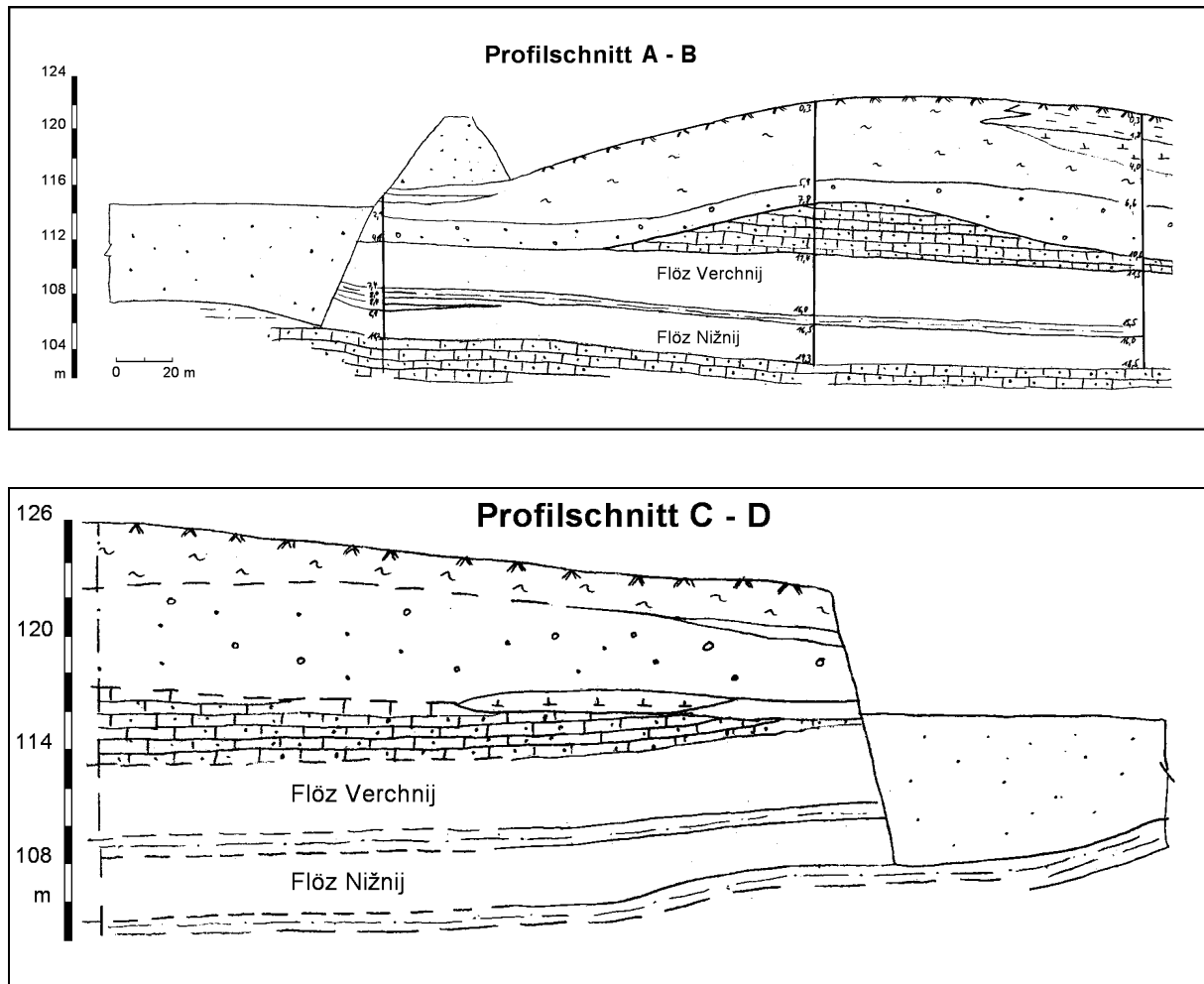


Abb. 4-12 Geologische Profilschnitte durch die Lagerstätte Charbalach (zur Lage der Schnittlinien s. Abb. 4-14) (nach Betreiberunterlagen, unveröff.)

4.2.3 Beprobung

Die Beprobung der Kohlenflöze erfolgte an fünf Punkten innerhalb des Tagebaus. Die Lage der Probenahmepunkte ist in Abb. 4-14 dargestellt. An den Beprobungspunkten 1 bis 5 wurde das Unterflöz Verchnij bzw. einzelne Partien davon beprobt, an Punkt 3 erfolgte zusätzlich eine Beprobung des Unterflözes Nižnij (siehe Abb. 4-14). Einen Eindruck von der Lagerstätte und dem Tagebau gibt die Abb. 4-13.



Abb. 4-13 Lagerstätte Charbalach

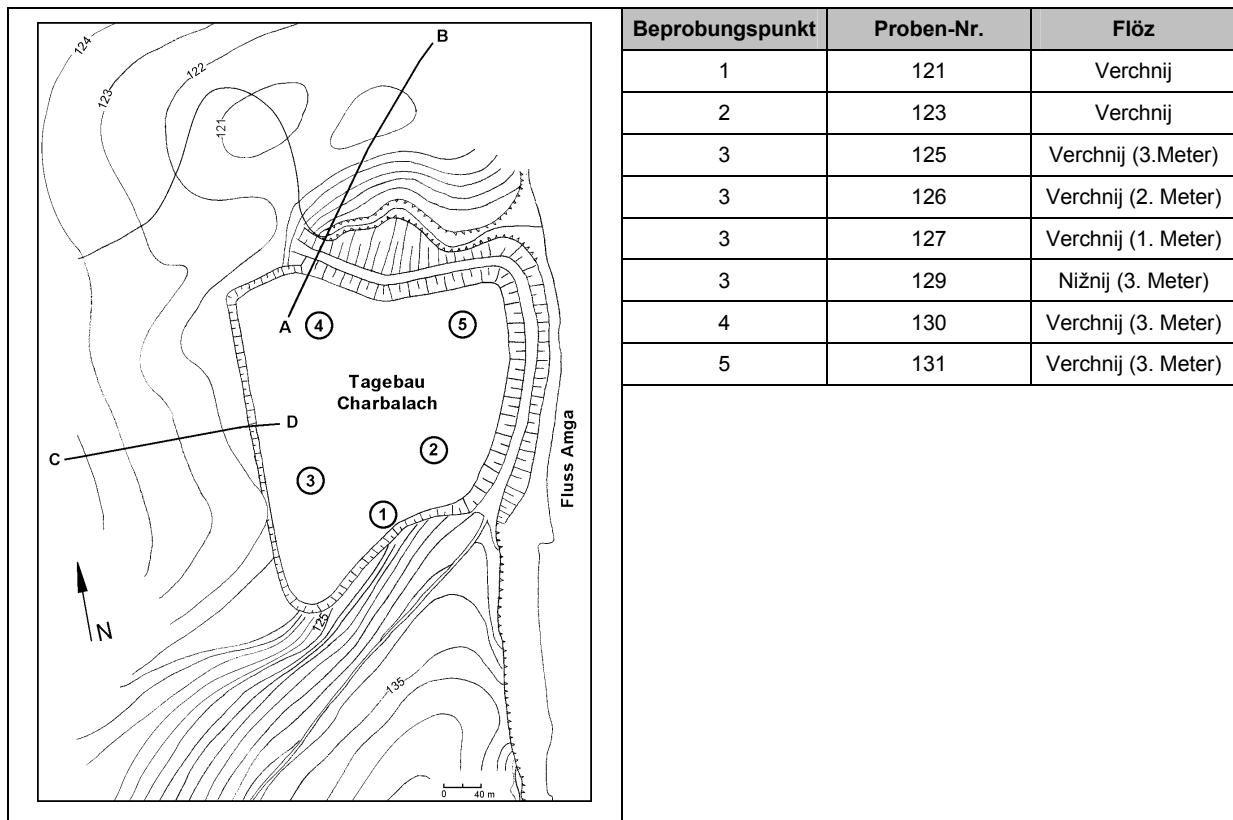


Abb. 4-14 Beprobungspunkte und Lage der Profilschnitte im Bereich der Lagerstätte Charbalach

4.2.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen sind in der Tab. 4-5 aufgelistet und zusammengefaßt.

Der Wassergehalt der Kohlen ist mit einem Mittelwert von 10,8 % gering. Die Aschegehalte liegen i.a. (mit Ausnahme der Probe 129) zwischen ca. 2,5 und 5,6 % (Mittelwert 4,9 %) und sind damit ebenfalls sehr gering.

Die ermittelten Reflexionsgrade betragen 0,42 % bis 0,54 % (Mittelwert 0,48 %) und sprechen in Zusammenhang mit den Gehalten an organischem Kohlenstoff zwischen 74,2 und 78,7 % für Glanzbraunkohlen. Die Brennwerte (H_o daf) liegen dementsprechend im Mittel bei 29.460 kJ/kg.

Tab. 4-5 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen der Lagerstätte Charbalach

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	C _{org.} daf	H _o an	H _o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
121	12,7	3,1	48,8	75,6	24489	28933	0,47
123	11,1	3,6	41,5	78,7	25324	29550	0,47
125	9,6	5,1	41,4	74,2	25111	29257	0,54
126	10,5	4,2	41,5	74,3	25162	29338	0,48
127	11,2	5,5	44,3	76,3	24963	29734	0,49
129	9,2	10,8	43,3	75,5	23972	29588	0,47
130	11,7	2,5	42,3	75,0	25663	29818	0,43
131	10,8	4,5	41,5	76,2	25126	29475	0,47
∅	10,8	4,9	43,1	75,7	24976	29462	0,48

4.2.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Kohlen der Lagerstätte Charbalach stellen makroskopisch schwarze, mattglänzende Kohlen dar. Sie brechen stückig und sind häufig von Lagen ausgefallener, schwarzglänzender Humusgele durchzogen, welche einen muscheligen Bruch zeigen.

Aus den Maceralanalysen geht hervor, dass die Kohlen einen hohen Vitrinitgehalt zwischen 83 % und ca. 95 % aufweisen (durchschnittlich 87,6 %). Die Gehalte an Inertinit betragen durchschnittlich 4,1 % mit einer Spannweite von 0,6 - 8,8 % und die Gehalte an Liptinit reichen von 1,6 - 13,2 %, mit einem Durchschnitt von 7,1 %. Innerhalb der Vitrinite sind die Telo- und die Gelovitrinite am häufigsten vertreten.

Im Bereich der Liptinite tritt vor allem Liptodetrinit und Resinit (teilweise sehr große Partikel) auf. Die durchschnittlichen Gehalte liegen hier bei 4,1 bzw. 1,4 %. Eine Ausnahme stellt Probe 127 dar, hier tritt neben Liptodetrinit hauptsächlich Cutinit auf (3,4 %). Ferner treten in den Charbalach-Kohlen viele verschiedene Sporinite auf, die allerdings prozentual nicht ins Gewicht fallen.

Die Gehalte an mineralischen Komponenten sind mit Werten zwischen 0 und 5,4 % gering.

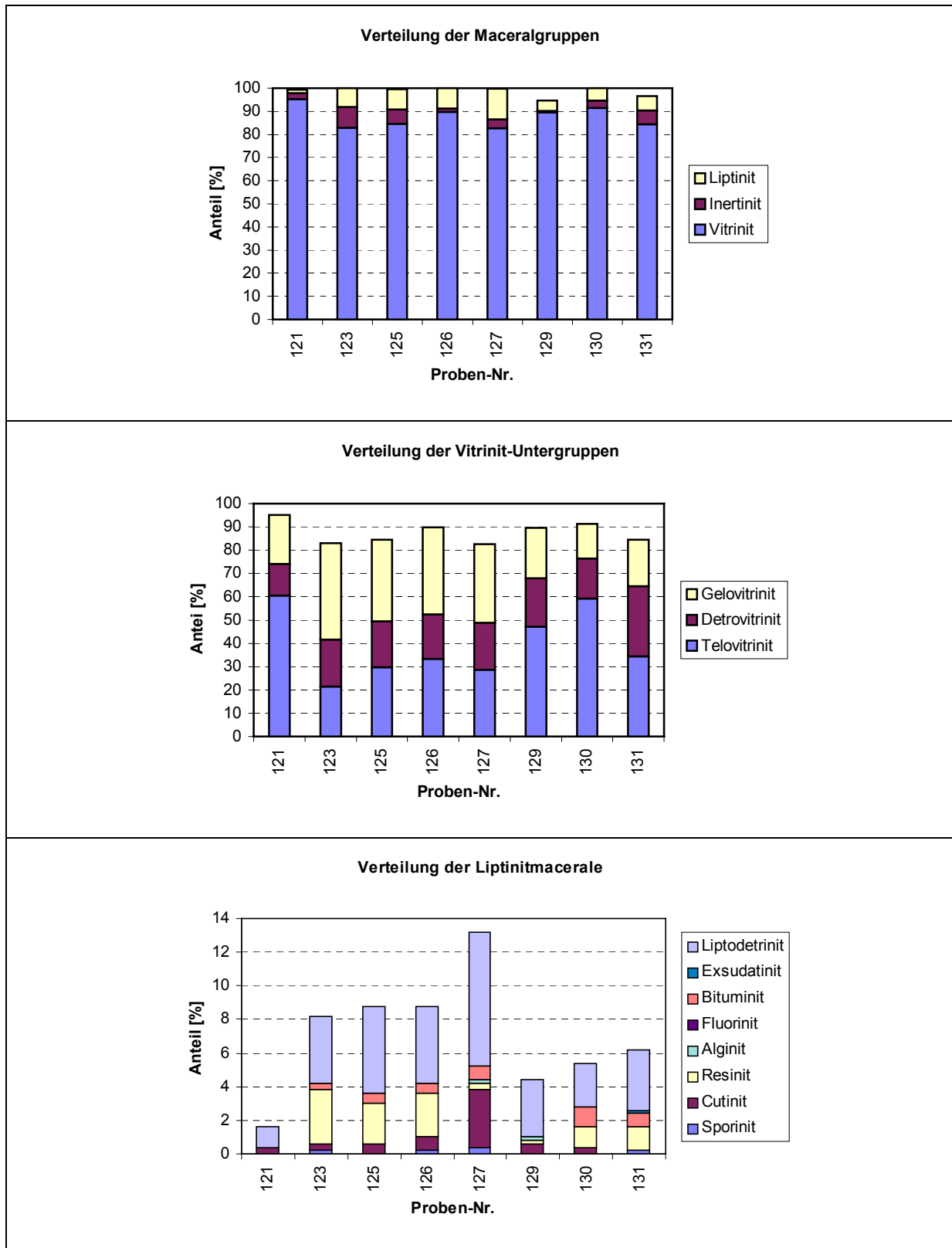


Abb. 4-15 Ergebnisse der Maceralanalyse der Lagerstätte Charbalach (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.2.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Extraktausbeuten der untersuchten Kohlen aus Charbalach liegen im Bereich von 43,4 - 74,1 mg/kg C_{org.} mit einem Durchschnitt von 56,5 mg/kg C_{org.} (Tab. 4-7). Dies entspricht exakt dem typischen Wert für Mattbraunkohlen (HOLLERBACH, 1985). Von diesem Extrakt entfällt der grösste Teil auf die KW-Gruppe der NSO-Verbindungen, gefolgt von der Gruppe der Asphaltene und der Gruppe der Aromaten.

Probe 127 zeigt eine andere Verteilung, hier macht die Asphaltene-Gruppe den hauptsächlichsten Anteil am Extrakt aus. Die Extraktausbeute bei Probe 127 zeigt eine Korrelation mit dem Liptinitgehalt, da sich die Probe in der Liptinitzusammensetzung von den anderen Proben unterscheidet. Es liegt die Vermutung nahe, dass der erhöhte Cutinit-Anteil die erhöhten Asphaltene-Werte bedingt. Auf die Abhängigkeit der Extraktausbeute von der Maceralzusammensetzung und dem Inkohlungsgrad weisen HAGEMANN & HOLLERBACH, 1979; HOLLERBACH, 1980; HAGEMANN & WOLF, 1987; TISSOT & WELTE, 1984; PICKEL, 1991 hin.

Tab. 4-7 Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Charbalach

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org.}]				
121	3,3	43,4	0,6	2,5	26,6	13,7
123	3,7	47,1	0,7	2,8	35,5	8,1
125	4,0	53,9	0,8	3,8	38,6	10,7
126	4,3	57,8	1,0	3,5	40,8	12,5
127	5,7	74,1	0,6	2,3	16,1	55,1
129	4,2	56,2	1,0	4,8	33,5	16,9
130	4,2	56,4	0,5	4,5	32,9	18,5
131	4,8	63,1	0,8	5,2	42,0	15,0
∅	4,3	56,5	0,75	3,7	33,3	18,8

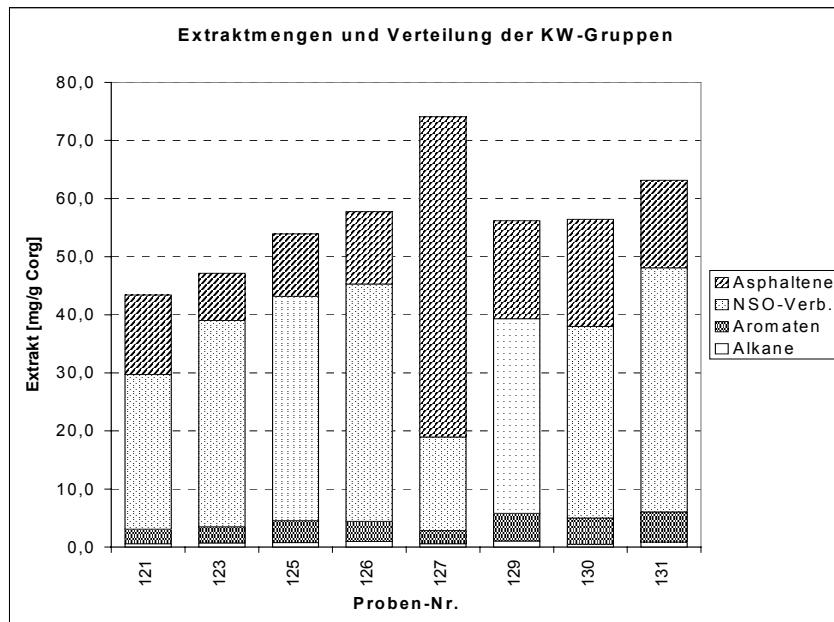


Abb. 4-16 Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Charbalach

Die organisch-geochemischen Parameter sowie Biomarker aus der gaschromatographischen Untersuchung der Alkanfraktion (die Aussagen über die Reife und das Ablagerungsmilieu erlauben) zeigen Tab. 4-8 und Abb. 2-1.

Das Maximum der n-Alkan-Verteilung (C_{max}) variiert kaum und liegt großteils bei n-C₂₁ bzw. bei n-C₂₃. Eine bimodale Verteilung lässt sich nur bei Probe 129 erkennen. Der Carbon Preference Index (CPI), der ebenfalls seit als Reifeparameter verwendet wird, liegt zwischen 1,1 und 2,5. Diese Werte entsprechen dem reflexionsmikroskopisch festgestellten Rang der Kohlen ($R_r = 0,48$). Das Pristan/Phytan Verhältnis, welches als klassischer Parameter für die Faziescharakterisierung verwendet wird, liegt beim Großteil der Proben deutlich über 1. Das Pristan/n-C₁₇ Verhältnis liegt ebenfalls deutlich über 1, so dass von einem oxidativen Ablagerungsmilieu ausgegangen werden kann. Cyclische Diterpane wie Norpimaran und Norisopimaran wurden mehrfach im fossilen Holz höherer Pflanzen, insbesondere von Koniferen gefunden (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990) und weisen bei einem Teil der Proben (Proben-Nr. 127, 130, 133, 135, und 138) auf die Beteiligung von Gymnospermen bei der Flözbildung hin.

Tab. 4-8 Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Charlabach

Proben-Nr.	C _{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
121	21	1,1	4,1	2,7	0,3	0,0	0,0
123	21	1,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
127	23	1,8	0,0	0,0	0,2	7,5	0,0
129	29 (21)	2,1	9,8	13,2	0,5	0,0	0,0
130	21	1,3	4,4	6,8	0,5	18,1	3,7
133	23	1,6	1,6	3,7	0,6	27,3	0,0
135	23	1,7	13,9	9,1	0,3	8,8	16,8
137	19 (23)	2,5	11,7	4,9	0,2	0,0	0,0
138	23	2,1	0,9	2,3	0,2	2,2	0,0

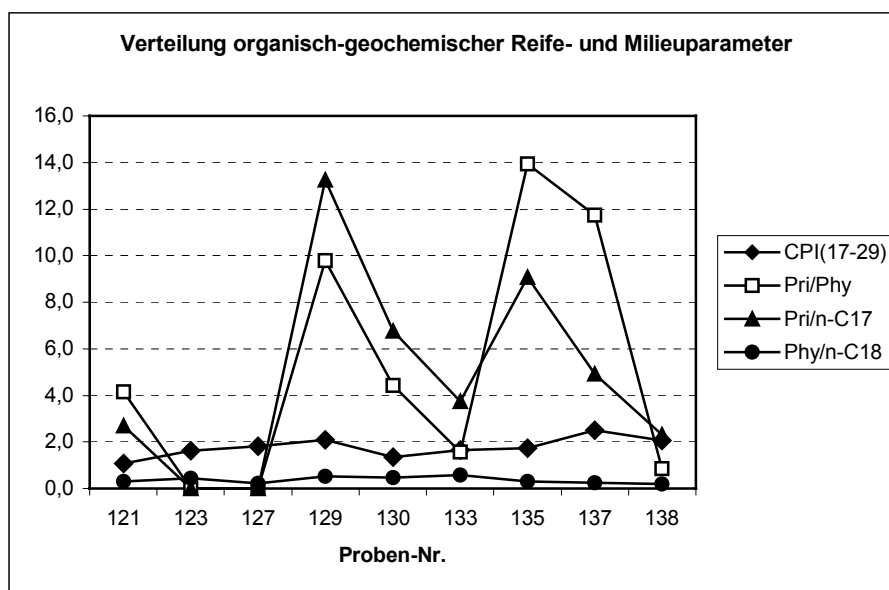


Abb. 4-17 Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Charlabach

4.2.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Zur palynologischen Analyse der Pflanzengruppen und Pflanzengesellschaften und somit der Flözbildner im Sumpfmoor der späteren Lagerstätte Charlabach wurde Probe 127 (oberster Meter Flöz Berchnij, oberjurassische Bergein-Folge) ausgewählt, mazeriert und untersucht.

Probe 127 erwies sich als relativ Mikroflora-arm. Ausser einigen bisaccaten Pollen konnten keine weiteren Sporen oder Pollen festgestellt werden. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass in der Pflanzengemeinschaft des Moores von Charlabach hauptsächlich Gymnospermen vertreten gewesen sein dürften. Als Vertreter der Gymnospermen mit bisaccaten Pollenformen kommen Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht (GOTHAN & WEYLAND, 1954). Die Taxacee *Cephalotaxus* wurde in der Makroflora der unterkretazischen Batylych-Folge nachgewiesen (MALANDIN, 1973a).

4.2.8 Faziesmodell

Um weitere Informationen über die Ablagerungsbedingungen der Kohlen von Charbalach zu erhalten wird im folgenden das Faziesdiagramm nach MUKHOPADHYAY (1986) auf die Ergebnisse der Maceralanalysen angewandt.

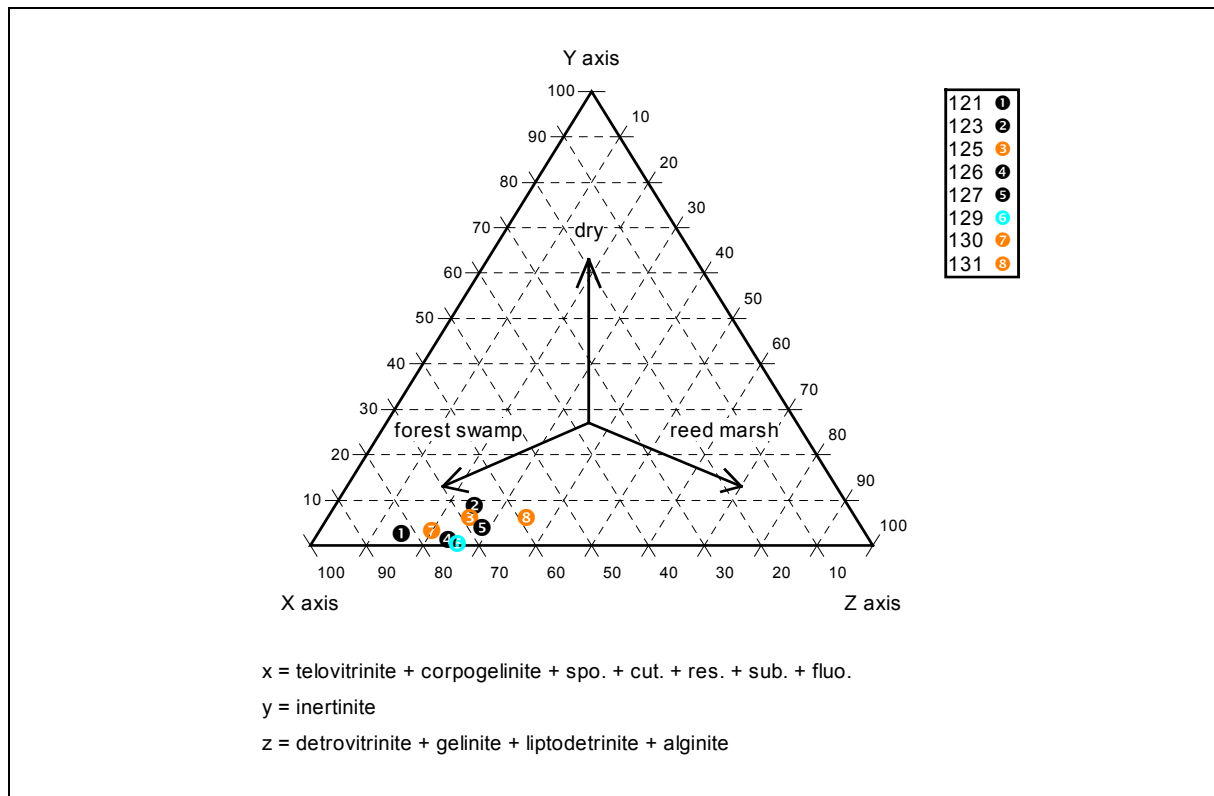


Abb. 4-18 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Charbalach nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986), gleichfarbige Punkte beziehen sich auf gleiche stratigraphische Bereiche im Flöz (s. Abb. 4-14)

Die verschiedenen Proben konzentrieren sich in einem relativ engen Bereich und zeigen dadurch sehr ähnliche Ablagerungsbedingungen an. Es sind keine signifikanten Unterschiede zwischen der Probe aus dem Flöz Nižnij (129) und den Proben aus dem Flöz Verchnij (121, 123, 125-127, 130-131) zu erkennen. Dies spricht dafür, dass sich die Bedingungen im Bildungsraum über einen längeren Zeitraum kaum veränderten. Der oberste Teil des Flözes Nižnij wurde in einem Waldmoor gebildet, darauf folgte eine Geländeabsenkung bzw. ein Grundwasseranstieg welcher einen verstärkten Eintrag von klastischem Material bewirkte und die Kohlenbildung für eine Weile beendete. Als die Rahmenbedingungen eine erneute Sumpfmoorbildung ermöglichten, entwickelte sich erneut ein Waldmoor mit ähnlicher Vegetation (Flöz Verchnij).

4.3 Lagerstätte Džebariki-Chaja



4.3.1 Allgemeines und Lage

Die Kohlenlagerstätte Džebariki-Chaja befindet sich im südöstlichen Bereich des Lena-Kohlen-Beckens. Sie liegt am rechten Ufer des Flusses Aldan, ca. 1,5 km südlich der Stadt Džebariki Chaja (s. Anlage 7).

Der Kohlenabbau begann 1941 mit Hilfe von Stollen, die vom Steilufer des Aldan dem Flöz folgten. Heute werden Kohlen sowohl im Tiefbau (Flöz Verchnij) als auch im Tagebau (1. + 2. Flöz) gefördert. Die Jahresförderung beträgt 1 Mio. t, hiervon werden 74 % im Tiefbau und 26 % im Tagebau gewonnen. Der Gewinnungsbetrieb beschäftigt insgesamt 1200 Personen, das ist ein Viertel der Einwohner der Stadt Džebariki-Chaja. 345 Personen sind direkt im Abbau tätig. Die Lagerstätte verfügt über Reserven von 34 Mio. t. Im Zeitraum 1991 - 1993 wurden 100.000 t Kohlen per Schiff über die Polarmeerroute nach Belgien, Frankreich, Korea und Japan exportiert. Heute ist das nicht mehr möglich, da hohe Transportkosten die Kohlen zu stark verteuern.

Der Verkaufspreis der Kohlen ab Džebariki Chaja liegt bei umgerechnet 8,3 €/t bzw. bei ca. 42 €/t ab Murmansk (1995).

Die derzeitige Abbausohle des Tiefbaus befindet sich bei 115 m. Dies ist hier am Standort im Lockergestein möglich, da der Boden über diese Tiefe hinaus ständig gefroren ist (Permafrost).

Als Effekte der Kohlegewinnung wurde an der Erdoberfläche die Bildung von Senken in Form von rundlichen Flächen von 40 - 50 m im Durchmesser und einer Tiefe von 1,5 - 2 m festgestellt, die sich zu Sümpfen entwickeln (persönliche Mitteilung des Betreibers, 1995).

4.3.2 Geologie und Kohlenführung

Die Lagerstätte, die austreichenden Flöze sowie die Lage der Schachtanlagen und Abbaufelder im Tief- und Tagebau zeigt die Abb. 4-19. Die Lagerstätte Džebariki-Chaja befindet sich geologisch gesehen im südlichen Bereich der Werchojansker Randsenke, welche sich im Paläozoikum bildete und mit Sedimenten des Meso- und Känozoikums aufgefüllt wurde.

Das Mesozoikum hat hier eine Mächtigkeit von ca. 900 m und lagert diskordant auf einer erodierten Oberfläche von kambrischen Karbonaten und Tonschiefern. Es wird durch marine und kontinentale Ablagerungen des Juras und der Kreide aufgebaut (ŠIROGLAZOV & DEMČENKO, 1990). Im Bereich der Lagerstätte ist die oberjurassische Čečum-Folge und die unterkretazische Yngyr-Unterfolge aufgeschlossen (s. Abb. 4-20 und Abb. 4-21). Erstere enthält das bauwürdige 2,9-4,5 m mächtige Flöz „1. + 2.“, letztere das ebenfalls bauwürdige durchschnittlich 2,1 m mächtige Flöz Verchnij.

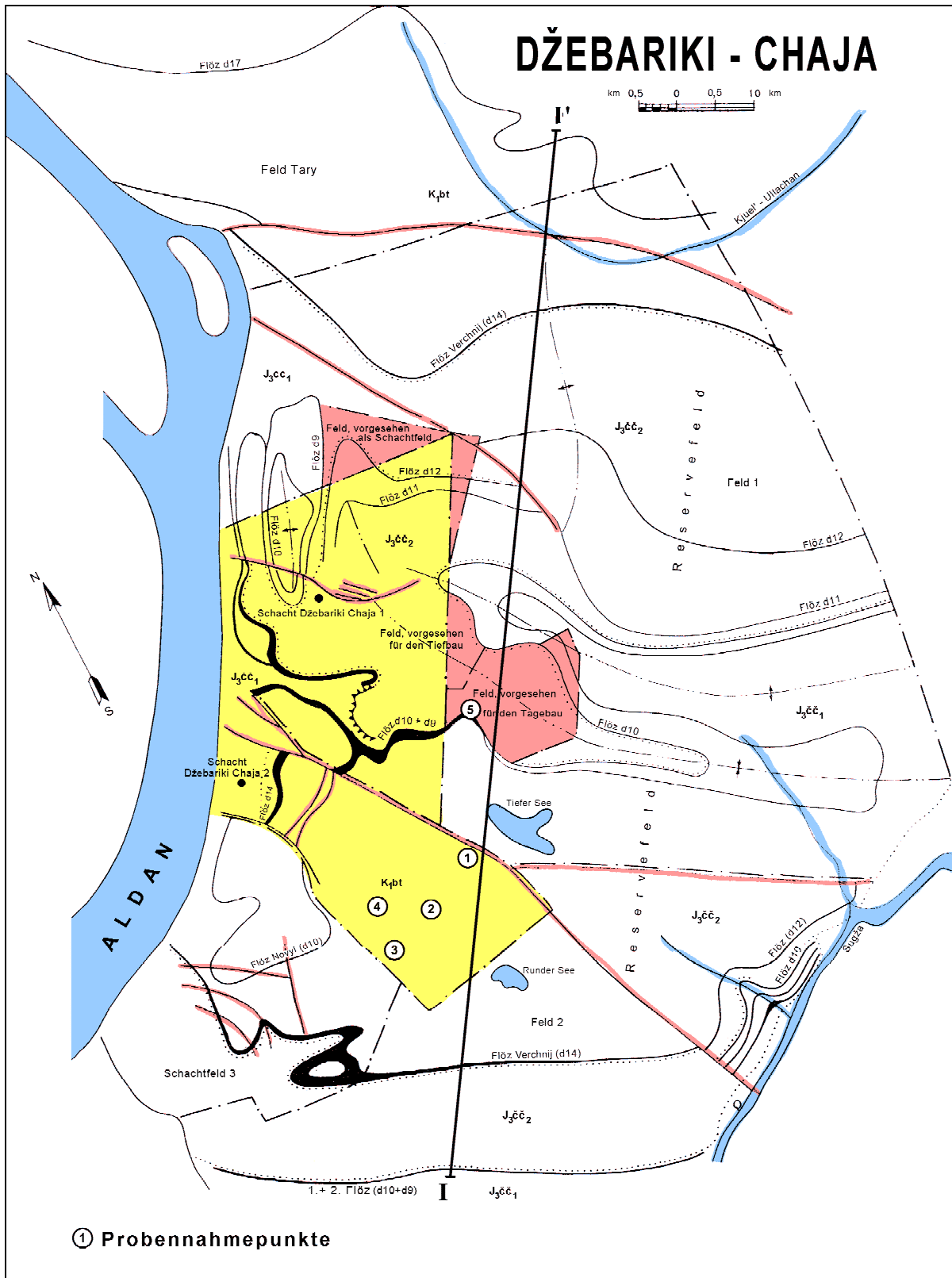


Abb. 4-19 Lagerstätte Džebariki-Chaja mit Beprobungspunkten

Die Flöze treten in einer Wechselfolge von Sanden, Sandsteinen und Tonen auf. Durch Störungen ist die Lagerstätte in mehrere Blöcke zerteilt (s. Abb. 4-20). Das Flöz Verchnij ist einfach aufgebaut und wird von Schacht Džebariki-Chaja 2 aus im Tiefbau gewonnen. Die

Abbausohle befindet sich bei 115 m (1995). Das Flöz „1. + 2.“ zeigt einen komplizierteren Bau und ist meist in zwei Flözlagen aufgespalten. Zwischen ihnen lagert eine bis zu 0,45 m mächtige sandig-tonige Schicht. Flöz „1. + 2.“ wird im Tagebau gewonnen. Beide Flöze zeigen eine annähernd horizontale Lagerung (s. Abb. 4-20, Profil ist stark überhöht dargestellt).

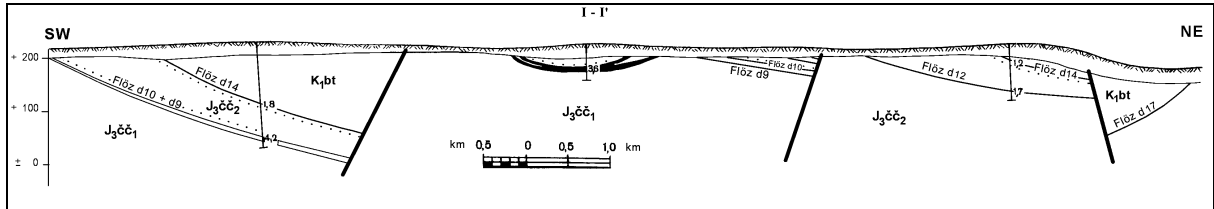


Abb. 4-20 Geologisches Profil durch die Lagerstätte Dzebariki-Chaja (zur Lage der Profillinie s. Abb. 4-19)

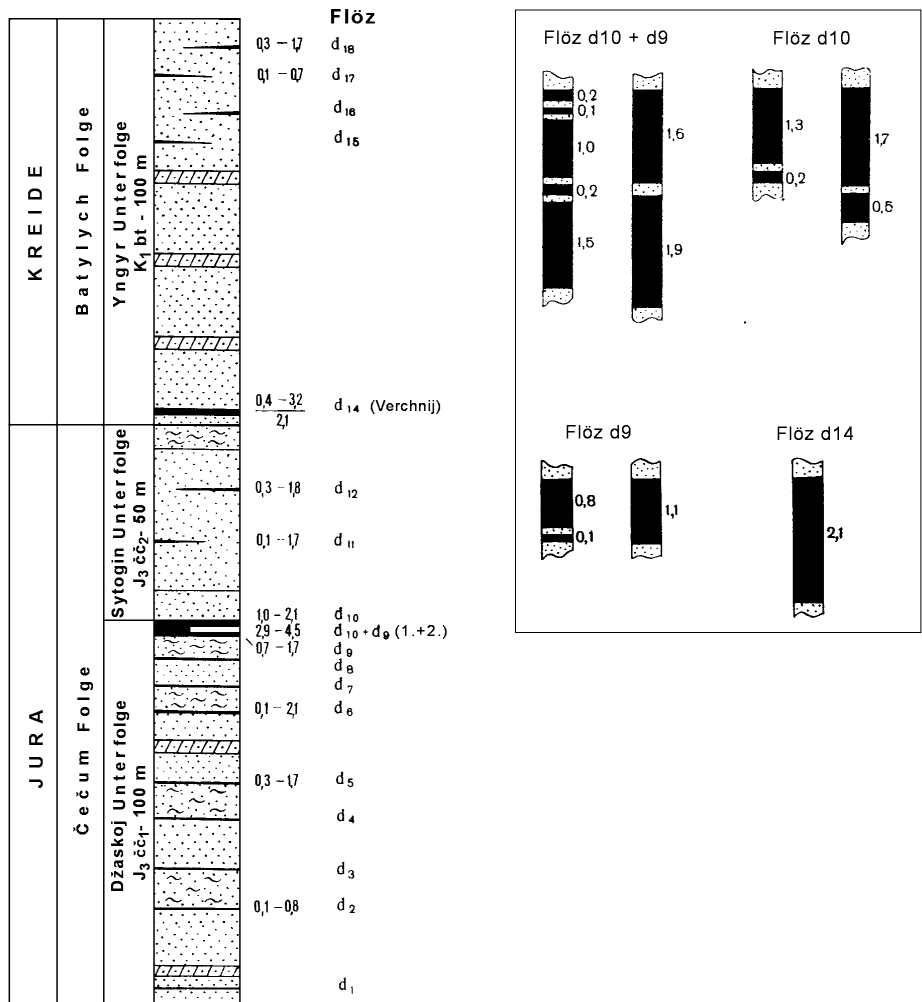


Abb. 4-21 Stratigraphisches Profil (links) und schematisierter Flözaufbau (rechts) der Lagerstätte Dzebariki-Chaja

4.3.3 Beprobung

An fünf verschiedenen Lokationen innerhalb der Lagerstätte wurden Kohlenproben entnommen. Das Flöz Verchnij wurde unter Tage an vier Stellen beprobt, das Flöz „1.+2.“ an einer Stelle über Tage. Die Lage der Beprobungspunkte ist in Abb. 4-19 eingetragen. Weitere Informationen zu den Proben finden sich in Tab. 4-9.

Tab. 4-9 Kennzeichnung der Beprobungspunkte; Lagerstätte Džebariki-Chaja

Beprobungspunkt	Proben-Nr.	Flöz
1	132	Verchnij ob. Teil
1	133	Verchnij mit. Teil
1	134	Verchnij unt. Teil
2	135	Verchnij mit. Teil
3	136	Verchnij ob. Teil
3	137	Verchnij mit. Teil
3	138	Verchnij unt. Teil
4	139	Verchnij
5	140	1. und 2.(1. Meter unt. Top)
5	141	1. und 2.(2. Meter unt. Top)

4.3.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlen weisen i.a. sehr geringe Wasser- und Aschegehalte auf (s. Tab. 4-10). Die Wassergehalte liegen im Mittel bei 6,1 % (max. 7,1 %), die Aschegehalte durchschnittlich bei 4 % (max. 7,5 %). Die ermittelten Reflexionsgrade R_r von im Mittel 0,57 % (Bandbreite von 0,53 bis 0,63 %) und die Gehalte an organischem Kohlenstoff von im Mittel 77 % sprechen für Inkohlungsstadien im Übergangsbereich von Braunkohlen zu Steinkohlen (Glanzbraunkohlen bis Flammkohlen). Die Brennwerte, bezogen auf die trockene und aschefreie Probe (H_o daf), liegen dementsprechend relativ hoch und weisen Werte zwischen 30.000 und 32.000 kJ/kg (Mittelwert 31.060 kJ/kg). Signifikante Unterschiede sind bzgl. der Inkohlung zwischen den oberjurassischen Kohlen (Flöz 1. und 2.; Proben 140 und 141) und unterkretazischen Kohlen (Flöz Verchnij; Proben 132-139) nicht festzustellen.

Tab. 4-10 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für die Lagerstätte Džebariki-Chaja

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	C_{org} daf	H_o an	H_o daf	R_r %
	%				kJ/kg		
132	6,4	3,4	40,6	77,9	28576	31608	0,56
133	5,9	4,8	40,5	76,9	27007	30164	0,57
134	5,7	6,2	41,1	70,6	28482	32199	0,56
135	5,8	3,4	40,3	77,2	27769	30528	0,62
136	6,3	3,0	38,5	77,5	27639	30403	0,63
137	6,1	3,0	39,9	79,0	28401	31169	0,54
138	6,1	3,9	41,4	77,6	28420	31486	0,55
139	6,4	3,0	41,0	77,3	27521	30322	0,55

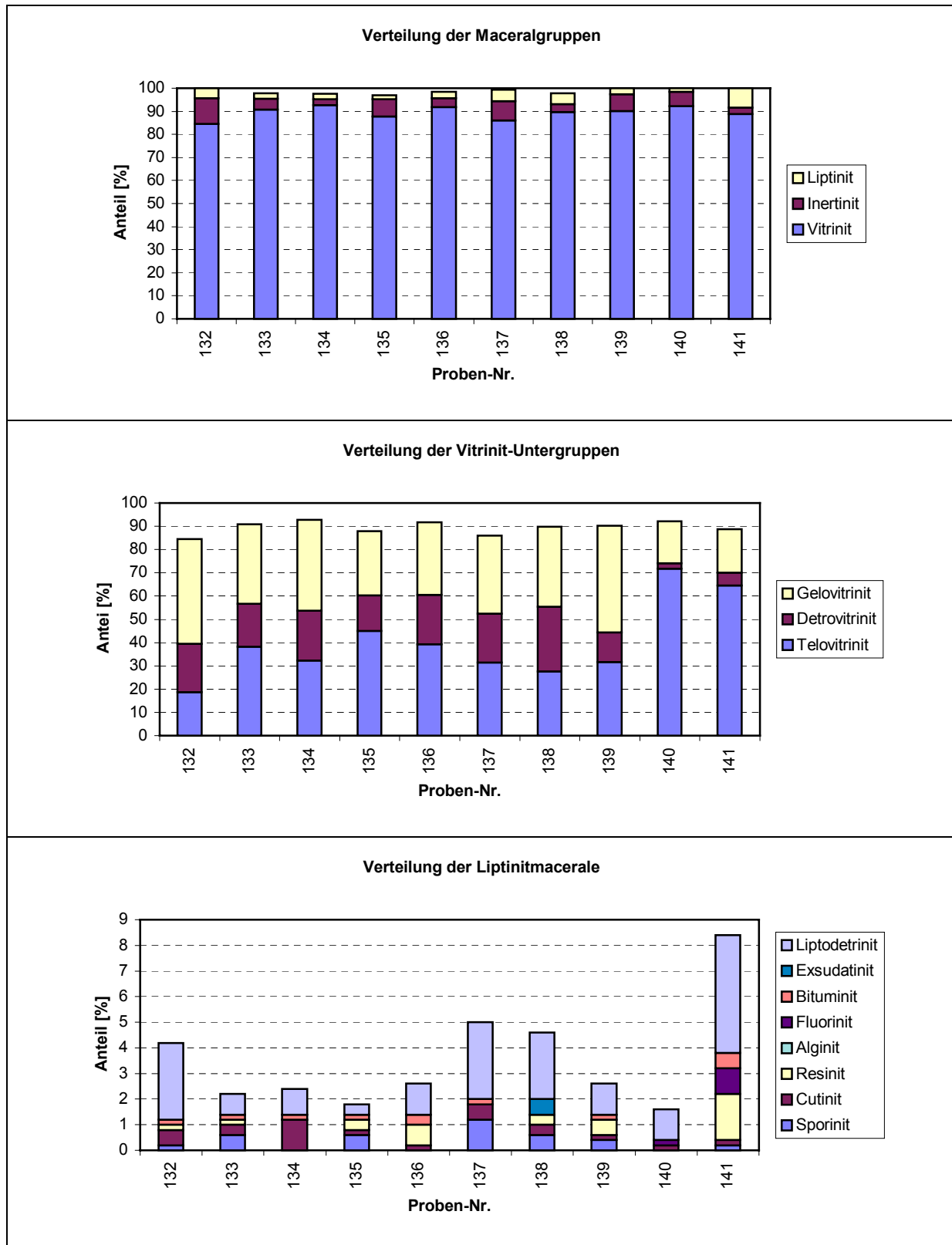


Abb. 4-22 Ergebnisse der Maceralanalyse der Lagerstätte Džebariki Chaja (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

Es dominieren die Vitrinite mit Gehalten zwischen 84,6 und 92,8 %, wobei innerhalb der Vitrinit-Gruppe die Gelovitrinite und Telovitrinite mit wechselnden Anteilen vorherrschen. Die beiden Proben aus dem oberjurassischen Flöz (140 u. 141) unterscheiden sich bzgl. der

Verteilung der Vitrinit-Untergruppen deutlich von den Proben aus dem unterkretazischen Flöz und zeigen eine ausgeprägtere Dominanz der Telovitrinite.

Inertinit ist im Mittel zu etwa 5,8 % enthalten, eine Ausnahme bildet Probe 132 mit über 11 % Inertitanteil. Die Liptinitanteile liegen zwischen 1,6 und 8,4 % (Durchschnitt 3,5 %), wobei i.a. Liptodetrinit dominiert. Bemerkenswert ist, dass fast alle Proben geringe Mengen an Bituminit aufweisen.

4.3.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

In der nachfolgenden Tabelle und Abbildung sind die ermittelten Ergebnisse dargestellt.

Die Mengen an extrahierbarem organischen Material liegen für die Kohlen aus Džebariki-Chaja im Bereich von 53,2-126,2 mg/g C_{org.} mit einem Durchschnitt von 86,9 mg/g C_{org.}. Dieser Wert ist deutlich höher als für Kohlen diese Inkohlungsstufe zu erwarten wäre. Es ist mehrfach belegt, dass die Menge an extrahierbarem organischen Material sowohl vom Inkohlungsgrad als auch von der Maceralzusammensetzung abhängig (HAGEMANN & HOLLERBACH, 1979; HOLLERBACH, 1980; HAGEMANN & WOLF, 1987; TISSOT & WELTE, 1984; PICKEL 1991). Die Art der Maceralzusammensetzung mit relativ großen Anteilen an Gelo- und Detrovitrinit scheint für die erhöhten Ausbeuten bei den Proben des Flözes Verchnij verantwortlich zu sein. Die Hauptmenge des Extraktes entfällt auf die NSO-Gruppe, Probe 134 und Probe 138 bilden eine Ausnahme, hier treten mehr Asphaltene auf, welche mit erhöhten Gehalten an den Maceralen Cutinit und Exsudatinit korrelieren.

Die beiden Proben des Flözes „1.+2.“ zeigen eine völlig unterschiedliche Extraktausbeute. Hier wird die Abhängigkeit der Extraktmenge von der Maceralzusammensetzung noch deutlicher. Eine ausgeprägte Korrelation besteht zwischen der Extraktmenge und dem Liptinitgehalt.

Tab. 4-12: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Džebariki-Chaja

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org.}]				
132	7,2	92,9	1,2	7,9	44,4	39,4
133	6,2	80,3	1,0	5,7	41,2	32,3
134	7,1	100,1	0,6	5,5	29,1	65,0
135	5,8	74,8	0,9	8,3	35,3	30,4
136	4,7	61,2	0,5	6,2	36,1	18,3
137	10,0	126,2	1,7	12,1	74,9	37,6
138	7,2	92,9	1,0	2,9	21,1	67,8
139	6,5	84,2	1,5	9,9	56,6	16,1
140	4,1	53,2	0,5	4,3	43,9	4,4
141	8,1	103,6	0,6	3,3	18,2	81,5
∅	6,7	86,9	0,9	6,6	40,1	39,3

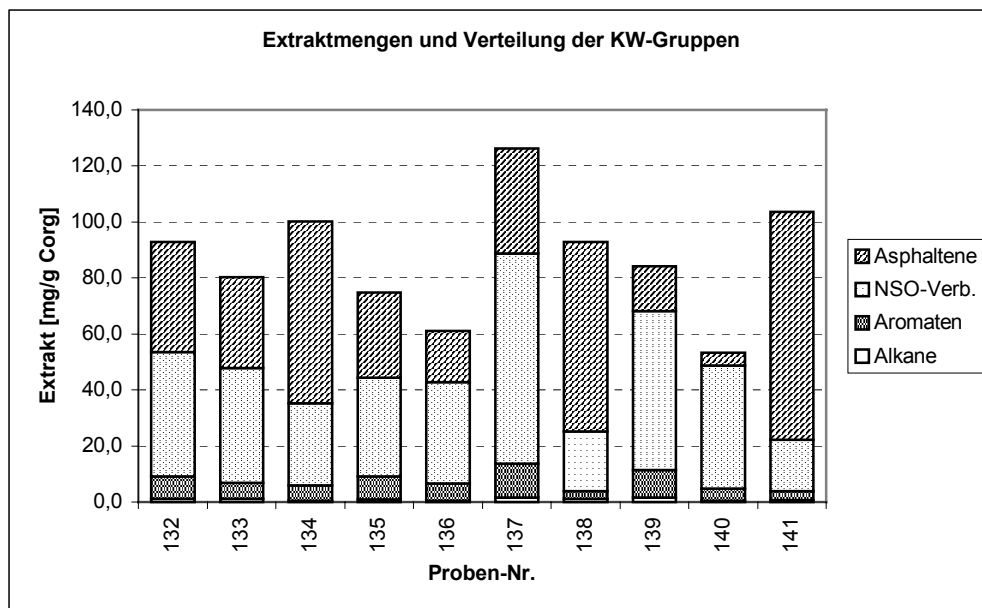


Abb. 4-23: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Džebariki-Chaja

Für die Bestimmung organisch geochemischer Reife- und Milieuparameter wurden einige Proben ausgewählt und exemplarisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen relativ einheitliches Bild. Das Maximum der n-Alkan-Verteilung liegt wie bei Kohlen dieses Ranges üblich im Bereich n-C₂₃, teilweise mit einem weiteren Maximum im kürzerkettigen Bereich (Probe 137 und Probe 141). Der CPI-Wert, als weiterer geochemischer Reifeparameter vielfach verwendet, bestätigt den reflexionsmikroskopisch bestimmten Inkohlungsgrad im Bereich einer Glanzbraunkohle/Flammkohle. Das Pri/Phy-Verhältnis und das Pri/n-C₁₇-Verhältnis zeigen hohe Werte und deuten auf ein oxidativ dominiertes Ablagerungsmilieu hin. Cyclische Diterpane die als typische Biomarker für fossile und rezente Gymnospermen angesehen werden (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990) konnten ebenfalls in einigen Proben nachgewiesen werden. Hopane, die in Verbindung mit dem verstärkten Auftreten von detritischen Maceralen (Detrovitrinite) auf eine stärkere mikrobielle Überprägung und damit Zersetzung der Kohle hinweisen, wurden nur in Probe 135 gefunden.

Tab. 4-13: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Džebariki-Chaja

Proben-Nr.	C _{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C ₁₇	Phy/n-C ₁₈	Cykl. Diterpane		Hopane
						[mg/kg]		
133	23	1,6	1,6	3,7	0,6	27,3	0,0	
135	23	1,7	13,9	9,1	0,3	8,8	16,8	
137	19 (23)	2,5	11,7	4,9	0,2	0,0	0,0	
138	23	2,1	0,9	2,3	0,2	2,2	0,0	
141	21 (14)	1,6	12,2	3,0	0,2	0,0	0,0	

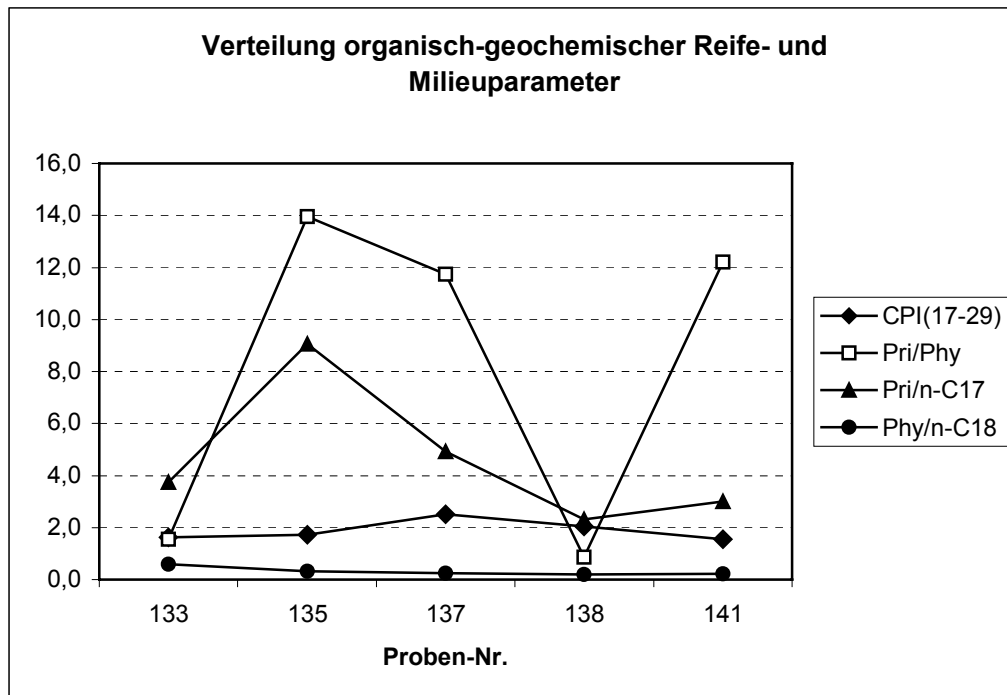


Abb. 4-24: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter Lagerstätte Džebariki-Chaja

4.3.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Für die palynologischen Analyse wurde die Probe Nr. 138 des Flözes Verchnij (unterkretazische Batylych-Folge) ausgewählt, mazeriert und untersucht. Die Probe erwies sich als Mikroflora-leer.

Aufgrund der petrographischen Ergebnisse, welche für die o. g. Probe ein Vorhandensein von verschiedenen Sporiniten belegen, besteht ein begründeter Zweifel am Ergebnis der palynologischen Untersuchung. Es wird angenommen, dass die Kohlen evt. durch eine zu kurze Mazerationsdauer nicht intensiv genug zersetzt wurden und sich deshalb keine Pollen und Sporen im Präparat finden.

Ein gänzlichliches Fehlen von Mikroflora wird ausgeschlossen.

4.3.8 Faziesmodell

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Maceraluntersuchung dargestellt im Faziesdiagramm nach MUKHOPADHYAY (1986).

Alle Proben aus den verschiedenen Bereichen des Flözes Verchnij (Probe 132-139) belegen einen Bildungsbereich in einem Waldmoor. Die geringe Variation der Punkte spricht für beständige Verhältnisse, die über den ganzen Zeitraum der Flözentwicklung andauerten. Die älteren oberjurassischen Proben des Flözes „1.+2.“ wurden ebenfalls in einem Waldmoor (artenarm und durch Bäume dominiert) gebildet

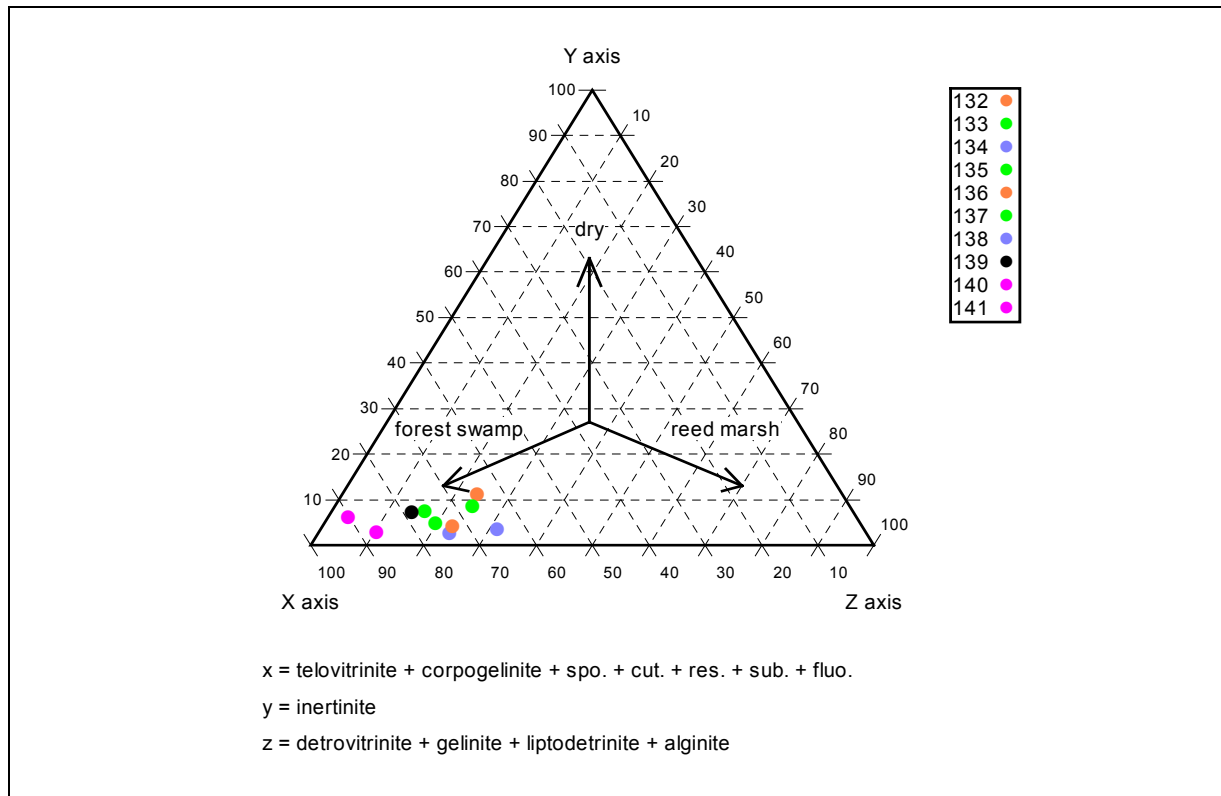


Abb. 4-25 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Džebariki-Chaja nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986) - unterschiedliche Farben repräsentieren unterschiedliche stratigraphische Horizonte vgl. Tab. 4-9

4.4 Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a



4.4.1 Allgemeines und Lage

Ca. 23 km flussabwärts der Stadt Džebariki-Chaja sind an der linken Uferböschung des Aldan zwei Kohlenflöze aufgeschlossen (zur Lage s. Anlage 7). Dieses Vorkommen wurde vom Autor als Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a bezeichnet und ebenfalls in die Untersuchungen mit einbezogen. In diesem Bereich erfolgt bisher kein Abbau.

Einen Eindruck von dem Kohlenvorkommen gibt Abb. 4-26 (Blick von Nord auf den Uferbereich).

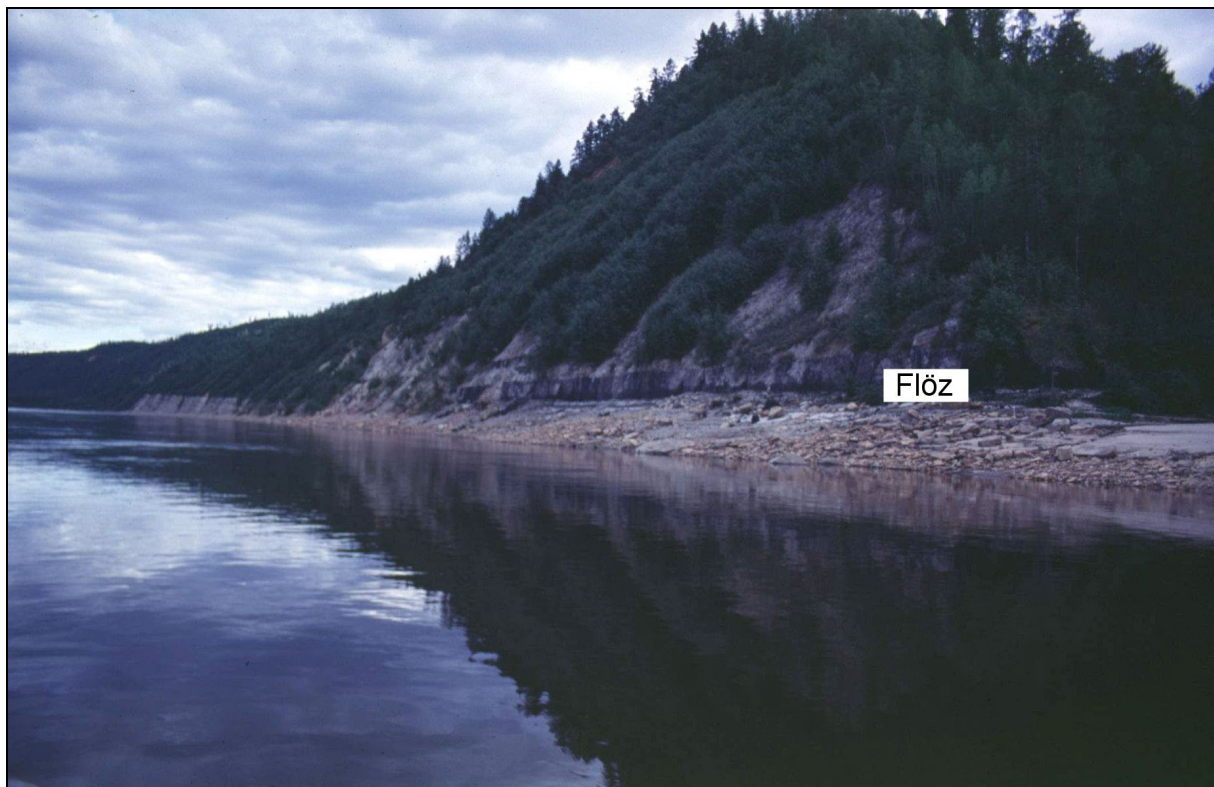


Abb. 4-26 Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a am Ufer des Aldan

4.4.2 Geologie und Kohlenführung

Für den Bereich des Kohlenvorkommens Džebariki-Chaja a liegen keine stratigraphischen Daten vor. In der großmaßstäblichen geologischen Karte der Jakutischen ASSR (Maßstab 1 : 1.500.000, Erstellungsjahr 1978) sind für diesen Bereich oberjurassische Ablagerungen eingetragen.

An der Lokation Džebariki-Chaja a sind, wie bereits erwähnt zwei Flöze aufgeschlossen. Das untere, im folgenden 1. Flöz genannt, hat eine Mächtigkeit von ca. 3 m. Es wird von Siltsteinen unter- und überlagert. Zum Hangenden folgt ein leicht verfestigter Sandstein und eine

Siltstein/Sandstein-Wechselfolge. Diese Ablagerungen sind insgesamt 3,5 m mächtig. Darauf folgt das 2. Flöz. Dieses Flöz hat eine Mächtigkeit von ca. 1 m. Es wird ebenfalls von dünnen, jeweils 0,15 m mächtigen Sandstein/Siltstein-Wechsellagen überlagert, welche von einem Sandstein mit verfestigten Bereichen (Konkretionen) gefolgt werden. Die Schichtenfolge zeigt Abb. 4-27.

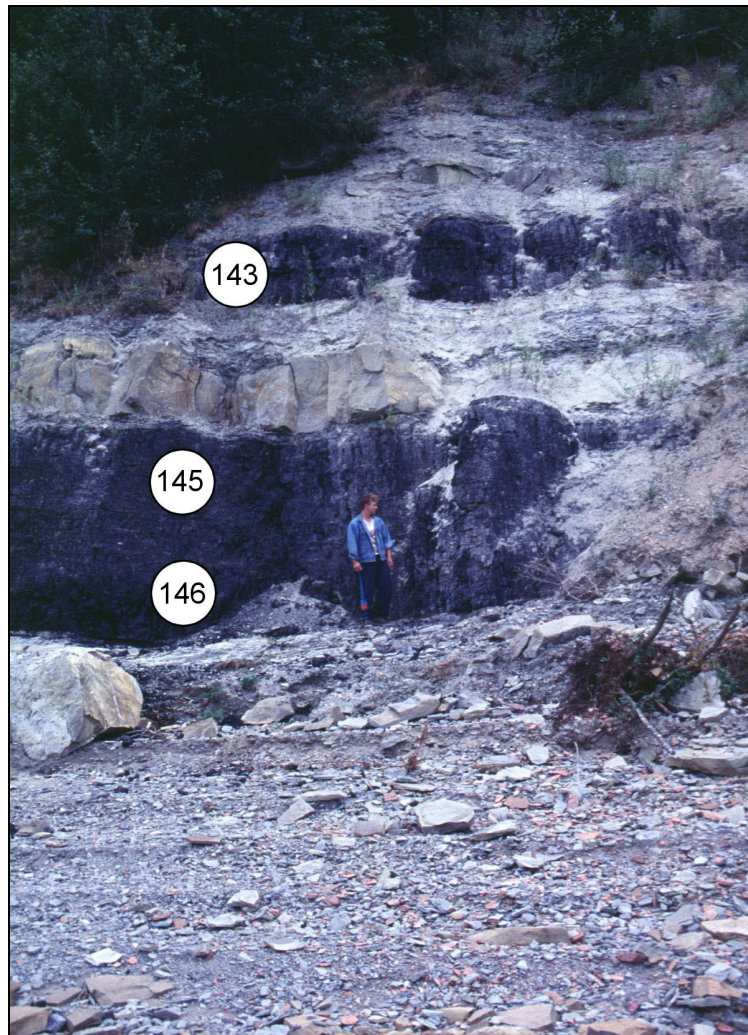


Abb. 4-27 Schichtenfolge des Kohlenvorkommens Džebariki-Chaja a mit Beprobungspunkten

4.4.3 Beprobung

An der Lokation Džebariki-Chaja a wurden drei Beprobungen durchgeführt (s. Abb. 4-27). Vom mächtigeren 1. Flöz wurden zwei Proben (untere 1,5 m und obere 1,5 m) genommen. Vom 2. Flöz wurde eine Probe genommen.

Bei allen Proben handelt es sich um Bereichsproben (s. Kap. 3.1).

4.4.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die im Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a aufgeschlossenen Kohlen weisen im Vergleich zur Lagerstätte Džebariki-Chaja einen geringeren Inkohlungsgrad bei ähnlicher stratigraphischer Stellung auf (s. Tab. 4-14). Die ermittelten Reflexionsgrade bewegen sich zwischen 0,49 und 0,52 %, die Gehalte an organischem Kohlenstoff zwischen 69,1 und 75,8 % (vgl. Kap. 4.3.4). Es handelt sich um Glanzbraunkohlen. Die Brennwerte sind dementsprechend mit im Mittel 29.654 kJ/kg etwas geringer als diejenigen der Lagerstätte Džebariki.

Die Wasser- und Aschegehalte sind gering, wobei für den Wassergehalt die schon erläuterten Einschränkungen gelten.

Tab. 4-14 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für das Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	Corg daf	H,o an	H,o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
143	6,6	15,0	48,4	75,8	23764	29949	0,50
145	8,6	6,4	43,2	71,7	24878	29101	0,52
146	8,2	7,8	45,0	69,1	25327	29913	0,49
∅	7,8	9,8	45,5	72,2	24656	29654	0,50

4.4.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Maceralanalysen zeigen die folgende Tabelle und Abbildung.

Im petrographischen Bestand dominieren insgesamt Vitrinite. Es zeigen sich jedoch Differenzen zwischen den Proben. In Probe 143 aus dem oberen, geringer mächtigen Flöz (2. Flöz) ist der Vitrinit-Gehalt im Vergleich zu den beiden Proben aus dem unteren mächtigeren Flöz deutlich geringer, der Liptinitgehalt aber deutlich höher. Er erreicht hier 22,4 %.

Das prozentuale Verhältnis der einzelnen Liptinitmacerale zueinander ist bei allen Proben sehr ähnlich. Es dominiert Liptodetrinit gefolgt von Cutinit.

Die Zusammensetzung der Vitrinit-Untergruppe ist in oberen und unteren Flöz ebenfalls unterschiedlich. Im unteren Flöz (Probe 143) dominiert die Untergruppe Detrovitrinit während im oberen Flöz (Proben 145 und 146) Telovitrinit überwiegt.

Mineralische Bestandteile treten nur untergeordnet auf.

Tab. 4-15: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen des Kohlenvorkommens Džebariki-Chaja a

Proben-Nr.	(Einheit)	143	145	146	Ø
Vitrinit	(Vol.-%)	71,6	89,6	89,8	83,7
Telinit	(Vol.-%)	6,6	19,2	38,2	21,3
Collotelinit	(Vol.-%)	12	26,6	9,6	16,1
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	1	0	0	0,3
Collodetrinit	(Vol.-%)	31	22	18,6	23,9
Corpogelinit	(Vol.-%)	21	21,8	23,4	22,1
Gelinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Inertinit	(Vol.-%)	5,8	0,8	1,2	2,6
Fusinit	(Vol.-%)	0,6	0,2	0,2	0,3
Semifusinit	(Vol.-%)	1,4	0	0	0,5
Macrinit	(Vol.-%)	1,8	0,4	0,2	0,8
Micrinit	(Vol.-%)	1,2	0	0,6	0,6
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0,8	0,2	0,2	0,4
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Liptinit	(Vol.-%)	22,4	6,2	7,4	12,0
Sporinit	(Vol.-%)	1,2	0	0	0,4
Cutinit	(Vol.-%)	6,4	1,8	1,2	3,1
Resinit	(Vol.-%)	1,8	0,4	1	1,1
Alginit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Fluorinit	(Vol.-%)	0,2	0	0,4	0,2
Bituminit	(Vol.-%)	1	0,6	0,2	0,6
Exsudatinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Liptodetrinit	(Vol.-%)	11,8	3,4	4,6	6,6
Minerale	(Vol.-%)	0,2	3,4	1,6	1,7
Ton	(Vol.-%)	0,2	3,4	1,6	1,7
Quarz	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Pyrit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0	0	0	0,0

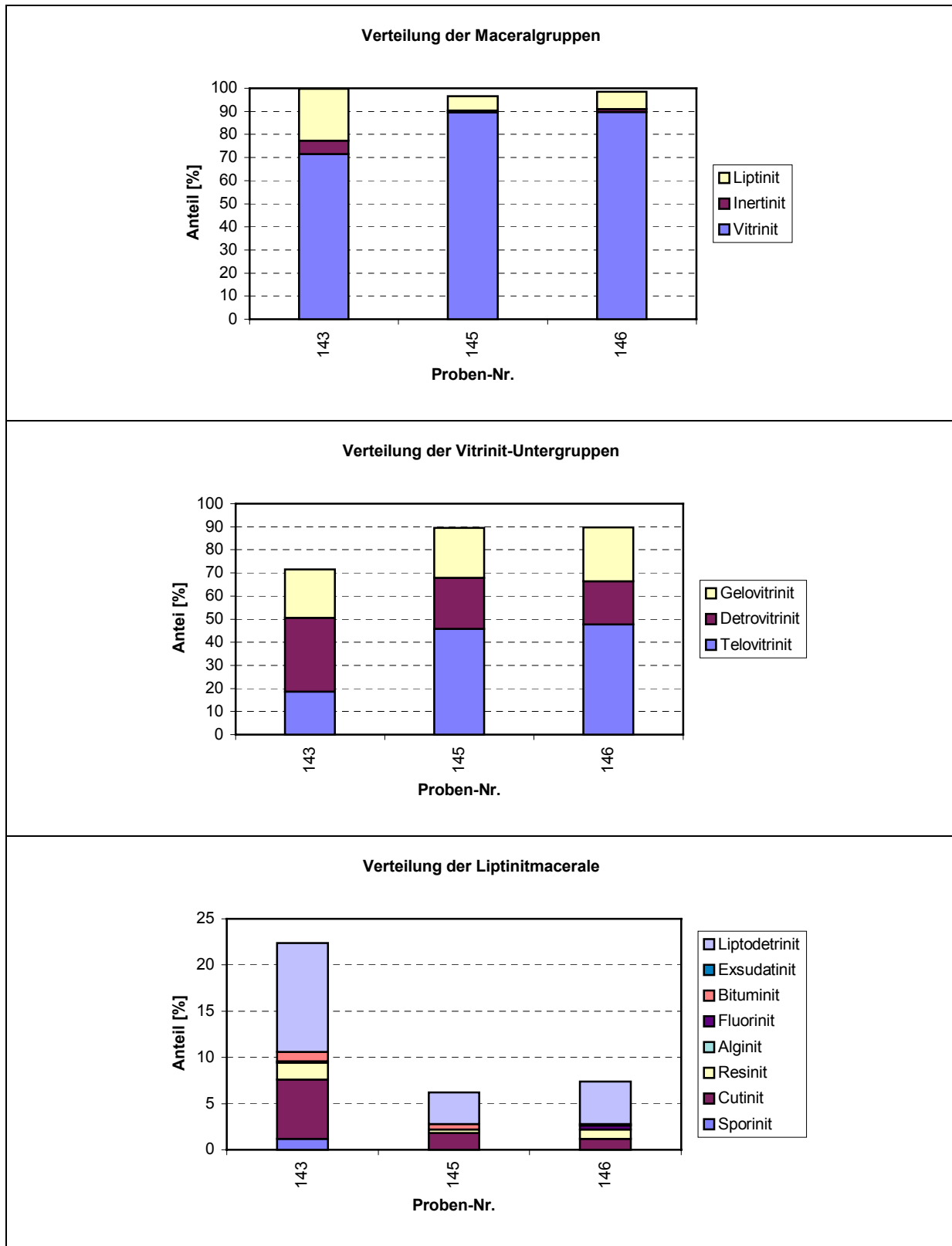


Abb. 4-28 Ergebnisse der Maceralanalyse des Kohlenvorkommens Džebariki-Chaja a (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.4.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Kohlen des Vorkommens Džebariki-Chaja a liefern Extraktmengen von 54,4-68,7 mg/g $C_{org.}$ mit einem Durchschnittswert von 61,4 mg/g $C_{org.}$. Diese Mengen sind, verglichen mit den typischen Extrakten einer Glanzbraunkohle etwas erhöht, liegen aber deutlich unter denen des 23 km entfernten Vorkommens von Džebariki-Chaja. Hauptbestandteil des Extrakts aller drei Proben sind NSO-Verbindungen mit durchschnittlich 37,1 mg/g $C_{org.}$. Die KW-Gruppen der Alkane und Aromaten sind durchschnittlich zu 1,1 und 3,8 % vertreten.

Tab. 4-16: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Džebariki-Chaja a

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g $C_{org.}$]				
143	4,1	54,4	1,8	4,3	35,1	13,2
145	4,9	68,7	0,8	4,0	40,0	23,8
146	4,2	61,2	0,6	3,0	36,1	21,4
∅	4,4	61,4	1,1	3,8	37,1	19,5

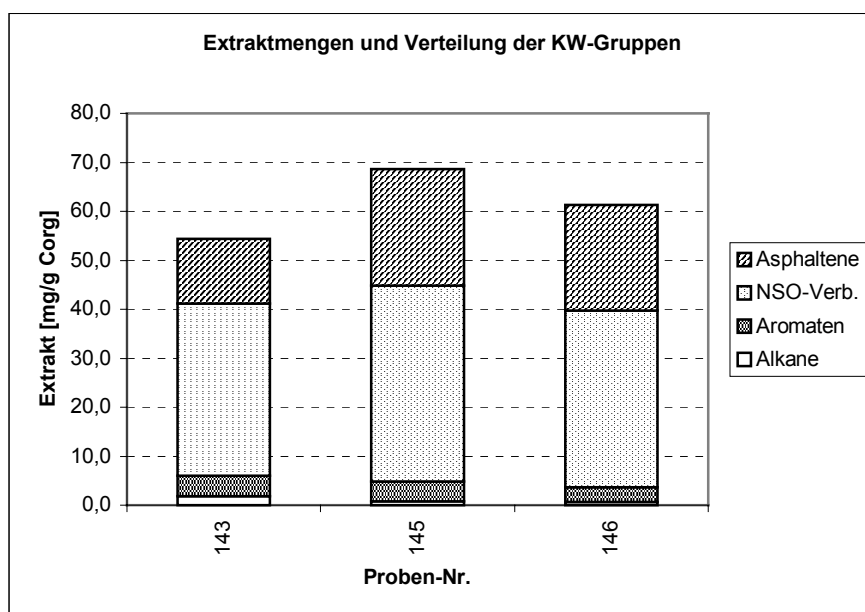


Abb. 4-29: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Džebariki-Chaja a

Eine weiterführende gaschromatographische Untersuchung wurde nur an Probe 146 durchgeführt. Das Chromatogramm zeigt eine für diesen Inkohlungsgrad typische n-Alkan-Verteilung mit einem Maximum bei n-C₂₁. Der CPI-Wert, der das Verhältnis der ungeradzahigen zu den geradzahigen n-Alkanen ausdrückt und ebenfalls als geochemischer Reifeparameter verwendet werden kann (BRAY & EVANS, 1961) liegt bei 1,9 und bestätigt den reflexionsmikroskopisch festgestellten Inkohlungsgrad einer Glanzbraunkohle. Der Wert für das Pristan/Phytan-Verhältnis sowie der Wert für das Pristan/n-C₁₇-Verhältnis liegt deutlich über eins und weist auf oxidierende Bedingungen während der Ablagerung hin. Ferner treten cyclische Diterpane (Norisopimaran und Norpimaran), welche als Biomarker für fossile und

rezente Gymnospermen gelten, auf (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990). Vertreter der Gruppe der Hopane, deren Auftreten auf eine stärkere mikrobielle Überprägung und damit Zersetzung der Kohle durch Bakterien hinweist (OURISSON et al., 1984; DAS & MAHATO, 1983; PETERS & MOLDOWAN, 1991, 1993) wurden ebenfalls detektiert.

Tab. 4-17: Organisch-geochemische Reife- und Millieuparameter; Kohlenvorkommen Džebariki-Chaja a

Proben-Nr.	C _{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
146	21	1,9	4,9	2,6	0,2	4,7	8,2

4.4.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um Informationen darüber zu erhalten, welche Pflanzengruppen und Pflanzengesellschaften im Sumpfmoor von Džebariki-Chaja a vertreten waren und somit als Flözbildner anzusehen sind, wurde Probe 143 (2. Flöz, Oberjura?) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht. Probe 143 erwies sich als mikrofloren-arm, lediglich Bruchstücke von bisaccaten Pollen wurden gefunden.

Dies ist verwunderlich, da petrographisch die beachtliche Menge von 1,2 % Sporinit in der Probe festgestellt worden war. Es besteht deshalb hier, wie bereits bei der ähnlich inkohlten Probe 138 der Lagerstätte Džebariki-Chaja die begründete Vermutung, dass die Mazeration nicht vollständig erfolgte und dass deshalb die Ausbeute an Palynomorphen so gering ausfiel.

Die wenigen Bruchstücke bisaccater Pollen deuten aber dennoch darauf hin, dass im Sumpfmoor von Džebariki-Chaja a Gymnospermen vertreten gewesen sind und als Flözbildner fungiert haben. Als Vertreter der Gymnospermen mit bisaccaten Pollen kommen, wie in den vorangehenden Kapiteln schon erwähnt Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht.

4.4.8 Faziesmodell

Die Anwendung des auf den petrographischen Ergebnissen basierenden Faziesmodells nach MUKHOPADHYAY zeigt für das 1. Flöz eine Entstehung in einem Waldmoor. Beide Proben aus dem 1. Flöz liegen im Diagramm sehr dicht beieinander und sprechen für weitgehend konstante Bedingungen im Moor während der gesamten Bildungszeit des Flözes.

Das im Hangenden nach einer kohlenfreien Sedimentationphase folgende geringermächtigere 2. Flöz entstand unter veränderten Bedingungen. Der Standort war feuchter und es kam zur Entwicklung einer mehr krautigen Vegetation.

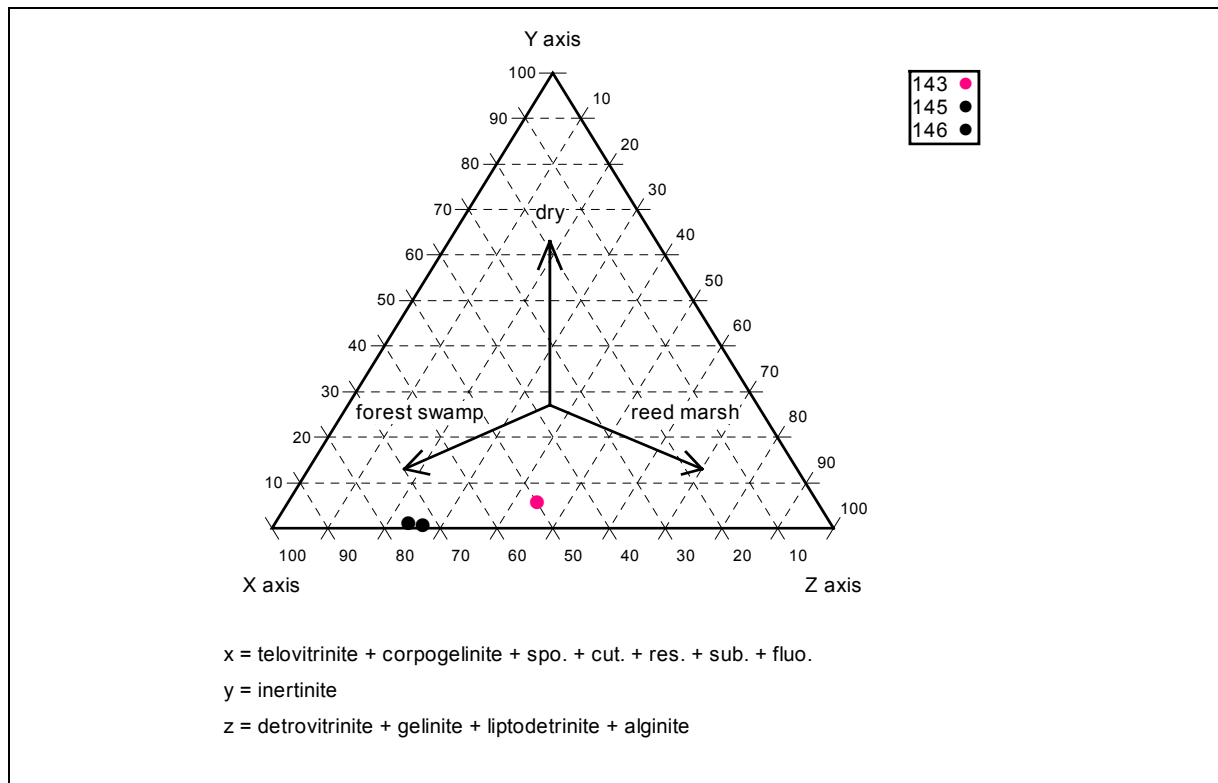


Abb. 4-30 Bildungsbereich der Kohlen des Vorkommens Džebariki-Chaja a nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.5 Lagerstätte Sangar



4.5.1 Allgemeines und Lage

Die Lagerstätte Sangar befindet sich im westlichen Teil des Lena-Kohlen-Beckens. Sie liegt im Bereich der gleichnamigen Siedlung am rechten Ufer der Lena, 339 km nördlich der Hauptstadt Jakutsk (s. Anlage 4).

1914 wurde die Lagerstätte durch den Ingenieur Liedermann entdeckt, der einen Kohlenausbiss am Ufer der Lena bemerkte. 1928 begann die Erkundung und gleichzeitig auch der erste Abbau der Lagerstätte mit Hilfe eines Stollens.

In den ersten Jahren wurden 2.000-3.000 t Kohlen gefördert. 1990 lag die Förderung bei 354.000 t. Seitdem ging die Fördermenge kontinuierlich zurück. 1994 wurden 130.000 t im Tiefbau und erstmalig 14.000 t im Tagebau gefördert. Für die Zukunft ist ein verstärkter Abbau über Tage geplant. Die Lagerstätte verfügt über fünf bauwürdige Flöze (Složnyj, Zagadka, Jubilejnyj, Sputnik, und Sapropelevyj). Zur Zeit des Besuchs (1995) wurden zwei (Flöz Složnyj und Flöz Jubilejnyj) von den fünf vorhandenen Flözen abgebaut. Die maximale Abbautiefe beträgt z.Z. ca. 280 m. Abgebaut wird oberhalb eines wasserführenden Horizonts. Die Flöze fallen zwischen 2° und 50° ein und weisen eine durchschnittliche Mächtigkeit von ca. 2 m auf. Die Reserven (A+B+C) der Lagerstätte betragen 16,6 Mio. t.

Einen Überblick über die Lagerstätte, die Lage der Flözausbisse, der geologischen Einheiten und Störungszonen gibt die Abb. 4-31.

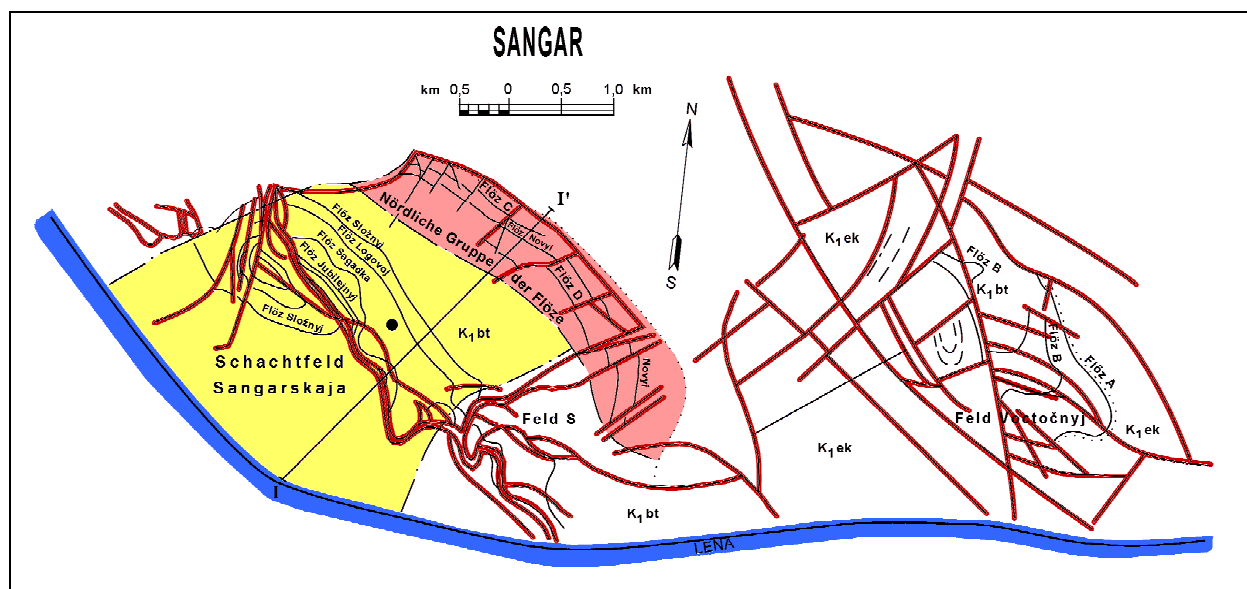


Abb. 4-31 Lagerstätte Sangar

Der Betrieb beschäftigt insgesamt 1.020 Mitarbeiter, davon 318 unter Tage. Die Kohlen werden zu 100 % zu Heizzwecken verwendet und werden flussabwärts nach Žigansk, Tiksi und an die Bergbauggebiete am Fluss Jana geliefert. Da einige Bergbaubetriebe in den letzten

Jahren geschlossen wurden ging der Absatz zurück. Die Grube erwirtschaftet 1994 ein Defizit von umgerechnet 2 €/t Kohlen. Der Verkaufspreis liegt bei 14,3 €/t (pers. Mitteilungen des Betreibers).

4.5.2 Geologie und Kohlenführung

Die Lagerstätte Sangar befindet sich, geologisch gesehen auf dem südwestlichen Flügel des West-Werchojansker Megaantiklinoriums, einem großen Faltenbogen in dessen Zentrum altpermische und an dessen Flügeln jurassische und kretazische Gesteine auftreten. Die Struktur des Megaantiklinoriums ist durch Linearfalten weiter kompliziert ist. Diese Falten zeigen eine nordwestliche bis nördliche Ausrichtung.

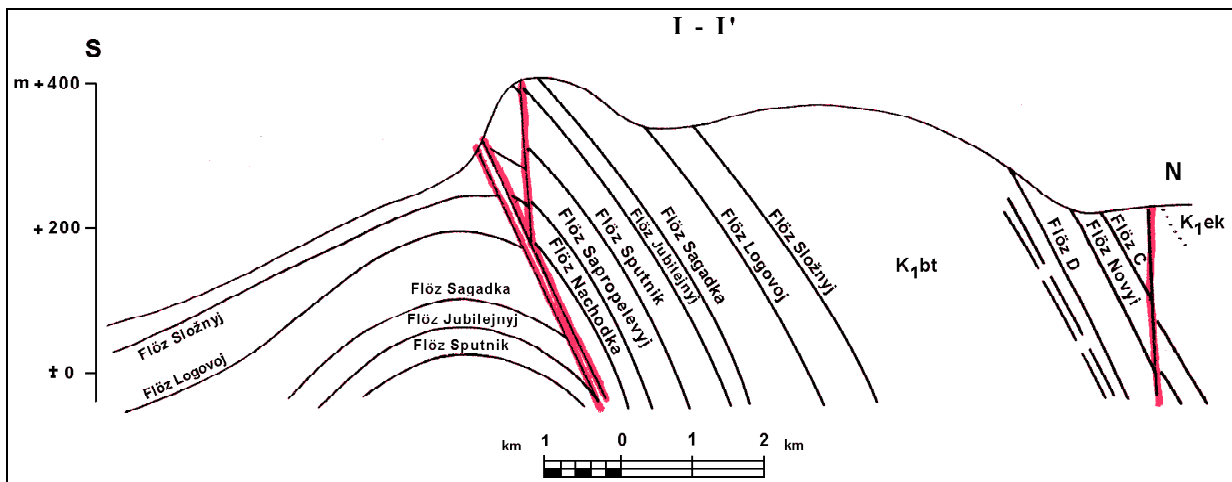


Abb. 4-32 Geologischer Profilschnitt durch die Lagerstätte Sangar (zur Lage der Profillinie I-I' s. Abb. 4-31)

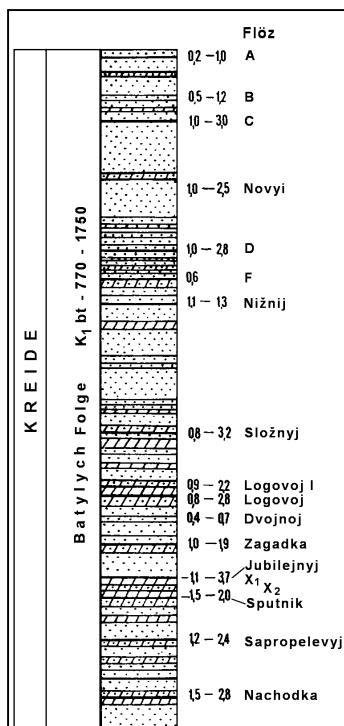


Abb. 4-33 Stratigraphisches Normalprofil der Lagerstätte Sangar

Der Beginn der Kohlenbildung in dieser Region liegt im Oberjura (Čečum-Folge), wobei der oberste Teil der Folge die intensivste Kohlenführung aufweist. Die Kohlenbildung dauerte in der Unterkreidezeit weiter an, mit einem Maximum in der Batylych-Folge (Yngyr- und Čongurgas-Unterfolge) (s. Abb. 4-33). Die Lagerstätte Sangar wird durch die letztgenannten Gesteine aufgebaut. Die Flöze werden hauptsächlich durch mittelkörnige Sandsteine über- und unterlagert (MALANDIN, 1973c).

Die kohlenführenden Ablagerungen gehören zu einer asymmetrischen Brachiantiklinal-Falte mit einem steileren nordwestlichen ($34-35^\circ$) und einem weniger geneigten ($10-20^\circ$) südwestlichen Flügel (s. Abb. 4-33). Die Ausdehnung der Lagerstätte entlang der Lena beträgt 8,5 km, bei einer Breite von ungefähr 3-4 km. Innerhalb der Lagerstätte treten zwei große Querverwerfungen auf

4.5.3 Beprobung

Eine Befahrung der Grube mit eigener Probenahme war aus zeitlich/technischen Gründen nicht möglich. Vom Betreiber wurde aber von den Flözen Složnyj, Jubilejnyj, Sputnik, und Sapropelevyj je eine Probe zur Verfügung gestellt. Eine weitere Probe (Proben-Nr. 113) wurde bei einem früheren Besuch von einer Kohlenhalde genommen, die Flözzugehörigkeit ist hier unbekannt. Die Angaben zu den Proben sind in Tab. 4-18 zusammengestellt.

Tab. 4-18 Zuordnung der Beprobungspunkte; Lagerstätte Sangar

Proben-Nr.	Flöz
113	Halde, stratigraphische Zuordnung unbekannt
149	Složnyj
150	Jubilejnyj
151	Sapropelevyj
152	Sputnik

4.5.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlen der Lagerstätte Sangar weisen die geringsten Wassergehalte aller in dieser Arbeit untersuchten Kohlen des Lena-Beckens auf. Sie liegen im Durchschnitt bei 1,9 %. Es handelt sich jedoch auch hier, wie bereits mehrfach erwähnt, nicht um die tatsächlichen Rohwassergehalte der Kohlen, da durch Transport und Lagerung eine teilweise Trocknung erfolgte. Die Aschegehalte der untersuchten Kohlenproben sind gering und betragen im Mittel 9 %.

Die ermittelten Reflexionsgrade (Mittelwert = 0,61 %), Gehalte an organischem Kohlenstoff (Mittelwert = 80 %) und Brennwerte (Mittelwert = 33.717 kJ/kg) sind tendenziell die höchsten der in dieser Arbeit untersuchten Kohlen. Der aus dem Gehalt an organischem Kohlenstoff und dem Brennwert ableitbare Inkohlungsgrad entspricht dem einer Flamm-Gasflammkohle. Die ermittelten Reflexionsgrade zeigen einen etwas geringeren Rang an. Es handelt sich dementsprechend um gering inkohlte Steinkohlen.

Tab. 4-19 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für die Lagerstätte Sangar

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	Corg daf	H,o an	H,o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
113	1,4	8,9	50,3	85,7	30610	34083	0,54
149	2,2	14,8	49,4	78,3	28178	33828	0,62
150	2,8	7,5	46,3	79,9	29494	32801	0,64
151	1,7	8,1	47,8	77,6	30962	34275	0,62
152	1,5	5,6	50,0	78,8	31230	33597	0,62
∅	1,9	9,0	48,8	80,0	30095	33717	0,61

4.5.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Maceralanalyse sind in der nachfolgenden Tabelle und Abbildung zusammengestellt.

Im petrographischen Bestand dominiert Vitrinit mit 70,8 bis 83,2 % (Durchschnitt: 77,2 %), wobei innerhalb der Vitrinit-Untergruppen die Telovitrinite i.a. leicht überwiegen (Durchschnitt: 34,3 %). Detrovitrinit und Gelovitrinit sind mit durchschnittlichen Anteilen von 20,1 und 22,9 % vertreten.

Die Inertitgehalte schwanken zwischen ca. 1,5 % in den Proben 149 und 152 (Flöz Složnyj und Sputnik) und 6 bzw. 13,6 % in den Proben 150 und 151 (Flöz Jubilejnyj und Sapropel'evyj).

Die Liptinitgehalte liegen zwischen 11,2 und 17,4 % wobei i.a. Liptodetrinit überwiegt, gefolgt von Cutinit und Resinit.

Die mineralischen Anteile sind gering und betragen < 5 %.

Tab. 4-20: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen der Lagerstätte Sangar

Proben-Nr.	(Einheit)	149	150	151	152	∅
Vitrinit	(Vol.-%)	76,5	70,8	78,4	83,2	77,2
Telinit	(Vol.-%)	12,6	10,8	5	15,4	11,0
Collotelinit	(Vol.-%)	25	23,4	23	21,8	23,3
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	0,4	0	0	0	0,1
Collodetrinit	(Vol.-%)	19,8	14,6	22,4	23	20,0
Corpogelinit	(Vol.-%)	18,7	22	28	23	22,9
Gelinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0,0
Inertinit	(Vol.-%)	1,5	13,6	6	1,4	5,6
Fusinit	(Vol.-%)	0	2,4	0,2	0	0,7
Semifusinit	(Vol.-%)	0	5,8	1,4	0	1,8
Macrinit	(Vol.-%)	1,5	0	0,8	0,8	0,8
Micrinit	(Vol.-%)	0	3,4	3,2	0	1,7
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0	1,8	0,4	0,6	0,7
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	0,2	0	0	0,1
Liptinit	(Vol.-%)	17,4	15,6	11,2	15,2	14,9

Proben-Nr.	(Einheit)	149	150	151	152	Ø
Sporinit	(Vol.-%)	0,8	0,4	0,2	0,8	0,6
Cutinit	(Vol.-%)	5,6	4	2,6	1,4	3,4
Resinit	(Vol.-%)	1,2	5,6	1,8	1,8	2,6
Alginit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0,0
Fluorinit	(Vol.-%)	0,4	0,2	0,6	1,2	0,6
Bituminit	(Vol.-%)	1,4	0,4	0,6	1,6	1,0
Exsudatinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0,0
Liptodetrinit	(Vol.-%)	8	5	5,4	8,4	6,7
Minerale	(Vol.-%)	4,6	0	4,4	0,2	2,3
Ton	(Vol.-%)	0	0	4,4	0	1,1
Quarz	(Vol.-%)	4,6	0	0	0,2	1,2
Pyrit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0,0
unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0	0	0	0	0,0

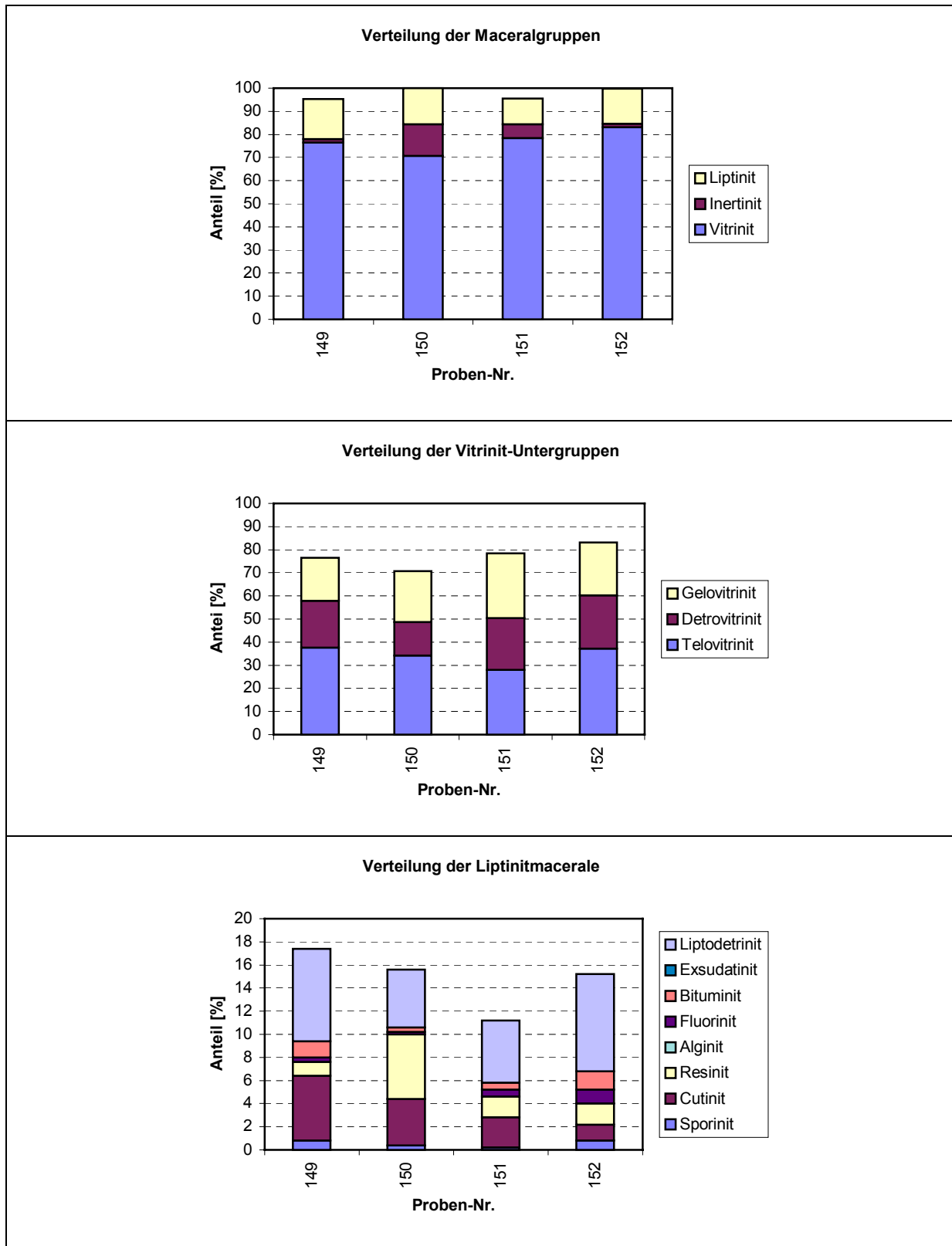


Abb. 4-34 Ergebnisse der Maceralanalyse der Lagerstätte Sangar (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerals)

4.5.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die untersuchten Kohlen der Lagerstätte Sangar liefern Extraktmengen von 127,9-240,4 mg/gC_{org.}, mit einem Durchschnittswert von 166,6 mg/gC_{org.}. Dies sind für Flammkohlen ungewöhnlich hohe Ausbeuten. Mit Ausnahme von Probe 149 ist die Verteilung des Extraktes auf die einzelnen KW-Gruppen bei allen Proben in etwa gleich. Der Großteil des Extraktes entfällt auf die NSO-Gruppe (durchschnittlich 74,6 %). Bei Probe 149 entfällt der Großteil des Extraktes auf die Gruppe der Asphaltene. Wie bereits bei anderen Proben im Becken festgestellt, scheint sich ein erhöhter Cutinit-Gehalt auf die Ausbeute an Asphaltene auszuwirken.

Tab. 4-21: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Sangar

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org.}]				
149	10,3	132,0	0,5	3,0	19,0	109,4
150	10,2	127,9	4,4	17,3	67,7	38,5
151	18,7	240,4	4,4	22,9	129,5	83,6
152	13,1	166,2	2,9	38,2	82,3	42,8
∅	13,1	166,6	3,1	20,4	74,6	68,6

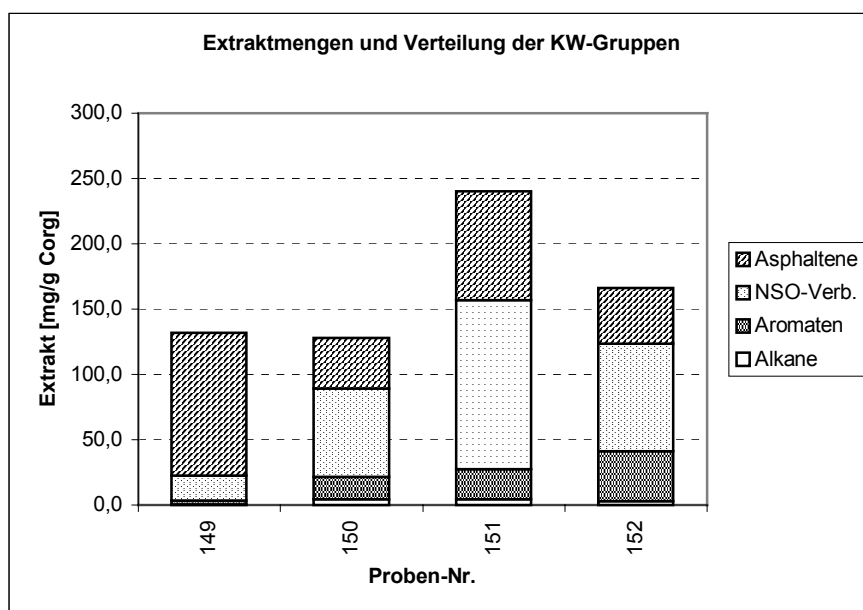


Abb. 4-35: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Sangar

An drei Proben (149-151) wurden gaschromatographische Untersuchungen der Alkanfraktion durchgeführt. Einige organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter sind in der nachfolgenden Tabelle und Graphik dargestellt. Wie bei den meisten bisher beschriebenen Kohlen befindet sich auch bei den Kohlen aus Sangar das Maximum der n-Alkan-Verteilung bei n-C₂₁ und n-C₂₃. Der Carbon Preference Index (CPI) der das Verhältnis der ungeradzahlgigen zu den geradzahlgigen n-Alkanen beschreibt und sich als geochemischer

Reifeparameter verwenden lässt, liegt bei 1,3-1,5 und bestätigt den Rang der Flammkohle. Das Pristan/Phytan und das Phytan/n-C₁₇-Verhältnis sind sehr hoch, sodass von oxidativen Bedingungen während der Ablagerung ausgegangen werden kann. In einem Ablagerungsmilieu mit hohem Sauerstoffanteil wird mehr Pristan als Phytan gebildet. Das Pristan/Phytan-Verhältnis ist vom Rang und vom Ablagerungsmilieu (Oxidation/Reduktion) abhängig (TISSOT & WELTE, 1984; CHAFFEE et al., 1986)

Nur in Probe 149 wurden cyclische Diterpane, (Biomarker für Gymnospermen) sowie Hopane (Biomarker für bakterielle Aktivität) festgestellt.

Tab. 4-22: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Sangar

Proben-Nr.	Cmax	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
149	27	1,5	3,1	7,9	0,6	3,1	17,7
150	23	1,3	17,8	20,1	0,7	0,0	0,0
151	21	1,4	-	42,5	0,0	0,0	0,0

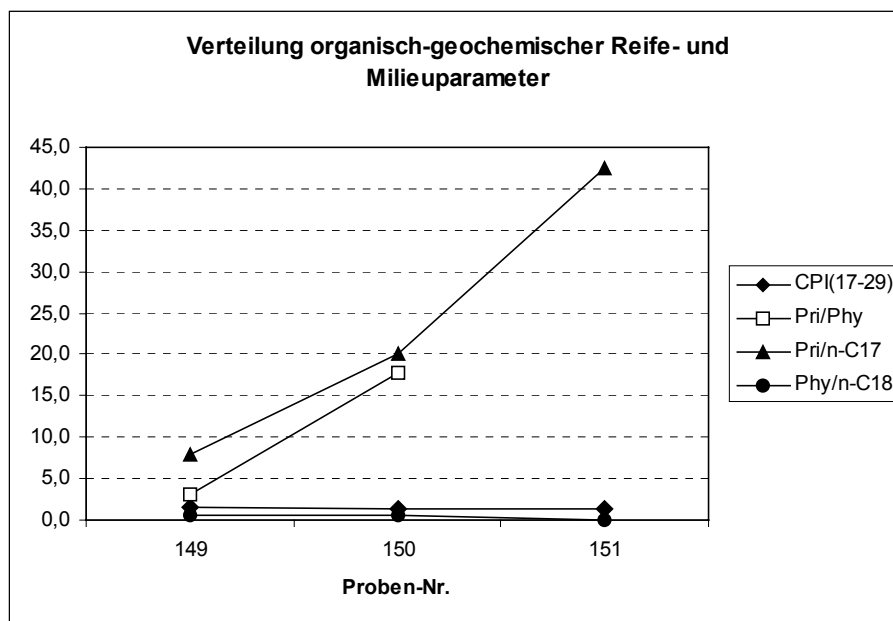


Abb. 4-36: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Sangar

4.5.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um eine Aussage über die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften in den ehemaligen Sumpfmoores der heutigen Lagerstätte Sangar machen zu können, wurde Probe 152 aus dem Flöz Sputnik (Batylych-Folge, Unterkreide) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht.

Probe 152 erwies sich nach den ersten Mazerationsreihen als Mikroflora-leer, sodass zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage über die Pflanzenvergesellschaftung des Sangar Moores gemacht werden kann.

In Probe 152 wurden aber wie auch bei anderen Glanzbraunkohlen und Flammkohlen des Lena Beckens während der petrographischen Untersuchung verschiedene Sporinite festgestellt, sodass die Vermutung nahe liegt, dass die Mazeration evt. aufgrund zu kurzer Penetrationszeiten nicht ausreichend erfolgte.

4.5.8 Faziesmodell

Die Darstellung der petrographischen Ergebnisse im Faziesdiagramm nach MUKHOPADHYAY (1986) ergibt als Bildungsraum den Bereich des Waldmoores, in dem sowohl baumartige und krautige Pflanzen gedeihen konnten. In den Moorbereichen aus denen die Proben 149, 151 und 152 stammen herrschten feuchtere Bedingungen vor als im Bildungsbereich der Probe 150.

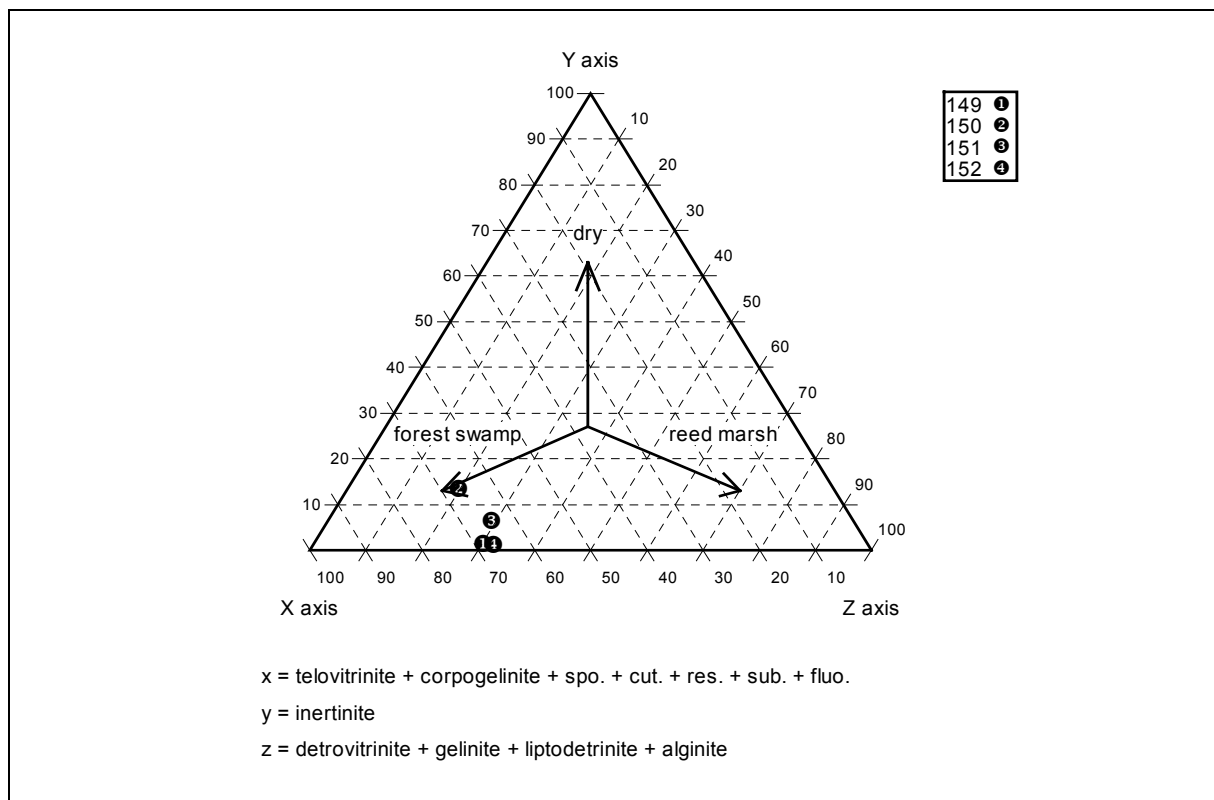


Abb. 4-37 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Sangar nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.6 Lagerstätte Kirov



4.6.1 Allgemeines und Lage

Die Lagerstätte Kirov befindet sich im äußersten Südwesten des Lena-Kohlen-Beckens. Sie liegt auf einer kleinen Anhöhe am linken Ufer des Flusses Marcha, ca. 18 km oberhalb von dessen Mündung in den Fluss Wiljuj (s. Anlage 6 und Abb. 4-38).

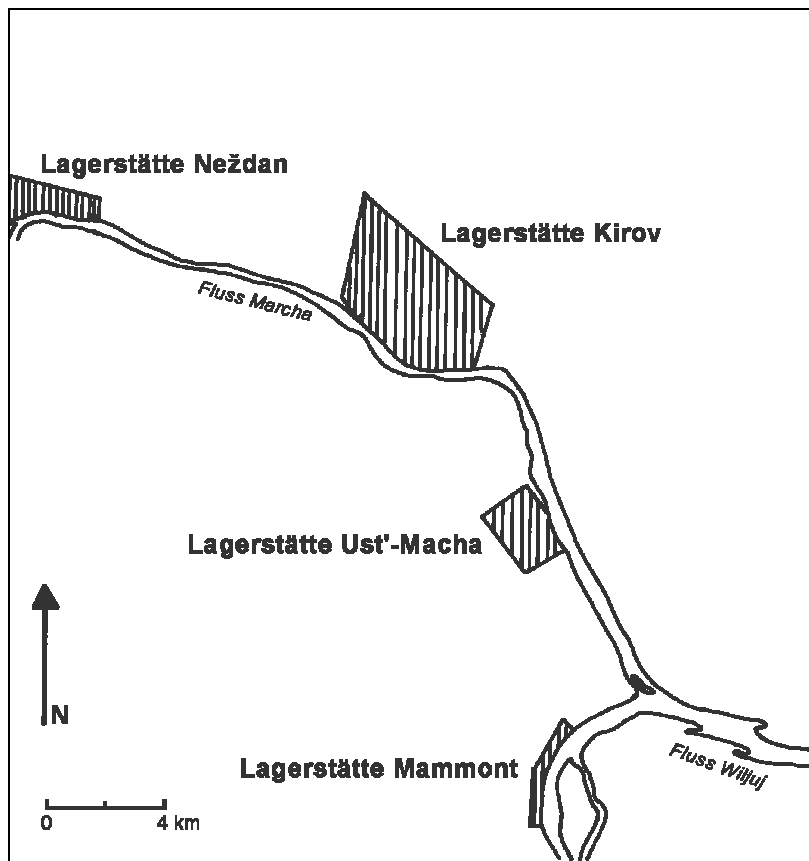


Abb. 4-38 Lageplan der Lagerstätte Kirov

Die Lagerstätte wurde 1952 entdeckt, 1962 begann der Abbau. Die jährliche Fördermenge liegt bei 40.000 t (1995). Die Abbauarbeiten erfolgen saisonal getrennt, im Sommer Abraumbeseitigung, im Winter Kohlegewinnung. Insgesamt sind 25 Personen im Bergbaubetrieb beschäftigt (persönliche Mitteilung des Betreibers, 1995). Die in einer Reservenberechnung aus dem Jahre 1967 ermittelten Kohlenreserven (A+B+C₁₊₂) liegen bei 1080 Mio. t (IGNATČENKO, 1973).

Einen Eindruck von der Lagerstätte gibt die Abb. 4-39.



Abb. 4-39 Blick in die Lagerstätte Kirov

4.6.2 Geologie und Kohlenführung

Die Lagerstätte Kirov befindet sich, geologisch gesehen, im westlichen Teil der Wiljuj Syneklise. Die Wiljuj Syneklise ist eine der großen positiven Strukturen innerhalb der Sibirischen Plattform, in deren zentralen Bereich kilometermächtige Sedimente des Juras und der Kreide zur Ablagerung kamen (Kap. 2.2). Aufgrund der randlichen Lage innerhalb der Syneklise beträgt die Gesamtmächtigkeit der Jura/Kreide-Ablagerungen im Bereich der Lagerstätte Kirov nur noch ca. 1.000 m. Diese werden direkt von kambrischen Karbonaten unterlagert (s. Abb. 4-40). Eine in der Nähe der Stadt Wiljujsk (ca. 175 km westlich) niedergebrachte Bohrung erreicht dagegen bei einer Teufe von 3000 m die Basis der jurassischen Ablagerungen nicht und verdeutlicht somit die starke Mächtigkeitszunahme der mesozoischen Schichten nach Osten hin.

Im Bereich des Tagebaus Kirov tritt die kohlenführende Ust' Marcha-Folge auf. Es handelt sich hierbei um eine lokale stratigraphische Einheit, die nach IGNATČENKO (1973) etwa dem oberen Teil der Čečum- und dem unteren Teil der Batylych-Folge entspricht (s. Abb. 4-40).

In dieser Folge treten eine Reihe von Kohlenflözen auf.

In der Lagerstätte Kirov ist ein bis zu 24 m mächtiges Flöz verbreitet. Das Flöz zeigt ein Einfallen von ca. 30 ° nach Südost und ist auf einer untersuchten Fläche von ca. 20 km² vorhanden. Teilweise ist der obere Teil des Flözes erodiert und der erhaltene untere Teil mit quartären Sanden, Kiesen und Silten bedeckt, so dass sich die abbaubare Mächtigkeit auf bis zu 9,5 m verringert. Unterlagert wird das Flöz durch einen hellen Ton. Die durchschnittliche Mächtigkeit des Flözes im aktiven Abbaubereich liegt bei 14 m, bei einem Abraum/Kohle-

Verhältnis von 0,9 (persönliche Mitteilung des Betreibers, 1995). Die durchschnittliche Flözmächtigkeit auf der gesamten erkundeten Fläche von 20 km² beträgt ca. 20 m.

Aufgrund des Einfallens und der leicht hügeligen Morphologie treten Überdeckungsmächtigkeiten von 6 - 40 m auf (IGNATČENKO, 1973).

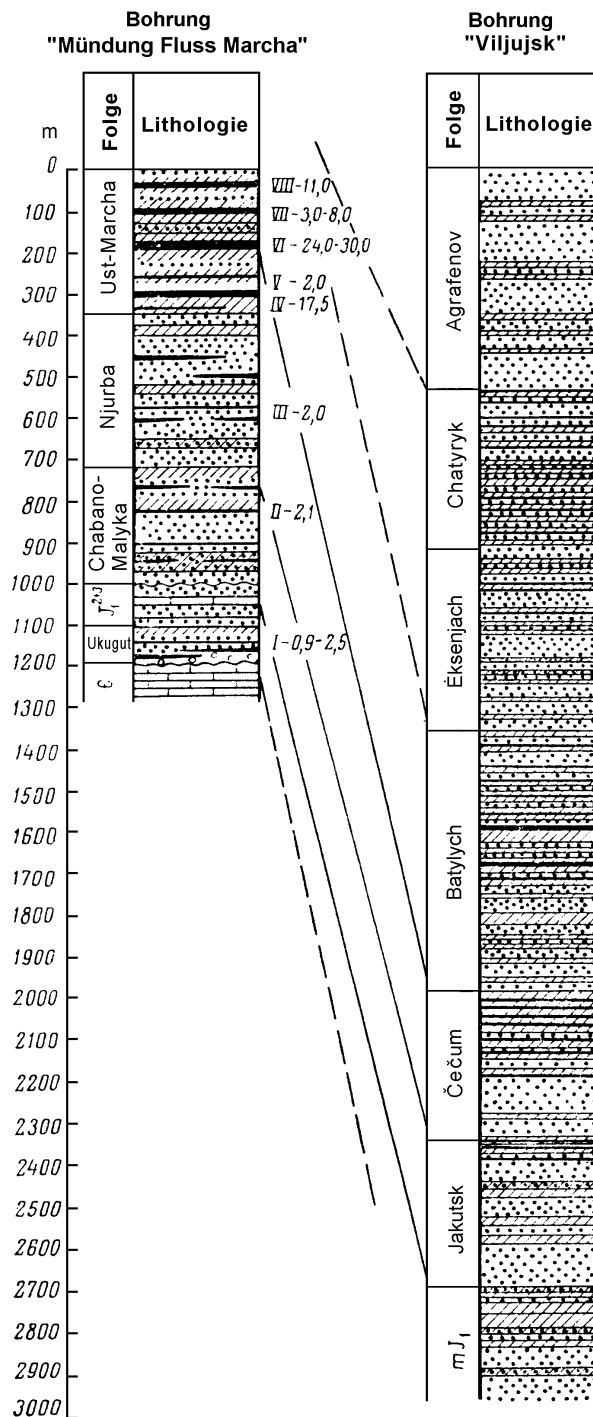


Abb. 4-40 Profil der Tiefbohrungen an der Mündung des Flusses Marcha und in der Nähe von Viljujsk (nach IGNATČENKO, 1973)

4.6.3 Beprobung

Die gesamte aufgeschlossene Mächtigkeit des Flözes wurde beprobt. Im unteren Bereich wurden Proben in Ein-Meter-Intervallen und im mittleren und oberen Flözbereich in Zwei-Meter-Intervallen genommen. Die Lage der Probenahmepunkte sind in Abb. 4-41 dargestellt. Informationen zur Lage der einzelnen Proben im Flöz finden sich in Tab. 4-23.

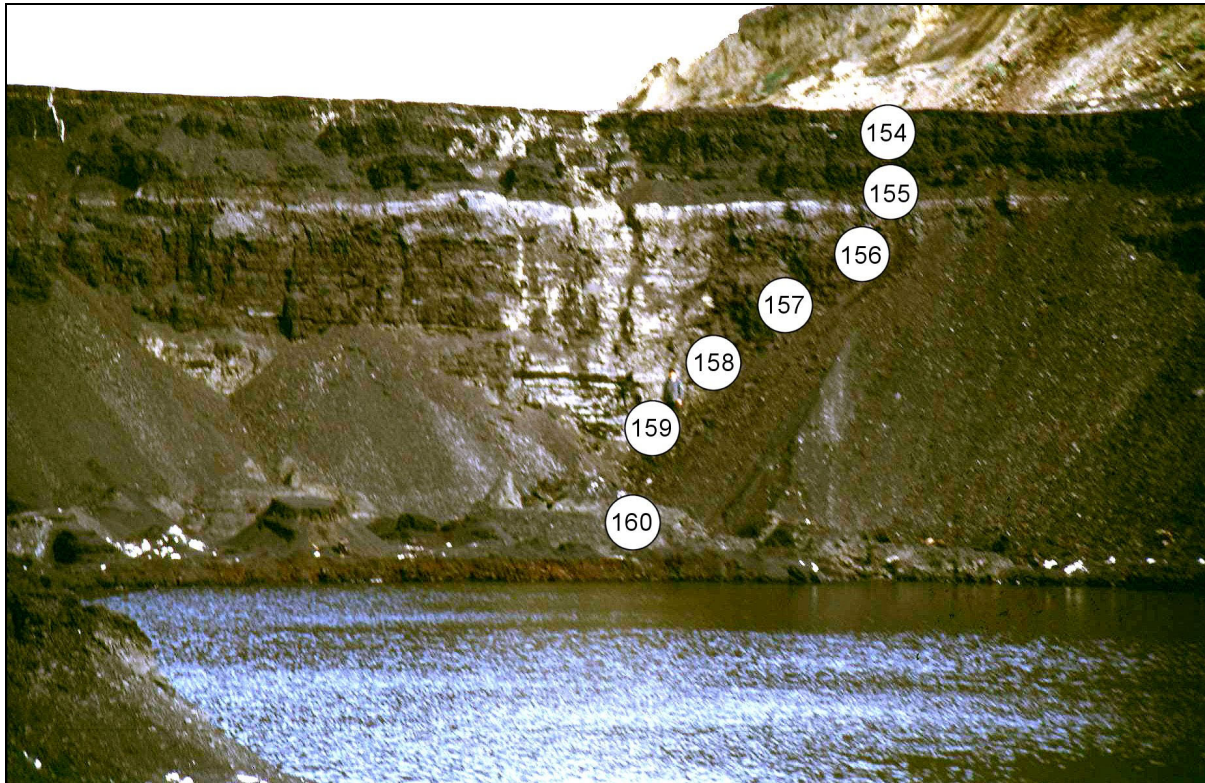


Abb. 4-41 Lage der Beprobungspunkte in der Lagerstätte Kirov

Tab. 4-23 Zuordnung der Beprobungspunkte; Lagerstätte Kirov

Proben-Nr.	Flöz
154	13. und 14. Meter
155	11. und 12. Meter
156	9. und 10. Meter
157	7. und 8. Meter
158	5. und 6. Meter
159	4. Meter
160	2. Meter (unt. Teil, 1-1,5 m)

4.6.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlen der Lagerstätte Kirov weisen z.T. erhöhte Aschegehalte bis $> 20\%$ auf. Die Aschegehalte nehmen tendenziell zum Hangenden zu (s. Tab. 4-24 und Abb. 4-41), wobei die Proben 154 und 156 besonders hervortreten. Die Reflexionsgrade sind gering und liegen im Mittel bei $0,26\%$. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff von durchschnittlich 66% und der geringe Brennwert von ca. 24.700 bis 26.400 kJ/kg zeigen ein Inkohlungsstadium im

Rang von niedrig inkohlten Mattbraunkohlen an. Die Lagerstätte Kirov weist den geringsten Inkohlungsgrad der in dieser Arbeit untersuchten Kohlen des Lena-Beckens auf.

Tab. 4-24 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für die Lagerstätte Kirov

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	C _{org} daf	H,o an	H,o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
154	10,4	24,4	50,5	63,4	17224	25451	0,28
155	10,6	11,0	48,1	65,1	21037	26421	0,27
156	10,1	28,8	53,8	67,1	16505	25794	0,27
157	10,5	6,8	51,2	69,5	22600	27099	0,16
158	13,2	8,7	50,6	64,8	20780	26227	0,27
159	11,4	11,9	51,9	66,3	20444	26211	0,22
160	13,4	6,6	50,9	66,1	19995	24723	0,33
∅	11,4	14,0	51,0	66,0	19798	25989	0,26

4.6.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Maceraluntersuchungen zeigen die folgende Tabelle und Abbildung.

In der Verteilung der Maceralgruppen überwiegt Vitrit, wobei die Gehalte größeren Schwankungen (von 56,2-87 %) unterliegen. In der Verteilung der Vitrit-Untergruppen zeigt sich eine deutliche Zunahme des Telovitrits bei gleichzeitiger Abnahme des Gelovitrits vom unteren zum zentralen Teil des Flözes. Im oberen Teil des Flözes dominiert tendentiell Detrovitrit.

Die Gehalte an Inertit schwanken zwischen 1,4 und > 16 %. Erhöhte Inertit-Anteile treten vorzugsweise im oberen Flözbereich (Proben 154 und 155) auf und sind im wesentlichen auf das Maceral Inertodetrinit zurückzuführen.

Die Liptinitgruppe ist mit Anteilen von 2 bis 9 % vertreten. Die Macerale Cutinit und Liptodetrinit sind in dieser Gruppe wiederum am häufigsten. Bemerkenswert ist der beachtliche Gehalt von 2 % Flourinit in Probe 159 sowie der Gehalt von 0,6 % Exsudatinit in Probe 160.

Die petrographischen Untersuchungen zeigen gleichfalls wie auch die physikalisch – chemischen Untersuchungen erhöhte Gehalte an mineralischen Bestandteilen in den Kohlen der Lagerstätte Kirov. Sie liegen zwischen 7 und >30 Vol.-% (Mittelwert ca. 16 Vol.-%), was einen zeitweisen deutlichen klastischen Eintrag in den Bildungsraum anzeigt. Es dominiert im allgemeinen Ton mit Ausnahme von Probe 156, hier überwiegt Quarz.

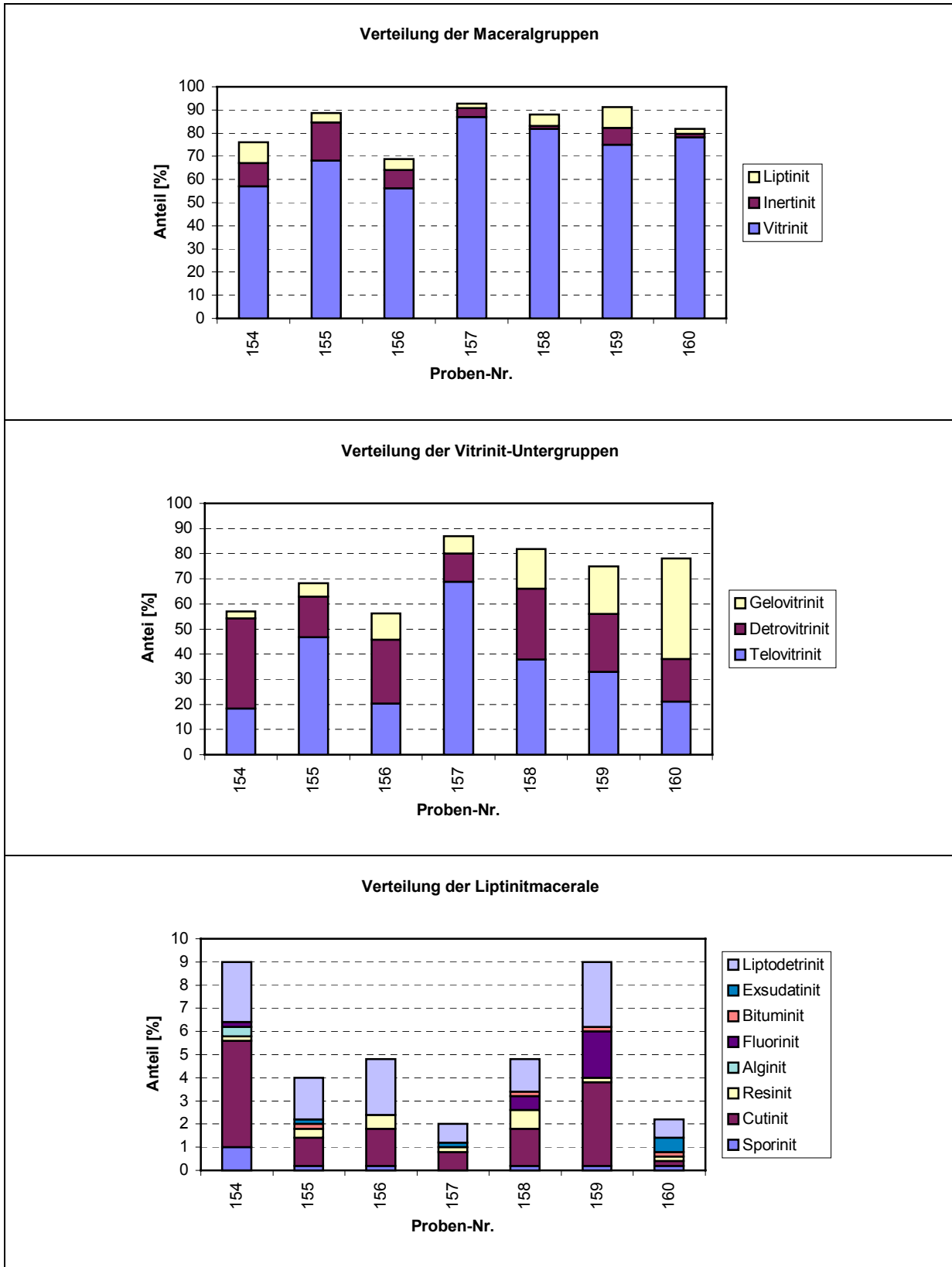


Abb. 4-42 Ergebnisse der Maceralanalyse der Lagerstätte Kirov (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.6.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Kohlen der Lagerstätte Kirov liefern Extraktausbeuten von 26,9-206,8 mg/g $C_{org.}$, mit einem Flözdurchschnitt von 64 mg/g $C_{org.}$. Dieser Wert ist typisch für Kohlen im Rang einer Mattbraunkohle, wie sie hier in Kirov vorliegt. Die Verteilung des Extrakts auf die einzelnen KW-Gruppen ist für alle Proben annähernd gleich (Ausnahme Probe 154), wobei der Hauptanteil auf die Gruppe der NSO-Verbindungen entfällt.

Auffällig ist die extrem hohe Extraktausbeute von Probe 154, welche den obersten Bereich des Flözes (13. und 14. Meter) repräsentiert. Dieser Wert zeigt eine deutliche positive Korrelation zu den erhöhten Detrovitrinit- und Liptinit-Gehalten. Nach HAGEMANN & HOLLERBACH, 1979; HOLLERBACH, 1980; HAGEMANN & WOLF, 1987; TISSOT & WELTE, 1984; PICKEL 1991 ist die Menge an extrahierbarem organischen Material neben dem Inkohlungsgrad im wesentlichen von der Maceralszusammensetzung abhängig.

Tab. 4-26: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Kirov

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g $C_{org.}$]				
154	13,1	206,8	3,2	8,8	114,2	80,6
155	1,7	26,8	0,1	1,0	18,1	7,6
156	3,8	56,0	0,7	3,0	42,7	9,6
157	3,4	48,6	0,3	1,8	40,0	6,4
158	2,5	38,0	0,3	2,1	24,0	11,5
159	3,0	44,9	0,6	1,8	31,9	10,6
160	1,8	26,9	0,5	1,1	19,4	5,9
∅	4,2	64,0	0,8	2,8	41,5	18,9

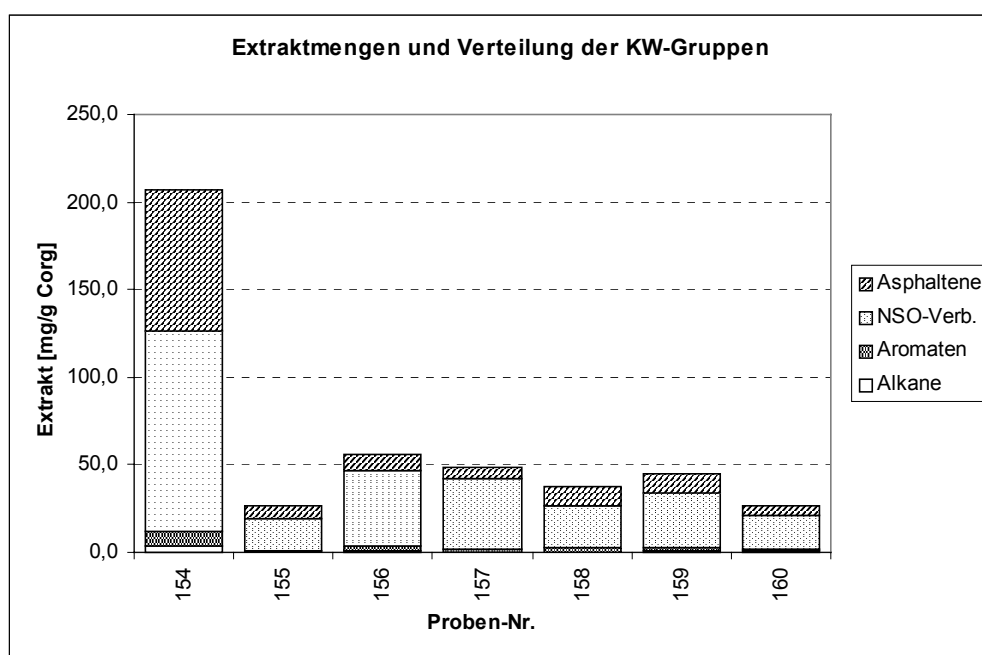


Abb. 4-43: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Lagerstätte Kirov

Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen einige organisch-geochemische Parameter sowie Biomarker, die mit Hilfe der Gaschromatographie detektiert werden konnten und Aussagen über die Reife und das Ablagerungsmilieu der Kohlen erlauben.

Das Maximum der n-Alkan-Verteilung (C_{max}) liegt größtenteils bei n-C₂₃, eine bimodale Verteilung lässt sich bei Probe 156 und 160 erkennen, wobei auch kürzerkettige n-Alkane als Maxima auftreten. Eine Alkanverteilung bei der langkettige n-Alkane von n-C₂₃ bis n-C₃₃ dominieren weist nach EGLINGTON & HAMILTON, 1967; TISSOT & WELTE, 1984 und HOLLERBACH, 1985 eindeutig auf eine Herkunft von Kutikulen und Wachsen höherer Pflanzen hin. Die Präsenz kurzketziger n-C₁₅ bis n-C₁₇ Alkane ist als Indikator für den Input von Algen anzusehen (BRASSELL ET AL., 1983; HOLLERBACH, 1985; TISSOT & WELTE, 1984; VOLKMANN & MAXWELL, 1986; VOLKMANN, 1988)

Der Carbon Preference Index (CPI_{17-29}), der als Reifeparameter verwendet wird, liegt mit Ausnahme der Proben 154 und 159 um 1. Diese Werte sind für Kohlen dieser Inkohlungsstufe gering und entsprechen nicht ganz dem reflexionsmikroskopisch festgestellten Rang der Kohlen ($R_r = 0,26$). Das Pristan/Phytan Verhältnis und das Pristan/n-C17 Verhältnis, welche als klassischer Parameter für die Faziescharakterisierung angewendet werden, zeigen bei dem Großteil der Proben Werte von deutlich unter 1, so dass von einem reduzierendem Ablagerungsmilieu ausgegangen werden kann. Cyclische Diterpane wie Norpimaran und Norisopimaran wurden mehrfach im fossilen Holz höherer Pflanzen, insbesondere von Koniferen gefunden und weisen bei einem Teil der Proben (Proben-Nr. 154, 155, und 159) auf die Beteiligung von Gymnospermen bei der Flözbildung hin. Hier deutet sich eine Korrelation zu den petrographisch festgestellten Cutinit-Gehalten an.

Tab. 4-27: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Kirov

Proben-Nr.	C_{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
154	23	2,1	0,3	0,5	0,1	72,1	0,0
155	23	1,4	0,1	0,4	0,3	5,5	0,0
156	18 (30, 23)	1,0	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0
159	23	2,0	0,6	0,6	0,3	9,9	5,8
160	31 (19, 23)	0,8	1,1	0,9	0,2	0,0	0,0

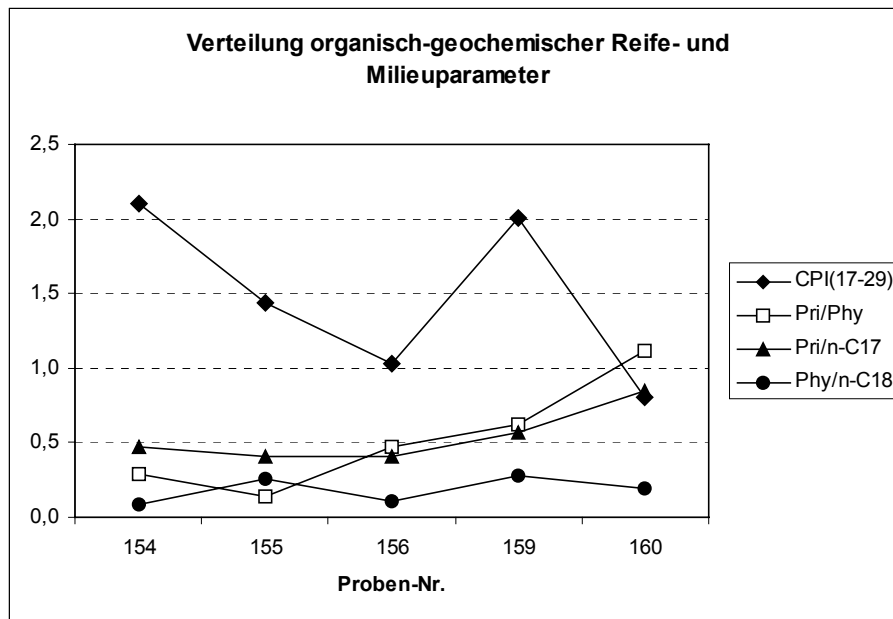


Abb. 4-44: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Lagerstätte Kirov

4.6.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um Informationen über die Pflanzenarten zu erhalten, die am Aufbau des Flözes der Lagerstätte Kirov beteiligt waren wurde Probe 160 (unterer Teil des 2. Flözmeters, unterkretazische Batylych-Folge) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht. Es wurden bisaccate Pollen, einige wenige trilete Sporen und die Alge *Botryococcus* festgestellt.

In der Pflanzengemeinschaft des Moores von Kirov dürften somit Gymnospermen und Farne vertreten gewesen sein. Als Vertreter der Gymnospermen mit bisaccaten Pollenformen kommen Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht, wie z.B. die mehrfach erwähnte und in der Makroflora der Batylych-Folge von MALANDIN (1973a) beschriebene Taxacee *Cephalotaxus*.

4.6.8 Faziesmodell

Die Darstellung der petrographischen Ergebnisse im Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986) geben einen Eindruck von der wechselhaften Entwicklungsgeschichte des untersuchten Flözes. Der untere Teil des Flözes, ca. bis zum 8. Meter wurde unter mehr oder weniger stabilen Bedingungen in einem waldmoorartigen Bildungsbereich abgelagert in dem die Baumvegetation (evt. durch einen Hebungsvorgang) sukzessive vom Liegenden zum Hangenden zunahm (vgl. Zunahme der Telovitrinit-Gehalte von Probe 160-157). Danach setzte relativ abrupt eine Absenkung ein (Probe 156), detritisches Material und quarzreiche Massen wurden abgelagert. Daraufhin erfolgte eine Beruhigung, Bäume wuchsen wieder und Waldbrände aus der Umgebung lieferten Inertinite. Als letzte Phase erfolgte wiederum eine Absenkung, das Flöz wurde teilweise erodiert und zusammen mit Ton resedimentiert.

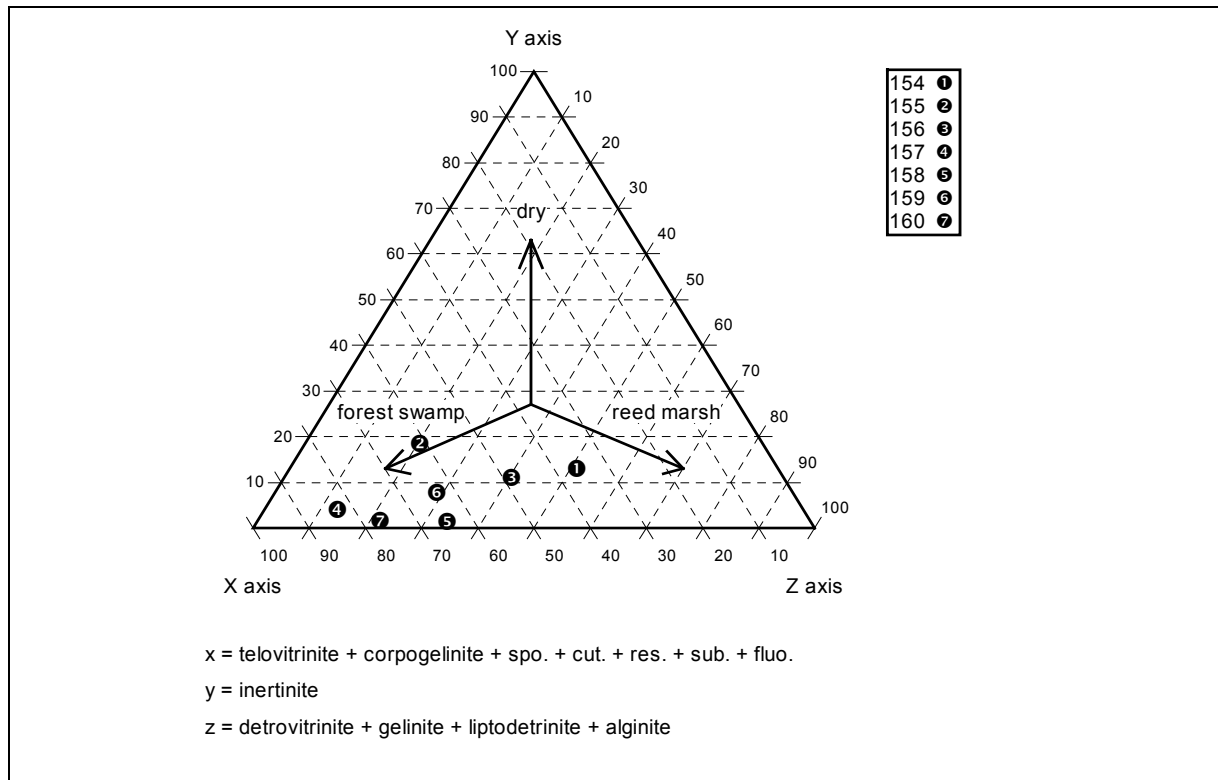


Abb. 4-45 Bildungsbereich der Kohlen der Lagerstätte Kirov nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.7 Kohlenvorkommen Žigansk 1



4.7.1 Allgemeines und Lage

Ca. 12 km flussaufwärts der Siedlung Žigansk (Flusskilometer 884) streichen am linken Ufer der Lena vier Kohlenflöze aus. Diese Lokation wurde vom Autor als Kohlenvorkommen Žigansk 1 bezeichnet. Žigansk 1 befindet sich im zentralen Bereich des Lena-Kohlen-Beckens (s. Anlage 3).

Einen Eindruck von dem Kohlenvorkommen Žigansk 1 geben die Abb. 4-46 und Abb. 4-48.



Abb. 4-46 Das Kohlenvorkommen Žigansk 1 am Ufer der Lena (Höhe der Böschung ca. 35 m)

4.7.2 Geologie und Kohlenführung

Das Kohlenvorkommen Žigansk 1 befindet sich, geologisch gesehen am östlichen Rand der Sibirischen Plattform. Die Mächtigkeiten der jurassischen und kretazischen Sedimente sind hier vergleichsweise gering und lagern meist direkt auf kambrischen Karbonaten. Nach Osten in Richtung der Werchojansker Vortiefe nehmen die Mächtigkeiten der mesozoischen Serien deutlich zu und erreichen mehrere Kilometer. Sie bilden eine breite asymmetrische Synklinalstruktur, welche sich zwischen dem östlichen Rand der Sibirischen Plattform im Westen und dem Werchojansker Faltengebiet im Osten erstreckt. Die westliche Flanke der

Synklijalstruktur ist geeignet, die östliche ist in steile lineare Falten gelegt und an einer regionalen Bruchstruktur sind oberpaläozoische terrigene Ablagerungen des Werchojansker Komplexes auf die mesozoischen Sedimente aufgeschoben (vgl. Profilschnitt AB in Abb. 4-47).

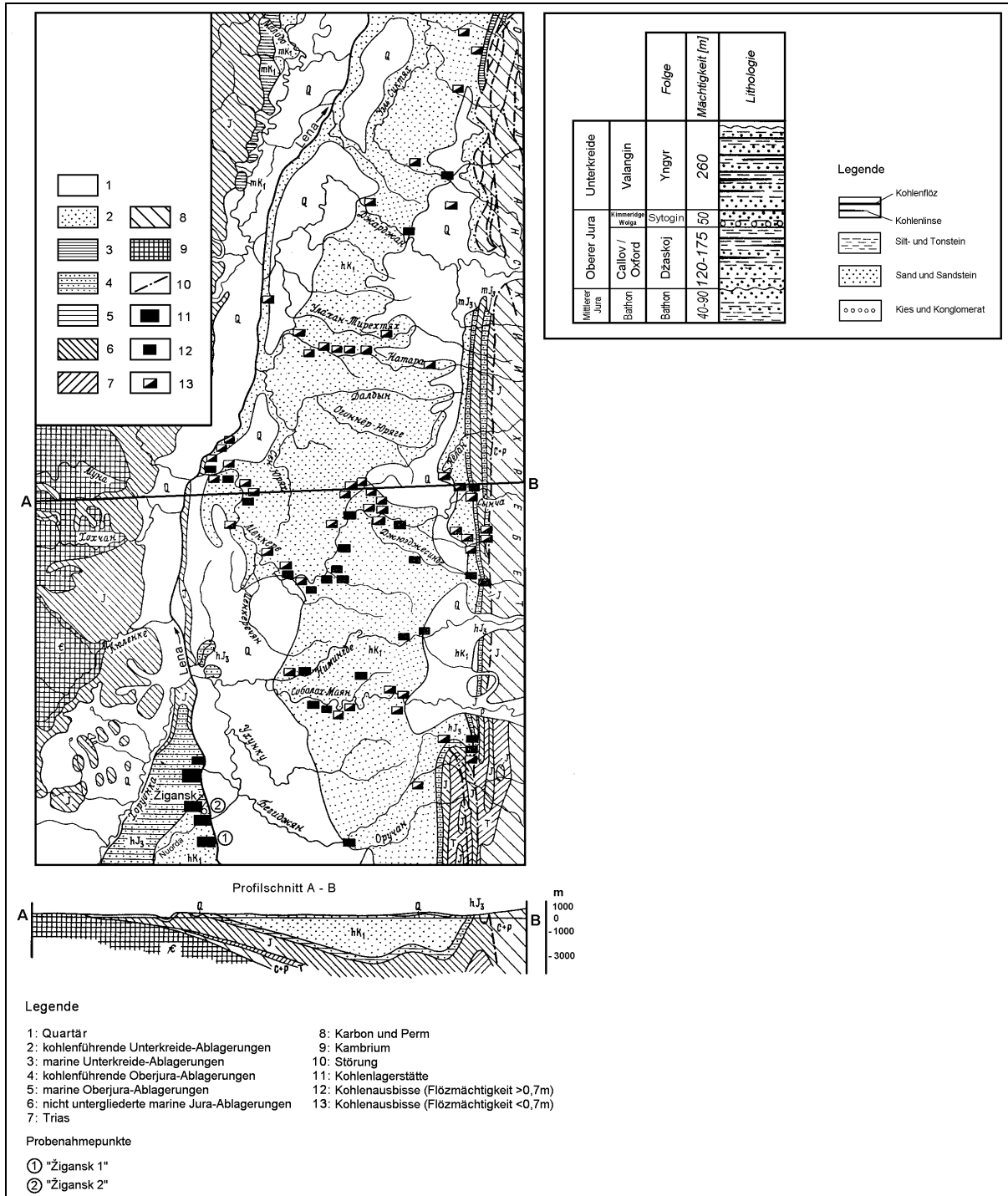


Abb. 4-47 Lageplan (links oben), geologischer Profilschnitt (links unten) und stratigrafisches Normalprofil (rechts oben) des Kohlenvorkommens von Žigansk

Der Prozess der Kohlenbildung begann im Bereich Žigansk im Oberjura (Džaskoj-Folge), weiter im Norden erst in der Unterkreide, nach dem Rückzug des mitteljurassischen Meeres nach Norden und Nordosten. Im Bereich des Vorkommens sind innerhalb der unterkretazischen Yngyr-Formation (Valangin) 4 Flöze ausgebildet (MALANDIN, 1973b). Sie werden im folgenden vom Liegenden zum Hangenden als 1. bis 4. Flöz bezeichnet. Die Flöze lagern hier mit geringem Fallen ($\sim 1^\circ$) nach Süd bis Südost, und können über mehrere Kilometer an der steilen Uferböschung verfolgt werden (s. Abb. 4-46). Weiter flussabwärts ändert sich das Schichteinfallen auf die nördliche Richtung.

Die Basis der aufgeschlossenen Abfolge bildet ein leicht verfestigter Sandstein, der zum Top hin in einen feinlaminierten Siltstein übergeht. Darauf folgt das 1. Flöz. Die weiter im Hangenden befindlichen Flöze sind in Sand-, leicht verfestigte Sandstein und Siltstein-Wechsellagen eingebettet (s. Abb. 4-47 und Abb. 4-48). In der Sandsteinlage zwischen dem 1. und 2. Flöz treten dezimetergroße bis metergroße verfestigte, oval bis kugelförmige und teilweise herauspräparierte Konkretionen auf. Die Mächtigkeiten der Flöze betragen vom Liegenden zum Hangenden 0,9, 0,8, 1,4, und 2,6 m. Die Mächtigkeit des hier aufgeschlossenen Profils beträgt ca. 35 m und enthält folglich insgesamt 5,7 m Kohlen.

4.7.3 Beprobung

Die vier Köhlenflöze des Vorkommens Žigansk 1 wurden, wie in Abb. 4-48 dargestellt beprobt. Bei den geringer mächtigen Flöze (1., 2. und 3. Flöz) wurden jeweils eine Probe pro Flöz entnommen, bei dem mächtigeren 4. Flöz zwei Proben. Hier repräsentiert Probe 102 nur die unteren 1,5 m des Flözes und Probe 104 das gesamte Flöz.

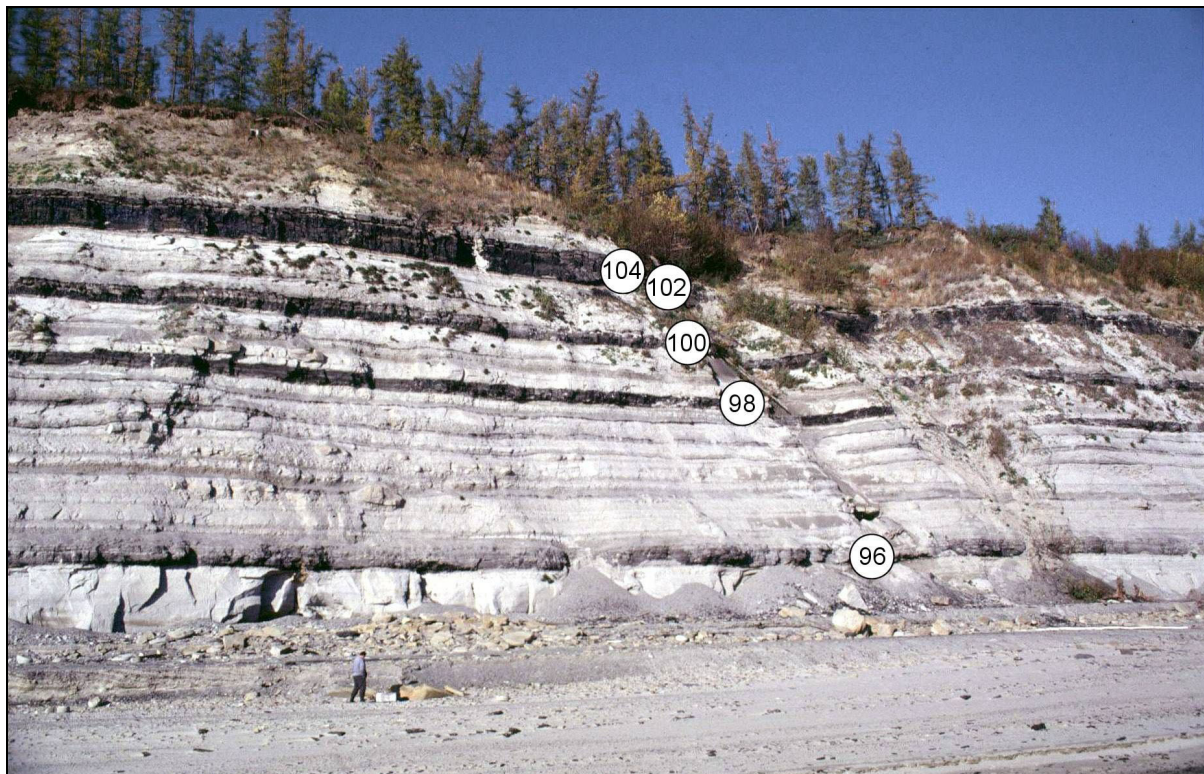


Abb. 4-48 Schichtenfolge und Beprobungspunkte des Kohlenvorkommens Žigansk 1

Tab. 4-28 Beprobungspunkte des Kohlenvorkommens Žigansk 1

Beprobungspunkt	Proben-Nr.	Flöz
1	96	1.
2	98	2.
3	100	3.
4	102	4. (0-1,5 m)
5	104	4. (gesamtes Flöz)

4.7.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlen des Kohlenvorkommens Žigansk 1 weisen hohe und stark schwankende Aschegehalte von ca. 8 bis 28 % auf, wobei eine Abnahme der Aschegehalte vom liegenden zum hangenden Flöz festzustellen ist (vgl. Probe 96 und 98 aus dem 1. u. 2. Flöz mit Probe 102 und 104 aus dem 4. Flöz, Abb. 4-48 und Tab. 4-29). Eine ähnliche Tendenz zeigen auch die Gehalte an organischem Kohlenstoff. Der Kohlenstoffgehalt nimmt vom Liegenden (1. Flöz) zum Hangenden (4. Flöz) von ca. 66 % auf 69-71 % zu. Der, auf die gesamte Analysensubstanz bezogene Brennwert (H_o an) zeigt eine analoge sehr deutliche Tendenz des Anstieges aufgrund des abnehmenden Aschegehaltes.

Der durchschnittliche Reflexionsgrad aller vier Flöze liegt bei 0,38 %. Die Kohlen entsprechen dem Inkohlungsstadium von Mattbraunkohlen.

Das Kohlenvorkommen Žigansk 1 ist den geringer inkohlten Vorkommen des Lena-Beckens (vergleichbar Kandalassy) zuzuordnen.

Tab. 4-29 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für das Kohlenvorkommens Žigansk 1

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	Corg daf	H _o an	H _o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
96	10,0	28,2	56,7	66,0	16400	25406	0,37
98	8,7	28,9	45,0	68,4	17290	26639	0,38
100	8,6	21,7	53,6	69,9	19280	26908	0,36
102	9,1	13,0	50,5	71,4	21920	27723	n. b.
104	9,9	8,4	50,0	69,3	21980	26635	0,39
∅	9,3	20,0	51,2	69,0	19374	26662	0,38

4.7.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Maceralanalysen zeigen einen hohen Vitrit-Gehalt von durchschnittlich 82,1 %, einen Liptinit-Gehalt von durchschnittlich 9,1 % und einen Inertinit-Gehalt von durchschnittlich 1,4 %. Innerhalb der Vitrit-Gruppe dominieren in den beiden unteren Flözen (1. u. 2. Flöz) die Detrovitrite und in den beiden oberen (3. u. 4. Flöz) die Telovitritite. Im Bereich der Liptinitite sind Liptodetrinit und Cutinit in allen Proben mit durchschnittlich 3,7 bzw 2,8 %

vorhanden. Während das oberste Flöz (4. Flöz) merkliche Gehalte an Resinit aufweist, kommen in den unteren Flözen verstärkt Bituminit (Probe 96) und Exsudatinit (Probe 98) vor.

Tab. 4-30: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen des Kohlenvorkommens Žigansk 1

Proben-Nr.	(Einheit)	96	98	100	102	104	∅
Vitrinit	(Vol.-%)	69,2	84,8	86,4	85,8	84,4	82,1
Telinit	(Vol.-%)	17,2	9,4	30,4	41,4	42,4	28,2
Collotelinit	(Vol.-%)	5,2	8,8	18,6	6,8	6,2	9,1
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	11	29	1,4	0,2	0,2	8,4
Collodetrinit	(Vol.-%)	20,4	21,6	15,8	24,6	20,6	20,6
Corpogelinit	(Vol.-%)	15,4	16	20,2	12,8	15	15,9
Gelinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0,0
Inertinit	(Vol.-%)	1,6	0,6	1,4	1,8	1,4	1,4
Fusinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0,0
Semifusinit	(Vol.-%)	0	0,4	0,2	0	0	0,1
Macrinit	(Vol.-%)	-	0	0,2	0,2	0,2	0,2
Micrinit	(Vol.-%)	1,6	0	0	1,6	1,2	0,9
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0	0,2	1	0	0	0,2
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0,0
Liptinit	(Vol.-%)	9,2	8,8	5,4	12,2	10	9,1
Sporinit	(Vol.-%)	0,2	0	0,2	0,4	0	0,2
Cutinit	(Vol.-%)	2,2	3,2	2,2	3	3,4	2,8
Resinit	(Vol.-%)	0,4	0,4	0,6	3	2,2	1,3
Algininit	(Vol.-%)	0,2	0,4	0,4	0	0	0,2
Fluorinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0,0
Bituminit	(Vol.-%)	1,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,7
Exsudatinit	(Vol.-%)	0	1,2	0	0	0	0,2
Liptodetrinit	(Vol.-%)	4,6	2,8	1,8	5,4	3,8	3,7
Minerale	(Vol.-%)	20	5,8	6,8	0,2	4,2	7,4
Ton	(Vol.-%)	20	5,6	4,2	0,2	4,2	6,8
Quarz	(Vol.-%)	0	0	2,6	0	0	0,5
Pyrit	(Vol.-%)	0	0,2	0	0	0	0,0
unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0,0

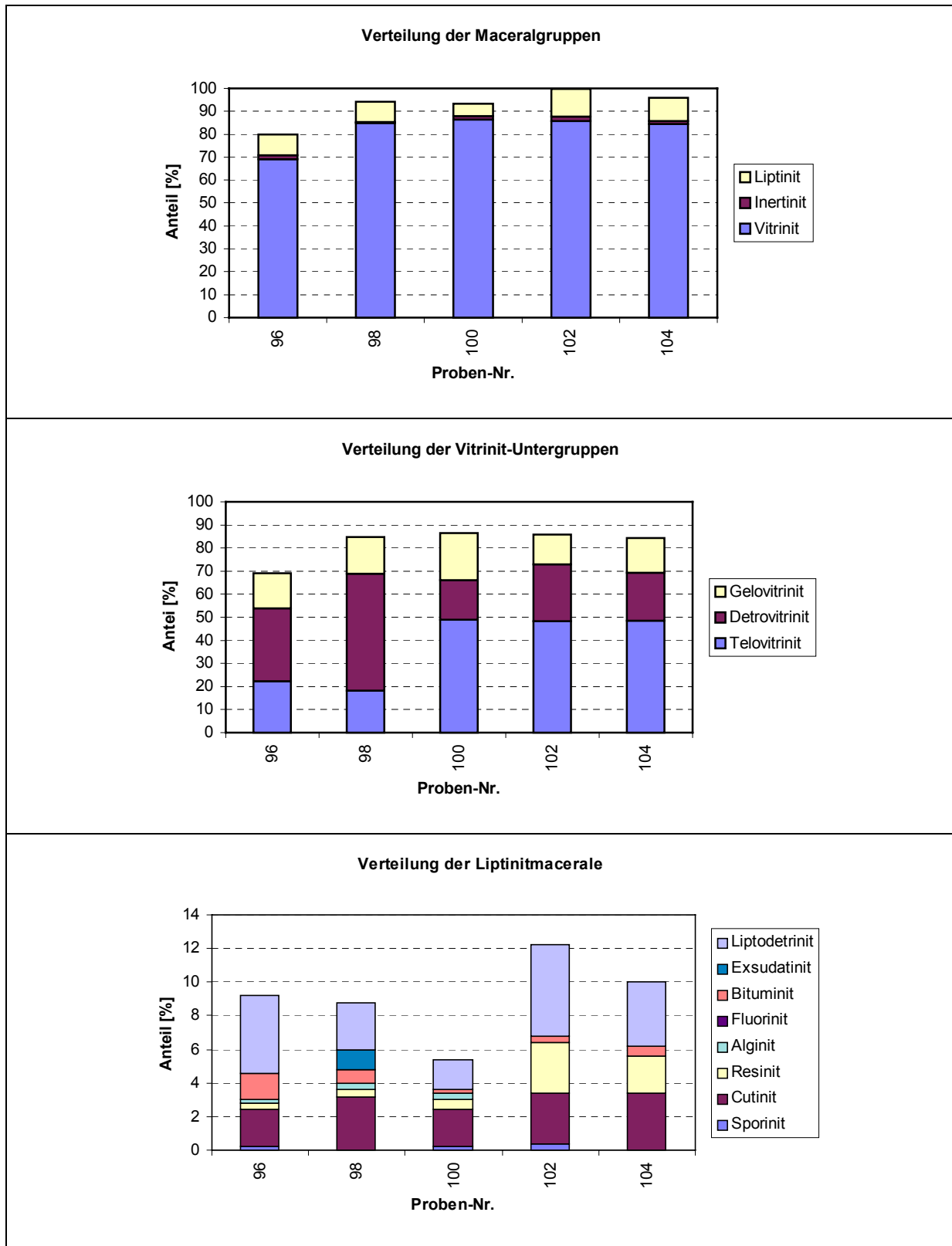


Abb. 4-49 Ergebnisse der Maceralanalyse des Kohlenvorkommens Žigansk 1 (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.7.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Kohlen des Vorkommens Žigansk liefern relativ geringe Extraktausbeuten von 25-55 mg/g C_{org} , mit einem Durchschnitt von 33,4 mg/g C_{org} . Verglichen mit dem Inkohlungsgrad dieser Kohlen sind die Extraktmengen zu gering. Nur Probe 100 liefert eine ihrem Rang entsprechende Extraktausbeute. Die Gruppe der NSO-Verbindungen hat bei allen Proben den größten Anteil an der Extraktmenge. Auffällig ist, dass Probe 100 trotz geringer Liptinit- und Detrovitrit-Gehalte hohe Extraktmengen liefert.

Tab. 4-31: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Kohlenvorkommen Žigansk 1

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org} .]				
96	1,9	29,4	0,5	1,3	20,9	6,8
98	2,0	28,6	0,4	0,9	16,3	11,0
100	3,8	54,9	0,6	2,3	35,8	16,3
101	1,6	26,7	0,3	0,5	9,4	16,5
102	2,4	33,0	0,5	0,9	18,5	13,1
103 (102a)	2,4	35,7	0,5	1,3	19,9	14,0
104	1,7	25,2	0,5	1,7	14,4	8,7
Ø	2,3	33,4	0,5	1,3	19,3	12,3

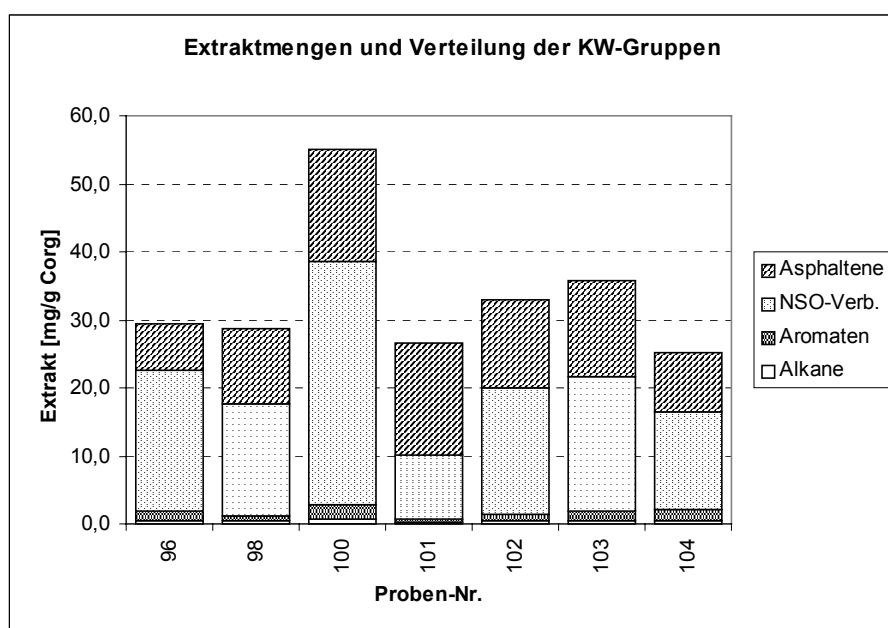


Abb. 4-50: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Kohlenvorkommen Žigansk 1

Eine weiterführende gaschromatographische Untersuchung wurde an allen Flözen durchgeführt. Die Chromatogramme zeigen eine für diesen Inkohlungsgrad etwas in Richtung länger-kettige verschobene n-Alkan-Verteilung mit einem Maximum bei n-C₂₃.bis n-C₂₅. Der CPI-Wert, der das Verhältnis der ungeradzahigen zu den geradzahigen n-Alkanen ausdrückt und als geochemischer Reifeparameter verwendet werden kann (BRAY & EVANS, 1961) liegt bei den meisten Proben um den Wert drei und bestätigt den reflexionsmikroskopisch

festgestellten Inkohlungsgrad einer Mattbraunkohle. Die Werte für das Pristan/Phytan-Verhältnis sowie die Werte für das Pristan/n-C₁₇-Verhältnis liegen in den meisten Fällen deutlich unter eins und weisen auf reduzierende Bedingungen während der Ablagerung und auf das Vorhandensein von Algen hin. Ferner treten cyclische Diterpane (Norisopimaran und Norpimaran), welche als Biomarker für fossile und rezente Gymnospermen gelten, auf (STREIBL & HEROUT, 1969; DOUGLAS & GRANTHAM, 1974; HOLLERBACH, 1980; BARRICK & HEDGES, 1981; WANG & SIMONEIT, 1990). Vertreter der Gruppe der Hopane, deren Auftreten auf eine stärkere mikrobielle Überprägung und damit Zersetzung der Kohle durch Bakterien hinweist (OURISSON et al., 1984; DAS & MAHATO, 1983; PETERS & MOLDOWAN, 1991, 1993) wurden in den unteren Flözen detektiert. Eine Sonderstellung nimmt Probe 104 ein (s. Tab. 4-32 und Abb. 4-51).

Tab. 4-32: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Kohlevorkommen Žigansk 1

Proben-Nr.	C _{max}	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	[mg/kg]
96	25	3,2	0,7	0,4	0,2	7,5	11,5
98	25	3,2	1,0	0,5	0,2	9,7	2,2
100	25	3,0	0,6	0,5	0,1	5,3	2,4
102	23	3,3	0,6	0,6	0,1	3,2	0,0
103 (102a)	23	3,2	0,7	0,6	0,2	10,6	0,0
104	27 (14, 30)	1,7	4,0	0,9	0,1	0,0	0,0

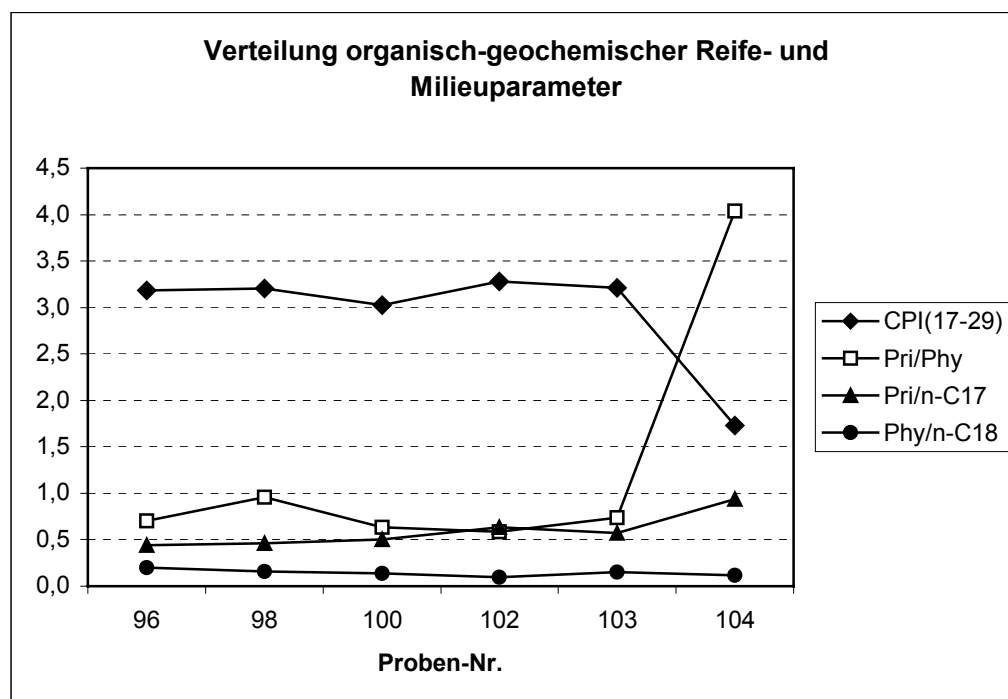


Abb. 4-51: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter Kohlevorkommen Žigansk 1

4.7.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um Informationen darüber zu erhalten, welche Pflanzengruppen und Pflanzengesellschaften im Sumpfmoor des heutigen Kohlenvorkommens Žigansk 1 vertreten waren und somit als Flözbildner anzusehen sind, wurde Probe 100 aus dem 3. Flöz (unterkretazische Yngyr-Unterfolge) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht.

Festgestellt wurden viele Fragmente bisaccater Pollen sowie wenige verrucate, baculate und reticulate Sporen in einen insgesamt schlechten Erhaltungszustand.

Gymnospermen und Farne dürften somit als Kohlenbildner im Sumpfmooore von Žigansk 1 vertreten gewesen sein. Als Vertreter der Gymnospermen kommen Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht. In MALANDIN (1973a) wird *Cephalotaxus*, eine Taxacee als in der Makroflora der Batylych-Folge vorkommend, beschrieben. Die Yngyr-Unterfolge, aus welcher Probe 100 stammt, bildet stratigraphisch den unteren Teil der Batylych-Folge.

4.7.8 Faziesmodell

Die Darstellung der petrographischen Ergebnisse im Faziesdiagramm (Abb. 4-52) nach MUKHOPADHYAY (1986) ergibt als Bildungsraum für die oberen Flöze (Probe 100, 102 und 104) den Bereich des Waldmoores, in dem sowohl baumartige als auch krautige Pflanzen gedeihen konnten. Für die unteren Flöze (Probe 96 und 98) ergibt sich ein nasser Bildungsbereich mit eher krautiger Vegetation.

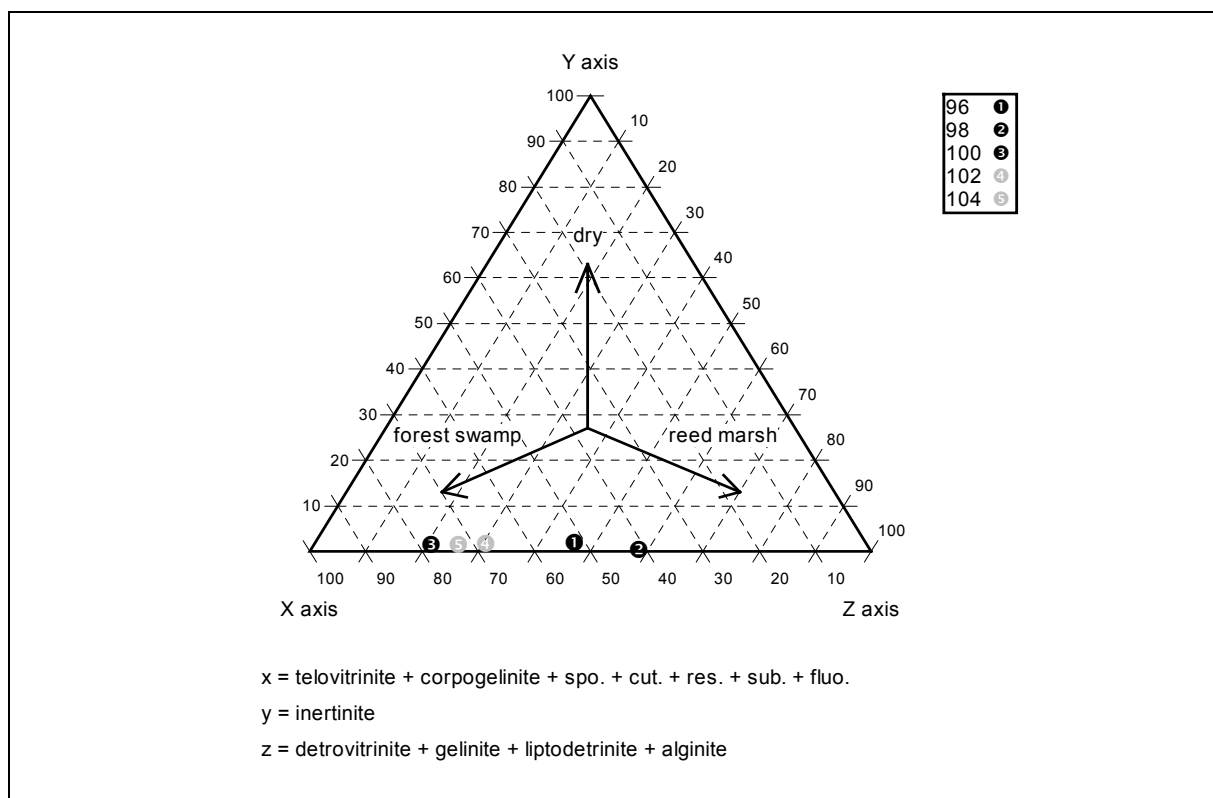


Abb. 4-52 Bildungsbereich der Kohlen des Kohlenvorkommens Žigansk 1 nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.8 Kohlenvorkommen Žigansk 2



4.8.1 Allgemeines und Lage

Im Bereich des Hafens der Siedlung Žigansk (s. Anlage 3 und Abb. 4-47) treten 2 Flöze zu Tage. Das mächtigere von beiden wurde in die Untersuchungen mit einbezogen. Die Lokation wurde als Kohlenvorkommen Žigansk 2 bezeichnet.

Einen Eindruck von dem Kohlenvorkommen Žigansk 2 geben Abb. 4-53 und Abb. 4-54.



Abb. 4-53 Das Kohlenvorkommen Žigansk 2

4.8.2 Geologie und Kohlenführung

Bei der im Hafensbereich der Siedlung Žigansk auftretenden kohleführenden Formation handelt es sich wahrscheinlich, analog zu den Ablagerungen bei Žigansk 1 um Sedimente der unterkretazischen (Valangin) Yngyr-Folge. Hier treten, wie bereits erwähnt zwei Flöze zu Tage, ein ca. 1,5 m mächtiges Flöz, das nur ein geringes Einfallen nach W bzw. NW zeigt und ein ca. 0,15 m mächtiges, welches stratigraphisch jünger ist und ein wesentlich stärkeres Einfallen in die westliche Richtung zeigt.

Beide Flöze werden durch sandig/siltige Ablagerungen unter- und überlagert.

In das 1,5 m mächtige Flöz ist im oberen Drittel eine ca. 0,20 m mächtige Kohlentonsteinlage eingeschaltet. Die Schichtenfolge verdeutlicht die Abb. 4-54.

4.8.3 Beprobung

Das 1,5 m mächtige Flöz wurde, wie in Abb. 4-54 dargestellt, beprobt. Probe 110 repräsentiert den Bereich des Kohlentonsteins. Die anderen Proben entstammen den unteren bzw. dem oberen kohligen Bereich des Flözes.

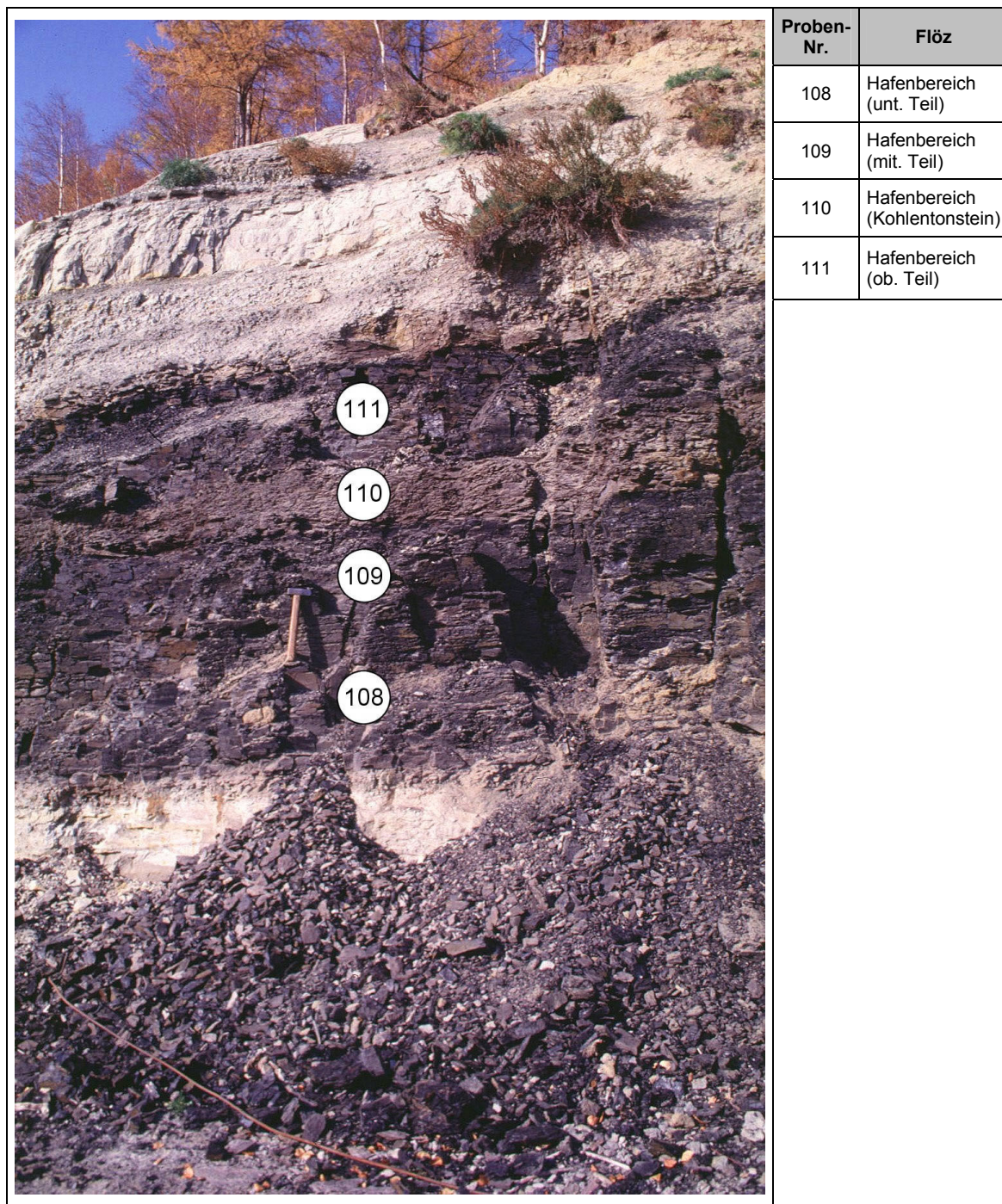


Abb. 4-54 Schichtenfolge und Beprobungspunkte des Kohlenvorkommens Žigansk 2

4.8.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlen weisen aufgrund z.T. erhöhter mineralischer Anteile sehr unterschiedliche Aschegehalte auf. Der durchschnittliche Aschegehalt des Flözes beträgt knapp 30 %, wobei dieser relativ hohe Wert im wesentlichen auf, ein in das Flöz eingeschalteten Kohlentonstein (Probe 110) mit einem Ascheanteil von > 76 % zurückgeht (s. Tab. 4-33).

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff, die um den Wasser- und Aschegehalt korrigierten Brennwerte (H_o daf) sowie die Reflexionsgrade sind vergleichbar mit den im benachbarten Kohlenvorkommen Žigansk 1 ermittelten Werten. Entsprechend diesen Werten handelt es sich bei den Kohlen des Vorkommens Žigansk 2 ebenfalls um Mattbraunkohlen.

Tab. 4-33 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für das Kohlenvorkommen Žigansk 2

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	C _{org} daf	H _o an	H _o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
108	8,6	23,5	56,4	70,2	18430	26366	0,40
109	9,8	10,9	56,2	68,6	21260	26432	0,44
110	4,0	76,0	55,8	61,4	5060	22016	n. b.
111	10,3	9,2	52,0	69,2	21380	26247	0,34
∅	8,2	29,9	55,1	67,4	16.533	25.265	0,39

4.8.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Maceralanalysen sind in der Tab. 4-34 und Abb. 4-55 dargestellt. Die Proben zeichnen sich durch zunehmende Vitritinhalte vom Liegenden zum Hangenden aus. Der Vitritin-Gehalt nimmt von ca. 70 % im Liegenden auf 90 % im oberen Flözbereich zu. Eine gegenläufige Tendenz zeigt der Liptinit-Gehalt. Er verringert sich von ca. 12 auf 3 %. Der Inertinit-Gehalt ist im zentralen Flözbereich am höchsten und beträgt dort ca. 6 %.

Innerhalb der Vitritin-Untergruppe zeigt sich ein differenziertes Bild. In Probe 109 dominieren Gelo- und Detrovitritin während in den beiden anderen Proben (108 und 111) die Telovitritine überwiegen. In allen Proben tritt Liptodetrinit auf, ferner ist Cutinit und Resinit vorhanden.

Tab. 4-34: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen Kohlenvorkommen Žigansk 2

Proben-Nr.	(Einheit)	108	109	111	Ø
Vitrinit	(Vol.-%)	70,6	77,6	90,8	79,7
Telinit	(Vol.-%)	42	3,2	29,2	24,8
Collotelinit	(Vol.-%)	10,6	8	44,8	21,1
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	0	0,4	0	0,1
Collodetrinit	(Vol.-%)	16	35,2	12	21,1
Corpogelinit	(Vol.-%)	2	30,8	4,8	12,5
Gelinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Inertinit	(Vol.-%)	1,2	6,4	2,8	3,5
Fusinit	(Vol.-%)	0	0,4	0,4	0,3
Semifusinit	(Vol.-%)	0	1,2	0,8	0,7
Macrinit	(Vol.-%)	0	1,2	0	0,4
Micrinit	(Vol.-%)	1	0,4	0	0,5
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0,2	3,2	1,6	1,7
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Liptinit	(Vol.-%)	12,2	6,2	3,2	7,2
Sporinit	(Vol.-%)	0,8	0,2	0	0,3
Cutinit	(Vol.-%)	4,4	2	0,2	2,2
Resinit	(Vol.-%)	0,2	1	1	0,7
Alginit	(Vol.-%)	0,4	0	0	0,1
Fluorinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Bituminit	(Vol.-%)	0,4	0,2	0	0,2
Exsudatinit	(Vol.-%)	0	0	0,6	0,2
Liptodetrinit	(Vol.-%)	6	2,8	1,4	3,4
Minerale	(Vol.-%)	16	9,8	3,2	9,7
Ton	(Vol.-%)	16	9	3,2	9,4
Quarz	(Vol.-%)	0	0	0	0,0
Pyrit	(Vol.-%)	0	0,8	0	0,3
unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0	0	0	0,0

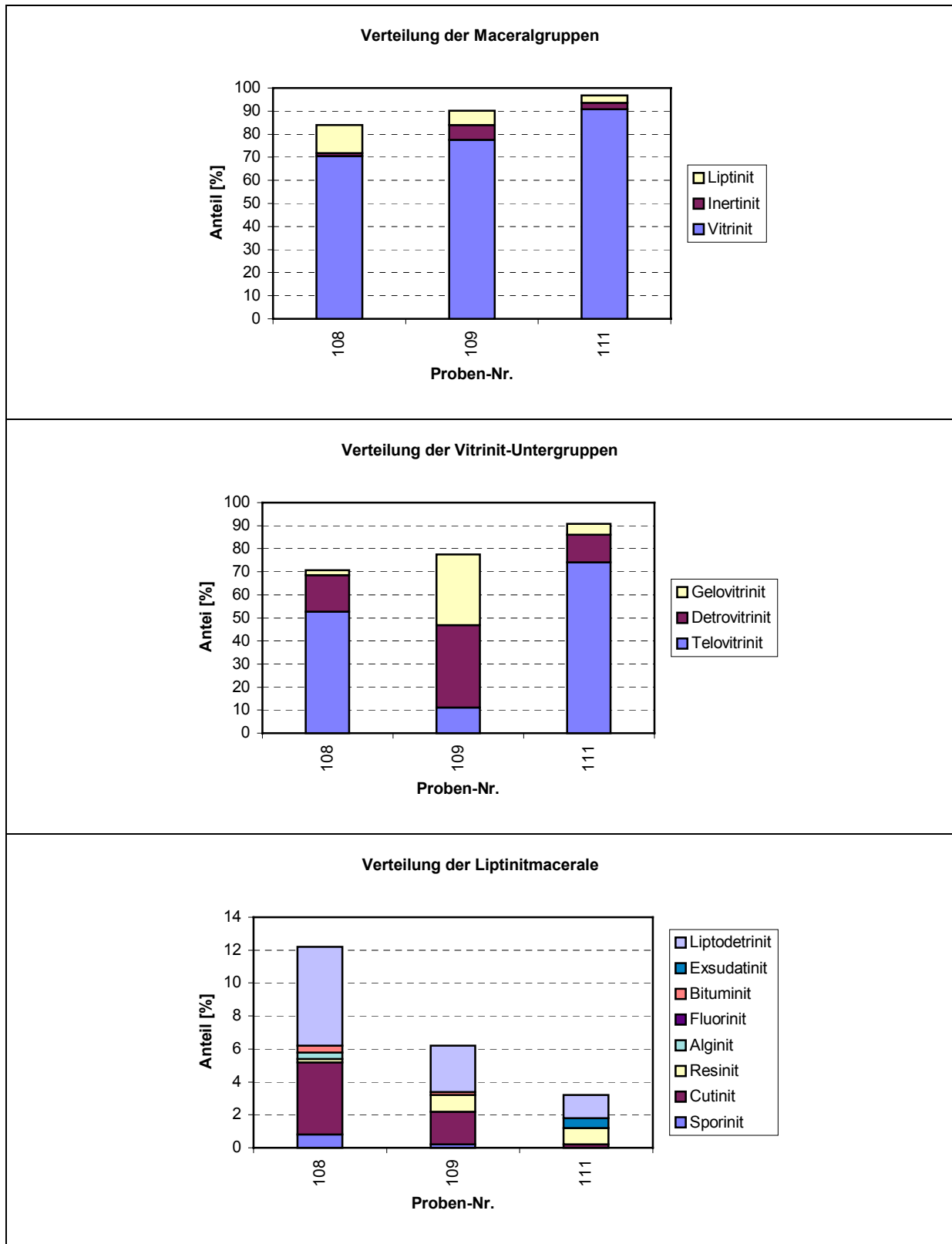


Abb. 4-55 Ergebnis der Maceralanalyse der Lagerstätte Zigansk 2 (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.8.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Extraktmengen und deren Verteilung auf die einzelnen KW-Gruppen sind für die untersuchten Kohlenproben, mit Ausnahme der Kohlentonsteinprobe (Probe 110) ziemlich ähnlich. Die Ausbeuten der Kohlenproben liegen bei durchschnittlich 21,6 mg/g C_{org.} und sind als sehr niedrig einzustufen. Der größte Anteil des Extrakts entfällt auf die NSO-Gruppe. Probe 110 liefert eine extrem niedrige Extraktausbeute, was auf den hohen Gehalt an mineralischen Bestandteilen in der Probe zurückzuführen ist.

Tab. 4-35: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Kohlenvorkommen Žigansk 2

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org.}]				
108	1,4	19,5	0,5	0,9	11,0	7,2
109	1,5	22,3	0,5	1,1	15,2	5,6
110	0,4	6,7	0,3	0,3	4,3	1,8
111	1,6	22,9	0,5	2,2	15,1	5,2
∅	1,2	17,9	0,5	1,1	11,4	5,0

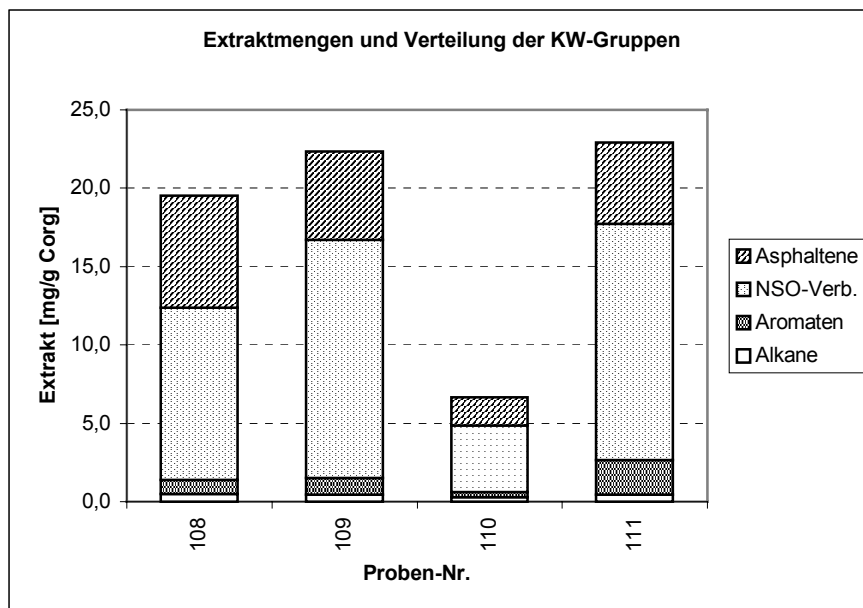


Abb. 4-56: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Kohlenvorkommen Žigansk 2

Die Tab. 4-36 und Abb. 4-57 zeigen einige organisch-geochemische Parameter sowie Biomarker, die Aussagen über die Reife und das Ablagerungsmilieu erlauben.

Das Maximum der n-Alkan-Verteilung (C_{max}) liegt bei n-C₂₃. Probe 109 und Probe 111 zeigen eine bimodale Verteilung mit einem zweiten Maximum bei n-C₁₆ bzw n-C₃₁. Der Carbon Preference Index (CPI₁₇₋₂₉), der ebenfalls als Reifeparameter Verwendung findet, liegt zwischen 1,5 und 3,4. Diese Werte entsprechen dem reflexionsmikroskopisch festgestellten Rang der Kohlen (R_r = 0,39). Das Pristan/Phytan Verhältnis, welches als klassischer Parameter für die Faziescharakterisierung angewendet wird, liegt bei allen Proben deutlich

über 1, das Pristan/n-C17 Verhältnis liegt bei Probe 109 und Probe 111 ebenfalls über 1, so dass für diese Proben von einem teilweise oxidativen Ablagerungsmilieu ausgegangen werden kann. In Probe 108 deutet das Pristan/n-C17 Verhältnis auf das Vorhandensein von Algen. Weitere Biomarker wie cyclische Diterpane und Hopane wurden nicht festgestellt.

Tab. 4-36: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter; Kohlevorkommen Žigansk 2

Proben-Nr.	Cmax	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
108	23	3,4	1,5	0,6	0,2	0,0	0,0
109	23. (16)	1,5	2,8	1,1	0,2	0,0	0,0
111	25 (31)	3,2	4,5	2,3	0,3	0,0	0,0

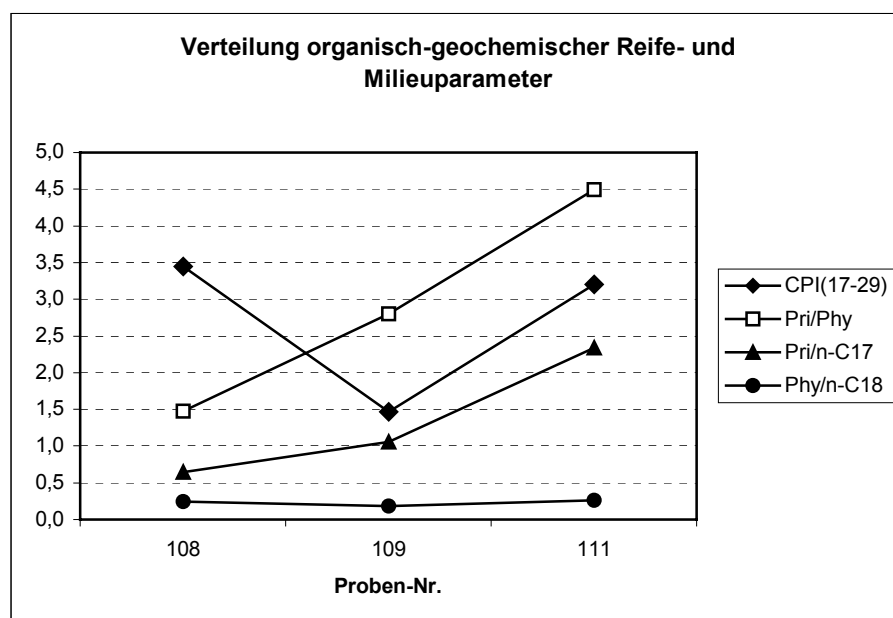


Abb. 4-57: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Kohlevorkommen Žigansk 2

4.8.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Das Kohlevorkommen Žigansk 2 wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit palynologisch nicht untersucht.

4.8.8 Faziesmodell

Im folgenden sind die petrographischen Ergebnisse im Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986) dargestellt (s. Abb. 4-58) und geben einen Eindruck von der wechselhaften Entwicklungsgeschichte des untersuchten Flözes. Der untere Teil des Flözes (Probe 108) wurde in einem Waldmoor gebildet. Danach änderten sich die Bedingungen im Moor, so dass sich eine eher krautige Vegetation unter vorwiegend nassen Bedingungen entwickeln konnte.

Der Bereich der Probe 109 wurde abgelagert. Im Anschluss erfolgte erneut ein Fazieswechsel durch eine verstärkte Absenkung und der Kohlentonstein (Probe 110) kam zur Ablagerung. Darauf aufbauend entwickelte sich wiederum eine baumartige Vegetation unter Waldmoorbedingungen (Probe 111).

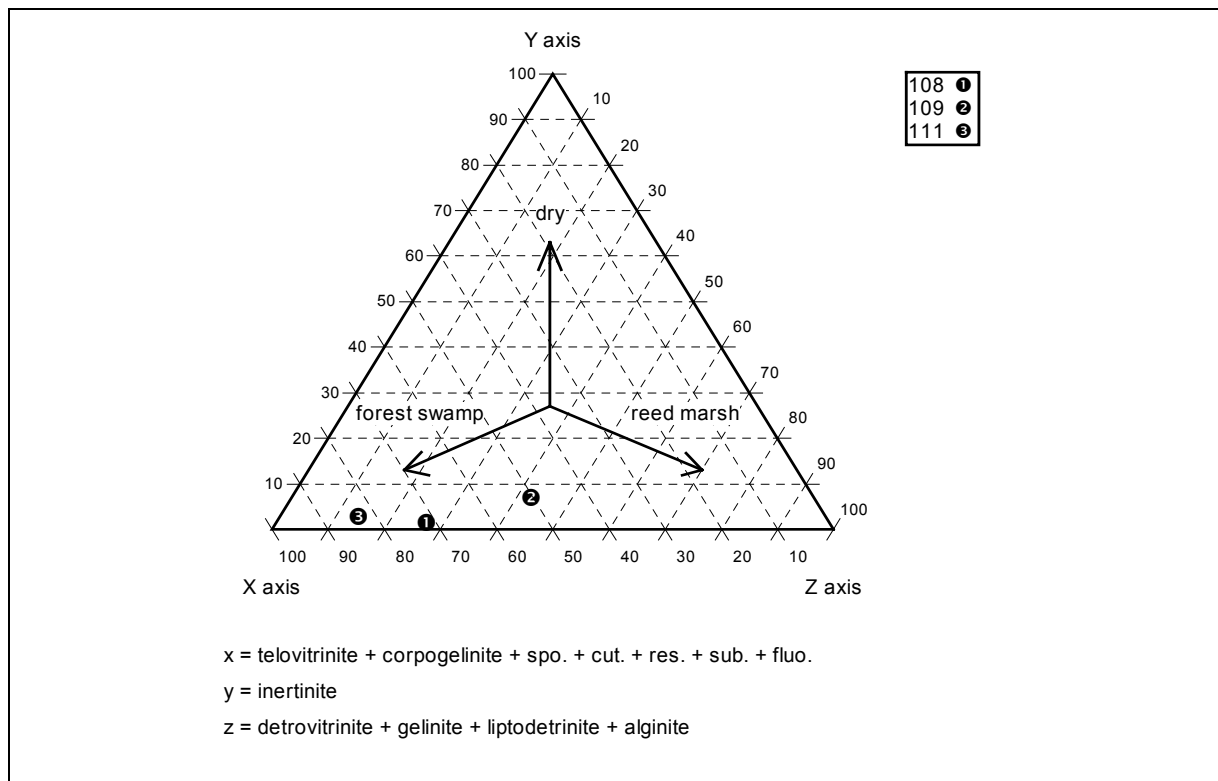


Abb. 4-58 Bildungsbereich der Kohlen des Kohlenvorkommen Žigansk 2 nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

4.9 Kohlenvorkommen Kjusjur



4.9.1 Allgemeines und Lage

In der Umgebung der Siedlung Kjusjur, welche sich am Unterlauf der Lena, ca. 200 km flussaufwärts des Deltas befindet (s. Anlage 2), treten eine Reihe von Flözen am linken Ufer der Lena zu Tage, die in diese Untersuchung mit einbezogen wurden. Dieser Bereich wurde als Kohlenvorkommen Kjusjur bezeichnet.

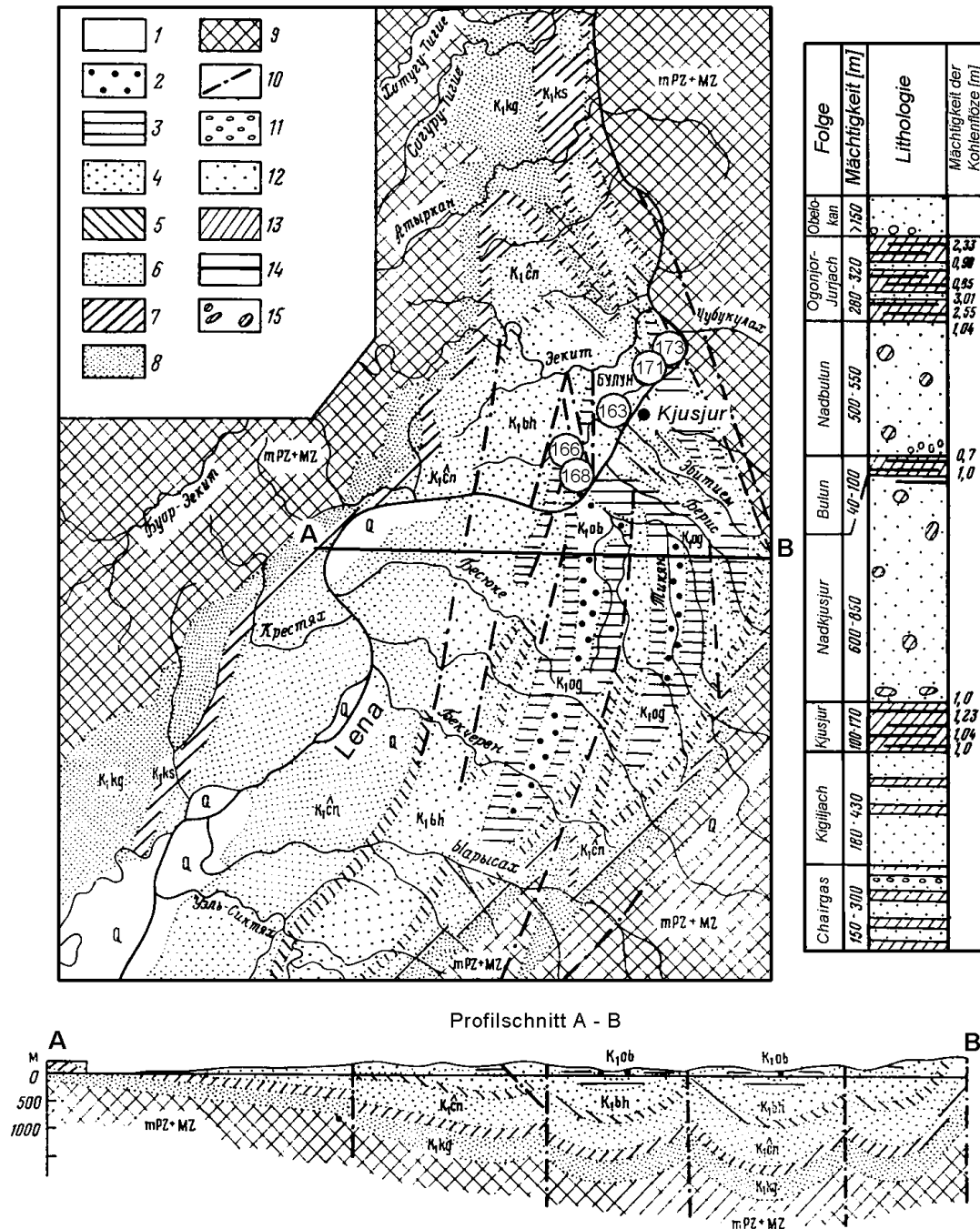
Das Kohlenvorkommen Kjusjur befindet sich im nördlichen Teil des Lena-Kohlen-Beckens im sogenannten kohlenführenden Gebiet „Bulun“.

4.9.2 Geologie und Kohlenführung

Das Kohlenvorkommen Kjusjur befindet sich geologisch gesehen im Bereich der Werchojansker Randsenke. Einen Eindruck der geologischen Untergrundverhältnisse dieser Region vermittelt Profil AB in Žigansk Abb. 4-59.

Die paläozoischen und mesozoischen Sedimente sind hier im ehemaligen Geosynklinalbereich in große Synklinalfalten gelegt. Sie weisen flachgeneigte West- und steilere Ostschenkel auf. Die Sedimente des Jura sind mariner Herkunft. Eine Kohlenbildung trat erst in der Unterkreide ein. Diese gliedert sich in 8 Folgen (s. stratigraphisches Profil in Abb. 4-59) Die Anzahl der Kohlenflöze ist relativ hoch und nicht gleichmäßig verteilt. In der Kjusjur-Folge sind bis 33 Flöze, in der Bulun-Folge bis 15 und in der Ogonjër-Jurjach-Folge bis 40 Flöze bekannt. Die meisten Kohlenflöze haben geringe Mächtigkeiten von 0,1-0,6 m.

Die untersuchten Kohlenflöze im Bereich des Vorkommens Kjusjur dürften stratigraphisch zur Ogonjër-Jurjach-Folge gehören.



- Legende**
- 1: Quartär
 - 2: Obelokan Folge
 - 3: Ogonjor - Jurjach Folge
 - 4: Bach (Nadbulun) Folge
 - 5: Bulun Folge
 - 6: Conkogor (Nadkjusjur) Folge
 - 7: Kjusjur Folge
 - 8: Kingiljach Folge
 - 9: Unterlagernde, marine, paläozoische und mesozoische Ablagerungen.
 - 10: Störung
- Zeichen im lithologischen Profil**
- 11: Kies, Schotter
 - 12: Sandstein
 - 13: Silt und Tonstein
 - 14: Kohlenflöz
 - 15: Konkretionen
- (168) Probenahmepunkte

Abb. 4-59 Vereinfachte geologische Karte (links oben), stratigraphisches Normalprofil (rechts oben) und geologisches Profil (unten) des Kohlenvorkommens Kjusjur (nach GLUŠINSKIJ, 1973a)

4.9.3 Beprobung

Die Beprobung erfolgte an vier verschiedenen Lokationen (s. Abb. 4-59 und Tab. 4-37).

Tab. 4-37 Beprobungspunkte Kohlenvorkommen Kjusjur

Proben-Nr.	Lokalität
163	gegenüber Kjusjur
166	Schacht
168	Schacht Lesemat.
171	Bachbett
173	Ufer

Probe 163 stammt von einem kleinen 0,15 m mächtigen, Flöz, das gegenüber der Siedlung Kjusjur am linken Ufer der Lena ausstreicht. Das Flöz wird durch kohlige Ton/Siltsteine über- und unterlagert und fällt mit ca. 50° nach NO (s. Abb. 4-60).

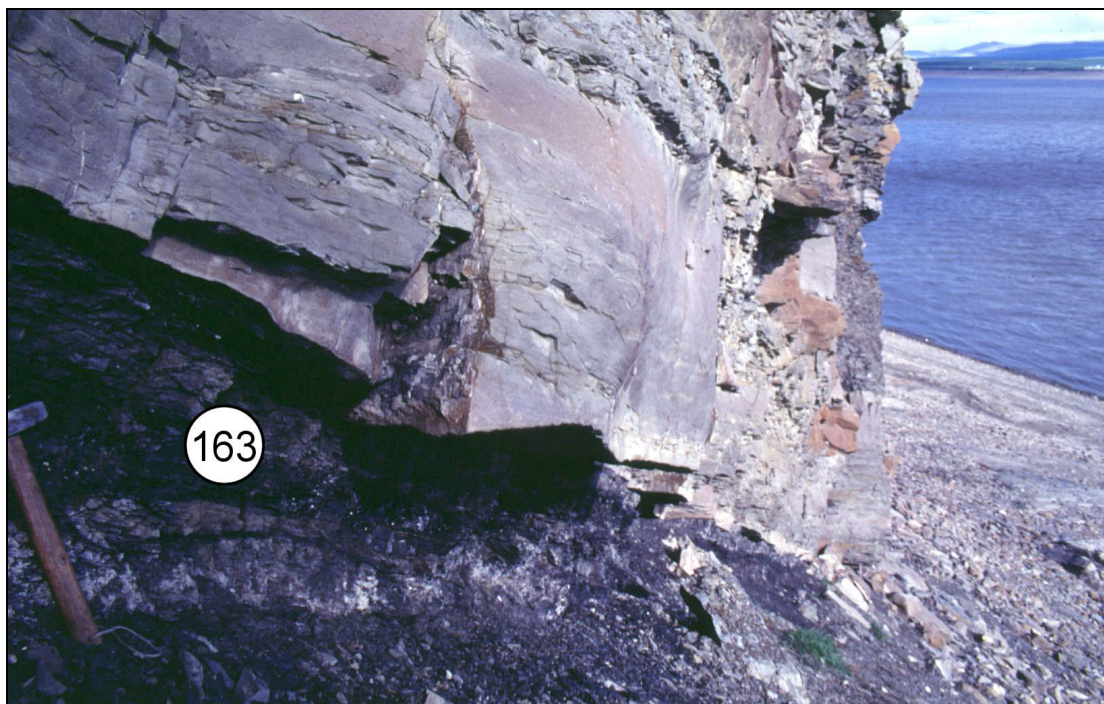


Abb. 4-60 Das Kohlenvorkommen Kjusjur; Beprobungspunkt 163

Probe 166 und Probe 168 stammen aus der Umgebung eines alten eingefallenen Schachtes, ca. 15 km flussaufwärts Kjusjur, wobei es sich bei Probe 166 um anstehendes Material und bei Probe 168 um Lesematerial handelt.

Die Lokation für die Probenahme von Probe 171 und 173 befindet sich ca. 1,5 km flussabwärts der verlassenen Siedlung Bulun, d.h. ca. 7,5 km flussabwärts Kjusjur.

Probe 171 stammt aus dem Bett eines kleinen Baches der in die Lena mündet. Die Kohlschicht fällt nach Süden mit ca. 30°. Es ist allerdings nicht gesichert, dass es sich um anstehendes Material handelt.

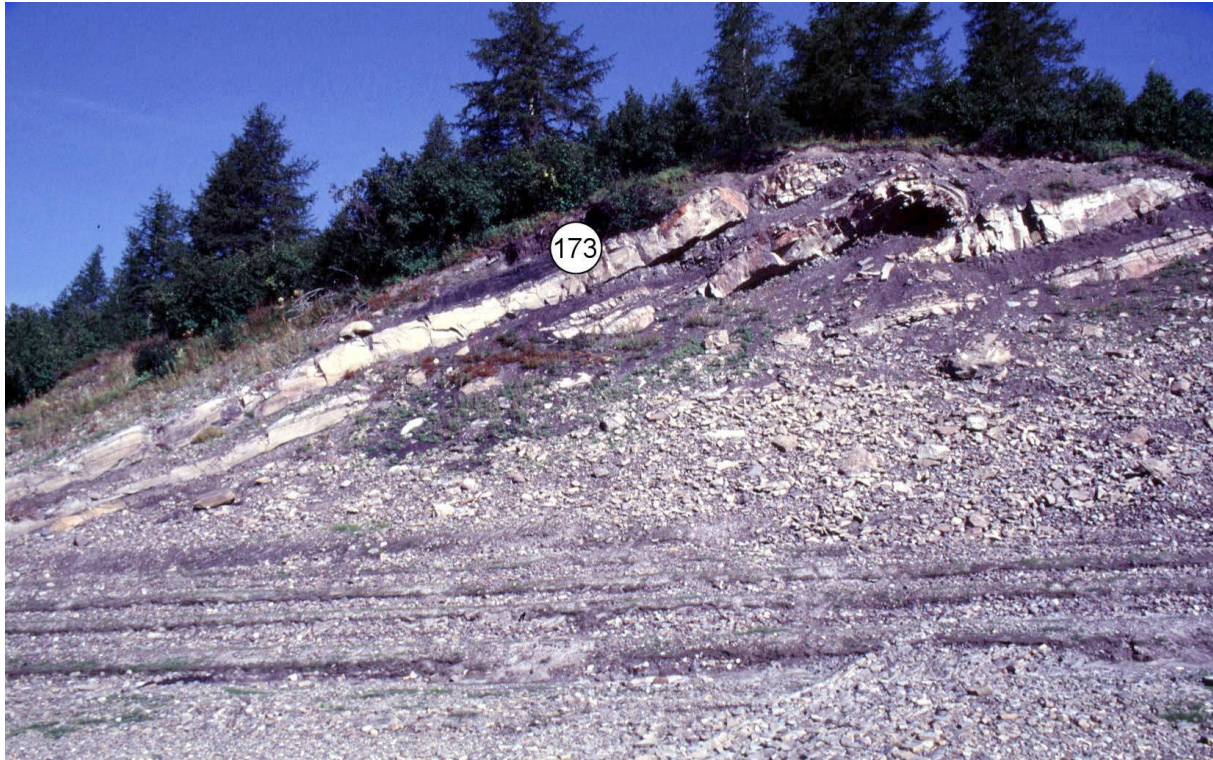


Abb. 4-61 Das Kohlenvorkommen Kjusjur am linken Ufer der Lena; Beprobungspunkt 173

Probe 173 stammt von einem kleinen Flöz, das in einem kleinen Hügel direkt an der Lena aufgeschlossen ist (s. Abb. 4-61). Es handelt sich hier um eine ca. 0,8 m mächtige Schicht, die aus 3 kleinen ca. 0,15 m mächtigen Flözchen und dazwischen lagerndem Siltstein aufgebaut ist. Das Schichteinfallen beträgt ca. 45° nach Süden.

4.9.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Kohlenproben des Kohlenvorkommens Kjusjur weisen einen geringen Wasser- und einen sehr unterschiedlichen Aschegehalt auf. Der Wassergehalt beträgt durchschnittlich 5,1 %, der Aschegehalt variiert beträchtlich von 7 % (Probe 168) bis annähernd 30 % (Probe 166). Die Reflexionsmessungen belegen einen Rang der Kohlen im Bereich des Glanz-Flammkohlenstadiums ($R_r = 0,6$). Die festgestellten Brennwerte liegen zwischen 29.000 und 34.000 kJ/kg.

Tab. 4-38 Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen für das Kohlenvorkommen Kjusjur

Proben-Nr.	Wasser an	Asche d	Flüchtige Best daf	Corg daf	H,o an	H,o daf	Rr %
	%				kJ/kg		
163	6,7	12,0	41,6	75,7	24172	29421	0,65
166	3,5	29,8	42,9	76,5	20583	30397	0,62
168	1,5	7,0	55,9	78,9	31097	33956	0,50
171	7,3	12,4	43,3	71,1	23485	28900	0,62
173	6,3	7	47,0	n.b.	25874	29688	0,59
∅	5,1	13,6	46,1	75,6	25042	30472	0,6

4.9.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Maceralanalysen zeigen die nachfolgende Tabelle und Abbildung. Die Kohlen des Vorkommens Kusjur zeichnen sich durch erhöhte Anteile an Mineralen aus. Innerhalb der Maceralgruppen dominieren die Vitrinite (durchschnittlicher Gehalt 54,9 %). Eine Ausnahme bildet Probe 168. Hier kommen Vitrinit und Liptinit zu annähernd gleichen Anteilen vor. Die Inertinit-Gehalte sind gering (durchschnittlich 4,3 %) und nur in Probe 163 etwas erhöht. Innerhalb der Vitrinitgruppe zeigen die Kohlenproben generell einen großen Anteil an Gelovitrinit, der teilweise sogar über die anderen Untergruppen dominiert.

Der Anteil an Liptinit ist, wie bereits erwähnt bei Probe 168 besonders hoch (34,2 %) und besteht hauptsächlich aus Liptodetrinit, Bituminit und Cutinit.

Tab. 4-39: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen des Kohlenvorkommens Kjusjur

Proben-Nr.	(Einheit)	163	166	168	171	173	∅
Vitrinit	(Vol.-%)	54,8	69,8	37	80,8	75,4	63,6
Telinit	(Vol.-%)	3,8	7,6	2,6	13,4	9,6	7,4
Collotelinit	(Vol.-%)	13	45	5,4	35,2	14,2	22,6
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	0	0,2	0	0,6	0	0,2
Collodetrinit	(Vol.-%)	17,2	4,6	11	11,8	19,8	12,9
Corpogelinit	(Vol.-%)	20,8	12,4	18	19,4	31,6	20,4
Gelinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,4	0,2	0,1
Inertinit	(Vol.-%)	9,2	0	3,8	1,2	2	3,2
Fusinit	(Vol.-%)	0	0	0,2	0	0	0
Semifusinit	(Vol.-%)	0	0	1,6	0	0	0,3
Macrinit	(Vol.-%)	0	0	0	0,6	1	0,3
Micrinit	(Vol.-%)	9,2	0	1,6	0,2	1	2,4
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0	0	0,4	0,4	0	0,2
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0

Proben-Nr.	(Einheit)	163	166	168	171	173	Ø
Liptinit	(Vol.-%)	11	4	34,2	10	8	13,4
Sporinit	(Vol.-%)	1,8	0,2	1,8	0,8	1,2	1,2
Cutinit	(Vol.-%)	2	1,8	8,2	2,8	1	3,2
Resinit	(Vol.-%)	0	0,2	2,8	2,2	0,8	1,2
Alginit	(Vol.-%)	0	0	0,6	0	0,4	0,2
Fluorinit	(Vol.-%)	0	0,2	0,2	0,2	1,4	0,4
Bituminit	(Vol.-%)	4,2	0	6,2	0,2	0,2	2,2
Exsudatinit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0
Liptodetrinit	(Vol.-%)	3	1,6	14,4	3,8	3	5,2
Minerale	(Vol.-%)	25	26,2	25	8	14,6	19,8
Ton	(Vol.-%)	15	9,4	24,8	6	11,4	13,3
Quarz	(Vol.-%)	10	16,8	0,2	2	3,2	6,4
Pyrit	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0
unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	0

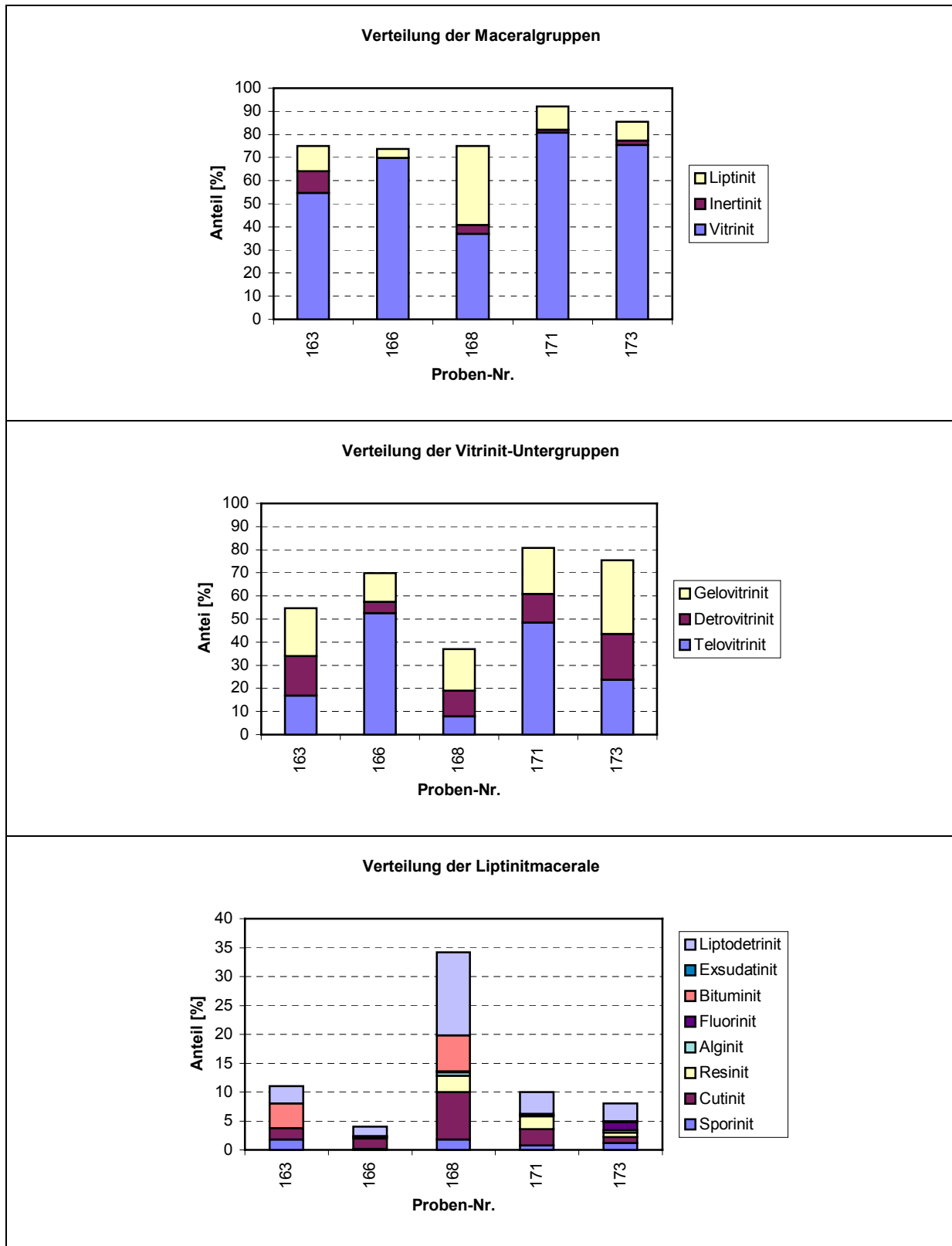


Abb. 4-62 Ergebnisse der Maceralanalyse des Kohlenvorkommens Kjusjur (Verteilung der Maceralgruppen, der Vitrinit-Untergruppen und Liptinitmacerale)

4.9.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die untersuchten Kohlen des Vorkommens Kjusjur liefern Extraktmengen von 58,9-158,2 mg/gC_{org}, mit einem Durchschnittswert von 106,6 mg/gC_{org}.

Die Verteilung des Extraktes auf die einzelnen KW-Gruppen ist bei allen Proben ähnlich. Der Großteil des Extraktes entfällt auf die NSO-Gruppe (durchschnittlich 61 %). Bei Probe 171 entfällt ein weiterer großer Anteil auf die Gruppe der Asphaltene. Probe 171 liefert von allen Proben die größte Extraktausbeute (158,2 mg/gC_{org}). Eine direkte Korrelation mit dem Liptinit- oder Detrovitrit-Gehalt ist nicht zu erkennen.

Tab. 4-40: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Kohlenvorkommen Kjusjur

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g Corg.]				
163	7,5	98,7	1,3	5,7	71,1	20,6
166	4,5	58,9	2,1	6,0	46,6	4,3
168	8,7	110,7	7,4	18,1	50,0	35,1
171	11,3	158,2	2,2	5,1	76,3	74,7
173	11,8	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
∅	8,8	106,6	3,3	8,7	61,0	33,7

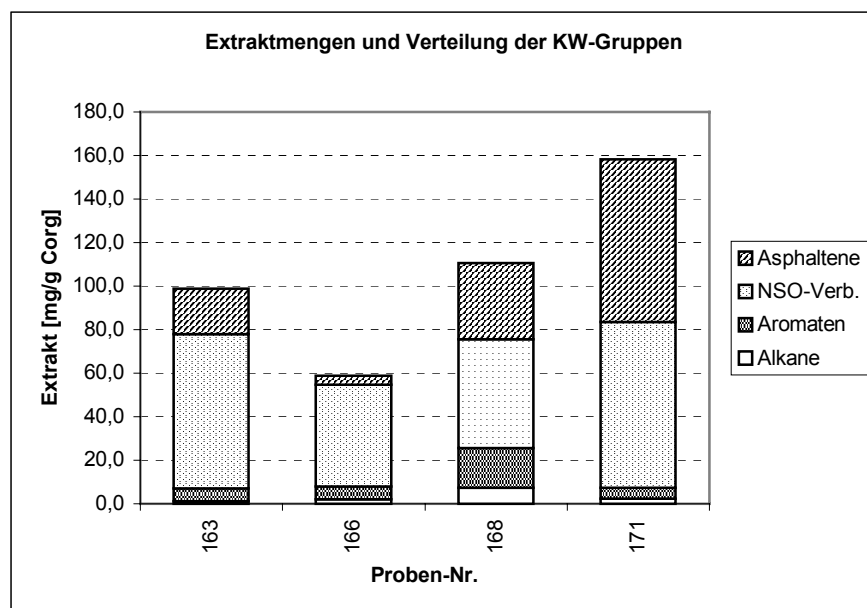


Abb. 4-63: Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen; Kohlenvorkommen Kjusjur

Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen einige organisch-geochemische Parameter sowie Biomarker, die mit Hilfe der Gaschromatographie detektiert werden konnten und Aussagen über die Reife und das Ablagerungsmilieu der Kohlen erlauben.

Das Maximum der n-Alkan-Verteilung (C_{max}) liegt größtenteils bei n-C₂₃, bzw. für Probe 163 bei n-C₁₈. Eine Alkanverteilung bei der langkettige n-Alkane von n-C₂₃ bis n-C₃₃ dominieren

weist nach EGLINGTON & HAMILTON, 1967; TISSOT & WELTE, 1984 und HOLLERBACH, 1985 eindeutig auf eine Herkunft von Kutikulen und Wachsen höherer Pflanzen hin.

Die Präsenz kurzketziger n-C₁₅ bis n-C₁₇ Alkane ist als Indikator für den Input von Algen anzusehen (BRASSELL et al., 1983; HOLLERBACH, 1985; TISSOT & WELTE, 1984; VOLKMANN & MAXWELL, 1986; VOLKMANN, 1988). Im Gegensatz zu den Proben 166, 168, 171, bei denen die n-Alkan-Verteilung, das Pristan/Phytan und das Pristan/n-C₁₇ Verhältnis einen oxidierenden Ablagerungsbereich andeuten, zeigt sich für Probe 163 ein reduzierender Bereich sowie ein Input von Algen.

Der Carbon Preference Index (CPI₁₇₋₂₉), liegt bei allen Proben etwas über 1. Diese Werte entsprechen dem reflexionsmikroskopisch festgestellten Rang der Kohlen (Rr = 0,6). Cyclische Diterpane und Hopane wurden in den Proben 166 und 171 festgestellt.

Tab. 4-41: Organisch-geochemische Reife- und Milieuparameter Kohlenvorkommen Kjusjur

Proben-Nr.	Cmax	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
163	18	1,1	5,3	0,6	0,1	0,0	0,0
166	23	1,4	4,7	1,7	0,2	28,6	25,8
168	23	1,3	7,4	1,5	0,1	0,0	0,0
171	23	1,2	4,6	1,6	0,2	28,6	58,8

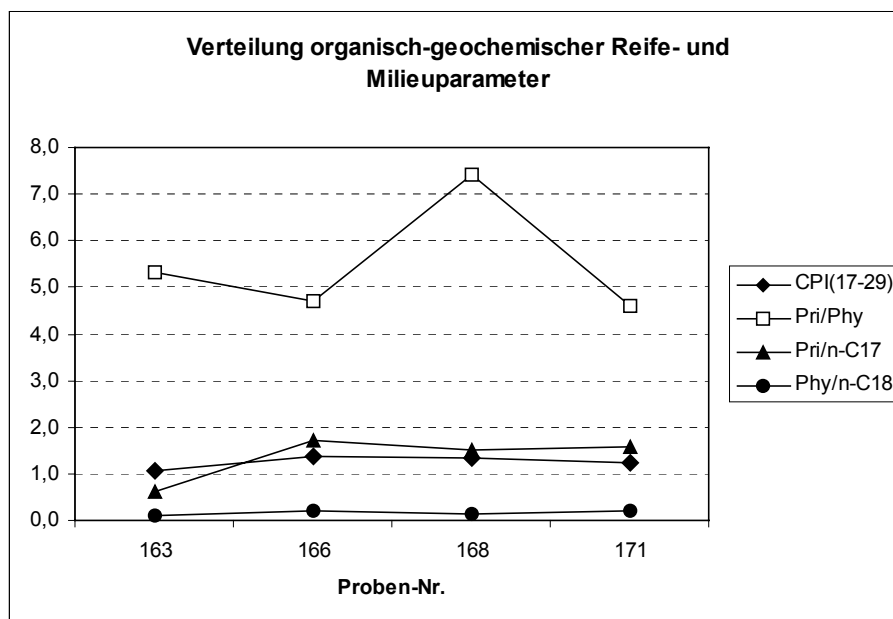


Abb. 4-64: Verteilung organisch-geochemischer Reife- und Milieuparameter; Kohlenvorkommen Kjusjur

4.9.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Um nähere Erkenntnisse darüber zu erhalten, welche Pflanzen und Pflanzengruppen an der Flözbildung im nördlichen Teil des Lena Kohlen Beckens (Bereich Kjusjur) beteiligt waren, wurde Probe 173 (unterkretazische Ogonjër-Jurjach-Folge?) ausgewählt, mazeriert und palynologisch untersucht.

Probe 173 stellte sich als Mikroflora-arm dar. Es konnten lediglich einige wenige Bruchstücke bisaccater Pollen festgestellt werden. Dies deutet auf eine von Gymnospermen dominierte Vegetation hin. Als Vertreter kommen Pinaceen (Koniferen) und Taxaceen (Eibenbäume) in Betracht.

Dieses Ergebnis korreliert nicht mit den Erkenntnissen, die aus der petrographischen Untersuchung gewonnen wurden. Hier wurden eine große Anzahl von unterschiedlichen Sporiniten festgestellt. Die Kohlen im Bereich Kjusjur gehören zu den höher inkohlten, ähnlich wie auch diejenigen aus Sangar und Džebariki-Chaja. Es scheint, dass für die Gruppe der höher inkohlten Kohlen die ursprünglich durchgeführte Mazerationsweise nicht optimal war und nicht den gesamten palynologischen Bestand freilegte. Mittlerweile ist es gelungen auch die höher inkohlten Kohlen umfassender zu mazerieren. Die Untersuchungen dieser Präparate dauern noch an.

4.9.8 Faziesmodell

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Maceraluntersuchung dargestellt im Faziesdiagramm nach MUKHOPADHYAY (1986).

Die Proben stammen aus verschiedenen Flözen. Während die Proben 163 und 168 einen feuchteren Bildungsbereich mit mehr krautiger Vegetation belegen, deuten die übrigen Proben auf einen Bildungsbereich im Waldmoor mit baumartiger Vegetation hin.

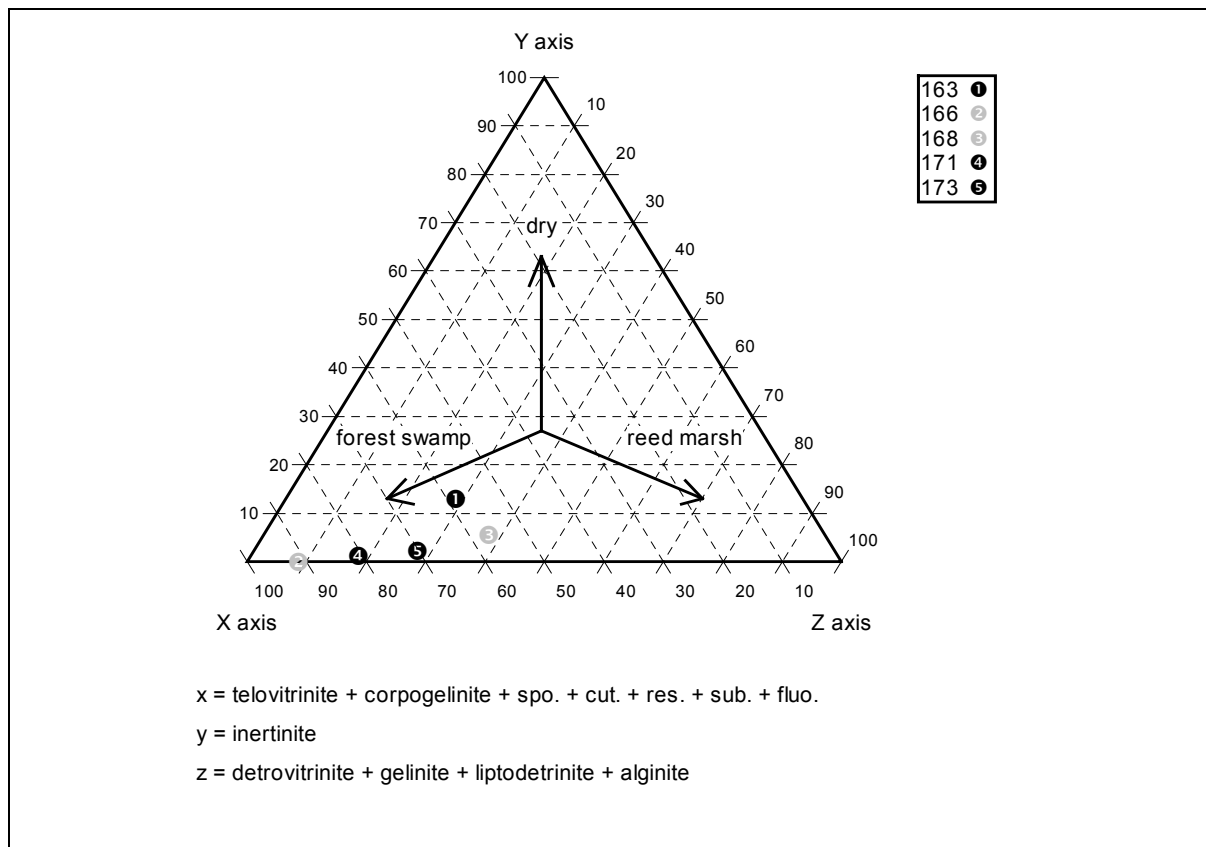


Abb. 4-65 Bildungsbereich der Kohlen des Kohlenvorkommen Kjusur nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986), die grau unterlegten Proben stammen von der gleichen Lokation, s. Tab. 4-37

4.10 Kohlenvorkommen Tajmylry



4.10.1 Allgemeines und Lage

Die Lagerstätte Tajmylry befindet sich im kohlenführenden Gebiet ‚Olenëk‘, welches den nördlichen Teil des Lena-Kohlen-Beckens darstellt. Es erstreckt sich östlich des Lena-Deltas bis zum Unterlauf des Flusses Anabar und grenzt nördlich an das Eismeer (Laptev See) (s. Anlage 2). Im Süden wird das Gebiet durch das Ausstreichen der unterkretazischen marinen Valangin-Ablagerungen bei ca. 72° nördlicher Breite begrenzt.

Die Lagerstätte Tajmylry liegt im östlichen Teil des kohlenführenden Gebietes ‚Olenëk‘, am rechten Ufer des Flusses Kučuguj-Tajmylry, 16 km geradlinig vom Fluss Olenëk entfernt (s. Abb. 4-66)

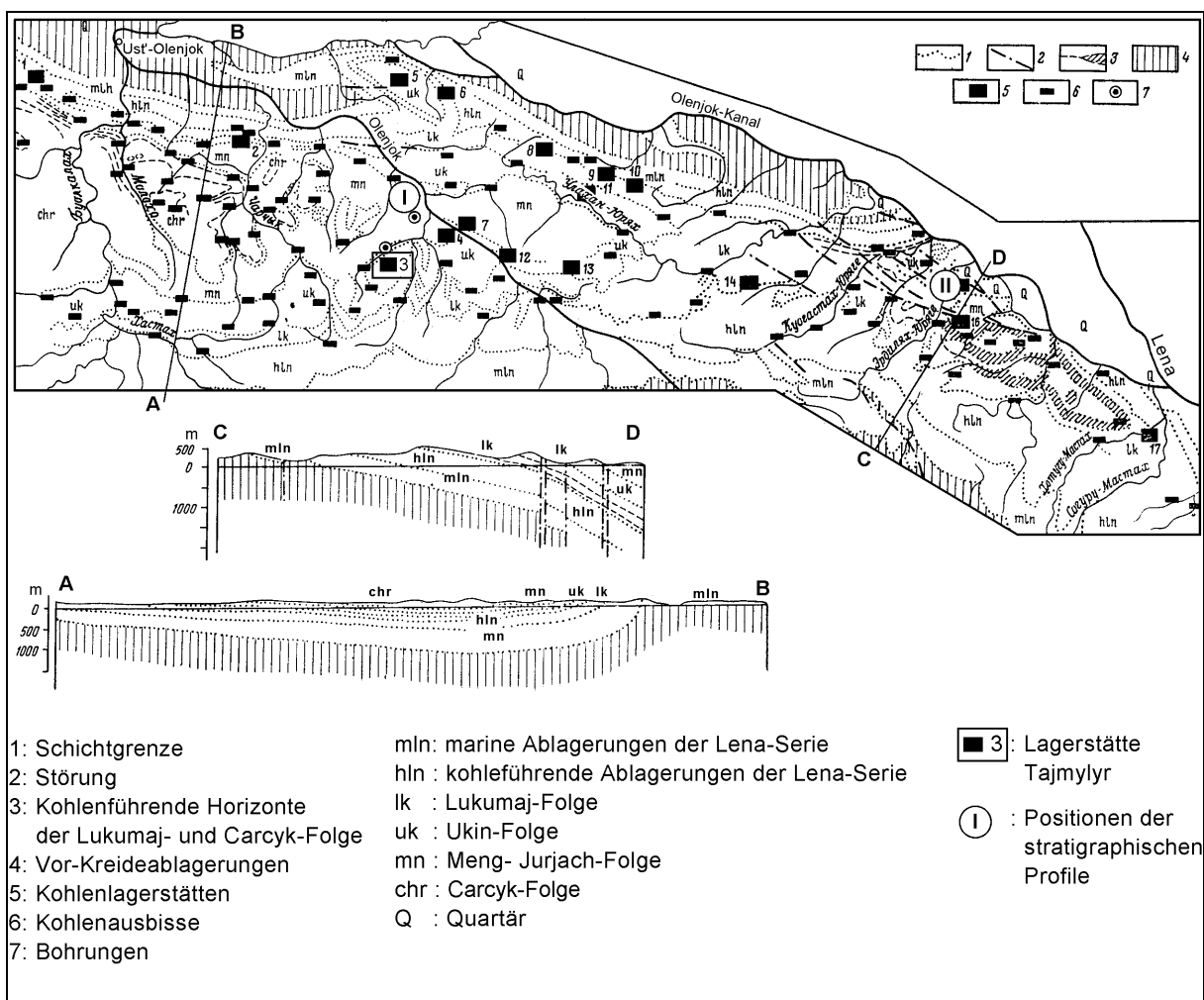


Abb. 4-66: Östlicher Teil des kohlenführenden Gebietes ‚Olenëk‘ (verändert, nach GLUŠINSKIJ, 1973b); zu den stratigraphischen Profilen I und II s. Abb. 4-67

4.10.2 Geologie und Kohlenführung

In Abb. 4-66 sind die Kohlenlagerstätten und Kohlenvorkommen (schwarze Rechtecke) sowie der geologische Aufbau des Gebietes dargestellt.

Die kretazischen Ablagerungen des kohlenführenden Gebietes zeigen die Form einer asymmetrischen Synklinalstruktur mit einer schwach geneigten ($1 - 3^\circ$) plattformnahen, südlichen Flanke und einer steileren ($15 - 20^\circ$) nördlichen Flanke. Im zentralen Teil des Gebietes streicht die Synklinale E-W, im Westen zeigt sie eine Ablenkung nach Norden und im Osten eine Ablenkung nach Süden. Die Hauptsynklinalstruktur ist von Falten 2. Ordnung überlagert, die kulissenförmig zueinander liegen. Ferner treten innerhalb der Synklinale drei Hebungsbereiche auf, die eine nordwestliche Orientierung zeigen.

Die Profile AB und CD in Abb. 4-66 geben einen Überblick über den vertikalen Aufbau des Untergrundes bis zur Basis der Unterkreide. Profil AB befindet sich im zentralen Bereich des Gebietes, Profil CD im östlichen. Die Abfolgen im Bereich des Profils AB lagern größtenteils flach geneigt und die Mächtigkeiten der einzelnen Serien sind deutlich geringer als im östlichen Bereich (Profil CD), wo die Schichten teilweise steil in Richtung NE einfallen.

Generell nehmen die Schichtmächtigkeiten der Serien von der Plattform in Richtung zum gefalteten Bereich deutlich zu.

Abb. 4-67 zeigt die Mächtigkeitsdifferenzen sowie die Lithologie an den Positionen I und II im Detail. Position I steht hier stellvertretend für die typische stratigraphische Abfolge im Bereich des Flusses Olenëk.

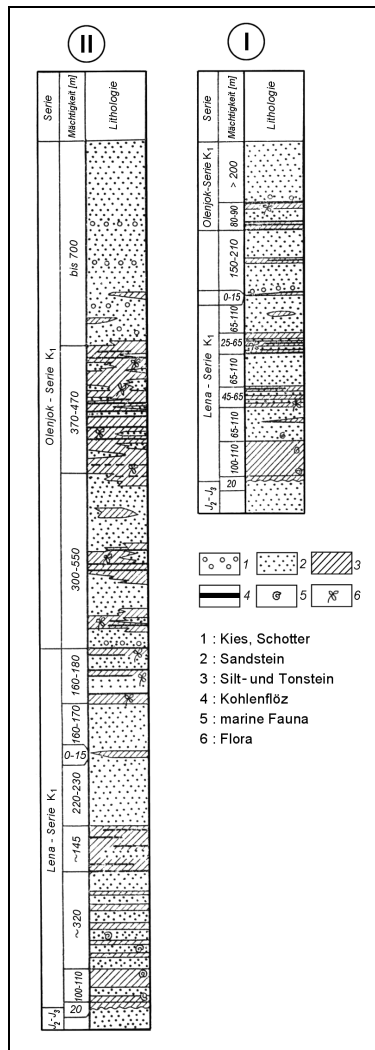


Abb. 4-67: Stratigraphie der Kreideablagerungen an den Positionen I und II (GLUŠINSKIJ, 1973b)

Die Unterkreideablagerungen werden durch zwei Serien, die Lena Serie und die Olenëk Serie aufgebaut. Beide Serien werden durch Sandsteine, Silt- und Tonsteine unterschiedlicher Mächtigkeit mit gelegentlich eingeschalteten Kohlenflözen gebildet. Die Mächtigkeiten der Serien nehmen, wie bereits erwähnt vom Bereich der Plattform in Richtung zum gefalteten Bereich deutlich zu. An Position I betragen sie ~1100 m, an Position II ~2800 m (s. Abb. 4-67).

In der Lagerstätte Tajmylyr tritt die Ukin-Folge auf. Die Ukin-Folge bildet den untersten Bereich der Olenëk Serie. Sie wird durch dunkelgraue Silt- und Tonsteine sowie durch graue und hellgraue, fein- bis mittelkörnige Sandsteine aufgebaut. Im Hangenden der Silt- und Tonsteine treten Kohlenflöze auf. Abb. 4-68 zeigt das lithologische Profil der Tajmylyr Lagerstätte.

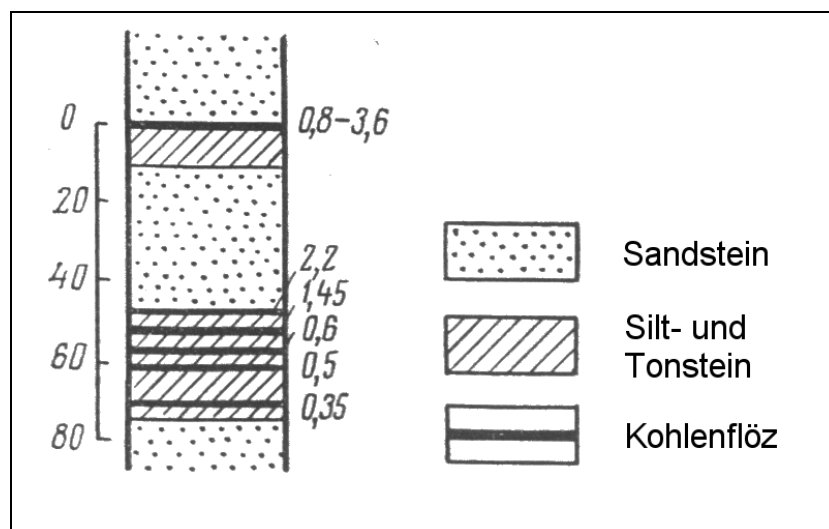


Abb. 4-68: Lithologisches Profil der Tajmylryr Lagerstätte (Ukin-Folge) (GLUŠINSKIJ, 1973b)

Nur das oberste Flöz wird als Tajmylryr Lagerstätte bezeichnet. Seine Mächtigkeit beträgt von 0,8 – 3,6 m. Die Flözlagerung ist schwachwellig mit einer sehr geringen Neigung ($< 1^\circ$) nach Norden. Es handelt sich um eine niedrig inkohlte Steinkohle (Flamm- bis Gasflammkohle) mit geringen Asche- und Schwefelgehalten. Die genauen Qualitätsdaten (Durchschnittswerte) sind in der Tab. 4-42 dargelegt.

Tab. 4-42: Qualitätsdaten des Humuskohlenflözes der Tajmylryr Lagerstätte (GLUŠINSKIJ, 1973b)

Schicht/ Folge	Wasser [%]	Asche (wf) [%]	Schwefel (wf) [%]	Flücht.Best. (waf) [%]	Brennwert (waf) [kcal/kg]	C _{org} (waf) [%]	H (waf) [%]	Teerausbeute (waf) [%]
Ukin-Folge	4,9	6,5	0,3	39,7	7640	78,9	5,2	11,6

Die Vorräte dieser Lagerstätte betragen insgesamt (A+B+C) 1228,7 Mio. t.

Die Tajmylryr Lagerstätte weist zusammen mit anderen Lagerstätten im Olenëk-Gebiet eine Besonderheit auf. In ihrem zentralen Teil tritt innerhalb des Humuskohlenflözes ein eingeschaltetes *Bogheadflöz* auf. Die Mächtigkeit dieses Flözes beträgt 0,2 – 0,65 m, es ist auf einer Fläche von 2,5 km² verbreitet. Die Vorräte (A+B+C) dieses Flözes betragen 1 Mio. t.

Im folgenden sind die Ergebnisse der chemischen, petrographischen, organisch geochemischen und palynologischen Untersuchungen dieses Flözes dargestellt.

4.10.3 Beprobung

Aus logistischen Gründen war es nicht möglich, die weit abgelegene Kohlenlagerstätte Tajmylyr aufzusuchen. Das untersuchte Probenmaterial wurde von russischen Kollegen zur Verfügung gestellt.

4.10.4 Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 4-43: Ergebnisse der Immediatanalysen, der Kohlenstoff- und Brennwertbestimmung sowie der Reflexionsmessungen des Boghead-Flözes der Tajmylyr Lagerstätte

Flöz	Proben-Nr.	Wasser (an)	Asche (wf)	Fl. Best. (waf)	C _{org} (waf)	H _o (an)	H _o (waf)	R _r
		[%]				[kJ/kg]		[%]
Boghead	148	1,8	3,6	88,2	77,7	34545	36503	"0,48"

Die Kohlenprobe des Boghead-Flözes weist einen äußerst geringen Wasser- und Aschegehalt auf. Entsprechend des festgestellten Gehaltes an organischem Kohlenstoff und des Brennwertes befindet sich die Kohle im Rang einer Flamm- bzw. einer Gaskohle. Die Ergebnisse der Reflexionsmessungen schwanken stark ($R_r = 0,25 - 0,8$), mit einem Mittelwert von $R_r = 0,48$. Die höheren Werte dürften hier den Rang der Kohle wiedergeben. Bei den niedrigen Werten ist eine Herabsetzung des Reflexionswertes durch eine Imprägnierung des Vitrinites durch inkohlungsabhängig gebildetes Bitumen, wie von PRANGE (1988), PICKEL & GÖTZ (1991) sowie GÖTZ (1994) beschrieben, wahrscheinlich.

Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen ist sehr hoch, was auf einen hohen Gehalt an Algen in der Kohle zurückzuführen ist.

4.10.5 Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen

Tab. 4-44 gibt den petrographischen Bestand der Probe 148 wieder.

Probe 148 ist geprägt durch einen extrem hohen Gehalt an Liptiniten (96 %), vornehmlich Alginit (94 %). Als weitere Vertreter der Liptinitgruppe treten noch vereinzelt Sporinit und Bituminit mit einem Gehalt von jeweils 1 % auf.

Die Gehalte der Vitrinite und Mineralkomponenten sind äußerst gering (1 % bzw. 0,6 %). Aus der Gruppe der Inertinite ist lediglich der Anteil an Micrinit erhöht (1,6 %), was darauf zurückzuführen ist, dass sich das Sekundärmineral Micrinit aus Alginit bildet. Bei der mikroskopischen Betrachtung unter weißem Auflicht sind die Micrinite deutlich als Umlagerung des Alginits zu erkennen.

Abb. 4-69 zeigt Probe 148 unter Blaulichtanregung. Hier sind die, unter Blaulichtanregung stark grüngelb fluoreszierenden Alginitanhäufungen gut zu sehen. An einigen Exemplaren im

zentralen rechten Teil des Fotos lässt sich ansatzweise der ursprüngliche tetraedrische Aufbau der Algen erkennen.

Tab. 4-44: Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen für das Kohlenvorkommen Tajmylyr (Probe 148 Boghead-Flöz)

Proben-Nr.	(Einheit)	148	Proben-Nr.	(Einheit)	148
Vitrinit	(Vol.-%)	1	Liptinit	(Vol.-%)	96
Telinit	(Vol.-%)	0	Sporinit	(Vol.-%)	1
Collotelinit	(Vol.-%)	0,4	Cutinit	(Vol.-%)	0
Vitrodetrinit	(Vol.-%)	0,6	Resinit	(Vol.-%)	0
Collodetrinit	(Vol.-%)	0	Alginit	(Vol.-%)	94
Corpogelinit	(Vol.-%)	0	Fluorinit	(Vol.-%)	0
Gelinit	(Vol.-%)	0	Bituminit	(Vol.-%)	1
			Exsudatinit	(Vol.-%)	0
Inertinit	(Vol.-%)	2,4	Liptodetrinit	(Vol.-%)	0
Fusinit	(Vol.-%)	0,2			
Semifusinit	(Vol.-%)	0	Minerale	(Vol.-%)	0,6
Macrinit	(Vol.-%)	0	Ton	(Vol.-%)	0
Micrinit	(Vol.-%)	1,6	Quarz	(Vol.-%)	0,6
Inertodetrinit	(Vol.-%)	0,6	Pyrit	(Vol.-%)	0
Sclerotinit	(Vol.-%)	0	unbest. Erz/Min.	(Vol.-%)	0

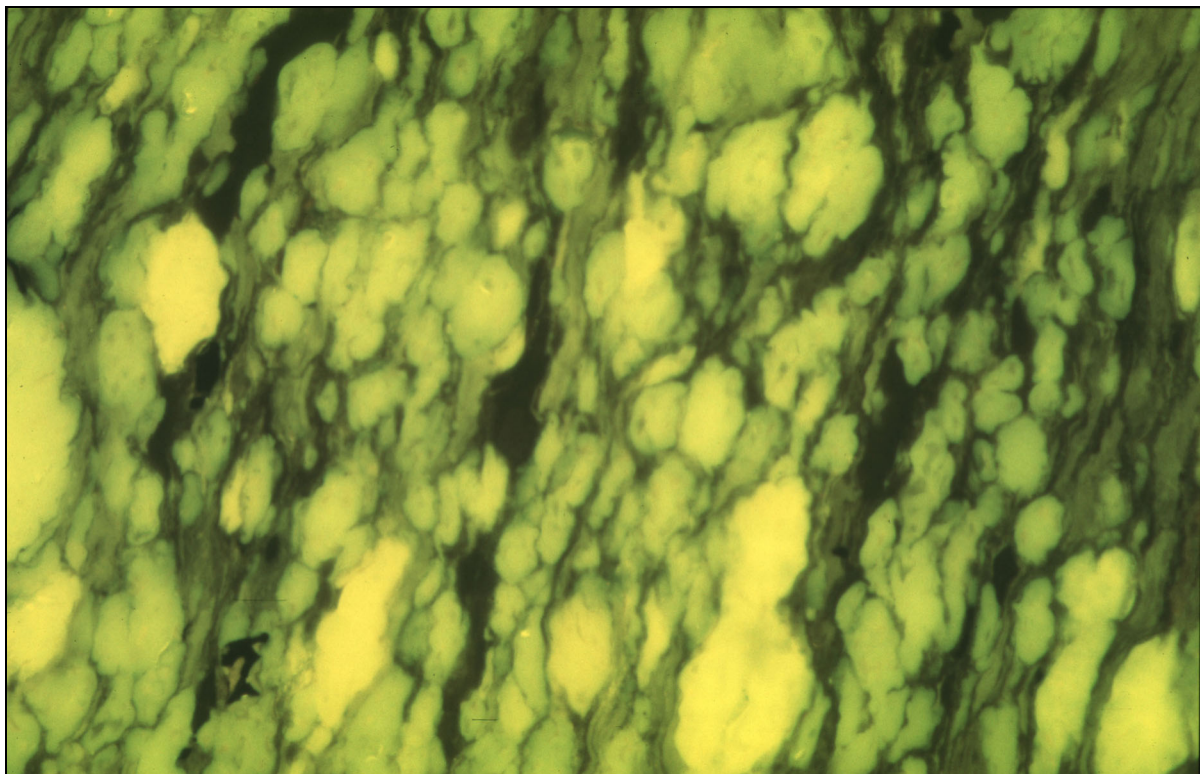


Abb. 4-69: Probe 148: Alginit unter Blaulichtanregung (Bildlängsseite entspricht 270µm)

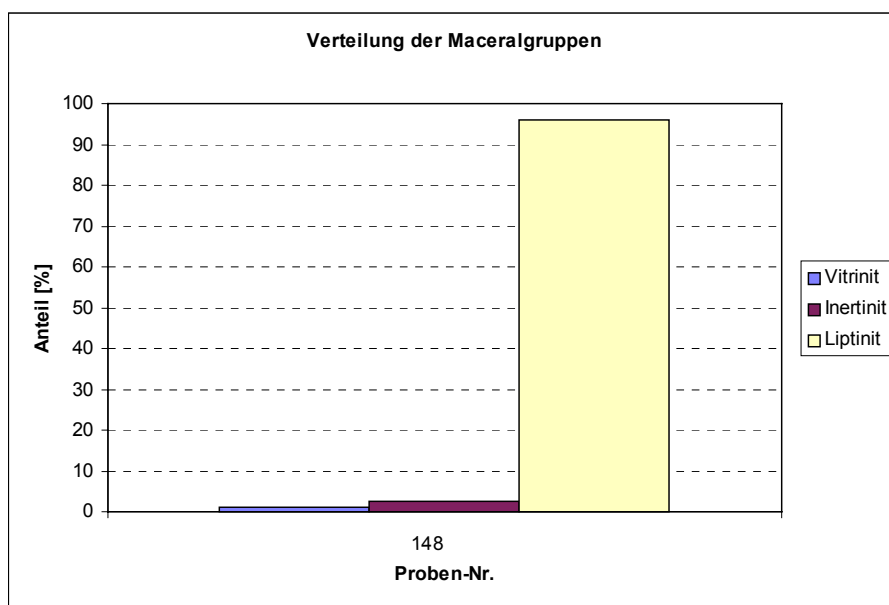


Abb. 4-70: Verteilung der Maceralgruppen in Probe 148

4.10.6 Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die Kohlen des Vorkommens Tajmylyr liefern Extraktausbeuten von 62,3 mg/g C_{org}. Der Hauptanteil des Extrakts entfällt auf die Gruppe der NSO-Verbindungen (39,8 mg/g C_{org}). Entsprechend dem Inkohlungsgrad dieser Kohlen sind die Extraktmengen gering. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass intakte Algenkörper, wie z.B. in Bogheadkohlen weniger Extrakt liefern als zersetzte (PICKEL, 1991).

Auf die Gruppe der Asphaltene entfallen 18,8 mg/g C_{org}, auf die Gruppe der Aromaten 2,5 mg/g C_{org} und auf die Gruppe der Alkane 1,2 mg/g C_{org}.

Tab. 4-45: Extraktmengen der Kohlenwasserstoffe; Lagerstätte Tajmylyr

Proben-Nr.	Extrakt	Extrakt	Alkane	Aromaten	NSO-Verb.	Asphaltene
	[%]	[mg/g C _{org}]				
148	4,8	62,3	1,2	2,5	39,8	18,8

Die gaschromatografische Untersuchung der Alkanfraktion von Probe 148 zeigt eine ungewöhnliche Verteilung der n-Alkane mit einem Maximum bei n-C₁₇ sowie einem Nebenmaximum bei n-C₂₅. Die Präsenz kurzkettiger n-C₁₅ bis n-C₁₇ Alkane ist als Indikator für den Input von Algen anzusehen (BRASELL et al., 1983; GELPI et al., 1970; HOLLERBACH, 1985; TISSOT & WELTE, 1984; VOLKMANN & MAXWELL, 1986; VOLKMANN, 1988). Hier zeigt sich eine Korrelation zur Maceralanalyse, die extrem hohe Gehalte an Algenit erbrachte.

Das Pri/n-C₁₇-Verhältnis zeigt einen Wert <1 und indiziert somit ebenfalls das Vorhandensein von Algen (ILLICH, 1983).

Tab. 4-46: Organisch-geochemische Reife- und Millieuparameter; Lagerstätte Tajmylyr

Proben-Nr.	Cmax	CPI(17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	Cykl. Diterpane	Hopane
						[mg/kg]	
148	17 (25)	1,2	5,5	0,4	0,2	0,0	0,0

4.10.7 Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen

Aufgrund des hohen Alginitgehaltes ließ sich Probe 148 nicht mazerieren. Untersuchungen auf weitere Palynomorphe ließen sich daher nicht durchführen. Sie sind aber auch nicht unbedingt nötig, da durch den hohen Alginitgehalt das Ablagerungsmilieu eindeutig bestimmt ist.

4.10.8 Faziesmodell

Auf die Ergebnisse der petrographischen Untersuchung ist im folgenden das Faziesmodell nach MUKHOPADHYAY (1986) angewandt.

Aufgrund der hohen Alginitgehalte ergibt sich ein extrem nasser Bildungsbereich (offener Moorsee) für die untersuchten Kohlen der Probe 148.

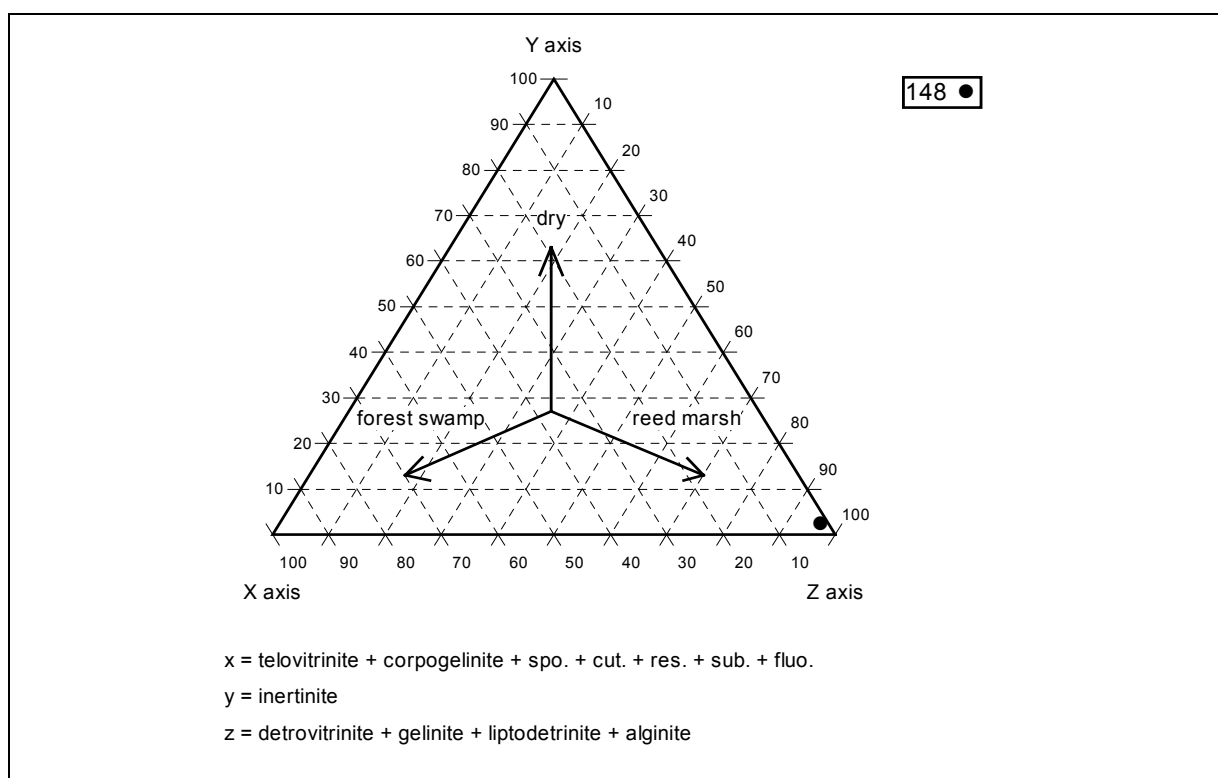


Abb. 4-71: Bildungsbereich der Kohleprobe 148 nach dem Faziesmodell von MUKHOPADHYAY (1986)

5 Gesamtbetrachtung Lena-Kohlen-Becken

Im folgenden werden die Einzelergebnisse der verschiedenen Kohlenlagerstätten und –vorkommen im großräumigen Zusammenhang betrachtet. Die nachfolgenden Graphiken zeigen wesentliche Charakterisierungsparameter im Überblick.

Anhand der Reflexionsgrade und den ermittelten Brennwerten wird eine Zunahme des Inkohlungsgrades von Westen nach Osten deutlich (s. Abb. 5-1). Die Inkohlungsgrade der untersuchten Kohlen reichen von Mattbraunkohlen im Westen bis zu Gasflammkohlen im Osten.

Der Aschegehalt der Kohlen des Lena Beckens ist generell gering und reicht von 4-15 %. Im Bereich Žigansk werden jedoch im Mittel über 20 % erreicht. Es ist auch hier eine Tendenz in der Abnahme des Aschegehaltes von West nach Ost erkennbar.

Die Ergebnisse der Elementaranalyse, der Untersuchung der Aschehauptkomponenten sowie der Spurenelemente sind in Tab. 10-3a und Tab. 10-3b dargestellt. Der Schwefelgehalt der Kohlen ist im ganzen Becken äußerst gering und beträgt in vielen Fällen weniger als 0,3 %. Eine Ausnahme bildet das am weitesten im Westen gelegene Vorkommen mit dem geringsten Inkohlungsgrad (Kirov). Hier beträgt der Schwefelgehalt der Kohlen 1 %.

Die Extraktausbeuten sind bei den höher inkohlten Kohlen in der Regel größer. Es herrschen Asphaltene und NSO-Verbindungen in den Extrakten vor. Bei den höher inkohlten treten erhöhte Anteile an Aromaten auf (Lagerstätte Sangar) s. Abb. 5-2.

Die aus der gaschromatographischen Untersuchung der Alkanfraktion bestimmten organischen-geochemischen Reifeparameter, Biomarker und Milieuparameter bestätigen für den Großteil der Kohlen die reflexionsmikroskopisch festgestellten Inkohlungsstadien und zeigen für einen Großteil der Kohlen teilweise oxidierende Ablagerungsbedingungen.

Bei den Kohlen des Lena-Beckens handelt es sich fast ausschließlich um Humuskohlen. Nur im Norden des Beckens treten gelegentlich einzelne Sapropelkohlenlagen (Boghead-Kohlen) innerhalb der Humuskohlen auf.

Die geringer inkohlten Plattform-Kohlen weisen bzgl. der Maceralgruppenzusammensetzung mehr mineralische Komponenten und Liptinite auf. Es dominieren generell Liptodedrinit, Cutinit und Resinit. Anhand der petrographischen Ergebnisse und deraus folgenden abgeleiteten Faziesanalyse wurden die Kohlen des Beckens großteils aus baumartigen und krautigen Pflanzen in oberjurassischen und unterkretazischen Waldmooren gebildet. Zusätzlich durchgeführte palynologische Untersuchungen zeigten eine relative Artenarmut der Moorvegetation, die nach derzeitigen Kenntnisstand im wesentlichen aus Gymnospermen (Koniferen und Taxaceen) bestand.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kohlen des Lena-Beckens trotz gewaltiger Entfernungen zueinander unter sehr ähnlichen Bildungsbedingungen entstanden sind.

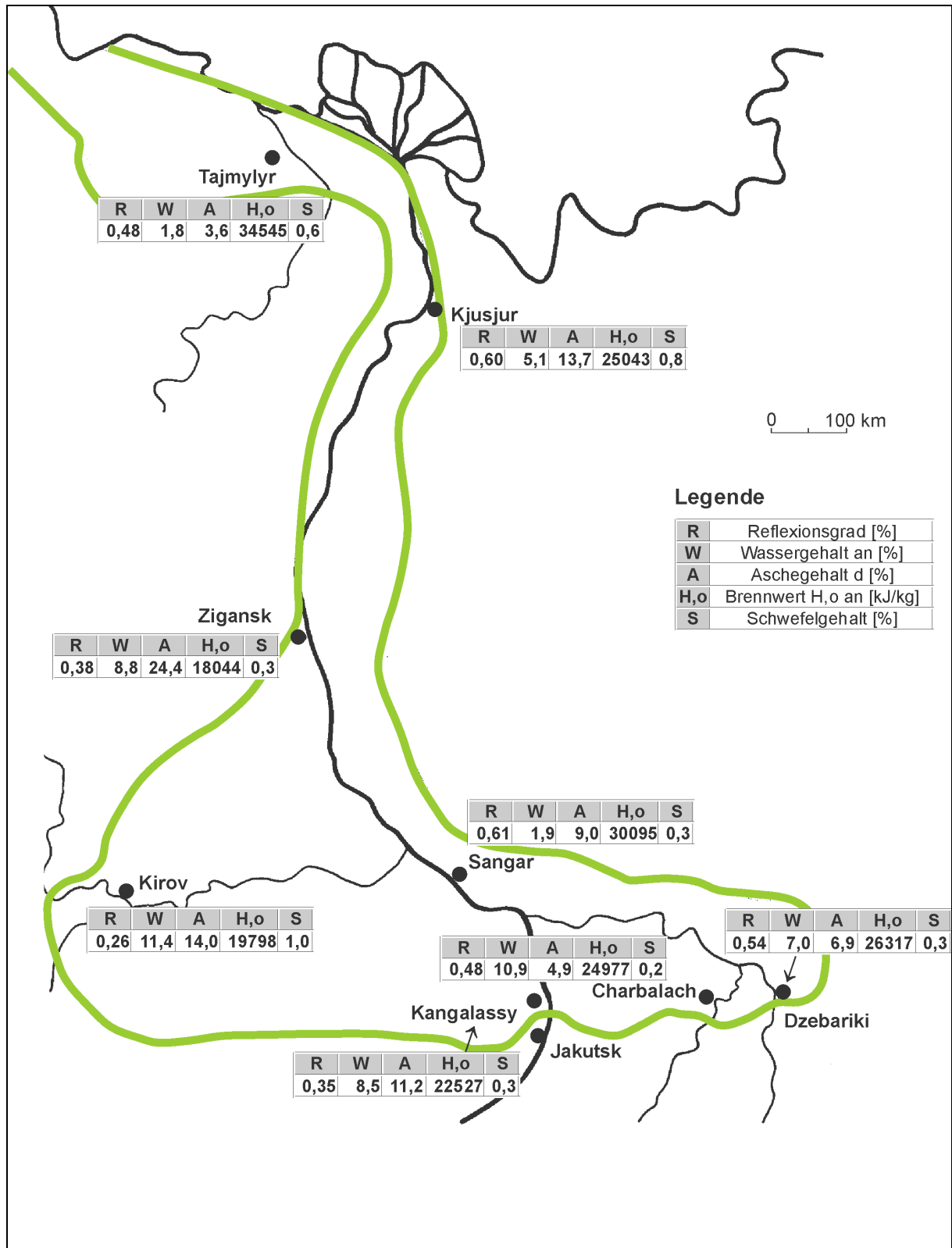


Abb. 5-1 Zusammenstellung der untersuchten Kohlenlagerstätten des Lena-Beckens mit ausgewählten Parametern

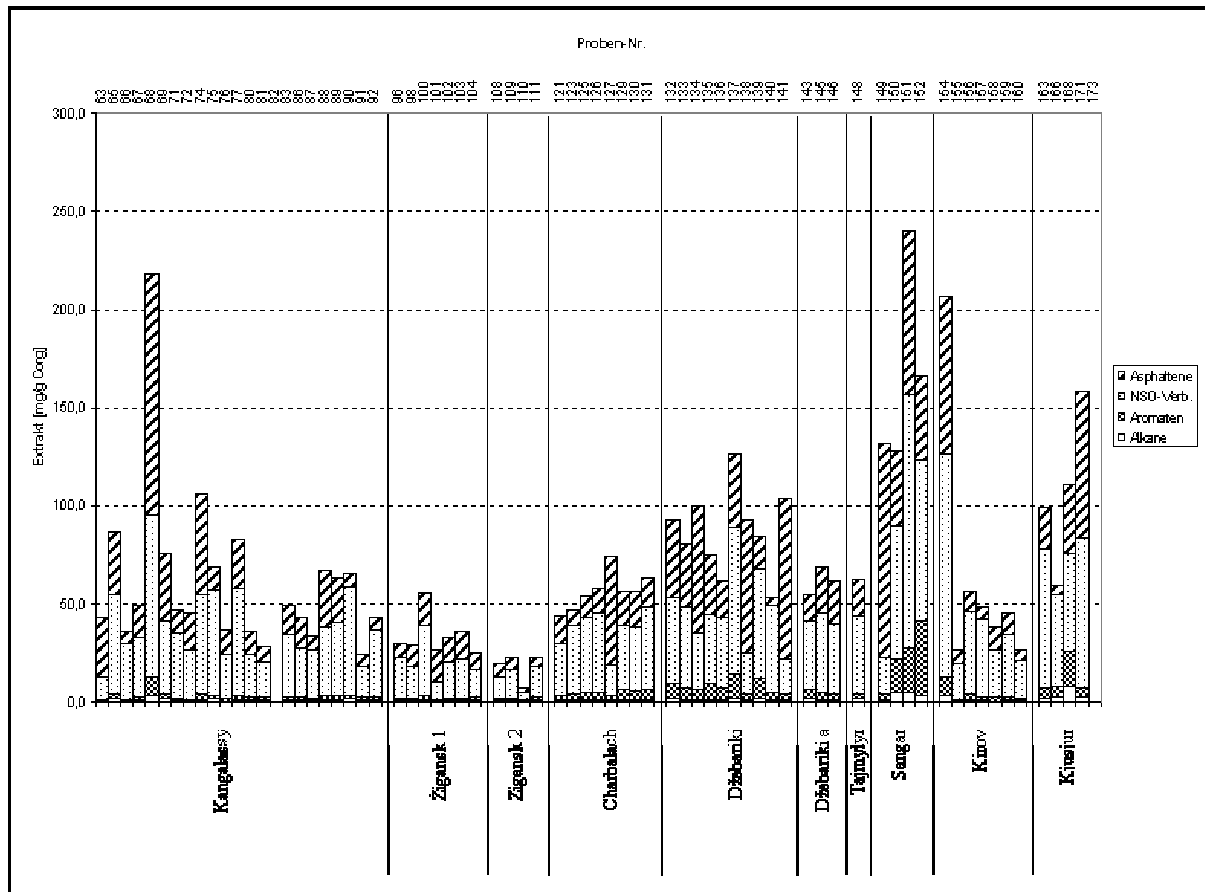


Abb. 5-2 Zusammenstellung der Extraktmengen - alle untersuchten Proben der Lagerstätten

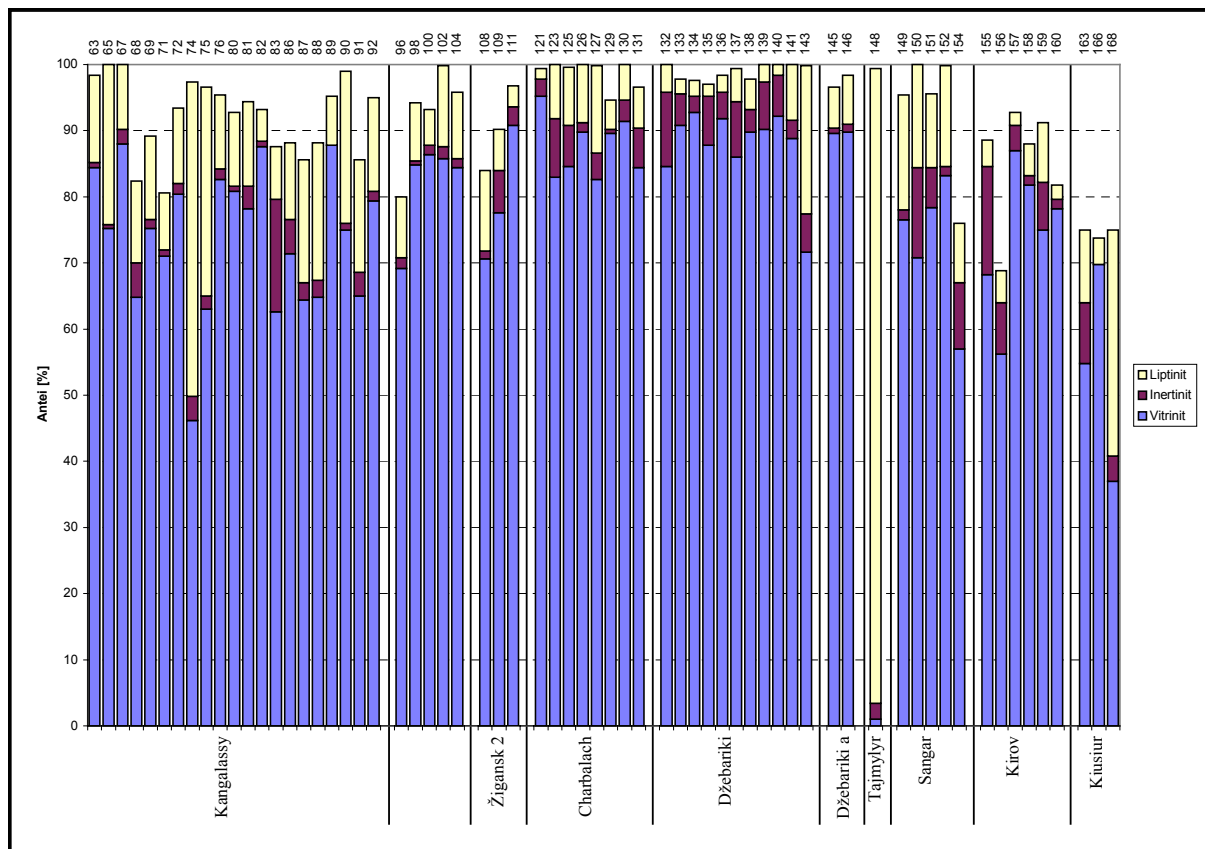


Abb. 5-3 Zusammenstellung der Maceralgruppen – alle untersuchten Proben der Lagerstätten

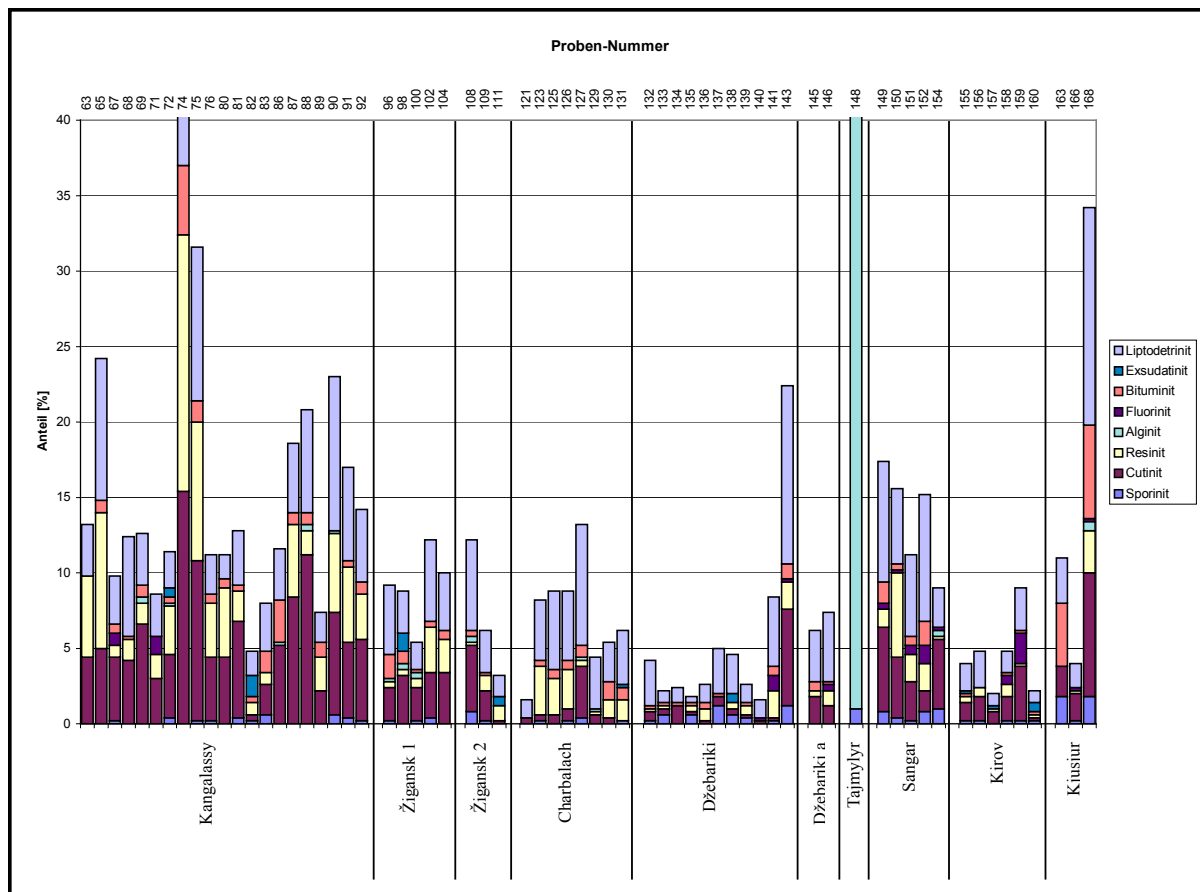


Abb. 5-4 Zusammenstellung der Liptinitmacerale – alle untersuchten Proben der Lagerstätten

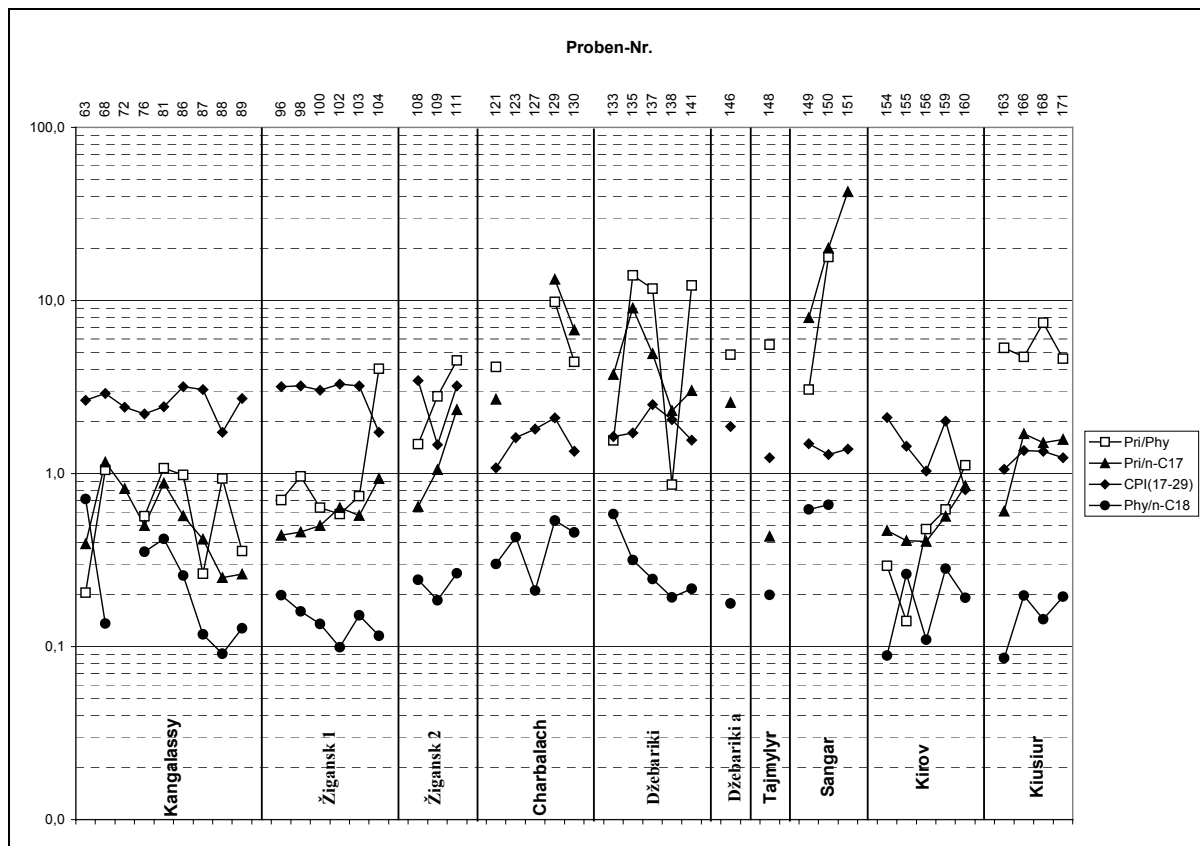


Abb. 5-5 Zusammenstellung der Millieuparameter – alle untersuchten Proben der Lagerstätten

Die westlichen Kohlenvorkommen entstanden unter Plattform-Bedingungen am Rande des Sibirischen Kratons und zeichnen sich demzufolge durch weitgehend flache Lagerung und aufgrund geringer Versenkung durch geringere Inkohlungsgrade bei größeren Flözmächtigkeiten aus. Die östlichen Kohlen bildeten sich in der Vorsenke des Werchojansker Gebirges, eines mesozoischen Orogens, das durch die Kollision eines Mikrokontinents mit dem Sibirischen Kraton, als Gegenbewegung zur Öffnung des Atlantiks entstand. Aufgrund der tieferen Versenkung sind diese Kohlen stärker inkohlt und in der Nähe des Gebirges auch gefaltet. Die Inkohlungsgrade der untersuchten Kohlen reichen, wie bereits erwähnt vom Mattbraunkohlen- bis zum Gasflammkohlenstadium und nehmen von Westen nach Osten in Richtung des Zentrums der Werchojansker Vortiefe zu.

Die große Verbreitung der Kohlen des Lena-Beckens, ihre über große Gebiete flachen, oberflächennahen Lagerungsverhältnisse (Koeff.: 0,8 - 4,5) sowie ihre Energieinhalte (H_o : 18 - 34·10³ MJ/t), meist niedrige Asche- (4 – 15 %) und Schwefelgehalte (0,2 – 1 %) machen sie zu einer interessanten Ressource, die sich für die Strom- und Wärmeerzeugung gut eignet.

Die derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (geringer lokaler Bedarf, unterentwickelte Infrastruktur) stellen jedoch, zusammen mit den schwierigen klimatischen Verhältnissen, ein ernsthaftes Hindernis für eine verstärkte Nutzung dar. Dies könnte sich jedoch ändern, wenn sich der begonnene wirtschaftliche Aufschwung Jakutiens auch auf andere ostsibirische Gebiete überträgt.

6 Potentielle Umweltrisiken in Jakutien und deren Untersuchung

Als anthropogene Quellen für potentielle Umweltrisiken sind insbesondere die Bereiche des Bergbausektors anzusehen. Hierzu zählen:

- Goldbergbau,
- Diamantenbergbau,
- Geophysikalische Erkundungen unter Verwendung von Nuklearsprengstoffen.

Umweltrelevante Daten zum Emissionspotential dieser Bergbauaktivitäten sind äußerst rar. Die durchgeführten Expeditionen im Rahmen der Untersuchung der Kohlenlagerstätten boten die Möglichkeit zur Entnahme von Wasser- und Sedimentproben aus verschiedenen Flüssen. Das Probenmaterial konnte anschließend zur Klärung des Einflusses der oben genannten Aktivitäten untersucht werden. Die Untersuchungen haben einen orientierenden Charakter. Ziel war es, erste Anhaltspunkte über das Ausmaß der Umweltbelastungen zu erhalten.

6.1 Umweltrisiko Goldbergbau

Gold kommt in der Natur aufgrund seiner chemischen Inertheit vorwiegend gediegen vor. Es wird in Form von Berggold (primäre Lagerstätte) oder Seifengold (sekundäre Lagerstätte) gewonnen. Berggold tritt häufig in Form von Gold-Quarz-Gängen auf, die als Spätausscheidungen aus magmatischen Schmelzen entstehen. Seifengold entsteht durch Verwitterung von Berggoldvorkommen, dem Transport und der gravitativen Anreicherung der feinen Goldpartikel in Bächen und Flüssen.

Der größere Teil (ca. 75 %) des in Jakutien geförderten Goldes wird als Seifengold gewonnen (WEIN, 1999). Die Gewinnung von Seifengold erfolgt im Tagebau. Hierbei werden die mehr oder weniger feinen Goldpartikel gewonnen, die sich in den Sedimenten früherer oder rezenter Flüsse angereichert haben. Zur Gewinnung werden häufig Schwimmbagger eingesetzt. Diese fördern die Flusssedimente im Nassschnitt z.B. mit Eimerketten. Hier passieren die Sedimente Klassifizierungs- und Siebeinrichtungen um das grobe kiesige Material vom Feinen zu trennen. Das feine Material wird dann im Wasserstrom über Metall- oder Gummiplatten mit Riffeln geleitet, in denen die feinen Goldpartikel zusammen mit anderen schweren Mineralien zurückbleiben. Diese Schwerefraktion wird entnommen und weiterbehandelt. Das gesamte sonstige Material wird hinter dem Schwimmbagger verkippt.

Die Gewinnung von Berggold erfolgt meist im Tiefbau, wobei der Bergbau den goldhaltigen Gängen in die Tiefe folgt. Das goldhaltige Gestein wird unter Tage gebrochen, an die Oberfläche befördert, in Mühlen zerkleinert und je nach Zusammensetzung weiteren Aufbereitungsschritten zugeführt.

Während bei der Berggoldgewinnung im Tiefbau Landschaftsveränderungen meist nur lokal in Form von Halden oder Absatzbecken auftreten, ist diese bei der Seifengoldgewinnung

lateral wesentlich stärker ausgedehnt und über Kilometer entlang der Flüsse zu verfolgen. Die Aufarbeitung und Umgestaltung ganzer Flusstäler bedingt eine ausgeprägte Veränderung der natürlichen Hydrologie, Hydrochemie und Hydrobiologie des Gewässers.

Bedeutende Umweltrisiken bei der weiteren Aufbereitung treten sowohl bei der Berggold- als auch bei der Seifengoldgewinnung auf. Zur Extraktion feinsten Goldpartikel aus dem gemahlten Gestein (Berggoldgewinnung) sowie aus der Schwerefraktion (Seifengoldgewinnung) kommen weltweit zwei Verfahren zum Einsatz:

- die Amalgamation mit Quecksilber und
- die Laugung mit Cyanid.

6.1.1 Amalgamation mit Quecksilber (Hg)

Historischer Hintergrund

Die Amalgamation mit Quecksilber ist ein sehr altes Verfahren zur Gewinnung von Edelmetallen. Es beruht auf der Tatsache, dass verschiedene Metalle bei Kontakt mit Quecksilber mit diesem eine Verbindung eingehen und ein Amalgam bilden. Wird dieses Amalgam später erhitzt, so verflüchtigt sich der Hg-Anteil und zurück bleibt das Metall.

Die Nutzung des Verfahrens geht wahrscheinlich auf die Zeit der Phönizier und Karthager zurück. Auch den Römern war das Amalgamationsverfahren bekannt (MELLOR, 1952). Um 77 n. Chr. zum Beispiel importierten die Römer 5 t Hg/a von Spanien für die Gold-Amalgamation in Italien. Allerdings wurde nach weniger als 100 Jahren das Verfahren für das Hauptland Italien verboten (D'ITRI & D'ITRI, 1977; NRIAGU, 1979). Der Höhepunkt der Nutzung des Amalgamationsverfahrens dürfte mit seiner Einführung in die Silberbergwerke Mexicos, Perus und Boliviens gegen Ende des 16. Jahrhunderts erreicht worden sein. Zwischen 1700 und 1820 verbrauchten die Silberminen der sogenannten „Neuen Welt“ 100.000 t Hg (BRADING & CROSS, 1972). Auch in Nordamerika wurde die Technologie im großen Maßstab zur Goldgewinnung eingesetzt. Hier lag der Verbrauch für den Zeitraum von 1850-1900 bei 70.000 t Hg (NRIAGU, 1994). Nach der Entwicklung der Cyanid-Laugung um 1880 und deren weltweiten Einführung zur Gewinnung von Gold aus Armerzen um 1900 verschwand die Hg-Amalgamations-Methode in vielen Ländern weitgehend. Seit den 70er Jahren wird das Verfahren in einer ganzen Reihe von tropischen Ländern (Brasilien, Venezuela, Kolumbien, Philippinen, Indonesien, Tansania) hauptsächlich von Kleinbergbautreibenden erneut intensiv angewendet.

In Russland verlief die Entwicklung etwas anders. Hier wurde das Amalgamationsverfahren von 1870 an im industriellen Maßstab eingesetzt (ROSLYAKOV & KIRILLOVA, 1995). Aufgrund hoher Hg-Kontaminationen in den traditionellen Gold-Bergbaugebieten, Fällen von Hg-Vergiftungen und einer zunehmenden Sterberate unter den Arbeitern verbot die Hauptabteilung für Edelmetalle und Diamanten des Ministerialkabinetts der UdSSR vom 1.1.1989 an die Verwendung des Amalgamationsverfahrens an Bagger- und Wasch-

einrichtungen. Am 1.1.1990 trat ein weiteres Gesetz in Kraft, das die Verwendung des Verfahrens auch in Fabriken und Extraktionseinrichtungen untersagte.

Im Gegensatz zum offiziellen Verbot findet Gold-Amalgamation aber weiterhin statt, insbesondere zur Endbehandlung der Schwerekonzentrate (KOLODEVNA, 1994).

Amalgamationstechniken

Die Amalgamationstechniken sind recht einfach und unterscheiden sich weltweit meist nur im Maßstab ihrer Anwendung. Das generelle Ziel ist es, die sehr feinen Goldpartikel selektiv an das Quecksilber zu binden. Je nachdem, ob es sich um die Goldgewinnung aus Festgesteinen (Berggold) oder Lockergesteinen (Seifengold) handelt, variiert die Verfahrensweise etwas.

Verfahrensweise bei der Berggoldgewinnung:

- Gewinnung des goldhaltigen Gesteins, Aufmahlung,
- Vermischen des Mahlgutes mit Hg, (in Russland teilweise direkte Zugabe in die Mühle), gelegentlich auch Spülen des Gesteinsmehls mit Hilfe von Wasser über amalgamierte Bleche,
- Abtrennen des Amalgams vom Gesteinsmehl durch z.B. Auswaschen in Pfannen (Dichtentrennung),
- Abpressen des überschüssigen Quecksilbers aus dem Amalgam,
- Erhitzen (Rösten) des Amalgams über dem offenen Feuer oder in Retortenöfen.

Verfahrensweise bei der Seifengoldgewinnung:

- Ausbaggern der goldhaltigen Flussedimente,
- Abtrennen der gröberen Fraktionen durch Siebe und Rütteltische,
- Spülen der feinen Fraktion über geneigte, geriffelte Bleche oder Gummimatten in denen die schweren Anteile zurückbleiben,
- Entnahme der Schwerefraktion und Vermengen mit Hg,
- Abtrennen des Amalgams vom Sediment z.B. durch Auswaschen in Pfannen (Dichtentrennung),
- Abpressen des überschüssigen Quecksilbers aus dem Amalgam,
- Erhitzen (Rösten) des Amalgams über dem offenen Feuer oder in Retortenöfen zur teilweisen Rückgewinnung des eingesetzten Quecksilbers.

Hg-Emissionen

Im Rahmen der Amalgamation treten bei den verschiedenen Arbeitsschritten Hg- Einträge in die Umwelt auf. Nach Untersuchungen von PFEIFFER & LACERDA (1988) im Seifengold-Distrikt Madeira River, Brasilien betragen diese Emissionen:

- 50 – 60 % Hg-Verlust in die Atmosphäre beim Rösten (ohne Verwendung von Retortenöfen),
- 5 % Hg-Verlust in die Atmosphäre durch Verdunstung bei den verschiedenen Arbeitsschritten,
- 40 – 50 % Hg-Verlust in das Gewässer durch den Amalgamationsprozess.

Bei der Gewinnung von Berggold durch Amalgamation sind die Hg-Verlustanteile in die Atmosphäre noch größer, sie betragen bis zu 83 % des Gesamtverlustes, 13 % verbleiben im Abraum (PFEIFFER & LACERDA, 1988; HACON, 1991; SILVA et al., 1990; DNPM, 1989).

Wird das Amalgam nicht über dem offenen Feuer sondern in speziellen Retortenöfen erhitzt, kann ein Großteil des Amalgams zurückgewonnen werden. Bei Untersuchungen von FARID et al. (1991) ließen sich die Hg-Verluste beim Rösten von 70 % (ohne Retortenofen) auf durchschnittlich 20 % (mit Retortenöfen) senken.

Nach LACERDA & SALOMONS (1998) betragen die Gesamtverluste von Hg bei der Produktion von 1 kg Gold weltweit durchschnittlich 1 - 1,7 kg Hg.

Verdampftes Hg liegt in der Atmosphäre als Hg^0 (dampfförmig und partikulär) vor. Ein kleiner Teil davon reagiert in Anwesenheit von Ozon und Wasserdampf und unter Einfluss des Sonnenlichtes weiter zu Hg^{2+} entsprechend untenstehender Gleichung (BROSSET & LORD, 1991):

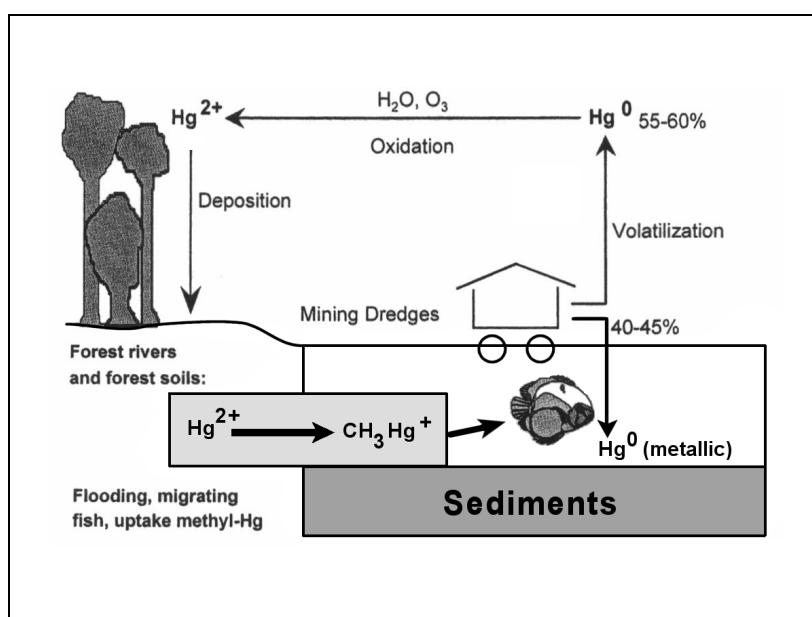
$$\text{Hg}^0 + \text{O}_3 + 2 \text{H} \rightarrow \text{Hg}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$$


Abb. 6-1 Verbreitungspfade von in die Umwelt entlassenem Hg (verändert nach LACERDA & SALOMONS, 1998)

Luftbewegungen sorgen für eine regionale Verbreitung. Beide Hg-Formen werden durch Regen aus der Atmosphäre entfernt und terrestrischen und aquatischen Ökosystemen zugeführt, in denen ferner die Möglichkeit zur Bildung von stark toxischem Methyl-Quecksilber (CH_3Hg^+) aus Hg^{2+} besteht, welches sich in der Nahrungskette anreichert (Abb. 6-1).

Durch Waschprozesse in Flüsse eingebrachtes Hg liegt ebenfalls als metallisches Hg^0 vor. Es ist unlöslich, reagiert praktisch nicht unter normalen oxidischen Bedingungen (FITZGERALD et al., 1991) und zeigt eine geringe Neigung zur biologischen Aufnahme (TAISAYEV, 1991).

Die Verteilung des in die Flüsse eingebrachten Quecksilbers hängt stark von der eingesetzten Technologie ab. In den Fällen, bei denen das Hg-belastete Sediment direkt in die Flüsse abgegeben wird, erfolgt der Transport schnell und die Verteilung ist weitreichend. Wird das Hg-belastete Sediment oder Gesteinsmehl in spezielle Abraumbekken eingeleitet, so ist der Weitertransport oft nur in Zusammenhang mit der Erosion dieser Becken z.B. durch intensive Niederschläge oder Frühjahrsschmelzwässer gegeben.

6.1.1.1 Untersuchungsmethodik und –gebiet

Um eine mögliche Hg-Belastung der Flusssedimente zu untersuchen, wurden insgesamt 14 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Aldan, Wiljuj und Marcha entnommen. Die Proben wurden in PE-Flaschen verpackt nach Deutschland transportiert und bis zur Untersuchung tiefgefroren gelagert.

Als Untersuchungsverfahren wurde ein temperaturgesteuertes Pyrolyse-Verfahren (TCP) gewählt. Bei dieser Methode durchläuft die unbehandelte Probe (hier 3 g Sediment) nacheinander verschiedene Temperaturbereiche, enthaltene Hg-Bindungsformen werden zeitlich getrennt freigesetzt und mit einem nachgeschalteten Atom-Absorptions-Spektrometer (hier Perkin Elmer AAS 3030) detektiert. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens findet sich bei BIESTER (1994), BIESTER & NEHRKE (1997), BIESTER & SCHOLZ (1997) sowie BIESTER et al.(1997).

Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber einer konventionellen Untersuchung (Lösung in Königswasser, Bestimmung mit Kaltdampftechnik) besteht darin, dass unterschiedliche Hg-Bindungsformen (Hg^0 , HgS , matrixgebundenes Hg) und deren Anteile bestimmbar sind. Nachteilig ist die etwas geringe Nachweisgrenze von 0,1 ppm.

Abb. 6-2 zeigt die Lage der Beprobungspunkte sowie potentiell goldhöfliche Gebiete und bekannte Abbaugelände in Jakutien (s. auch Anlage 2 bis Anlage 7). Die genauen Lagekoordinaten sowie weitere Informationen zu den Beprobungspunkten finden sich im Anhang in Tab. 10-11.

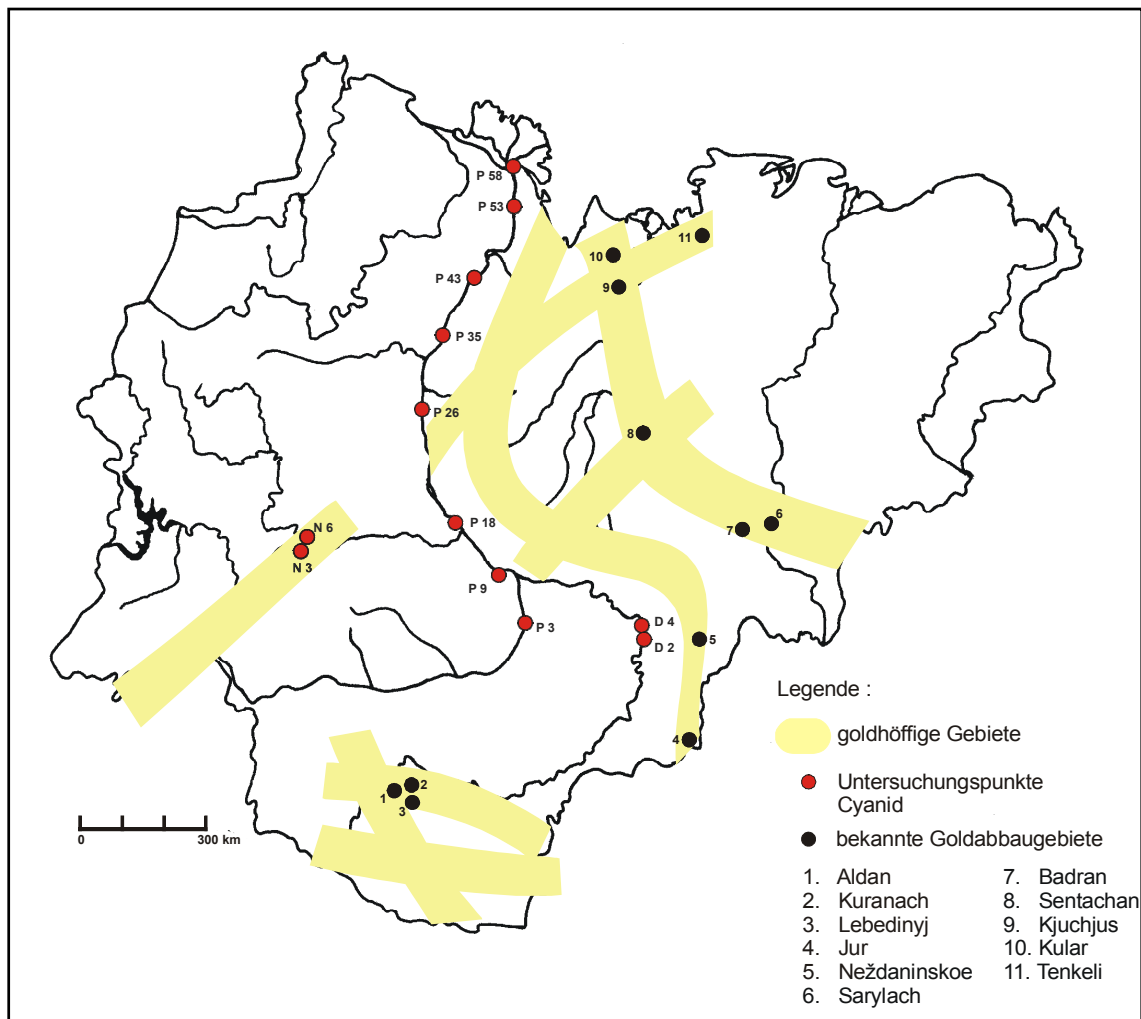


Abb. 6-2 Lage der Untersuchungspunkte für Quecksilber

6.1.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Hg-Untersuchungen sind in Tab. 6-1 dargestellt.

Tab. 6-1 Ergebnisse der Hg-Untersuchungen der Flusssedimente

Proben-Nr.	Fluss	Hg [mg/kg]	Proben-Nr.	Fluss	Hg [mg/kg]
P03	Lena	< 0,1	P55	Lena	< 0,1
P07	Lena	< 0,1	N02	Wiljuj	< 0,1
P18	Lena	< 0,1	N07	Marcha	< 0,1
P25	Lena	< 0,1	N12	Wiljuj	< 0,1
P27	Lena	< 0,1	D03	Aldan	< 0,1
P32	Lena	< 0,1	D04	Aldan	< 0,1
P33	Lena	< 0,1	D05	Aldan	< 0,1
P43	Lena	< 0,1	D09	Aldan	< 0,1

In keiner der untersuchten Sedimentproben konnten Hg-Belastungen festgestellt werden, die über der instrumentell bedingten Nachweisgrenze von 0,1 ppm (0,1 mg/kg) lagen.

Daten über den Goldbergbau bzw. über Hg-Belastungen in Sibirien sind aufgrund des staatlichen Verbots für die Veröffentlichung von derartigen Informationen äußerst selten.

Untersuchungsergebnisse über Hg-Kontaminationen in sibirischen Flusssedimenten liegen aus dem Chita Oblast (südlich an Jakutien angrenzend) von LAPERDINA et al. (1995, 1996) und von TUPYAKOV et al. (1995) sowie aus der Republik Burjatien von TAISAYEV (1991) und aus dem Krasnojarsk Krai von ROSLYAKOV & KIRILLOVA (1995) vor.

Hintergrundwerte für Hg-Gehalte in Flusssedimenten Sibiriens liegen entsprechend der nachfolgenden Autoren im Bereich von 0,01 - 0,18 mg/kg (ANOSHIN et al., 1995; LAPERDINA et al., 1995, 1996; ROSLYAKOV & KIRILLOVA, 1995).

Die hier untersuchten Sedimente aus den Flüssen Lena, Aldan, Wiljuj und Marcha befinden sich im gleichen Intervall und sind demzufolge primär als nicht belastet einzustufen.

Quecksilbergehalte in Sedimenten von bergbaulich beeinflussten Flüssen liegen höher und variieren stärker. LAPERDINA et al. (1995, 1996) stellten bei ihren Untersuchungen im Chita Oblast Hg-Werte von 0,01 - 54,2 mg/kg fest. TAYAYEV (1991) fand bei Untersuchungen in der Republik Burjatien Hg-Gehalte von 1,0 - 5,0 mg/kg und ROSLYAKOV & KIRILLOVA (1995) stellten Hg-Konzentrationen von 0,035 - 3 mg/kg in den Sedimenten des bergbaulich beeinflussten Boguny Flusses im Krasnojarsk Krai fest.

Diese hohen Gehalte in Flusssedimenten wurden in der unmittelbaren bis näheren Umgebung der Abbaue festgestellt. Daten über weiter flussabwärts gelegene Bereiche liegen nicht vor. Untersuchungen von PFEIFFER et al. (1989 a, b); und MALM (1991) im Madeira Fluss in Brasilien zeigen hohe Konzentrationen in den Sedimenten in der Nähe der Schwimmbagger-Abbaue (bis zu 157 mg/kg), die aber schon wenige Kilometer flussabwärts auf Hintergrundwerte (< 0,04 mg/kg) zurückgehen. Eine ähnliche Verteilung wird auch für den Lederberg River, Australien von BYCROFT et al. (1982) berichtet. Nach ANDRADE et al. (1988) ist die Verbreitung von eingetragenen Hg in kleinen Flüssen noch beschränkter. Bereits einige hundert Meter flussabwärts der Quelle wurden Hintergrundkonzentrationen angetroffen.

In Flusssysteme eingetragenes metallisches Hg⁰ zeigt demnach eine geringe Mobilität. Hierfür scheint die große Dichte von 13,6 g/cm³ und die Fähigkeit zur Amalgamation anderer im Fluss vorhandener Metalle verantwortlich zu sein. MALM et al. (1993) fanden im Madeira Fluss Amalgam-Partikel, die bis zu 17 % Au, 0,3 % Cd und 0,08 % Cu enthielten und somit um Größenordnungen höher lagen als die Hintergrundwerte dieser Metalle.

Ein deutlich weiter reichender Transport scheint durch die Bindung von Hg an Schwebpartikel möglich zu sein. MÜLLER (1993) untersuchte den unteren Teil des Tabajos Flusses in SE Amazonien und fand Beweise für einen über mehrere hundert Kilometer reichenden Transport von Hg durch Schwebpartikel. Eine weitere Transport- und Verteilungsmöglichkeit für Hg besteht auch durch die Bildung von gut löslichem und stabilem Methyl-Hg. Eine große Anzahl von Mikroorganismen wie z.B. Streptokokken, Lactobacilli und verschiedene Pilzkulturen sind in der Lage Hg zu methylieren, wobei Methyl-Hg nur durch anaerobe Bakterien gebildet wird (ROBINSON & TUOVINEN, 1984).

Quecksilber methylierende Mikroorganismen treten in vielen Umweltsubstraten auf und sind nach FURUTANI et al. (1980) sogar im Verdauungstrakt von Mensch und Fisch zu finden.

Die Untersuchungen im Chita Oblast zeigten keine signifikant erhöhten Hg-Konzentrationen in gelöster Form in den Gewässern. LAPERDINA et al. (1999) gehen deshalb davon aus, dass die tiefen Wassertemperaturen im Sommer, das völlige Durchfrieren vieler Gewässer und Reservoirs im Winter sowie eine geringe biologische Aktivität die Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Methyl-Hg in Sibirien im Vergleich zu wärmeren Klimaten reduzieren.

Der Seifengoldabbau wird in vielen Fällen durch Schwimmbagger realisiert, wobei der Abbau in abgetrennten Bereichen stattfindet. Für die Amalgamation eingesetztes Hg wird am Boden des Reservoirs unter dem durchgearbeiteten Schotter begraben, verbleibt dort unter anaeroben Bedingungen und tiefen Temperaturen und stellt eine dauerhafte Kontamination dar. Ein partikulärer Weitertransport in flussabwärts gelegene Bereiche ist nur durch Aufarbeitung oder Erosion gegeben.

In den letzten 10 Jahren ist vor allem durch die politischen und ökonomischen Veränderungen die Gold-Produktion in Sibirien rückläufig (die jakutische Goldproduktion fiel nach WEIN (1999) zwischen 1993 und 1997 von 32 t auf 23 t), strenge Gesetze verbieten seit 1990 die Verwendung von Hg, Raffinerien werden bei Abnahme von Hg-haltigen Goldkonzentraten belangt, so dass zwangsläufig auch der Hg-Einsatz vermindert ist. Man kann wahrscheinlich davon ausgehen, dass Hg nur noch bei Kleinbergbautreibenden mit geringer Finanzkraft und einfacher Technologie als billiges Extraktionsmittel Verwendung findet.

Für Jakutien deutet das gesagte daraufhin, dass bergbaubedingte Hg-Belastungen der Flusssedimente vor allem in unmittelbarer Nähe der Abbaue zu erwarten sind bzw. dort wo keine Schwimmbaggertechnik mit Abbau in separaten Bereichen eingesetzt wurde.

Die Annahme einer flächenhaften Sedimentbelastung des Großentwässerungssystems Lena Becken durch Hg konnte anhand der durchgeführten Untersuchungen nicht bestätigt werden.

Eine Verteilung von Hg mit der Schwebfracht scheint dort möglich, wo Hg direkt in den Fluss geleitet wird bzw. wo Absetzbecken und Reservoirs der Erosion preisgegeben sind. Eine Verteilung von Hg in gelöster Form als Methyl-Hg scheint aufgrund der Untersuchungsergebnisse von LAPERDINA et al. (1995, 1996) weniger wahrscheinlich.

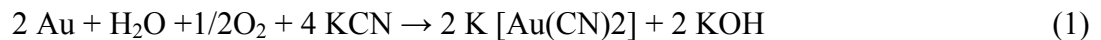
Weiterführende Untersuchungen in der unmittelbaren Umgebung der Abbaue sowie Untersuchungen zur Verteilung von Hg mit der Schwebfracht und in Form von in Wasser gelöstem Methyl-Hg sollten zukünftig zusätzlich erfolgen.

6.1.2 Laugung mit Cyanid

Die Cyanid-Laugung ist ein weltweit verbreitetes, effektives Verfahren zur Extraktion von Gold aus Armerzen. Aufgrund der eingesetzten hochtoxischen Salze der Blausäure (HCN) geht von diesem Verfahren ein großes Umweltrisiko aus. Das Verfahren wurde um 1880 entwickelt und verbreitete sich schnell weltweit. Es beruht auf der Tatsache, dass sich das

ansonsten inerte Gold in einer wässrigen Cyanidlösung löst und einen Komplex (Gold (I)-dicyan-Komplex) entsprechend der Gleichung (1) bildet.

In den Bergbauregionen wird üblicherweise das zerkleinerte, goldhaltige Gestein auf schrägen, nach unten durch Folien abgedichteten Flächen zu Haufen aufgeschichtet und mit Cyanidlösung berieselt (Haufenlaugung). Die an der Basis austretende goldhaltige Lösung wird aufgefangen. Durch die anschließende Zugabe von Zinkpulver wird Au im Komplex ersetzt, fällt entsprechend Gleichung (2) aus und wird abfiltriert.



Anstelle von Zink können auch Aktivkohle („Carbon-in-pulp“ CIP-Verfahren) oder Ionenaustauscherharze („Resin-in-pulp“ RIP-Verfahren) eingesetzt werden. Der Au-Komplex wird von diesen Stoffen adsorbiert, anschließend durch Eluation wieder entfernt und der Elektrolyse zugeführt, wobei sich das Gold an der Stahlwollenkathode abscheidet.

Der Großteil des weltweit gewonnenen Goldes wird auf klassische Weise mit Zn-Pulver abgeschieden. Ca. 30 % stammen aus dem CIP-Verfahren, RIP-Anlagen sind noch relativ selten. Sie erzielen im Vergleich zu CIP-Anlagen aber eine bis zu 10 % höhere Goldausbeute und zeichnen sich durch geringere Investitions- und Betriebskosten aus.

In Russland werden RIP-Anlagen seit den 70er Jahren eingesetzt (TRUEB, 1992).

Cyanid wirkt auf Organismen stark toxisch. Es blockiert die Sauerstoffaufnahme im Blut und führt so zum Erstickungstod.

Während des Laugungsvorgangs muss der pH-Wert der Cyanidlösung über pH 11 gehalten werden, sonst reagieren Wasserstoffatome aus dem Wasser mit Cyanid zu Blausäure (HCN), ein toxisches Gas. In gelöster Form genügen rund 50 bis 250 mg Cyanid, um einen erwachsenen Menschen zu töten. Die Lösungen, mit denen Golderze behandelt werden, enthalten rund 250 mg/l. Der Grenzwert für Cyanid im Trinkwasser beträgt in Deutschland 0,05 mg/l (Deutsche Trinkwasserverordnung, 2001).

Da Cyanide in Kontakt mit Luftsauerstoff zu Wasser, Kohlendioxid und ungiftigen Stickstoffverbindungen oxidieren, werden cyanidhaltige Abwässer aus dem Laugungsprozess in Rückhaltebecken gelagert, bis sie aufoxidiert und so unschädlich geworden sind. Anschließend werden sie in die örtlichen Flüsse geleitet. In modernen Betrieben werden die zyanidhaltigen Laugen soweit wie möglich in Tanks im Kreislauf gehalten und für reichere Erze wiederverwendet.

Schwere Umweltkatastrophen können ausgelöst werden, wenn starke Regenfälle zum Überlaufen der Oxidationsbecken führen oder wenn, wie im Frühjahr 2000 bei Baia Mare in Rumänien geschehen, Dämme von Oxidationsbecken brechen und große Mengen giftiger Lauge in die Flüsse freigesetzt werden.

6.1.2.1 Untersuchungsmethodik und –gebiet

Um eine potentielle Cyanidbelastung der Flüsse Lena, Aldan, Wiluj und Marcha durch Goldbergbauaktivitäten zu klären, wurden 12 Wasserproben auf ihren Cyanid-Gehalt hin untersucht. Die Proben wurden in PE-Flaschen randvoll abgefüllt, nach Deutschland transportiert und analog DIN 38 405, Teil 14 (1988) untersucht. Eine Probenvorbehandlung direkt nach der Probennahme erfolgte nicht. Aufgrund der zur Verfügung stehenden relativ geringen Wassermengen mussten die eingesetzten Mengen gegenüber der DIN um den Faktor 10 reduziert werden.

Abb. 6-3 zeigt die Lage der Beprobungspunkte für Cyanid sowie potentiell goldhöfliche Gebiete und bekannte Abbaugelände in Jakutien. (s. auch Anlage 2 bis Anlage 7). Die genauen Lagekoordinaten sowie weitere Informationen zu den Beprobungspunkten finden sich im Anhang in Tab. 10-11.

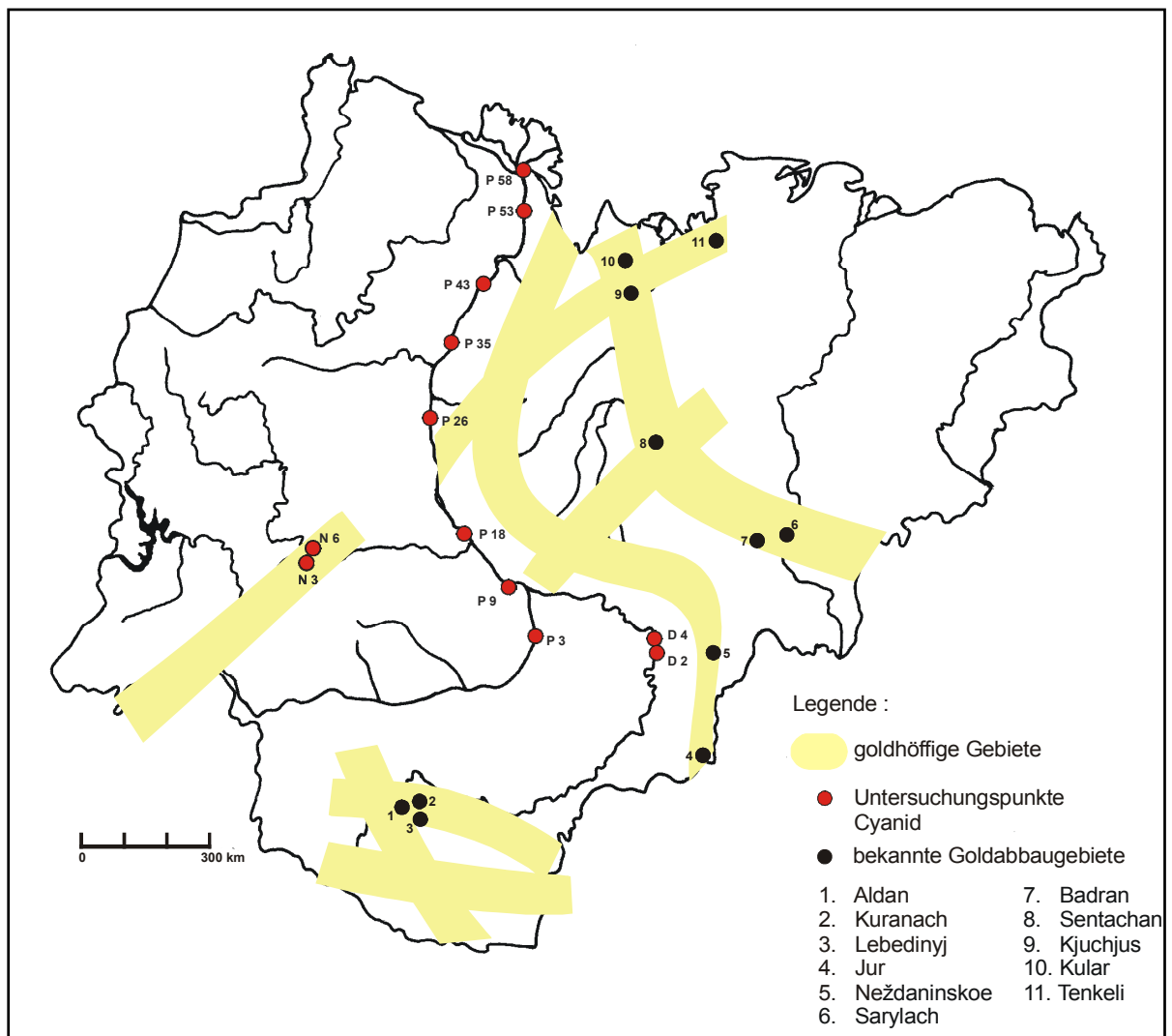


Abb. 6-3 Lage der Untersuchungspunkte für Cyanid

6.1.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tab. 6-2 dargestellt.

Tab. 6-2 Ergebnisse der Cyanid-Untersuchung der Flusssedimente

Proben-Nr.	Fluss	CN [mg/l]	Proben-Nr.	Fluss	CN [mg/l]
P03	Lena	< 0,02	P53	Lena	< 0,02
P09	Lena	< 0,02	P58	Lena	< 0,02
P18	Lena	< 0,02	N03	Wiljuj	< 0,02
P26	Lena	< 0,02	N06	Wiljuj	< 0,02
P35	Lena	< 0,02	D02	Aldan	< 0,02
P43	Lena	< 0,02	D04	Aldan	< 0,02

In keiner der untersuchten Wasserproben konnte eine Cyanid-Konzentration festgestellt werden, die über der versuchsbedingten Nachweisgrenze von 0,02 mg/l Gesamtcyanid lag.

Als Gründe hierfür kommen in Betracht:

- Keine Freisetzung,
- Verdünnungseffekte: Cyanid-belastete Abwässer aus der Gewinnung von Berggold werden erst nach erfolgter Aufoxidation in die Gewässer eingeleitet. Cyanid-Belastungen treten insbesondere dann auf, wenn z.B. durch starke Regenfälle Reservoirs überlaufen oder Reservoir-Dämme brechen. Durch überlaufende Reservoirs in geringen Mengen freigesetztes Cyanid wird durch das Regen- und Flusswasser verdünnt,
- Geringe Probenmengen, die eine ausreichende Anreicherung und entsprechende Detektion verhindern,
- Aufoxidation führte zu einer Eliminierung von eventuell vorhandenem Cyanid in der Zeitspanne zwischen der Probenahme in Jakutien und der Untersuchung in Deutschland,
- Geringer Einsatz: 75 % des geförderten Goldes in Jakutien wird als Seifengold gewonnen. Nur 25 % des Goldanteils liegt in Form von Berggold vor zu dessen Aufbereitung Cyanid eingesetzt wird.

6.2 Umweltrisiko Schwermetalle

Bergbaubürtige Schwermetallbelastungen treten bei der Gewinnung, aber insbesondere bei der Aufbereitung von Rohstoffen auf. Geringe Wertstoffkonzentrationen erfordern die Bewegung und Aufarbeitung gewaltiger Gesteinsmengen. Zur Extraktion der im Gestein meist feinverteilten Wertstoffe (Erze, Diamanten) ist eine starke Zerkleinerung bis staubfeine Aufmahlung des Gesteins nötig. Nach der Abtrennung der Wertstoffe durch materialspezifische Aufbereitungsverfahren (z.B. Dichtentrennung, Schwimm/Sink-Verfahren, Flotation) bleiben große Mengen an sog. ‚taubem‘ (mehr oder weniger wertstofffreiem) Gesteinsmaterial übrig. Dieses meist staubfeine Gesteinsmaterial wird üblicherweise aufgehaldet bzw. in Geländesenken oder in speziell geschaffenen Becken (Schlammteiche) eingespült und ist so den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt.

Eine Freisetzung vorhandener Schwermetalle aus den Halden oder Schlammteichen ist sowohl in partikulärer als auch in ionarer Form möglich. Winderosion und starke Niederschlagsereignisse sorgen aufgrund der geringen Korngröße für einen raschen Abtransport und eine weite Verbreitung in Partikelform.

Eine Veränderung des chemischen Milieus innerhalb der Halden durch säurebildende Reaktionen, wie z.B. durch die Pyritverwitterung, ermöglicht die Lösung von schwermetallhaltigen Verbindungen und den Abtransport in Ionenform.

6.2.1 Untersuchungsmethodik und –gebiet

Um Aussagen über eine mögliche Schwermetallbelastung der Flüsse zu treffen, wurde der Feinkornanteil (Fraktion < 63 µm) der Flusssedimente abgetrennt, mit einer Mischung aus HF, HClO₄ und HNO₃ aufgeschlossen und anschließend auf die Schwermetalle Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, Ni, Tl und Sn sowie auf As untersucht. Jede Probe wurde geteilt und zwei separate Aufschlusslösungen hergestellt (Parallelmessungen).

Als Analysemethode wurde die Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) verwendet. Die festgestellten Konzentrationen wurden mit dem Durchschnittsgehalt für Tongesteine (Tonsteinstandard) und dem Durchschnittsgehalt der oberen kontinentalen Kruste nach WEDEPOHL (1984) verglichen und dargestellt. Diese Durchschnittswerte wurden durch eine Vielzahl von Analysen natürlicher Gesteine aus allen Teilen der Erde ermittelt und haben den Vorteil, dass sie frei von anthropogenen und zivilisatorischen Effekten sind. Der Nachteil ist, dass sie lokale geologische Besonderheiten nicht berücksichtigen. Der Tonsteinstandard wird in der folgenden Bewertung als maßgeblicher Vergleichswert verwendet, da es sich beim untersuchten Material um den Feinkornanteil des Sediments handelt.

Abb. 6-4 zeigt die Lage der Beprobungspunkte für Schwermetalle.

Die genauen Lagekoordinaten der Beprobungspunkte sowie weitere Informationen hierzu finden sich in der Tab. 10-11 im Anhang.

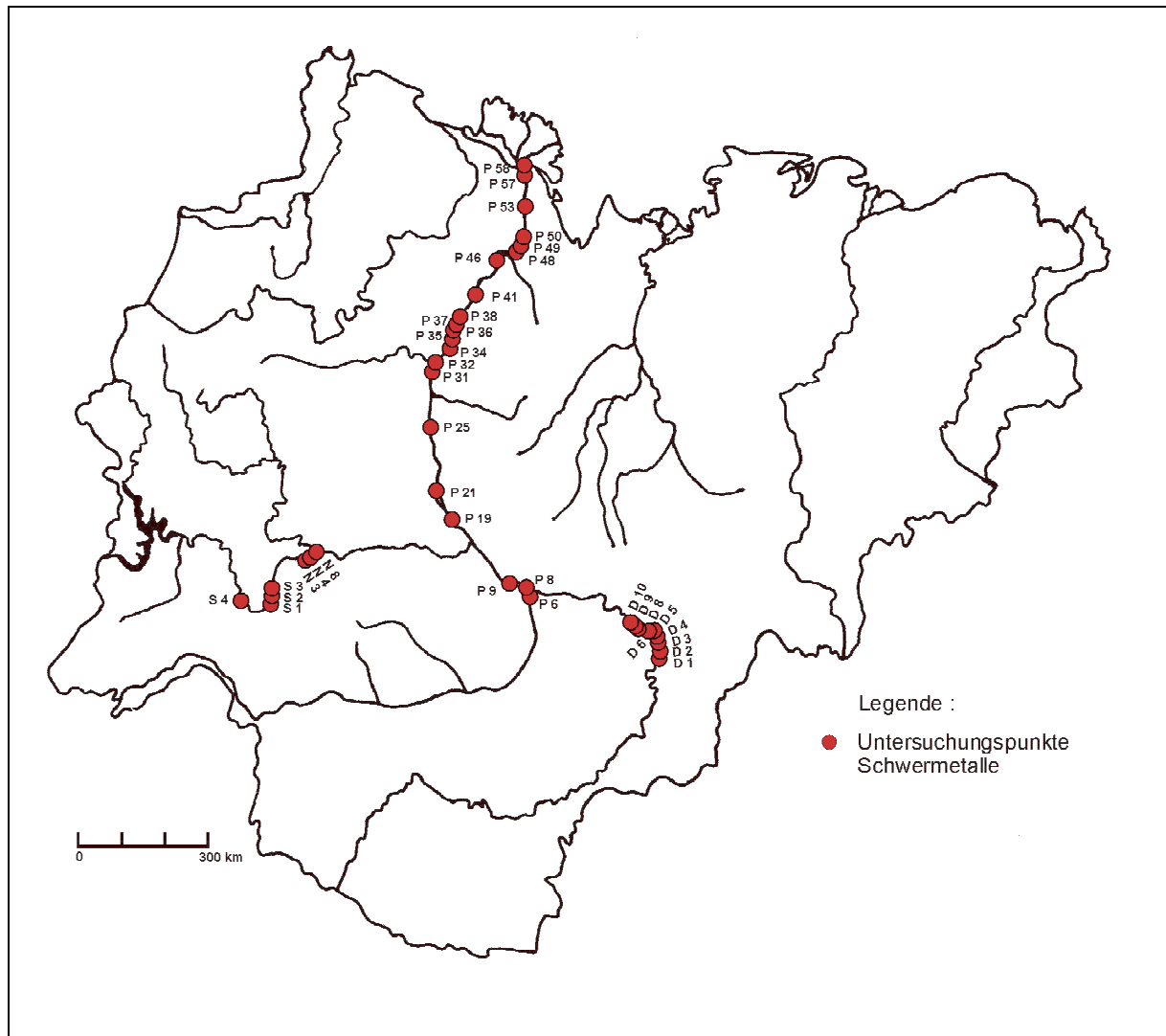


Abb. 6-4 Lage der Untersuchungspunkte für Schwermetalle

6.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen sind in Abb. 6-5 im Vergleich zum Tonsteinstandard und dem Mittelwert der kontinentalen Kruste dargestellt. Die z.T. erfolgten Mehrfachanalysen wurden in die Darstellung mit einbezogen. Eine Zusammenfassung bzgl. der analysierten Gehalte zeigt Tab. 6-3. Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient (Standardabweichung/Mittelwert) verdeutlichen die analysierten Konzentrationen und Konzentrationsspannweiten wiederum im Vergleich zum Tonsteinstandard und dem Mittelwert der kontinentalen Kruste. Deutliche Abweichungen von diesen Standards (insbes. vom Tonsteinstandard) sind markiert.

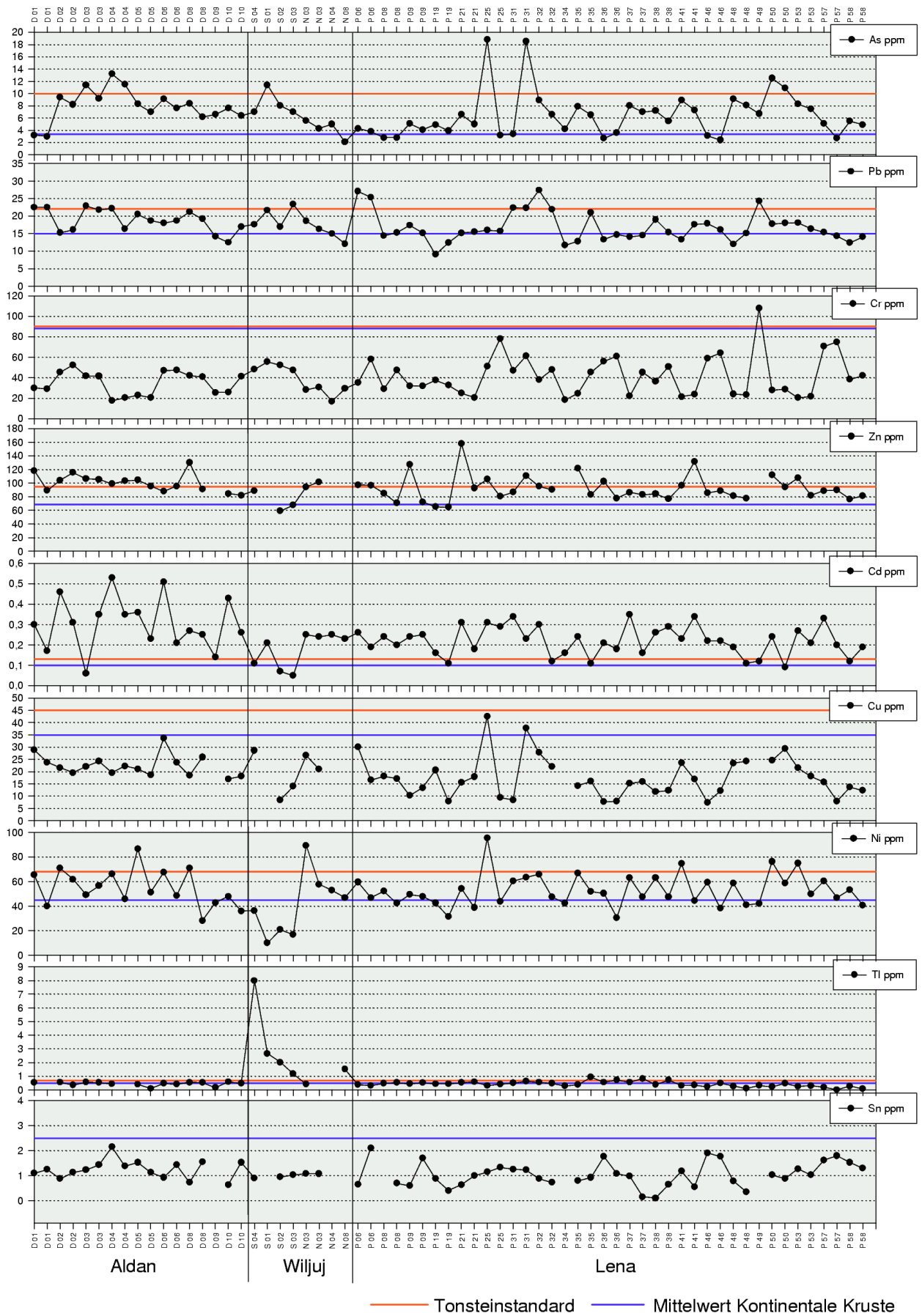


Abb. 6-5 Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen

Tab. 6-3 Ergebnisse der Schwermetall-Untersuchung der Flusssedimente

Fluss	Parameter	As ppm	Pb ppm	Cr ppm	Zn ppm	Cd ppm	Cu ppm	Ni ppm	Tl ppm	Sn ppm	Zn/Cd-Verhältnis
Aldan	arithm. Mittelwert	8,02	18,81	34,80	100,91	0,31	22,41	55,06	0,35	1,25	423,28
	Standardabw.	2,66	3,20	11,24	12,99	0,13	4,33	15,07	0,31	0,37	375,35
	Variationskoeffizient	33,1%	17,0%	32,3%	12,9%	42,2%	19,3%	27,4%	90,4%	29,8%	88,7%
Wiljuj	arithm. Mittelwert	6,30	17,71	38,59	82,48	0,18	19,74	41,36	1,94	1,01	763,30
	Standardabw.	2,77	3,59	13,94	18,06	0,09	8,46	26,13	2,64	0,08	395,90
	Variationskoeffizient	44,0%	20,3%	36,1%	21,9%	48,2%	42,9%	63,2%	135,9%	8,1%	51,9%
Lena	arithm. Mittelwert	6,46	16,80	42,04	92,45	0,22	17,58	53,10	0,42	1,04	453,58
	Standardabw.	3,71	4,26	19,66	19,09	0,07	8,20	13,16	0,19	0,49	163,12
	Variationskoeffizient	57,5%	25,3%	46,8%	20,6%	32,6%	46,6%	24,8%	45,9%	47,2%	36,0%
Tonsteinstandard		10,00	22,00	99,00	95,00	0,13	45,00	68,00	0,69	2,50	730,77
Kontinentale Kruste		3,40	15,00	88,00	69,00	0,10	35,00	45,00	0,49	2,50	690,00

Es sind generell verringerte Konzentrationen von Cu, Cr, Sn in den Flusssedimenten gegenüber den Gehalten des Tonsteinstandards zu beobachten. Demgegenüber steht eine deutliche Erhöhung von Cd in den Sedimenten von Aldan und Lena. Die Messwerte wiesen aber in der Doppeltanalytik starke Schwankungen auf. Die Tendenz der erhöhten Cadmiumgehalte zeigen die Mittelwerte jedoch deutlich. Im Wiljuj treten signifikant erhöhte Thallium-Konzentrationen auf. Die Ergebnisse werden im folgenden diskutiert.

Ergebnisse Fluss Wiljuj

Im Bereich des Flusses Wiljuj wurden acht Beprobungen durchgeführt. Die Lage der Beprobungspunkte ist aus Abb. 6-4 ersichtlich. Die Konzentration der Schwermetalle Cr, Cu und Sn befindet sich in den untersuchten Proben unterhalb des Tonsteinstandards. Bei As (11 %), Pb (6 %) und Ni (32 %) liegt jeweils eine der 8 Proben, das entspricht 12,5 %, über dem Standard. Der Wert in Klammern gibt an um wieviel Prozent der Standard überschritten wurde. Beim Element Zn konnten, wegen nicht ausreichender Probelösung nur fünf Beprobungspunkte untersucht werden, hier zeigte eine Lokation eine leichte Überschreitung des Standards um 7 %. Bei Cd hingegen wird der Standard bei 62 % der Proben deutlich überschritten. Beim Metall Tl liegt ebenfalls ein Großteil der Messwerte (62,5 %) deutlich über dem Referenzwert des Tonsteinstandards. Die am weitesten flussaufwärts genommene Probe zeigt hier eine extreme Überschreitung von 1075 %. Flussabwärts nehmen die Gehalte kontinuierlich ab. Eine erneute Erhöhung tritt kurz unterhalb der Mündung des Flusses Marcha auf, hier wird der Standard um 124 % überschritten.

Schlussfolgerung Fluss Wiljuj

Aufgrund der geringen Anzahl der Beprobungspunkte im Fluss Wiljuj hat die Untersuchung einen stichprobenartigen Charakter. Von einer generellen Schwermetallbelastung des Wiljuj kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht gesprochen werden. Eine teilweise extreme

Belastung mit dem Metall Tl ist aber deutlich vorhanden und deutet auf eine potentielle Quelle am Oberlauf des Wiljuj und eventuell auch im Einzugsgebiet des Flusses Marcha hin.

Eine geogene Quelle kann aufgrund der geologischen Verhältnisse ausgeschlossen werden.

Als eine der wenigen technischen Verwendung von Tl ist die sogenannten Clerici-Lösung zu nennen. Sie enthält Thallium(I)formiat [$\text{Tl}(\text{HCO}_2)$] und Thallium(I)malonat [$\text{Tl}_2(\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4)$] und wird zur Schweretrennung von Mineralien eingesetzt. Schweretrennungsverfahren kommen z.B. bei der Diamantengewinnung zum Einsatz. Als potentielle Emittenten hierfür kommen die diamantengewinnenden Betriebe im Bereich des Oberlaufs des Wiljuj (Mirnyj) und im Bereich des Oberlaufs der Marcha (Udačnyj, Ajchal) in Betracht.

Deutlich über dem Tonsteinstandard gelegene Cd-Werte wie sie im Wiljuj angetroffen wurden, treten auch in den anderen beiden untersuchten Flüssen Lena und Aldan auf. Insgesamt liegen 90 % aller untersuchten Proben aus Wiljuj, Aldan und Lena über dem relativ niedrigen Standard von 0,13 mg/kg. Untersuchungen aus Deutschland ermittelten eine durchschnittliche geogene Hintergrundkonzentration von Cd in unbelasteten Bachsedimenten von 0,6 mg/kg (FAUTH et al. 1985). Nimmt man diesen Wert als Referenz, so liegen alle in dieser Untersuchung ermittelten Werte deutlich darunter. Da das Zn/Cd-Verhältnis in den untersuchten Proben dem typischen Verhältnis von Zn/Cd in natürlichen Zn-Erzen entspricht und ein anthropogener flächenhafter Eintrag weitgehend ausgeschlossen ist, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um ein geogenes Hintergrund-Niveau handelt.

Zusammenfassend lässt sich für den Fluss Wiljuj mit Ausnahme der Tl-Belastung keine weitere bergbaubedingte Schwermetallbelastung erkennen.

Ergebnisse Fluss Aldan

Im Bereich des Flusses Aldan wurden 17 Beprobungen durchgeführt. Die Lage der Beprobungspunkte ist in Abb. 6-4 dargestellt. Die Konzentrationen der Schwermetalle Cr, Cu, Tl und Sn liegen generell unterhalb des Standardwertes für Tongesteine. 17,6 % der Proben weisen einen leicht erhöhten Gehalt an As und Pb auf. Die Werte für As überschreiten den Standard um 14 - 32 %, die Werte für Pb um 2 - 4 %. Ähnlich verhält es sich auch für das Metall Ni. 21,4 % der Proben liegen hier geringfügig über dem Standard (4 - 27,4 %). Wesentlich anders sehen die Ergebnisse bzgl. Cd aus. In 94 % der Proben übersteigt der Cd-Gehalt den Standardwert. Hier im Aldan treten die höchsten absoluten Cd-Werte der gesamten Untersuchungskampagne auf, gleichzeitig zeigen die Parallelmessungen die größten Differenzen. Das Metall Zn zeigt ebenfalls ein angehobenes Niveau. 66,7 % der Proben zeigen Gehalte die oberhalb des Standards liegen. Die Bandbreite der Überschreitung beträgt 0,7 - 37,1 %.

Schlussfolgerung Fluss Aldan

Für den untersuchten Bereich des Flusses Aldan lässt sich bzgl. der untersuchten Schwermetalle nur eine geringe lokale Belastung mit As an Beprobungspunkt D04 feststellen. Der Beprobungspunkt D04 befindet sich etwas flussabwärts der Einmündung des Flusses Östlicher Chandyga. Beim Östlichen Chandyga handelt es sich um einen teilweise recht schnell fließenden Gebirgsfluss, der aus dem Sette-Daban Gebirge, der südlichen Verlängerung des Werchojansker Gebirges stammt. Am Oberlauf dieses Flusses treten polymetallische Vererzungen auf, die im Gefolge intermediärer Intrusionen entstanden sind. Aus eigenen früheren Prospektionsarbeiten ist bekannt, dass diese polymetallischen Vererzungen Arsenopyrit enthalten. Das Vorkommen wird nicht abgebaut, eine natürliche Erosion und Transport des Mineralinventars flussabwärts ist aber aufgrund des vorhandenen Reliefs gegeben.

Für die vorhandenen, erhöhten Cd-Gehalte in den untersuchten Aldan werden geogene Ursachen (natürlich vorkommende Zn-Minerales) angenommen. Die auffälligen großen Differenzen innerhalb der Cd-Parallelmessungen könnten auf die relative Nähe zu einer Mineralisation deuten.

Ergebnisse Fluss Lena

Im Bereich des Flusses Lena wurden 40 Proben auf Schwermetalle untersucht. Die Lage der Beprobungspunkte ist in Abb. 6-4 dargestellt. Die Konzentrationen der Elemente Cu und Sn liegen generell unter dem Referenzwert des Tonsteinstandards. 10 % der Proben weisen bei den Elementen Pb, Ni, und Tl Überschreitungen des Standards auf. Sie betragen für Pb 10,5 - 24,5 %, für Ni 10 - 40,2 % und für Tl 5,9 - 38,2 %. Ebenfalls 10 % der Proben weisen erhöhte As-Gehalte auf, die den Standard um 9 - 88 % überschreiten. Hier muss jedoch erwähnt werden, dass die beiden größten Überschreitungen (P25 und P31) nicht durch Parallelmessungen bestätigt werden konnten. Es liegt die Vermutung nahe, dass bei den Parallelmessungen die Proben P25 und P31 vertauscht wurden. Eine von 40 Proben, 2,5 % der Proben entsprechend, zeigt für das Element Cr eine Überschreitung des Standards um 20 %. Wie schon bei den Proben aus dem Fluss Wiljuy und dem Fluss Aldan, so zeigen auch die Ergebnisse aus der Lena für einen Großteil der Proben (81,5 %) Cd-Gehalte die deutlich über dem Standard liegen. Auch beim Element Zn zeigt sich z.T. ein ähnliches Bild, hier überschreiten 35,1 % der Proben den Referenzwert, die Mehrzahl der Proben liegt jedoch im Bereich der Standards.

Auffällig ist der Bereich P49/P50 (direkt flussabwärts der Siedlung Kjusjur), hier treten erhöhte Werte der Elemente As, Pb, Cr und Ni auf, sowie die Lokationen P25 und P31, hier treten erhöhte Gehalte der Elemente As und Ni auf. Erhöhte Pb-Konzentrationen finden sich auch bei P06 und P32 sowie erhöhte Tl-Werte im Bereich von P35 - P38.

Schlussfolgerung Fluss Lena

Zusammenfassend lässt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse keine generelle Schwermetallbelastung für die Sedimente der Lena nachweisen. Erhöhte Schwermetallgehalte

treten lokal auf. Im Bereich P49/P50 sind geringfügige Konzentrationen von As, Pb, Cr und Ni zu verzeichnen. An den Lokationen P25 und P31 können erhöhte Gehalte von As und Ni nachgewiesen werden. Belastungen durch Pb treten an den Probenahmepunkten P06 und P32 auf. Tl-Kontaminationen finden sich im Bereich der Lokationen P35 - P38.

Der Bereich P49/P50 befindet sich direkt unterhalb, d.h. flussabwärts, der Siedlung Kjusjur. Ob hiervon eine Schwermetallbelastung ausgehen kann, ist ungewiss. Die anderen Punkte liegen weit ab von Siedlungen und potentiellen sonstigen Emittenten, so dass kein direkter Zusammenhang von Belastung und potentieller Quelle hergestellt werden kann. Die generell erhöhten Cd-Werte werden, wie bereits bei den Schlussfolgerungen zu den Flüssen Wiljuj und Aldan erläutert, natürlichen Ursachen (natürliches Vorkommen von Zn-haltigen Mineralen) zugeschrieben.

6.3 Umweltrisiko Nuklearsprengungen

Allgemeine Situation und Problemstellung

Im Zeitraum von 1974 - 1987 wurden auf dem Gebiet der Republik Sacha unterirdische Nuklearsprengungen mit verschiedenen Zielsetzungen durchgeführt. Bei diesen Sprengungen kam es teilweise zum oberflächigen Austrag von Radionukliden. Um die mögliche Verbreitung der Radionuklide durch die Gewässer zu klären, wurden Sedimente aus verschiedenen jakutischen Flüssen gammaspektrometrisch untersucht.

Im oben genannten Zeitraum wurden insgesamt 12 Nuklearsprengungen durchgeführt.

Diese sogenannten friedlichen Nuklearsprengungen wurden in Bohrungen verschiedener Tiefe gezündet und dienten den folgenden Zwecken:

- a) als seismische Quelle zur Erkundung des tieferen Untergrundes,
- b) zur Errichtung eines Erddammes,
- c) zur Bildung eines unterirdischen Erdölspeichers,
- d) zur Verbesserung der Zuflusswege von Erdöl und Erdgas („Fracturing“).

In der Tab. 6-4 sind nähere Informationen zur Bezeichnung, Tiefe, Sprengkraft usw. der einzelnen Nuklearsprengungen aufgeführt.

Tab. 6-4 Unterirdische Nuklearsprengungen in Jakutien (MINISTERSTVA ÈKOLOGIJ I PRIRODOPOL'ZOVANIJA RESPUBLIKA SACHA, 1993)

Lfd Nr.	Bezeichnung	Zeitpunkt	Tiefe [m]	Sprengkraft [Kilotonnen]	Zweck	nächstgelegener Bevölkerungspunkt (NBP)	Distanz zu NBP [km]	oberirdisch festgestellte Radionuklide
1	Kristall	1974	98	1,7	b	Dorf Udačnyj	2,5	Cs-137, Sr-90, Pu-239, Pu-240, Co-60
2	Gorizont	1975	493	7,6	a	Siedlung Kjusjur	30,0	-
3	Kraton-4	1978	567	22+3,0	a	Siedlung Aryktach	19,0	-
4	Kraton-3	1978	577	19+1,5	a	Dorf Ajchal	39,0	Cs-137, Sr-90, Pu-239, Pu-240
5	Kimberlit-4	1979	986	6,0	a	Siedlung Tuobuja	28,0	-
6	Oka	1976	1520	11+1,5	d	Siedlung Taas-Jurjach	38,0	-
7	Wjatka	1978	1540	16+2,0	d	Siedlung Taas-Jurjach	26,0	-
8	Šeksna	1979	1540	15+3,0	d	Siedlung Taas-Jurjach	7,2	Cs-137, Sr-90
9	Newa-1	1982	1510	16,0	d	Siedlung Taas-Jurjach	31,5	Cs-137, Sr-90
10	Newa-2	1987	1526	13,0	d	Siedlung Taas-Jurjach	40,5	-
11	Newa-3	1987	1515	13,0	d	Siedlung Taas-Jurjach	42,3	-
12	Skwažin Nr.101	1987	815	3,0	c	Siedlung Taas-Jurjach	41,4	-

Bei der Durchführung dieser Sprengungen kam es teilweise zum oberflächigen Austritt von Spaltprodukten (Radionukliden). 1990 wurden alle Sprengplätze untersucht und oberflächige

Radionuklidbelastungen an den Objekten ‚Kristall‘, ‚Kraton-3‘, ‚Šeksna‘ und ‚Newa-1‘ festgestellt. Die gefährlichsten oberirdischen Kontaminationen durch Radionuklide traten bei den Objekten ‚Kristall‘ und ‚Kraton-3‘ in Form von Pu-239 und Pu-240 auf.

Im Bereich des Objektes ‚Kristall‘ überschritten 5 von 7 Proben den Standard für Plutonium (MAGATÉ: 0,001Bq/g) um das 5 - 34.000-fache. Die maximale Konzentration an Plutonium wurde 20 m in nordöstlicher Richtung vom Explosionstrichter gefunden und betrug in der obersten Bodenschicht (0 – 5 cm) 35 Bq/g, der Wert für Cs-137 lag bei 19,34 Bq/g.

Im Bereich des Objektes ‚Kraton-3‘ überschritten alle Proben den Standardwert für Plutonium. Der Maximalwert wurde 1350 m von der Bohrung entfernt gefunden und lag bei 0,30 Bq/g (299-fache Überschreitung). Dieser Wert entspricht fast dem Wert der Zone der maximalen Verschmutzung des Boden in der Ukraine und in Weißrussland nach dem Unfall von Tschernobyl. Cs-137-Gehalte von 4,31 - 15,27 Bq/g wurden in der obersten Bodenschicht festgestellt (0 - 5 cm). In den tieferen Bodenschichten (10 - 40 cm) nahmen die Gehalte deutlich auf 0,8 - 0,02 Bq/g ab.

Im Gebiet Taac-Jurjach, wo eine ganze Reihe von Sprengungen durchgeführt wurden, fand man in einer Wasserprobe aus dem Fluss Taas-Jurjach, 200 m von Bohrung 47 entfernt, eine β -Aktivität von 54 Bq/l.

Bis Ende 1992 wurden an den Objekten Kristall, Šeksna und Newa-1 deaktivierende Arbeiten durchgeführt. Dadurch konnte offensichtlich die γ -Aktivität an allen drei Lokationen und die α -Aktivität bis auf Objekt ‚Kristall‘ auf einen zulässigen Wert reduziert werden.

An Objekt ‚Kraton-3‘ wurden bis zu diesem Zeitpunkt keine dekontaminierenden Maßnahmen durchgeführt (MINISTERSTVA ÈKOLOGIJ I PRIRODOPOL'ZOVANIJA RESPUBLIKA SACHA, 1993).

Nähere Angaben zur flächenhaften Ausdehnung der radioaktiven Verschmutzung, sowie zur γ - und α -Aktivität vor und nach den deaktivierenden Arbeiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 6-5 Radioaktiv verschmutzte Flächen und deren Rehabilitierung (Ministerstva Èkologij i PRIRODOPOL'ZOVANIJA RESPUBLIKA SACHA, 1993)

Bezeichnung	Radioaktiv verschmutzte Fläche [10 ³ m ²]	Deaktivierende Arbeiten durchgeführt	γ -Aktivität [μ R/h]		α -Aktivität [Ci/km ²]	
			festgestellt	zulässig	festgestellt	zulässig
Šeksna	2,5	Ja	15	30	0,2	0,25
Newa-1	62,5	Ja	12	30	-	0,25
Kristall	360	Ja	16	30	2,0	0,25
Kraton-3	7500	Nein	740	30	67,0	0,25

6.3.1 Untersuchungsmethodik und –gebiet

25 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Wiluj, Marcha und Aldan. wurden gammaspektrometrisch untersucht. Als Untersuchungsgerät diente ein Reinst-Germanium-Gammaspektrometer des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg. Die Untersuchungen erstreckten sich zum Teil auf das gesamte Sediment (16 Proben) und zum Teil auf den Feinkornanteil (Fraktion < 63 µm, 9 Proben). Die Messzeit betrug 1 - 2 Tage/Probe.

Die Lage der Sprengungen sowie die Lokalitäten der Beprobungspunkte sind in Abb. 6-6 übersichtsmäßig dargestellt. Zur detaillierten Betrachtung wird auf Anlage 1 verwiesen. Die Beprobungspunkte sind über eine große Fläche verteilt, eine Häufung der Feinfraktion-Untersuchungen im Bereich des Unterlaufs der Lena rührt daher, dass die Sedimente aus dieser Region relativ viel Feinmaterial enthielten und dadurch eine Untersuchung ermöglichten. In anderen Bereichen ließ der geringe Feinkornanteil eine Untersuchung nicht zu.

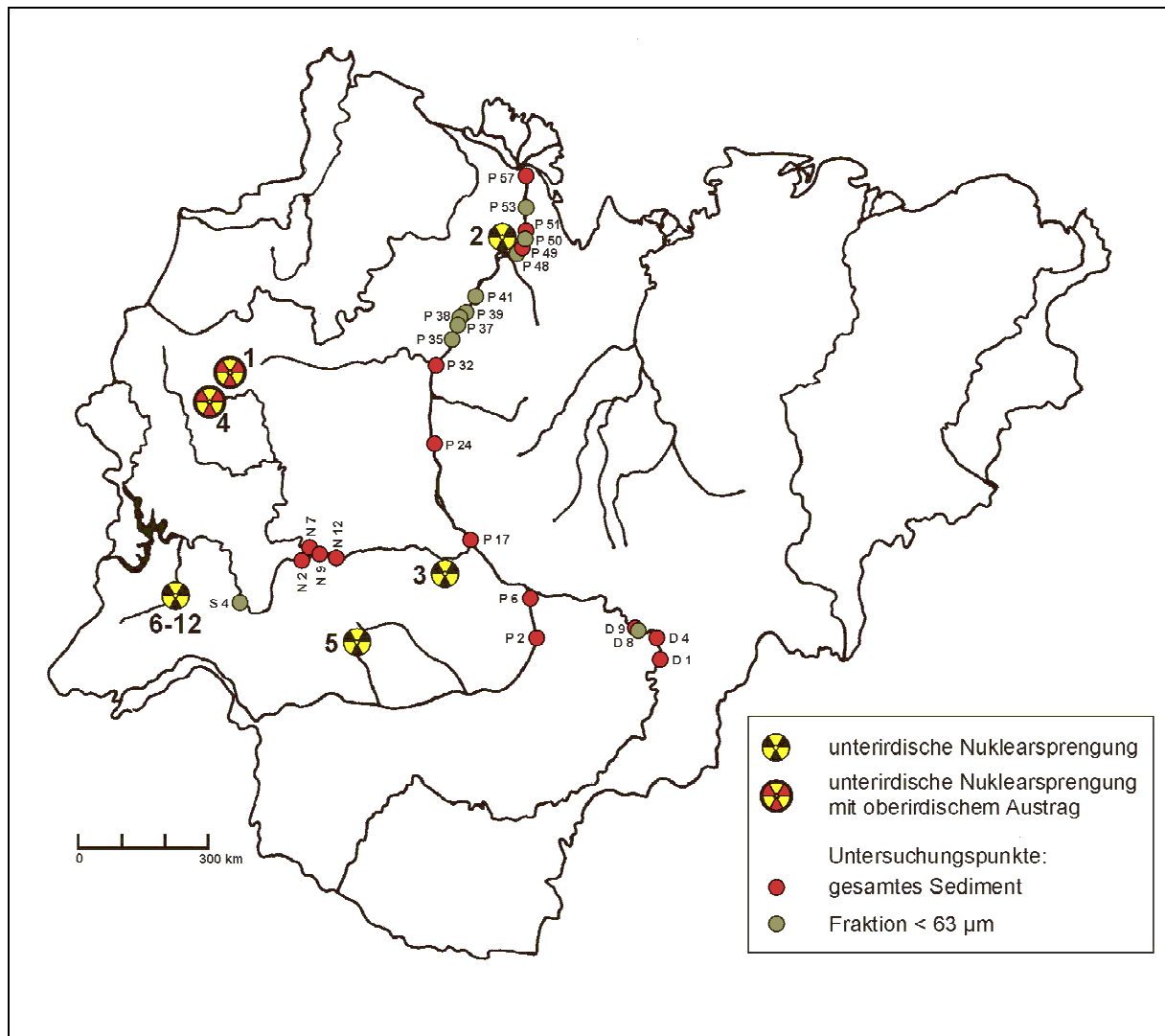


Abb. 6-6 Vereinfachte Darstellung der Positionen der unterirdischen Nuklearsprengungen sowie Beprobungs-/Untersuchungspunkte der Radionuklidanalytik

6.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind getrennt nach ‚gesamtes Sediment‘ und ‚Feinkornanteil‘ in Tab. 6-6 und Tab. 6-7 dargestellt.

Tab. 6-6 Ergebnisse der Radionukliduntersuchung ‚gesamtes Sediment‘

Probe	Fluss	Korn- fraktion	Masse [g]	Vol. [ml]	Ac-228 Bq/kg TM	Am-241 Bq/kg TM	Be-7 Bq/kg TM	Co-60 Bq/kg TM	Cs-134 Bq/kg TM	Cs-137 Bq/kg TM
D01	Aldan	gesamt	28,09	17,7	37,3 ± 3,6 %	<0,9	<3	<0,7	<1	<0,7
D04	Aldan	gesamt	42,52	25,3	37,6 ± 4,2 %	<0,8	<4,1	<0,8	<1,2	0,9 ± 32,1 %
D09	Aldan	gesamt	34,16	22,8	22,9 ± 5,4 %	<0,6	<3,7	<0,6	<0,9	1,2 ± 19,2 %
N02	Wiljuj	gesamt	37,63	21,6	10,1 ± 8 %	<0,6	<2,8	<0,6	<0,7	1 ± 20,3 %
N07	Wiljuj	gesamt	36,3	22,8	12,4 ± 6,7 %	<0,6	<3,1	<0,6	<0,7	<0,7
N09	Wiljuj	gesamt	34,87	20,3	10,5 ± 9,8 %	<1,1	<2,8	<0,5	<0,8	1,2 ± 18 %
N12	Wiljuj	gesamt	40,77	25,3	9,9 ± 9,1 %	<0,7	<3,7	<0,7	<0,7	<0,8
P02	Lena	gesamt	50,47	27,9	14,6 ± 7,9 %	<0,7	<2,9	<0,6	<0,8	<0,7
P06	Lena	gesamt	36,69	25,3	34,1 ± 4,4 %	<0,6	<3,3	<0,7	<10	2,6 ± 9,7 %
P17	Lena	gesamt	31,43	20,3	9,1 ± 9,4 %	<0,7	<4,5	<0,7	<0,8	<0,7
P24	Lena	gesamt	40,43	22,8	22,8 ± 5,2 %	<1	<1,9	<0,6	<0,8	<0,8
P32	Lena	gesamt	33,95	23	33,1 ± 4,3 %	<0,8	<3,9	<0,8	<1,2	<0,9
P39	Lena	gesamt	47,16	27,9	9,8 ± 9,1 %	<0,5	<2,6	<0,5	<0,6	<0,5
P49	Lena	gesamt	32,22	20,3	33,1 ± 5 %	<0,7	<3,3	<0,8	<1,1	<0,8
P51	Lena	gesamt	44,23	22,8	10,2 ± 6,4 %	<0,4	<2,2	<0,5	<0,6	<0,5
P57	Lena	gesamt	32,95	20,3	36,1 ± 4 %	<0,8	<2,7	<0,7	<1,1	<0,8

Probe	Fluss	Korn- fraktion	Masse [g]	Vol. [ml]	K-40 Bq/kg TM	Pb-210 Bq/kg TM	Pb-214 Bq/kg TM	Ru-106 Bq/kg TM	Sb-165 Bq/kg TM	Th-234 Bq/kg TM
D01	Aldan	gesamt	28,09	17,7	909 ± 0,9 %	19,5 ± 18,8 %	24,5 ± 2,6 %	<3,2	<1,4	17,4 ± 11,5 %
D04	Aldan	gesamt	42,52	25,3	478 ± 1,6 %	15 ± 28,7 %	24,1 ± 3,6 %	<5,2	<1,3	20,7 ± 12,1 %
D09	Aldan	gesamt	34,16	22,8	722 ± 1 %	16,8 ± 22,6 %	17,3 ± 3,7 %	<3,4	<1,2	21,2 ± 14,2 %
N02	Wiljuj	gesamt	37,63	21,6	629 ± 1 %	9,7 ± 28,9 %	10,1 ± 5,2 %	2,9	<1	11,4 ± 21 %
N07	Wiljuj	gesamt	36,3	22,8	825 ± 0,9 %	<6,7	9,4 ± 6,1 %	<4,1	1,1	8,5 ± 21,2 %
N09	Wiljuj	gesamt	34,87	20,3	722 ± 1 %	<8,3	8,4 ± 5,8 %	<2,7	<1,2	12,6 ± 13,2 %
N12	Wiljuj	gesamt	40,77	25,3	777 ± 0,9 %	<9,4	7,9 ± 5 %	<2,3	<1	10,9 ± 12,3 %
P02	Lena	gesamt	50,47	27,9	660 ± 1,2 %	<7,9	10,2 ± 5,2 %	<3,9	<1,3	10,6 ± 13,4 %
P06	Lena	gesamt	36,69	25,3	857 ± 0,9 %	27,4 ± 14,7 %	28,2 ± 2,5 %	<3,6	<0,9	15,6 ± 12,2 %
P17	Lena	gesamt	31,43	20,3	592 ± 1,3 %	<9,2	7 ± 9,6 %	<4,2	<1,2	<5,2
P24	Lena	gesamt	40,43	22,8	721 ± 0,9 %	12,1 ± 22,4 %	16,3 ± 3 %	<4,3	<0,9	8,7 ± 21,9 %
P32	Lena	gesamt	33,95	23	894 ± 1 %	24,5 ± 15,7 %	28,2 ± 2,4 %	<3,4	<1,4	28,9 ± 7,5 %
P39	Lena	gesamt	47,16	27,9	620 ± 1 %	<6,4	7,7 ± 5 %	<3	<0,7	7,9 ± 14,7 %
P49	Lena	gesamt	32,22	20,3	683 ± 1,3 %	20 ± 16,7 %	25,7 ± 3,2 %	<4,9	<1,2	9,1 ± 26,7 %
P51	Lena	gesamt	44,23	22,8	428 ± 1,2 %	<6,6	8,1 ± 4 %	<2,2	<0,9	<3,8
P57	Lena	gesamt	32,95	20,3	747 ± 1 %	28,2 ± 25,4 %	28,3 ± 2,4 %	<4,3	<1,9	25 ± 9,9 %

Ergebnisse ‚gesamtes Sediment‘

Die gemessenen Konzentrationen für Cs-137, welches als Leitisotop für die Belastung mit künstlichen Radionukliden dient, sind äußerst gering, nur bei 5 Proben liegen sie oberhalb der Nachweisgrenze. Die Korngrößenverteilung im ‚gesamten Sediment‘ mit einem hohen Sandanteil dürfte für die geringen Konzentrationen verantwortlich sein. Die Ergebnisse lassen keinen Hinweis auf potentielle Emitter (Nuklearsprengungen) zu. Da auch keine sonstigen signifikanten Konzentrationen an künstlichen γ -Emitter gefunden werden konnten, wurden keine weiteren elementspezifischen Analysen auf Sr-90 oder Pu-239+240 durchgeführt. Die natürlichen Radionuklide weisen ebenfalls keine Besonderheiten auf.

Ergebnisse Feinkornanteil (Fraktion < 63 μm):

Das Niveau der Cs-137-Konzentrationen liegt etwas höher als bei den Untersuchungen des gesamten Sedimentes. Dies entspricht den allgemeinen Erfahrungen, dass feinkörnige Sedimente generell mehr Radionuklide enthalten als grobkörnige. Das Konzentrations-Niveau ist aber immer noch niedrig. Die teilweise aufgetretenen beträchtlichen Zählunsicherheiten zeigen, dass sich die Untersuchungsmethodik bei diesen Konzentrationen an der Grenze der Bestimmungsmöglichkeiten befindet.

Tab. 6-7 Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen, Fraktion < 63 μm

Proben-Nr.	Fluss	Kornfraktion	Masse [g]	Vol. [ml]	Cs-137 Bq/kg TM	K-40 Bq/kg TM
P35	Lena	< 63 μm	4,8	8	5,7 \pm 24 %	714 \pm 4,6 %
P37	Lena	< 63 μm	15,79	20	3,2 \pm 15 %	656 \pm 2,5 %
P38	Lena	< 63 μm	5,9	8	3,8 \pm 28 %	674 \pm 5 %
P41	Lena	< 63 μm	13,04	16	4,4 \pm 14 %	688 \pm 7 %
P48	Lena	< 63 μm	5,4	8	6,1 \pm 20 %	1063 \pm 3,1 %
P50	Lena	< 63 μm	18,61	24	4,4 \pm 12 %	678 \pm 7,3 %
P53	Lena	< 63 μm	9,09	16	4,8 \pm 17 %	707 \pm 7,2 %
S04	Wiljuj	< 63 μm	4,56	12	<4	577 \pm 6 %
D08	Aldan	< 63 μm	4,02	8	8 \pm 19 %	695 \pm 4,6 %
Ø Lena					4,6	
Ø gesamt					4,9	

Die durchschnittlichen Cs-137-Konzentrationen liegen in der Lena bei 4,6 Bq/kg, nimmt man die Werte aus dem Fluss Wiljuj und Aldan hinzu, so erhält man einen durchschnittlichen Wert von 4,9 Bq/kg.

Untersuchungen aus dem Jenisej (BROOKS & CHAMP, 1995), dem Ob-Busen und der Barentssee zeigen ähnliche Ergebnisse (AMAP, 1998), auch in der Karasee sind, abgesehen von lokalen starken Erhöhungen in der Umgebung von Abfallbehältern diese Konzentrationen weit verbreitet (AMAP, 1998).

Vergleichbare Feinkornanteile in Meeressedimenten der Ostsee und der Irischen See enthalten deutlich höhere Cs-137-Konzentrationen, wobei die Ostsee im wesentlichen durch den Fallout von Tschernobyl und die Irische See durch die früheren Einleitungen aus der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield belastet ist.

In der Laptev-See zeigt sich ein differenziertes Bild. Im küstenfernen Bereich betragen die Cs-137-Konzentrationen ebenfalls 1-10 Bq/kg (AMAP, 1998, JOHNSON-PYRTLE & SCOTT, 2001), bei Annäherung an die Lenamündung steigen sie an. Die Daten von PAVLOV & STANOVY (1996) zeigen ebenfalls diese Tendenz. JOHNSON-PYRTLE & SCOTT (2001) stellten maximale Cs-137-Konzentrationen von 16 Bq/kg im Deltabereich der Lena fest und vermuten das Vorhandensein einer weiteren Cs-137-Quelle außer dem Fallout der nördlichen Hemisphäre als Grund für diesen Effekt.

Dieser Vermutung widerspricht, dass Erhöhungen der Cs-137-Konzentration im Mündungsgebiet nicht allein auf die Lenamündung beschränkt sind, ähnliches wurden auch vom Mündungsgebiet des Jenisej berichtet (BROOKS & CHAMP, 1995; AMAP, 1998, s. Abb. 6-7 und Abb. 6-8).

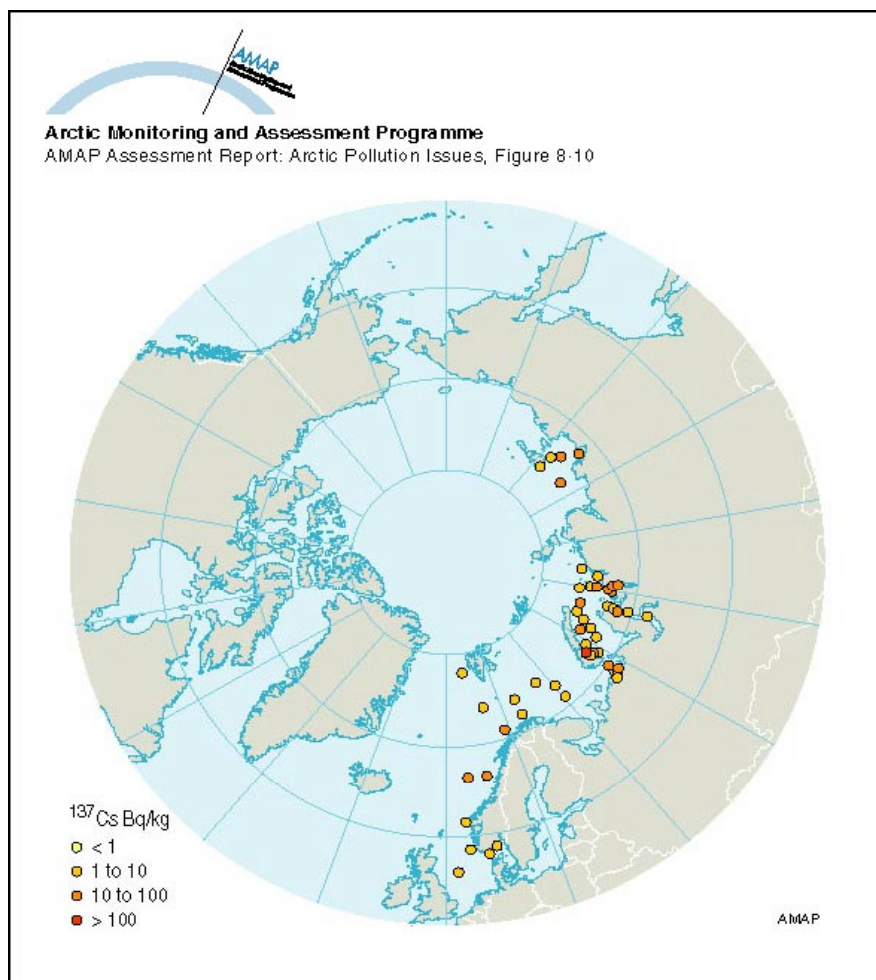


Abb. 6-7 Cs-137 Konzentrationen in den Sedimenten der Nordmeere (AMAP 1998)

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Radionukliduntersuchungen lassen keine Belastung der untersuchten jakutischen Flussysteme durch anthropogene Aktivitäten (Nuklearsprengungen) erkennen. Die festgestellten Konzentrationen an Cs-137 sind gering (durchschnittlich 4,9 Bq/kg) und entsprechen denen anderer durch den globalen Fallout geringbelasteter Ablagerungsräume. Der im Verhältnis zum Fallout der nördlichen Hemisphäre geringe Cs-137-Gehalt ist möglicherweise auf Auswaschungsprozesse zurückzuführen.

Die von JOHNSON-PYRTLE & SCOTT (2001) im Bereich des Lena-Deltas festgestellten höheren Cs-137-Werte zeigen sich auch im Mündungsbereich anderer Flüsse (Jenisej, Ob). Die Mündungsbereiche der Flüsse scheinen aufgrund der besonderen hydrologischen und chemischen Bedingungen Akkumulationsbereiche für ausgewaschene Radionuklide aus dem Landesinneren darzustellen.

7 Zusammenfassung, Umweltgeochemischer Teil

Für den umweltrelevanten Teil sollten erste Erkenntnisse darüber gewonnen werden, inwieweit die großmaßstäblichen Bergbauaktivitäten, vornehmlich Gold- und Diamantenbergbau, das Großentwässerungssystem Lena mit Schadstoffen belasten. Zu diesem Zwecke wurden Wasser- und Sedimentproben aus der Lena und ihren beiden Nebenflüssen Wiljuj und Aldan auf typische Verunreinigungen aus den o.g. Bergbauaktivitäten untersucht. Es sollte geklärt werden, ob bzw. in welcher Menge und Verteilung diese Schadstoffe vorhanden sind

Hier ergibt sich folgendes Bild:

Schwermetalle

Die Schwermetalle As, Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, Ni, Tl und Sn wurden in der Feinfraktion (< 63 µm) der Sedimente nach Vollaufschluss bestimmt und mit dem Durchschnittsgehalt für Tongesteine (Tonsteinstandard) nach WEDEPOHL (1984) verglichen.

Der Großteil der Proben aller drei Flüsse weist Schwermetallkonzentrationen auf, die im Bereich des Tonsteinstandards liegen. Nur lokal treten in der Lena erhöhte As-, Pb- und Ni-Werte und im Aldan leicht erhöhte As- und Ni-Werte auf. Die Proben aus dem Wiljuj zeigen ebenfalls nur einen lokal erhöhten Ni-Wert, daneben aber eine signifikante Belastung mit Thallium. Die Thallium-Konzentrationen nehmen flussaufwärts deutlich zu und sind auch im Mündungsbereich des Flusses Marcha präsent. Dieses Verteilungsmuster legt den Schluss nahe, dass es sich bei den Emittenten um die diamantengewinnenden Betriebe handeln könnte, welche Tl-haltige Clerici-Lösung für Dichtentrennungsprozesse einsetzt.

Auffällig ist, dass die Zn- und Cd -Werte aller drei Flüsse deutlich über dem Tonsteinstandard liegen. Da das Zn/Cd-Verhältnis in den Proben dem typischen Verhältnis von Zn/Cd in natürlichen Zn-Erzen entspricht und ein anthropogener flächenhafter Eintrag weitgehend ausgeschlossen werden kann, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um ein generell angehobenes geogenes Hintergrund-Niveau handelt.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse lassen sich für die untersuchten Elemente mit Ausnahme der Thallium-Belastung des Wiljuj keine signifikanten bergbaubedingten Schwermetallbelastungen nachweisen.

Cyanide

Die Cyanid-Laugung ist ein weltweit verbreitetes, effektives Verfahren zur Extraktion von Gold aus Armerzen. Aufgrund der eingesetzten hochtoxischen Salze geht von diesem Verfahren ein großes Umweltrisiko aus. 14 Flusswasserproben aus den Flüssen Lena, Aldan und Wiljuj wurden auf Cyanide untersucht. In keiner Probe konnten Cyanide nachgewiesen werden (Bestimmungsgrenze: 20 µg/l). Aufgrund möglicher Abbaureaktionen während des Transports sowie ungünstiger Bestimmungsmöglichkeiten wegen geringer Probenmengen sind diese Ergebnisse nur eingeschränkt verwendbar.

Quecksilber

Ebenso wie Cyanid wird auch Quecksilber zur Goldextraktion eingesetzt. Aus diesem Grunde wurden 16 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Aldan, Wiljuj und Marcha auf Hg nach dem Pyrolyseverfahren untersucht. Das Pyrolyseverfahren ist in Bezug auf die Bestimmungsgrenze (100 µg/kg) anderen Verfahren unterlegen, hat aber den Vorteil, dass die Bindungsform des Quecksilbers erkennbar ist. In keiner der untersuchten Proben konnten signifikante Hg-Kontaminationen nachgewiesen werden

Radionuklide

Zur geophysikalischen Erkundung des tieferen Untergrundes von Jakutien wurden Nuklearsprengungen als seismische Quellen in tiefen Bohrlöchern eingesetzt. Hierbei kam es teilweise zum oberflächigen Austritt von Spaltprodukten (Radionukliden). Um die mögliche Verbreitung dieser Radionuklide durch die Gewässer zu klären wurden insgesamt 25 Sedimentproben aus den Flüssen Lena, Wiljuj, Marcha und Aldan. gammaspektrometrisch untersucht. Die Untersuchungen erstreckten sich zum Teil auf das gesamte Sediment (16 Proben) und zum Teil auf den Feinkornanteil (Fraktion < 63 µm, 9 Proben). Die festgestellten Konzentrationen an Radionukliden waren sehr gering. Die Konzentration an Cs-137, welches bei der Untersuchung als Leitisotop diente, war geringer als durch den weltweiten Kernwaffentest-Fallout zu erwarten gewesen wäre. Die Ergebnisse lassen keine Belastung durch sonstige menschliche Aktivitäten erkennen. Der im Verhältnis zum Fallout der nördlichen Hemisphäre geringe Cs-137-Gehalt ist möglicherweise auf Auswaschungsprozesse zurückzuführen.

Die Ergebnisse der umweltrelevanten Wasser- und Sedimentuntersuchungen zeigen bezüglich der untersuchten Stoffe mit Ausnahme der Thallium-Belastung des Wiljuj keine direkten bergbaubedingten Kontaminationen.

Da es sich um Erstuntersuchungen mit teilweise stichprobenartigem Charakter handelt, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, bevor eine abschließende Beurteilung möglich ist. Hierzu zählen Jahreszeiten-Monitorings, um Ausräum- und Verdünnungseffekte sowie Abtransport durch Frühjahrshochwässer quantifizieren zu können. Ferner sollte die unmittelbare Umgebung der Bergbaubetriebe in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

8 Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Abkürzungen

Abbildungsverzeichnis

ABB. 2-1	LAGE JAKUTIENS INNERHALB RUSSLANDS	12
ABB. 2-2	VEREINFACHTE PHYSISCHE KARTE VON JAKUTIEN	13
ABB. 2-3	JÄHRLICHE ABFLUSSMENGEN UND SEDIMENTFRACHT VERSCHIEDENER JAKUTISCHER FLÜSSE	15
ABB. 2-4	JAHRESZEITLICHE SCHWANKUNGEN DES ABFLUSSES UND DER SEDIMENT FRACHT DER LENA, AUFGENOMMEN AN DER HYDROMETEOROLOGISCHEN STATION KJUSJUR (UNTERLAUF DER LENA) (RACHOLD ET AL., 1996)	16
ABB. 2-5	LAGE JAKUTIENS INNERHALB DER GEOLOGISCHEN GROßSTRUKTUREN DER UDSSR (KHAIN, 1985)	19
ABB. 2-6	VEREINFACHTE GEOLOGISCHE KARTE JAKUTIENS (SIVZEV, 1981)	21
ABB. 2-7	LAGE DES LENA-KOHLLEN-BECKENS INNERHALB JAKUTIENS SOWIE BEPROBUNGSPUNKTE	23
ABB. 3-1	FLUSSDIAGRAMM DER PROBENAUFBEREITUNG	26
ABB. 4-1	LAGERSTÄTTE KANGALASSY	39
ABB. 4-2	GEOLOGISCHE PROFILE DURCH DIE LAGERSTÄTTE KANGALASSY (ZUR LAGE DER PROFILLINIEN S. ABB. 4-1) (NACH BETREIBERUNTERLAGEN, UNVERÖFF.)	40
ABB. 4-3	STRATIGRAPHISCHES PROFIL (LINKS) UND SCHEMATISIERTER FLÖZAUFBAU (RECHTS) DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY (NACH BETREIBERUNTERLAGEN, UNVERÖFF.)	40
ABB. 4-4	BLICK NACH WESTEN IN DEN TAGEBAU DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY	41
ABB. 4-5	BEPROBUNGSPUNKTE, PROBEN-NUMMERN UND BEPROBTE FLÖZE DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY	42
ABB. 4-6	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE)	45
ABB. 4-7	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE KANGALASSY	47
ABB. 4-8	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE KANGALASSY	48
ABB. 4-9	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY (ALLE PROBEN) NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986)	50
ABB. 4-10	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY (PROFIL AM BEPROBUNGSPUNKT A) NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986)	50
ABB. 4-11	LITHOLOGISCHES PROFIL DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH (NACH BETREIBERUNTERLAGEN, UNVERÖFF.)	52
ABB. 4-12	GEOLOGISCHE PROFILSCHNITTE DURCH DIE LAGERSTÄTTE CHARBALACH (ZUR LAGE DER SCHNITTLINIEN S. ABB. 4-14) (NACH BETREIBERUNTERLAGEN, UNVERÖFF.)	53
ABB. 4-13	LAGERSTÄTTE CHARBALACH	54
ABB. 4-14	BEPROBUNGSPUNKTE UND LAGE DER PROFILSCHNITTE IM BEREICH DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH	54

ABB. 4-15	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	57
ABB. 4-16	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE CHARBALACH.....	59
ABB. 4-17	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE CHARBALACH.....	60
ABB. 4-18	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986), GLEICHFARBIGE PUNKTE BEZIEHEN SICH AUF GLEICHE STRATIGRAPHISCHE BEREICHE IM FLÖZ (S. ABB. 4-14).....	61
ABB. 4-19	LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA MIT BEPROBUNGSPUNKTEN.....	63
ABB. 4-20	GEOLOGISCHES PROFIL DURCH DIE LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA (ZUR LAGE DER PROFILLINIE S. ABB. 4-19).....	64
ABB. 4-21	STRATIGRAPHISCHES PROFIL (LINKS) UND SCHEMATISIERTER FLÖZAUFBAU (RECHTS) DER LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	64
ABB. 4-22	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI CHAJA (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	67
ABB. 4-23:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	69
ABB. 4-24:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	70
ABB. 4-25	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986) - UNTERSCHIEDLICHE FARBEN REPRÄSENTIEREN UNTERSCHIEDLICHE STRATIGRAPHISCHE HORIZONTE VGL. TAB. 4-9.....	71
ABB. 4-26	KOHLENVORKOMMEN DŽEBARIKI-CHAJA A AM UFER DES ALDAN.....	72
ABB. 4-27	SCHICHTENFOLGE DES KOHLENVORKOMMENS DŽEBARIKI-CHAJA A MIT BEPROBUNGSPUNKTEN.....	73
ABB. 4-28	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DES KOHLENVORKOMMENS DŽEBARIKI-CHAJA A (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	76
ABB. 4-29:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA A.....	77
ABB. 4-30	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DES VORKOMMENS DŽEBARIKI-CHAJA A NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986).....	79
ABB. 4-31	LAGERSTÄTTE SANGAR.....	80
ABB. 4-32	GEOLOGISCHER PROFILSCHNITT DURCH DIE LAGERSTÄTTE SANGAR (ZUR LAGE DER PROFILLINIE I-I' S.ABB. 4-31).....	81
ABB. 4-33	STRATIGRAPHISCHES NORMALPROFIL DER LAGERSTÄTTE SANGAR.....	81
ABB. 4-34	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE SANGAR (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	85
ABB. 4-35:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE SANGAR.....	86
ABB. 4-36:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE SANGAR.....	87
ABB. 4-37	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE SANGAR NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986).....	88
ABB. 4-38	LAGEPLAN DER LAGERSTÄTTE KIROV.....	89

ABB. 4-39	BLICK IN DIE LAGERSTÄTTE KIROV	90
ABB. 4-40	PROFIL DER TIEFBOHRUNGEN AN DER MÜNDUNG DES FLUSSES MARCHA UND IN DER NÄHE VON VILJUSK (NACH IGNATČENKO, 1973).....	91
ABB. 4-41	LAGE DER BEPROBUNGSPUNKTE IN DER LAGERSTÄTTE KIROV	92
ABB. 4-42	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE KIROV (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	95
ABB. 4-43:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; LAGERSTÄTTE KIROV	96
ABB. 4-44:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE KIROV	98
ABB. 4-45	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DER LAGERSTÄTTE KIROV NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986)	99
ABB. 4-46	DAS KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 1 AM UFER DER LENA (HÖHE DER BÖSCHUNG CA. 35 M).....	100
ABB. 4-47	LAGEPLAN (LINKS OBEN), GEOLOGISCHER PROFILSCHNITT (LINKS UNTEN) UND STRATIGRAFISCHES NORMALPROFIL (RECHTS OBEN) DES KOHLENVORKOMMENS VON ŽIGANSK	101
ABB. 4-48	SCHICHTENFOLGE UND BEPROBUNGSPUNKTE DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1.....	102
ABB. 4-49	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1 (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	105
ABB. 4-50:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 1	106
ABB. 4-51:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 1	107
ABB. 4-52	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1 NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986)	108
ABB. 4-53	DAS KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	109
ABB. 4-54	SCHICHTENFOLGE UND BEPROBUNGSPUNKTE DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 2.....	110
ABB. 4-55	ERGEBNIS DER MACERALANALYSE DER LAGERSTÄTTE ŽIGANSK 2 (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	113
ABB. 4-56:	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	114
ABB. 4-57:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	115
ABB. 4-58	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 2 NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986).....	116
ABB. 4-59	VEREINFACHTE GEOLOGISCHE KARTE (LINKS OBEN), STRATIGRAPHISCHES NORMALPROFIL (RECHTS OBEN) UND GEOLOGISCHES PROFIL (UNTEN) DES KOHLENVORKOMMENS KJUSJUR (NACH GLUŠINSKIJ, 1973A)	118
ABB. 4-60	DAS KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR; BEPROBUNGSPUNKT 163	119
ABB. 4-61	DAS KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR AM LINKEN UFER DER LENA; BEPROBUNGSPUNKT 173.....	120
ABB. 4-62	ERGEBNISSE DER MACERALANALYSE DES KOHLENVORKOMMENS KJUSJUR (VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN, DER VITRINIT-UNTERGRUPPEN UND LIPTINITMACERALE).....	123

ABB. 4-63	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN; KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR.....	124
ABB. 4-64:	VERTEILUNG ORGANISCH-GEOCHEMISCHER REIFE- UND MILIEUPARAMETER; KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR.....	125
ABB. 4-65	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEN DES KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADHYAY (1986), DIE GRAU UNTERLEGTE PROBE STAMMEN VON DER GLEICHEN LOKATION, S. TAB. 4-37.....	127
ABB. 4-66:	ÖSTLICHER TEIL DES KOHLENFÜHRENDEN GEBIETES ‚OLENĚK‘ (VERÄNDERT, NACH GLUŠINSKIJ, 1973B); ZU DEN STRATIGRAPHISCHEN PROFILEN I UND II S. ABB. 4-67	128
ABB. 4-67:	STRATIGRAPHIE DER KREIDEABLAGERUNGEN AN DEN POSITIONEN I UND II (GLUŠINSKIJ, 1973B)	130
ABB. 4-68:	LITHOLOGISCHES PROFIL DER TAJMYLYR LAGERSTÄTTE (UKIN-FOLGE) (GLUŠINSKIJ, 1973B)	131
ABB. 4-69:	PROBE 148: ALGINIT UNTER BLAULICHTANREGUNG (BILD LÄNGSSEITE ENTSPRICHT 270MM).....	133
ABB. 4-70:	VERTEILUNG DER MACERALGRUPPEN IN PROBE 148.....	134
ABB. 4-71:	BILDUNGSBEREICH DER KOHLEPROBE 148 NACH DEM FAZIESMODELL VON MUKHOPADYAY (1986).....	135
ABB. 5-1	ZUSAMMENSTELLUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLENLAGERSTÄTTEN DES LENA-BECKENS MIT AUSGEWÄHLTEN PARAMETERN	137
ABB. 5-2	ZUSAMMENSTELLUNG DER EXTRAKTMENGEN - ALLE UNTERSUCHTEN PROBE DER LAGERSTÄTTEN	138
ABB. 5-3	ZUSAMMENSTELLUNG DER MACERALGRUPPEN – ALLE UNTERSUCHTEN PROBE DER LAGERSTÄTTEN.....	138
ABB. 5-4	ZUSAMMENSTELLUNG DER LIPTINITMACERALE – ALLE UNTERSUCHTEN PROBE DER LAGERSTÄTTEN.....	139
ABB. 5-5	ZUSAMMENSTELLUNG DER MILIEUPARAMETER – ALLE UNTERSUCHTEN PROBE DER LAGERSTÄTTEN.....	139
ABB. 6-1	VERBREITUNGSPFADE VON IN DIE UMWELT ENTLASSENEM HG (VERÄNDERT NACH LACERDA & SALOMONS, 1998).....	144
ABB. 6-2	LAGE DER UNTERSUCHUNGSPUNKTE FÜR QUECKSILBER	146
ABB. 6-3	LAGE DER UNTERSUCHUNGSPUNKTE FÜR CYANID	150
ABB. 6-4	LAGE DER UNTERSUCHUNGSPUNKTE FÜR SCHWERMETALLE	153
ABB. 6-5	ERGEBNISSE DER SCHWERMETALLUNTERSUCHUNGEN.....	154
ABB. 6-6	VEREINFACHTE DARSTELLUNG DER POSITIONEN DER UNTERIRDISCHEN NUKLEARSPRENGUNGEN SOWIE BEPROBUNGS-/UNTERSUCHUNGSPUNKTE DER RADIONUKLIDANALYTIK.....	161
ABB. 6-7	CS-137 KONZENTRATIONEN IN DEN SEDIMENTEN DER NORDMEERE (AMAP 1998).....	164
ABB. 6-8	VERTEILUNG DER CS-137-KONZENTRATIONEN IN DEN SEDIMENTEN DER KARASEE UND IM MÜNDUNGSBEREICH DES JENISEJ (NACH BROOKS UND CHAMP, 1995).....	165
ABB. 10-1	GASCHROMATOGRAMME DER ALKAN-FRAKTIONEN	A-20

Tabellenverzeichnis

TAB. 2-1	PROZENTUALE VERTEILUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSES DER SECHS GROßEN FLUSSSYSTEME JAKUTIENS (NACH BOGATOVA ET AL., 1981).....	14
TAB. 2-2	MONATSMITTEL DER LUFTTEMPERATUR (IN °C) AN DREI STATIONEN IN JAKUTIEN (AUS WEIN, 1999).....	17
TAB. 3-1	VITRINIT- UND HUMINIT-NOMENKLATUR (ICCP, 1995)	29
TAB. 3-2	ÜBERSICHT ÜBER DIE MACERALE DER STEINKOHLLEN	29
TAB. 4-1	ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DIE LAGERSTÄTTE KANGALASSY	43
TAB. 4-2	ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE KANGALASSY	44
TAB. 4-3	EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE KANGALASSY	46
TAB. 4-4	ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE KANGALASSY	48
TAB. 4-5	ERGEBNISSE DER PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH.....	55
TAB. 4-6	ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE CHARBALACH.....	56
TAB. 4-7	EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE CHARBALACH.....	58
TAB. 4-8	ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE CHARLABACH.....	60
TAB. 4-9	KENNZEICHUNG DER BEPROBUNGSPUNKTE; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	65
TAB. 4-10	ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DIE LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	65
TAB. 4-11:	ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	66
TAB. 4-12:	EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA	68
TAB. 4-13:	ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA.....	69
TAB. 4-14	ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DAS KOHLENVORKOMMEN DŽEBARIKI-CHAJA A	74
TAB. 4-15:	ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DES KOHLENVORKOMMENS DŽEBARIKI-CHAJA A.....	75
TAB. 4-16:	EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE DŽEBARIKI-CHAJA A	77
TAB. 4-17:	ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; KOHLENVORKOMMEN DŽEBARIKI-CHAJA A.....	78
TAB. 4-18	ZUORDNUNG DER BEPROBUNGSPUNKTE; LAGERSTÄTTE SANGAR.....	82
TAB. 4-19	ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DIE LAGERSTÄTTE SANGAR.....	83

TAB. 4-20: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE SANGAR.....	83
TAB. 4-21: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE SANGAR	86
TAB. 4-22: ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE SANGAR.....	87
TAB. 4-23 ZUORDNUNG DER BEPROBUNGSPUNKTE; LAGERSTÄTTE KIROV	92
TAB. 4-24 ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DIE LAGERSTÄTTE KIROV	93
TAB. 4-25: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DER LAGERSTÄTTE KIROV	94
TAB. 4-26: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE KIROV	96
TAB. 4-27: ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE KIROV	97
TAB. 4-28 BEPROBUNGSPUNKTE DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1	103
TAB. 4-29 ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DAS KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1.....	103
TAB. 4-30: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DES KOHLENVORKOMMENS ŽIGANSK 1.....	104
TAB. 4-31: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 1.....	106
TAB. 4-32: ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 1.....	107
TAB. 4-33 ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DAS KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	111
TAB. 4-34: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	112
TAB. 4-35: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	114
TAB. 4-36: ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER; KOHLENVORKOMMEN ŽIGANSK 2.....	115
TAB. 4-37 BEPROBUNGSPUNKTE KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR.....	119
TAB. 4-38 ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF- UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN FÜR DAS KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR.....	121
TAB. 4-39: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN DES KOHLENVORKOMMENS KJUSJUR	121
TAB. 4-40: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR	124
TAB. 4-41: ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILLIEUPARAMETER KOHLENVORKOMMEN KJUSJUR.....	125
TAB. 4-42: QUALITÄTSDATEN DES HUMUSKOHLENFLÖZES DER TAJMYLYR LAGERSTÄTTE (GLUŠINSKIJ, 1973B).....	131
TAB. 4-43: ERGEBNISSE DER IMMEDIATANALYSEN, DER KOHLENSTOFF-UND BRENNWERTBESTIMMUNG SOWIE DER REFLEXIONSMESSUNGEN DES BOGHEAD-FLÖZES DER TAJMYLYR LAGERSTÄTTE.....	132
TAB. 4-44: ERGEBNISSE DER PETROGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN FÜR DAS KOHLENVORKOMMEN TAJMYLYR (PROBE 148 BOGHEAD-FLÖZ).....	133
TAB. 4-45: EXTRAKTMENGEN DER KOHLENWASSERSTOFFE; LAGERSTÄTTE TAJMYLYR.....	134

TAB. 4-46:	ORGANISCH-GEOCHEMISCHE REIFE- UND MILIEUPARAMETER; LAGERSTÄTTE TAJMYLYR.....	135
TAB. 6-1	ERGEBNISSE DER HG-UNTERSUCHUNGEN DER FLUSSSEDIMENTE	146
TAB. 6-2	ERGEBNISSE DER CYANID-UNTERSUCHUNG DER FLUSSSEDIMENTE.....	151
TAB. 6-3	ERGEBNISSE DER SCHWERMETALL-UNTERSUCHUNG DER FLUSSSEDIMENTE	155
TAB. 6-4	UNTERIRDISCHE NUKLEARSPRENGUNGEN IN JAKUTIEN (MINISTERSTVA ËKOLOGIJ I PRIRODOPOL'ZOVANIJA RESPUBLIKA SACHA, 1993)	159
TAB. 6-5	RADIOAKTIV VERSCHMUTZTE FLÄCHEN UND DEREN REHABILITIERUNG (MINISTERSTVA ËKOLOGIJ I PRIRODOPOL'ZOVANIJA RESPUBLIKA SACHA, 1993)	160
TAB. 6-6	ERGEBNISSE DER RADIONUKLIDUNTERSUCHUNG ‚GESAMTES SEDIMENT‘	162
TAB. 6-7	ERGEBNISSE DER RADIONUKLIDUNTERSUCHUNGEN, FRAKTION < 63 µM.....	163
TAB. 6-8	CS-137-KONZENTRATIONEN (BQ/KG) IN VERSCHIEDENEN ABLAGERUNGSRÄUMEN (BSH ANGABEN: PERSÖNLICHE MITTEILUNGEN VON DR. NIES, BSH, HAMBURG)	165
TAB. 10-1	PROBENLISTE DER UNTERSUCHTEN JAKUTISCHEN KOHLEN.....	A-1
TAB. 10-2	IMMEDIATANALYSEN UND REFLEXIONSMESSUNGEN	A-3
TAB. 10-3	HAUPTELEMENTGEHALTE (10-3A) UND SPURENELEMENTGEHALTE (10-3B) DER KOHLEN.....	A-5
TAB. 10-4	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER MACERALANALYSEN.....	A-7
TAB. 10-5	MACERALANALYSEN (VITRINIT, INERTINIT, LIPTINIT UND MINERALE)	A-8
TAB. 10-6	EXTRAKTMENGEN UND VERTEILUNG DER KOHLENWASSERSTOFFGRUPPEN	A-12
TAB. 10-7	GEHALTE AN N-ALKANEN (ERGEBNISSE DER GASCHROMATOGRAPHIE)	A-15
TAB. 10-8	GEHALTE AN I-ALKANEN (ERGEBNISSE DER GASCHROMATOGRAPHIE	A-17
TAB. 10-9	GEHALTE AN CYKLISCHEN ALKANEN (ERGEBNISSE DER GASCHROMATOGRAPHIE).....	A-18
TAB. 10-10	MILIEUPARAMETER UND BIOMARKER.....	A-19
TAB. 10-11	PROBENLISTE SEDIMENT- UND WASSERUNTERSUCHUNGEN.....	A-34
TAB. 10-12	RÖNTGENFLUORESCENZ-ANALYTIK (RFA) DER SEDIMENTE; ANGABEN IN [GEW.%] UND [PPM]	A-40
TAB. 10-13	SCHWERMETALL-UNTERSUCHUNGEN (AAS) DER SEDIMENTE (FRAKTION < 63µM), ANGABEN IN [PPM]	A-40
TAB. 10-14	OBERFLÄCHENWASSER-ANALYTIK.....	A-42

Verzeichnis der Abkürzungen

an	analysenfeucht
BG	Bestimmungsgrenze (mittlerer Fehler x 10)
Corg	organischer Kohlenstoff
d	trocken
daf	trocken und aschefrei
Flüchtige Best.	Flüchtige Bestandteile
GC	Gaschromatogramm
H _o	oberer Brennwert
KW	Kohlenwasserstoff
m. T.	mittlerer Teil
n. b.	nicht bestimmt
NG	Nachweisgrenze (mittlerer Fehler x 3)
o. T.	oberer Teil
Phy	Phytan
Pri	Pristan
Rr %	mittleres Reflexionsvermögen
u. T.	unterer Teil
wf	wassersfrei

9 Literaturverzeichnis

- AMAP (1998):** AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. - Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. Xii, 859 pp.
- ANDRADE, J.C., BUENO MIMS, SOARES, P.V., CHOUDHURI, A. (1988):** The fate of mercury released from prospecting areas (Carimpos) near Guarinus and Pilar, Goiás (Brazil). - An. Acad. Brasil. Ciênc., 60: 293-303.
- ANOSHIN, G.N., MALIKOVA, I.N., KOVALEV, S.I., ANDROSOVA, N.V., SUKHORUKOV, F.V., TSIBULCHIK, V.M., SHCHERBOV, B.L. (1995):** Mercury in the environment of Southern West Siberia. - Chem. Sustainable. Dev., 3: 63-104.
- BARRICK, R.C. & HEDGES, J. (1981):** Hydrocarbon geochemistry of the Puget Sound region - II. Sedimentary diterpenoid, steroid and triterpenoid hydrocarbons. - Geochim. Cosmochim. Acta, 45: 381-392.
- BAU, M. & PROKOPJEWA S.(1993):** Sacha-Jakutien - Ein fernes Land und sein Volk. - Asien Archiv, Darmstadt.
- BB 22022, TEIL 2 (1985):** Rohstoffuntersuchungen im Steinkohlenbergbau, Bestimmung der Gehalte an Spurenelementen, Vorbereitung der Analysenprobe für die Bestimmung (Aufschlussverfahren). Steinkohlenbergbauverein, Essen.
- BIESTER, H. (1994):** Möglichkeiten der Anwendung eines temperaturgesteuerten Pyrolyseverfahrens zur Bestimmung der Bindungsform des Quecksilbers in Böden und Sedimenten.- Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 75: 156 S.
- BIESTER, H. & NEHRKE, G. (1997):** Quantification of mercury in soils and sediments - acid digestion versus pyrolysis. - Fresenius J. Anal. Chem., 358:446-452.
- BIESTER, H. & SCHOLZ, C. (1997):** Determination of Mercury Binding Forms in Contaminated Soils: Mercury Pyrolysis versus Sequential Extractions. - Environ. Sci. Technol., 31, 233-239.
- BIESTER, H., HESS, A., MÜLLER, G. (1997):** Investigations on different mercury-phases in soils of a Hg-mining area by a temperature-controlled-pyrolysis technique. In: Environmental Science, Ed. REUTHER, R.V. 3: Geochemical Approaches for the Environmental Engineering of Metals. Springer Heidelberg 1997: 33-43.
- BRADING, D.A. & CROSS, H.E. (1972):** Silver mines of Colonial America. - Hispanic Am. Hist. Rev., 52:547-549.
- BRASSEL, S.C., EGLINTON, G., MAXWELL, J.R. (1983):** The geochemistry of plant terpenoids. - Biochem. Soc. Trans., 11: 575-586.
- BRAY, E.E. & EVANS, E.D. (1961):** Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. - Geochim. Cosmochim. Acta, 22: 2-15.

- BROOKS, J.M. & CHAMP, M.A. (1995):** Studies of nuclear contamination in the Russian Arctic. - Quarterdeck 3 (2), Department of Oceanography, Texas A & M University.
- BROSSET, C. & LORD, E. (1991):** Mercury in precipitation and ambient air. - *Water Air Soil Pollut.*, 56:493-506.
- BUSTIN, R.M., CAMERON, A.R., GRIEV, D.A., KALKREUTZ, W.D. (1983):** Coal Petrology, Its Principles, Methods and Applications. - Geol. Ass. Canada, Short Course Notes, Vol. 3: 273 S.
- BYCROFT, B.M., COLLIER BAW, DEACON, G.B., COLEMAN, D.J., LAKE, P.S. (1982):** Mercury contamination of the Lerderberg River, Victoria, Australia, from an abandoned gold field. - *Environ. Pollut. Ser., A* 28: 135-147.
- CHAFFEE, A.L., HOOVER, D.S., JOHNS, R.B., SCHWEIGHARDT, F.K. (1986):** Biological markers extractable from coal. - In: JOHNS, R.B. (ed.): *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 24. Biological markers in the sedimentary record: 311-339.
- DAS, M. C. & MAHATO S. B. (1983):** Triterpenoids. - *Phytochem.*, 22: 1071-1095.
- DEUTSCHE TRINKWASSERVERORDNUNG (2001):** Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) Fassung vom 21. Mai 2001, (BGBl. I Nr. 24 vom 28.5. 2001, S. 959)
- DIESEL, C.F. (1982):** An appraisal of coal facies based on maceral characteristics. - *Australian Coal Geology*, 4: 474-483.
- DIN 22020, TEIL 2 (1986):** Rohstoffuntersuchungen im Steinkohlenbergbau; Mikroskopische Untersuchungen an Steinkohlen, Koks und Briketts; Herstellung von Körnerschliffen und Stückschliffen. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 22020, TEIL 3 (1986):** Rohstoffuntersuchungen im Steinkohlenbergbau; Mikroskopische Untersuchungen an Steinkohlen, Koks und Briketts; Maceralanalysen an Körnerschliffen. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 38405, TEIL 14 (1988):** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Bestimmung von Cyaniden in Trinkwasser, gering belastetem Grund- und Oberflächenwasser (D14). - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 38405-18 (1985):** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Bestimmung von Arsen mittels Atomabsorptionsspektrometrie (D 18). - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 38406-22 (1988):** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung der 33 Elemente Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn und Zr durch Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) (E 22). - Beuth Verlag, Berlin.

- DIN 51718 (1978):** Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Wassergehaltes. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51719 (1978):** Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Aschegehaltes. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51720 (1978):** Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Gehaltes an Flüchtigen Bestandteilen. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51721 (1950):** Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Gehaltes an Kohlenstoff und Wasserstoff. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51724-1 (1986):** Prüfung fester Brennstoffe, Bestimmung des Schwefelgehaltes, Gesamtschwefel. - Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51900 (1974):** Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes. - Beuth Verlag, Berlin.
- D'ITRI, P.A. & D'ITRI, F.M. (1977):** Mercury contamination: a human tragedy. - Wiley, New York, 311 S.
- DNPM (1989):** Anuario Mineral Brasileiro. - Dept. Nacional da Produção Mineral, Brasília, DF.
- DOUGLAS, A.G. & GRANTHAM, P.J. (1974):** Fingerprint gas chromatography in the analysis of some native bitumens, asphalt and related substances. In: Adv. in Org. Geochem. 1973, TISSOT, B. & BIENNER, F. (eds.), 261-276, Pergamon Press, Oxford.
- EGLINTON, G. & HAMILTON, R.J. (1967):** Distribution of n-alkanes and n-fatty acids in plant waxes. - Science, 156: 1322-1334.
- FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U., ZINNER, J. (1985):** Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland - Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- FURUTANI, A., RUDD, J.W.M., TURNER, M.A. (1980):** Mercury methylation by fish intestinal contents. - Appl. Environ. Microbiol. 40: 777-782.
- GELPI, E., SCHNEIDER, H., MANN, J., ORO, J. (1970):** Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. - Phytochem.,9:603-612.
- GLUŠINSKIJ, P.I. (1973a):** Bulunskij ugljosnyj rajon. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9: 285-289.
- GLUŠINSKIJ, P.I. (1973b):** Olenëskij ugljosnyj rajon. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9: 289-316.
- GOTHAN, W. & WEYLAND, H. (1954):** Lehrbuch der Paläobotanik. - Adademie-Verlag, Berlin.
- GÖTZ, G. (1994):** Untersuchungen über Bitumengehalt von Saarkohlen mittels Extraktion mit über- und unterkritischen Phasen. - Diss. RWTH Aachen, 434 S.

- HACON, S. (1991):** Mercury contamination in Brazil, with emphasis on human exposure to mercury in the Amazon Region. - FINEP, Rio de Janeiro, p 91.
- HAGEMANN, H.W. & HOLLERBACH, A. (1979):** Relationship between the macropetrographic and organic geochemical composition of lignites. - In: DOUGLAS, A.C. & MAXWELL, J.R. (eds.) (1979): Adv. In Org. Geochem.: 631-638, Oxford, Pergamon Press.
- HAGEMANN, H.W. & WOLF, M. (1987):** New interpretations of the facies of the Rheinisch Brown Coal of West Germany. - Int. J. Coal Geol., 7: 335-348.
- HOLLERBACH, A. (1980):** Organische Substanzen biologischen Ursprungs in Erdölen und Kohlen. - Erdöl und Kohle, 33(6): 362-367; Leinfelden.
- HOLLERBACH, A. (1985):** Grundlagen der organischen Geochemie. - Hochschultext, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 190 S.
- HRABOWSKI, K. (1990):** Jakutien- Fernes Land am Kältepol. - Brockhaus Verlag, Leipzig, 280 S.
- IGNATČENKO, N.A. (1973):** Jakutsko-Viljujskij uglenosnyj rajon. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9. 176-203.
- ILLICH, H.A. (1983):** Pristan, phytan and lower molecular weight isoprenoid distributions in oils. - Bull. Am. Assoc. Pet. Geol., 68: 196-219.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY (ICCP) (1963):** International Handbook of Coal Petrography.- CNRS, 2nd Edn., 1st Suppl., Paris.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY (ICCP) (1975):** International Handbook of Coal Petrography.- CNRS, 2nd Edn., 2nd Suppl., Paris.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY (ICCP) (1985):** International Handbook of Coal Petrography.- CNRS, Suppls. to 2nd Edn., Univ. of Newcastle upon Tyne, England.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY (ICCP) (1993):** International Handbook of Coal Petrography.- CNRS, 2nd Edn., 3rd Suppl., Univ. of Newcastle upon Tyne, England.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL AND ORGANIC PETROLOGY (ICCP) (1995):** Vitrinite Classification; ICCP System 1994. - ICCP, Aachen.
- JOHNSON-PYRTLE A. & SCOTT M. (2001):** Distribution of Cs-137 in the Lena River Estuary-Laptev Sea System. - Marine Pollution Bulletin, 42(10): 912-926.
- KHAIN, V.E. (1985):** Geology of the USSR. - Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart.
- KILLOPS, S.D. & KILLOPS, V.J. (1997):** Einführung in die organische Geochemie. - Enke Verlag, Stuttgart,
- KOLEDNEVA, N. (1994):** The tricks of mercury. Zabaikalsky rabochy 11:1 (in Russian).

- LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. (1998):** Mercury from gold and silver mining. A chemical time bomb. - Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- LAPERDINA, T.G., TUPYAKOV, A.B., YEGOROV, A.I., MELNIKOVA, M.V., ASKAROVA, O.B., BANSHCHIKOV, V.A., KHVOSTOVA, T.E., TSYBIKDORZHIEV, Z., BOCHKO, O.K. (1995):** Environment pollution by mercury in the zone of influence of transbaikalian gold mining plants. – Chem. Sustainable Dev. 3: 53-62.
- LAPERDINA, T.G., MELNIKOVA, M.V., KHVOSTOVA, T.E. (1996):** Mercury pollution of the environment due to gold mining in Zabaikalye. - In: BAYENS, W., EBINGHAUS, R., VASILIEV, O. (eds.): Proc. NATO ARW, Regional and global mercury cycles: sources, fluxes and mass balances. Novosibirisk, Russia, 10-14. July 1995; Luwer, Dordrecht: 415-427.
- LAPERDINA, T.G., MELNIKOVA, M.V., KHVOSTOVA, T.E. (1999):** Gold mining in Siberia as a source of mercury contamination of the environment. - In: EBINGHAUS, ET AL. (ed.): Mercury contaminated sites. Environmental Science: 357-374; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- MALANDIN, M.M. (1973a):** Uglenosnye otloženija Lenskogo ugol'nogo bassejna. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9: 131-148.
- MALANDIN, M.M. (1973b):** Žiganskij uglenosnyj rajon. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9: 270-285
- MALANDIN, M.M. (1973c):** Sangarskij uglenosnyj rajon. V: Geologija mestoroždenij uglja i gorjučich slancev SSSR. Tom 9: 244-270
- MALM, O. (1991):** Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira do Rio Madeira, Amazônia. - PhD Thesis, Inst. Biofísica, Univ. Fed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MALM, O., GUIMARÃES JRD, PFEIFFER, W.C. (1993):** Accumulation of metallic mercury and natural amalgams findings in Madeira River basin bottom sediments, Amazon. In: ABRÃO, J.J., WASSERMAN, J.C., SILVA-FILHO, E.V. (eds) Proc. Int. Symp. Perspectives for environmental geochemistry in tropical countries: 391-393.
- MATVEEV, A.K. (1960):** Geologija ugol'nych bassejnov i mestoroždenij SSSR, - Nedra, Moskva, 367 S.
- MELLOR, J. W. (1952):** A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry. Vol. IV.- Longmans, Green, Co, London.
- MINISTERSTVO ĖKOLOGIJ I PRIRODOPOL'ZOVANIJIA RESPUBLIKA SACHA (JAKUTIJA) (1993):** Gosudarstvennyj doklad o sostojanij okružajuščej sredy Respublika Sacha (Jakutija) v 1992 godu. Jakutsk.
- MOINELO, S.R., MENENDEZ, R. & BERMEJO, J. (1987):** Utilization of flash chromatography for the fractionation of coal derived liquids. - Chromatographia, 23 (3): 179-183.

- MUKHOPADHYAY, P. (1986):** In: R.B. FINKELMANN AND D.J. CASAGRANDE (eds.), *Geology of Gulf Coast Lignites. Field Trip Guide Book.* - Geol. Surv. Am., 140.
- MÜLLER, G. (1993):** Long distance mercury transport in Rio Tapajós, Pará, Brazil. In: ABRÃO, J.J., WASSERMAN, J.C., SILVA-FILHO, E.V. (eds.) *Proc. Int. Symp. Perspectives for environmental geochemistry in tropical countries:* 363-364.
- NRIAGU, J.O. (1979):** Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. - *Nature* 279: 409-411.
- NRIAGU, J.O. (1994):** Mercury pollution from past mining of silver and gold in the Americas. - *Sci. Total. Environ.* 149: 167-181.
- OURISSON, G., ALBRECHT, P. & ROHMER, M. (1984):** Der mikrobielle Ursprung fossiler Brennstoffe. - *Spektrum der Wiss.*, 10: 54-64.
- PARFENOV, L.M. (1991):** Tectonics of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoides in the context of plate tectonics. In: L.P. ZONENSHAIN (ed.), *The Achievements of Plate Tectonics in the U.S.S.R.*, *Tectonophysics* 199: 319-342.
- PAVLOV, V.K. & STANOVVOY, V.V. (1996):** About the Possible Reasons of Increased Concentrations of Radionuclides in the Laptev Sea. - *Terra Nostra*, Heft 96/9, Third Workshop on Russian-German Cooperation: Laptev Sea System, AARI, October 16-19, 1996, p.84 by ed. H.KASSENS, F.LINDEMANN & B.ROHR.
- PETERS, K.E. & MOLDOWAN, J.M. (1991):** Effects of source, thermal maturity and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum. - *Org. Geochem.*, 17(1):47-61.
- PETERS, K.E. & MOLDOWAN, J.M. (1993):** *The Biomarker Guide. Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments.* - Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 363 S.
- PFEIFFER, W.C. & LACERDA, L.D. (1988):** Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. - *Environ. Technol. Lett.* 9: 325-330.
- PFEIFFER, W.C., MALM, O., SOUZA C.M.M, BASTOS, W.R., TORRES, J.P. (1989a):** Mercury contamination in gold mining areas of Rio de Janeiro State, Brazil. - *Proc. Int. Conf. Heavy metals in the environment*, Geneve 1: 222-225.
- PFEIFFER W.C., LACERDA, L.D., MALM, O., SOUZA C.M.M, SILVEIRA, E.G., BASTOS, W.R. (1989b):** Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rhodonia, Brazil. *Sci. Total. Environ.* 87/88: 233-240
- PICKEL, W. (1991):** Kohlenpetrographische und organisch-geochemische Untersuchungen im Zusammenhang mit der Reifung verschiedener Liptinitmacerale. - *Diss. RWTH Aachen*, 169 S.
- PICKEL, W. & GÖTZ, G.K.E. (1991):** Investigations on the petroleum generation potential of bituminous coals from the Saar region. - *Org. Geochem.* 17: 695-704.

- PRANGE, C. M. (1988):** Untersuchung von Saarkohlen zur Charakterisierung des technologischen Verhaltens anhand kohlenpetrologischer, physikalischer und geochemischer Methoden unter Berücksichtigung der Fluoreszenzmikroskopie. - Dissertation, RWTH Aachen. 190 S.
- PROKOPJEVA, S., ESSER, S., MELCHERT, C., (2002):** Jakutien im Wandel (unveröffentlicht).
- RACHOLD, V., ALABYAN, A., HUBBERTEN H.-W., KOROTAEV, V. N., ZAITSEV, A. A., (1996):** Sediment transport to the Laptev Sea - Hydrology and geochemistry of the Lena River. - Polar Res. 15: 183-196.
- ROBINSON, J.B. & TUOVINEN, O.H. (1984):** Mechanisms of microbial resistance and detoxification of mercury and organomercury compounds: physiological, biochemical and genetic analyses. - Microbiol Rev. 48: 95-124.
- ROSLYAKOV, N.A. & KIRILLOVA, O.V. (1995):** Environmental contamination by mercury owing to gold production in Russia. - Chem. Sustainable Dev. 3: 41-52.
- SILVA, A.S., OLIVEIRA, A.O.F., GONCALVES, H.S., ANJOS, J.R., AMAREL ESTRELLA, V., BARBOSA, A.C., PONCE, G.A.E., DOREA, J.G.,(1990):** Avaliação da poluição por mercúrio nos garimpos de Paracatu, MG. In: HACON, S., LACERDA, L. D., PFEIFFER, W. C., CARVALHO, D., (eds.): Riscos e Consequências do Uso do Mercúrio. - FINEP/CNPq/MS/IBAMA, Rio de Janeiro: 30-45.
- ŠIROGLAZOV, M.T. & DEMČENKO, N.S. (1990):** Geologičeskoe stroenie meždureč'ja rek Seržy - Tyry - Aldanskogo uglenosnogo rajona/ otčet o poiskovyh rabotach na učastke levoberež'e - Tyry v 1985 - 1989; Kangalassy (unveröffentlichter Bericht).
- SIVZEV, T. (1981):** Atlas Jakutskoj ASSR, - Glavnoe upravlenie geodezij i kartografij pri sovete ministrov SSSR, Moskva.
- SJUNDJUKOV, Š.A., FROLOV, V.I., BOLOTOVA, I.A. (1991):** Perspektivy uglivosti i kačestvo uglej Leno-Aldanskogo meždureč'ja (1 etap, ijul'-avgust 1991g.). - Akademija nauk SSSR, Sibirskoe otdelenie Jakutskij institut geologičeskich nauk, Jakutsk.
- STACH, E. (1949):** Lehrbuch der Kohlenmikroskopie. - Verlag Glückauf, Kettwig, 285 S.
- STACH, E. (1982):** The macerals of coal. - In: STACH, E., MACKOWSKY, M.-TH., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, F.H., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R.: Stach's Textbook of Coal Petrology. - Gebr. Bornträger Berlin, Stuttgart: 87-139.
- STACH, E., MACKOWSKY, M.-TH., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, F.H., CHANDRA, D., TEICHMÜLLER, R. (1982):** Stach's Textbook of Coal Petrology. - Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart.
- STREIBL, M. & HEROUT, V. (1969):** Terpenoids - Especially oxygenated mono-,sesqui-, di-, and triterpenes. - In: EGLINGTON, G. & MURPHY, M.T.J (eds.): Org. Geochem. - Springer Verlag, Berlin.
- SWAINE, D.J. (1990):** Trace Elements in Coal. - Butterworths, London.

- TAISAYEV, T.T. (1991):** Technogenic dispersion flux of gold and mercury in bald peak-taiga Landscapes. - DAN USSR 371: 719-722 (in Russian).
- TAYLOR, G.H. & LIU, S.Y. (1998):** Micrinite - its nature, origin and significance. - Int. J. Coal Geol., 18: 71-85.
- TAYLOR, G.H., TEICHMÜLLER, M., DAVIS, A., DIESEL, C.F.K., LITKE, R., ROBERT, P. (1998):** Organic Petrology. - Gebrüder Bornträger; Berlin, Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, M. (1982):** Origin of the petrographic constituents of coal. - In: STACH, E., MACKOWSKY, M.-TH., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G.H., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. (Hrsg.): Stach's Textbook of Coal Petrology. - Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart: 219-294.
- TEN HAVEN, H.L., DE LEEUW, J.W., RULLKÖTTER, J., SINNINGHE DAMSTE, J.S. (1987):** Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a paleoenvironmental indicator. - Nature, 330: 641-643.
- THE MINISTRY OF FOREIGN RELATIONS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) (1994):** Republic of Sakha. Yakutian Business Guide, Yakutsk.
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984):** Petroleum Formation and Occurrence. 2nd Edn. - Springer, Berlin, 699 S.
- TRAVERSE, A. (1988):** Paleopalynology. - Unwin Hyman, Boston.
- TRUEB, L.F. (1992):** Gold - Bergbau, Verhüttung, Raffination und Verwendung. - Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 199 S.
- VOLKMANN, J.K. (1988):** Biological marker compounds as indicators of the depositional environments of petroleum source rocks. - In: A. J. FLEET et al. (eds.): Lacustrine Petroleum Source Rocks. Geol. Soc. Spec. Pub. No. 40, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- VOLKMANN, J.K. & MAXWELL, J. R. (1986):** Acyclic isoprenoids as biological markers. - In: JOHNS R.B.(ed.): Biological Markers in the Sedimentary Record, Methods in Geochemistry and Geophysics 24. Elsevier, Amsterdam: 1-42
- WANG, T.G. & SIMONEIT, B.R.T. (1990):** Organic geochemistry and coal petrology of Tertiary brown coal in the Zhoujing mine, Baise Basin, South China - 2. Biomarker assemblage and significance. - Fuel, 69: 12-21.
- WEDEPOHL, K.H. (1984):** Die Zusammensetzung der oberen Erdkruste und der natürliche Kreislauf ausgewählter Metalle. Ressourcen. - In: MERIAN, E. (ed.): Metalle in der Umwelt. Verlag Chemie, Weinheim: 1-10.
- WEIN, N. (1999):** Sibirien. - Justus Perthes Verlag, Gotha.
- WOLF, M. (1988):** Torf und Kohle. In: FÜCHTBAUER, G. (ed.): Sedimentpetrologie, Sedimente und Sedimentgesteine, Bd. 2. - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandl., Stuttgart: 683-730.

-
- WOOD, G.D., GABRIEL A.M., LAWSON, J.C.(1996):** Palynology techniques, processing and microscopy. - In: JANSONIUS, J. & MC GREGOR (Eds.): Palynology, Principles and Applications. 1. Vol.; Dallas, Texas: 29-50
- ŽELINSKIJ, V.M. (1994):** Uglenosnye bassejny Jakutii. V: Uglenosnye otloženija i ugli Jakutii, Jakutskij Institut Geologičeskich Nauk, Jakutsk, 4-9.

10 Anhang

Anhang I Daten der lagerstättenkundlichen Untersuchungen (Kohlenanalytik)

- Tab. 10-1 Probenliste der untersuchten jakutischen Kohlen
- Tab. 10-2 Immediatanalysen und Reflexionsmessungen
- Tab. 10-3 Hauptelementgehalte (10-3a) und Spurenelementgehalte (10-3b) der Kohlen
- Tab. 10-4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Maceralanalysen
- Tab. 10-5 Maceralanalysen (Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Minerale)
- Tab. 10-6 Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen
- Tab. 10-7 Gehalte an n-Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie)
- Tab. 10-8 Gehalte an i-Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie)
- Tab. 10-9 Gehalte an cyclischen Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie)
- Tab. 10-10 Milieuparameter und Biomarker
- Abb. 10-1 Gaschromatogramme der Alkan-Fraktionen

Anhang II Daten zur Umweltanalytik

- Tab. 10-11 Probenliste Sediment- und Wasseruntersuchungen
- Tab. 10-12 Röntgenfluoreszenz-Analytik (RFA) der Sedimente; Angaben in [Gew.%] und [ppm]
- Tab. 10-13 Schwermetall-Untersuchungen (AAS) der Sedimente (Fraktion < 63µm), Angaben in [ppm]
- Tab. 10-14 Oberflächenwasser-Analytik

11 Anlagen

- Anlage 1 Übersichtskarte Untersuchungsraum Lena Becken
- Untersuchte Kohlenlagerstätten, Bergbaustandorte
 - Lage der Teilkarten (Anlagen 2-4)
 - Lage der Detailkarten (Anlagen 5-7)
- Anlage 2 Teilkarte 1
- Unterlauf der Lena und Lena-Delta
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. P41 bis P64)
 - Kohlenlagerstätten Kjusjur und Tajmylyr
- Anlage 3 Teilkarte 2
- Mittellauf der Lena
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. P21 bis P41)
 - Kohlenlagerstätten Zigansk 1 und Zigansk 2
- Anlage 4 Teilkarte 3
- Mittellauf der Lena, Einmündung Wiljuj und Aldan
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. P01 bis P21)
 - Kohlenlagerstätten Kangalassy, Sangar
- Anlage 5 Detailkarte 1
- Region Suntar am Wiljuj
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. S01 bis S04)
- Anlage 6 Detailkarte 2
- Region Njurba am Wiljuj
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. N01 bis N12)
 - Kohlenlagerstätte Kirov
- Anlage 7 Detailkarte 3
- Region Džebariki am Aldan
 - Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle (Proben-Nr. D01 bis D10)
 - Kohlenlagerstätten Džebariki Chaja, Džebariki Chaja a und Charlabach

Tab. 10-1 : Probenliste der untersuchten jakutischen Kohlen

Proben-Nr.	Lagerstätte	Kohlen-Art	Beprobungsbereich bzw. Flöz-Bezeichnung	Stratigraphische Periode/Stufe	Regionale stratigra- phische Einheit	Flözmächtigkeit [m]
63	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
65	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
67	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
68	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
69	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
71	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
72	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
74	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
75	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
76	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
77	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Ufer	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	
80	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij 1. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
81	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij 2. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
82	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij 3. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
83	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Nižnij 4. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	4,3 - 5,6
86	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 1. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
87	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 2. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
88	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 3. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
89	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 4. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
90	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 5. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
91	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 6. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
92	Kangalassy	Matt-Glanzbraunk.	Verchnij 7. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	7,8 - 11,3
96	Žigansk 1	Mattbraunk.	1.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	0,9
98	Žigansk 1	Mattbraunk.	2.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	0,8
100	Žigansk 1	Mattbraunk.	3.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	1,4
102	Žigansk 1	Mattbraunk.	4.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	2,6
103 (102a)	Žigansk 1	Mattbraunk.	4.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	2,6
104	Žigansk 1	Mattbraunk.	4.	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	2,6
108	Žigansk 2	Mattbraunk.	Hafenbereich (unt. Teil)	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	
109	Žigansk 2	Mattbraunk.	Hafenbereich (mit. Teil)	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	
110	Žigansk 2	Mattbraunk.	Hafenbereich	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	
111	Žigansk 2	Mattbraunk.	Hafenbereich (ob. Teil)	K1, Valangin	Yngyr Unterfolge	
113	Sangar	Flamm-Gasflammk.	Halde	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	
121	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
123	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
125	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij (3. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
126	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij (2. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
127	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij (1. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
129	Charbalach	Glanzbraunk.	Nižnij (3. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	2,7
130	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij (3. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
131	Charbalach	Glanzbraunk.	Verchnij (3. Meter)	J3, Kimmeridge-Wolga *	Bergein Folge *	4
132	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij ob. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
133	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij mit. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
134	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij unt. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
135	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij mit. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
136	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij ob. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
137	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij mit. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
138	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij unt. Teil	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
139	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	Verchnij	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	2,5
140	Džebariki	Glanzbraunk.- Flammk.	1. und 2. (1. Meter unt. Top)	J3, Callov-Oxford	Čečum Folge	3,5

Tab. 10-1 : Probenliste der untersuchten jakutischen Kohlen

Proben-Nr.	Lagerstätte	Kohlen-Art	Beprobungsbereich bzw. Flöz-Bezeichnung	Stratigraphische Periode/Stufe	Regionale stratigra- phische Einheit	Flözmächtigkeit [m]
141	Džebariki	Glanzbraunk- Flammk.	1. und 2. (2. Meter unt. Top)	J3, Callov-Oxford	Čečum Folge	3,5
143	Džebariki a	Glanzbraunk.	2.	K1		1
145	Džebariki a	Glanzbraunk.	1. (ob. 1,5 Meter)	K1		3
146	Džebariki a	Glanzbraunk.	1. (unt. 1,5 Meter)	K1		3
148	Tajmylyr	Flamm-Gaskohle	Boghead	K1, Alp	Ukinsk Folge	0,2 - 0,65
149	Sangar	Flamm-Gasflammk.	Složnyj	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	0,8 - 3,2
150	Sangar	Flamm-Gasflammk.	Jubilejnyj	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	1,1 - 3,7
151	Sangar	Flamm-Gasflammk.	Sapropel'nyj	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	1,2 - 2,4
152	Sangar	Flamm-Gasflammk.	Sputnik	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	1,5 - 2,0
154	Kirov	Mattbraunk.	13. und 14. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
155	Kirov	Mattbraunk.	11. und 12. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
156	Kirov	Mattbraunk.	9. und 10. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
157	Kirov	Mattbraunk.	7. und 8. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
158	Kirov	Mattbraunk.	5. und 6. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
159	Kirov	Mattbraunk.	4. Meter	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
160	Kirov	Mattbraunk.	2. Meter (unt. Teil, 1-1,5 m)	K1, Valangin-Barrême	Batylych Folge	9,0 - 18
163	Kjusjur	Glanzbraun- Flammk.	gegenüber Kjusjur			~0,15
166	Kjusjur	Glanzbraun- Flammk.	Schacht	K1, Alp-Alp	Ogoner-Jurjach Folge	
168	Kjusjur	Glanzbraun- Flammk.	Schacht Lesemat.	K1, Alp-Alp	Ogoner-Jurjach Folge	
171	Kjusjur	Glanzbraun- Flammk.	Bachbett			
173	Kjusjur	Glanzbraun- Flammk.	Ufer	K1, Alp-Alp	Ogoner-Jurjach Folge	~0,4

Tab. 10-2 : Immediatanalysen und Reflexionsmessungen

Proben-Nr	Wasser an %	Asche d %	Flüchtige Best daf %	Corg daf %	H ₂ O an kJ/kg	H ₂ O daf kJ/kg	Rr %
63	8,0	10,0	52,4	68,5	21920	26465	0,34
65	5,3	10,4	54,1	69,8	23630	27867	0,36
67	9,3	8,9	46,6	70,4	22320	27022	0,36
68	8,9	11,2	43,2	69,4	21580	26697	0,36
69	7,6	10,0	50,9	71,0	23470	28207	0,38
71	8,5	13,4	44,2	68,5	20950	26440	0,37
72	7,0	8,0	52,9	69,2	23340	27276	0,36
74	5,2	14,8	57,0	70,7	23390	28944	0,37
75	7,3	10,5	51,6	70,5	23340	28125	0,37
76	10,4	7,7	42,7	70,5	22540	27249	0,33
77	10,5	7,0	43,4	72,8	22330	26831	
80	10,2	9,4	45,1	69,8	22470	27609	0,36
81	10,9	8,6	48,1	70,3	22330	27417	0,37
82	10,9	9,2	49,9	72,9	21770	26915	0,29
83	8,8	9,6	47,2	69,3	22930	27813	0,39
86	10,0	13,5	45,0	71,6	21680	27823	0,36
87	8,2	16,5	49,1	70,4	21270	27749	0,37
88	7,4	18,4	50,1	69,3	21450	28355	0,38
89	4,7	17,7	62,0	73,4	23980	30569	0,3
90	9,4	12,7	46,6	72,8	21900	27704	0,36
91	10,1	6,6	47,4	73,8	23500	27987	0,31
92	8,1	11,9	53,3	72,3	23500	29031	0,35
96	10,1	28,2	56,7	66,0	16400	25407	0,37
98	8,7	28,9	45,0	68,4	17290	26639	0,38
100	8,6	21,7	53,6	69,9	19280	26908	0,36
102	9,1	13,0	50,5	71,4	21920	27724	
103	10,1	13,6	54,0	67,6	20460	26341	
104	9,9	8,4	50,0	69,3	21980	26635	0,39
108	8,6	23,5	56,4	70,2	18430	26366	0,4
109	9,8	10,9	56,2	68,6	21260	26433	0,44
110	4,0	76,1	55,8	61,4	5060	22017	
111	10,3	9,2	52,0	69,2	21380	26247	0,34
113	1,4	8,9	50,3	85,7	30610	34083	0,54
121	12,7	3,1	48,8	75,6	24489	28933	0,47
123	11,1	3,6	41,5	78,7	25325	29551	0,47
125	9,6	5,1	41,4	74,2	25112	29258	0,54
126	10,5	4,2	41,5	74,3	25162	29338	0,48
127	11,2	5,5	44,3	76,3	24964	29734	0,49
129	9,2	10,8	43,3	75,5	23973	29588	0,47
130	11,7	2,5	42,3	75,0	25663	29818	0,43
131	10,8	4,5	41,5	76,2	25126	29476	0,47
132	6,4	3,4	40,6	77,9	28576	31609	0,56
133	5,9	4,8	40,5	76,9	27007	30165	0,57
134	5,7	6,2	41,1	70,6	28482	32200	0,56
135	5,8	3,4	40,3	77,2	27770	30528	0,62
136	6,3	3,0	38,5	77,5	27639	30403	0,63
137	6,1	3,0	39,9	79,0	28401	31169	0,54
138	6,1	3,9	41,4	77,6	28421	31487	0,55
139	6,4	3,0	41,0	77,3	27521	30323	0,55
140	7,1	2,6	35,7	77,6	27849	30799	0,61
141	5,4	7,1	45,2	78,3	28099	31953	0,53
143	6,6	15,1	48,4	75,8	23764	29950	0,51
145	8,6	6,4	43,2	71,7	24878	29102	0,52
146	8,2	7,8	45,0	69,1	25328	29913	0,49
148	1,8	3,6	88,2	77,7	34545	36503	„0,48“
149	2,2	14,8	49,4	78,3	28178	33828	0,62
150	2,8	7,5	46,3	79,9	29495	32802	0,64

Tab. 10-2 : Immediatanalysen und Reflexionsmessungen

Proben-Nr	Wasser an %	Asche d %	Flüchtige Best daf %	Corg daf %	H,o an kJ/kg	H,o daf kJ/kg	Rr %
151	1,7	8,1	47,8	77,6	30962	34276	0,62
152	1,5	5,6	50,0	78,8	31230	33598	0,62
154	10,4	24,4	50,5	63,4	17225	25452	0,28
155	10,6	11,0	48,1	65,1	21037	26421	0,27
156	10,1	28,8	53,8	67,1	16506	25795	0,27
157	10,5	6,8	51,2	69,5	22601	27099	0,16
158	13,2	8,7	50,6	64,8	20781	26228	0,27
159	11,4	11,9	51,9	66,3	20444	26212	0,22
160	13,4	6,6	50,9	66,1	19995	24724	0,33
163	6,7	12,0	41,6	75,7	24172	29422	0,65
166	3,5	29,8	42,9	76,5	20583	30397	0,62
168	1,5	7,1	55,9	78,9	31098	33956	0,5
171	7,3	12,4	43,3	71,1	23485	28901	0,62
173	6,3	7,0	47,0		25875	29688	0,59

Tab. 10-3a : Hauptelementgehalte (flözbezogene Mischproben) der einzelnen Lagerstätten

Lagerstätte	Flöz	S ges. (wf)	C (wf)	H (wf)	N (wf)	Asche (wf)	Si	Al
		[%]					[mg/kg TS]	
Kangalassy	Verchnij	0,30	63,2	4,6	0,9	12,2	27200	9570
Kangalassy	Nižnij	0,31	65,3	4,4	1,0	10,0	15680	6000
Žigansk 1	3.	0,34	55,7	3,5	1,0	22,6	60300	20000
Žigansk 1	4.	0,26	65,2	4,1	1,1	8,7	12000	7180
Žigansk 2		0,25	48,6	3,0	1,0	32,7	85000	27500
Sangar	Sl,Ju,Sa,Sp	0,30	75,0	5,5	1,2	9,0	7870	7490
Kjusjur	Schacht	0,95	61,3	3,9	1,8	20,7	50600	23900
Kjusjur	Ufer	0,59	65,0	4,0	2,2	12,1	24400	13600
Tajmyrlyr	Boghead	0,55	73,6	9,1	0,9	4,0	2820	1400
Kirov		1,04	60,7	3,6	0,7	14,3	21900	12600
Charbalach	Verchnij	0,27	73,9	4,2	0,9	4,2	6050	2720
Charlabach	Nižnij	0,20	68,0	3,9	0,9	11,0	23600	15000
Džebariki	Verchnij	0,21	76,3	4,8	1,1	3,8	3260	1890
Džebariki	Otkryt	0,29	76,0	4,8	0,8	4,9	12300	2900
Džebariki a	1.	0,24	70,6	4,3	1,1	7,2	13100	7370
Džebariki a	2.	0,27	66,3	4,3	1,1	12,4	33200	7060
Lagerstätte	Flöz	Mg	Ca	K	Na	Fe	Ti	P
		[mg/kg TS]						
Kangalassy	Verchnij	2590	16900	167	1030	4990	748	< 200
Kangalassy	Nižnij	2860	19200	298	1350	4490	574	< 200
Žigansk 1	3.	1960	14200	4320	2090	6770	1300	< 196
Žigansk 1	4.	1570	15800	155	79	7040	319	< 198
Žigansk 2		2620	14700	6110	3640	10300	1610	< 200
Sangar	Sl,Ju,Sa,Sp	3090	10600	619	581	6780	554	< 177
Kjusjur	Schacht	1870	986	4130	1650	5080	1260	193
Kjusjur	Ufer	3020	4030	1730	856	3420	632	578
Tajmyrlyr	Boghead	661	9180	< 47	342	1160	392	< 175
Kirov		1350	23000	299	432	3230	827	273
Charbalach	Verchnij	1480	6890	< 53	378	1560	167	< 210
Charlabach	Nižnij	1130	6270	52	1580	1710	379	< 199
Džebariki	Verchnij	1320	7990	< 50	609	3170	131	< 200
Džebariki	Otkryt	1040	3450	< 51	51	2920	560	< 190
Džebariki a	1.	2640	7690	130	515	3420	401	< 196
Džebariki a	2.	2364	6070	185	396	3610	907	< 192

Tab. 10-3b : Spurenelementgehalte (flözbezogene Mischproben) der einzelnen Lagerstätten

Lagerstätte	Flöz	TR	As	Hg	Ba	Be	Pb	Cd	Co
		[%]	[mg/kg TM]						
Kangalassy	Verchnij	90,2	< 1	0,79	274	0,71	< 10	< 1	< 5
Kangalassy	Nižnij	89,5	< 1	0,27	290	1,93	< 10	< 1	8,6
Žigansk 1	3.	90,7	1,7	0,3	333	11,6	< 10	< 1	< 5
Žigansk 1	4.	88,5	< 1	0,46	690	0,34	< 10	< 1	< 5
Žigansk 2		90,2	1,4	0,16	420	0,71	< 10	< 1	< 5
Sangar	Sl,Ju,Sa,Sp	97,2	< 1	0,27	290	1,93	< 10	< 1	< 5
Kjusjur	Schacht	96,3	33,2	0,56	290	2,41	< 10	< 1	6,2
Kjusjur	Ufer	92,7	3,1	0,2	354	1,36	< 10	< 1	< 5
Tajmyrlyr	Boghead	97,9	8	0,16	458	< 0,2	< 10	< 1	< 5
Kirov		88,7	1,5	0,36	148	0,38	< 10	< 1	< 5
Charbalach	Verchnij	89,9	< 1	< 0,1	239	< 0,2	< 10	< 1	< 5
Charlabach	Nižnij	90,3	< 1	0,13	262	0,73	< 10	< 1	< 5
Džebariki	Verchnij	93,7	< 1	0,15	242	< 0,2	91,9	< 1	< 5
Džebariki	Otkryt	93,1	< 1	0,16	251	0,24	< 10	< 1	< 5
Džebariki	1.	91,7	2,4	< 0,1	211	0,66	< 10	< 1	< 5
Džebariki	2.	91,4	< 1	0,16	180	0,33	< 10	< 1	5,1
Durchschnittliche Gehalte									
weltweit nach SWAINE (1990)			0,5-80	0,02-1		0,1-1,5	2-80	0,1-3	0,5-30
in Lena-Becken-Kohlen nach dieser Arbeit			<1-33	<0,1-0,8	148 - 690	<0,2-11,6	<10-91,9	<1	<5-8,6
Lagerstätte	Flöz	TR	Cu	Sr	V	Zn	Ge	Ga	B
		[%]	[mg/kg TM]						
Kangalassy	Verchnij	90,2	104	384	34,4	26,3	< 20	21,6	223
Kangalassy	Nižnij	89,5	5,1	407	75,5	6,9	< 20	< 10	237
Žigansk 1	3.	90,7	99,5	1310	47,8	34	< 20	< 10	183
Žigansk 1	4.	88,5	107	1530	6,96	32	< 20	19,1	182
Žigansk 2		90,2	3,4	1110	11,6	26,3	< 20	< 10	240
Sangar	Sl,Ju,Sa,Sp	97,2	96,6	151	< 5	27,9	< 20	15,8	106
Kjusjur	Schacht	96,3	19,6	79,8	257	33,6	< 20	< 10	58,1
Kjusjur	Ufer	92,7	14,2	194	43,7	20,4	< 20	< 10	50,1
Tajmyrlyr	Boghead	97,9	94,4	212	< 5	24,1	< 20	< 10	53,8
Kirov		88,7	72,2	425	9,9	23	< 20	< 10	31,2
Charbalach	Verchnij	89,9	< 2	648	< 5	4,4	< 20	< 10	281
Charlabach	Nižnij	90,3	90,8	666	< 5	28,4	< 20	< 10	254
Džebariki	Verchnij	93,7	< 2	51	< 5	5,9	< 20	< 10	198
Džebariki	Otkryt	93,1	< 2	168	< 5	8,3	< 20	< 10	194
Džebariki	1.	91,7	2,1	461	9,97	6,9	< 20	< 10	35,4
Džebariki	2.	91,4	107	531	8,3	26,3	< 20	< 10	390
Durchschnittliche Gehalte									
weltweit nach SWAINE (1990)			0,5 - 50		2 - 100	5 - 300			
in Lena-Becken-Kohlen nach dieser Arbeit			< 2 - 104	51 - 1530	< 5 - 257	4 - 34	< 20	< 10 - 22	31 - 390
Lagerstätte	Flöz	TR	Cr	Zr	U	Ag	Y	Sc	
		[%]	[mg/kg TM]						
Kangalassy	Verchnij	90,2	26,2	< 5	< 50	< 5	4,8	3,5	
Kangalassy	Nižnij	89,5	67	29,6	< 50	< 5	14,7	11,6	
Žigansk 1	3.	90,7	33,3	11,6	< 50	< 5	59,6	12,5	
Žigansk 1	4.	88,5	5,2	< 5	< 50	< 5	6,7	< 2	
Žigansk 2		90,2	12,3	< 5	< 50	< 5	7,4	< 2	
Sangar	Sl,Ju,Sa,Sp	97,2	6,5	< 5	< 50	< 5	3,3	< 2	
Kjusjur	Schacht	96,3	87,6	28,4	< 50	< 5	6,6	11,7	
Kjusjur	Ufer	92,7	22	< 5	< 50	< 5	17,3	9,1	
Tajmyrlyr	Boghead	97,9	9,1	< 5	< 50	< 5	< 2	< 2	
Kirov		88,7	7,96	< 5	< 50	< 5	< 2	< 2	
Charbalach	Verchnij	89,9	< 5	< 5	< 50	< 5	2,5	< 2	
Charlabach	Nižnij	90,3	7,1	< 5	< 50	< 5	4,2	< 2	
Džebariki	Verchnij	93,7	< 2	< 5	< 50	< 5	< 2	< 2	
Džebariki	Otkryt	93,1	2,2	< 5	< 50	< 5	< 2	< 2	
Džebariki	1.	91,7	12,2	< 5	< 50	< 5	7,6	2,2	
Džebariki	2.	91,4	8,4	< 5	< 50	< 5	< 2	< 2	
Durchschnittliche Gehalte									
weltweit nach SWAINE (1990)			0,5 - 60		0,5 - 10				
in Lena-Becken-Kohlen nach dieser Arbeit			< 2 - 87,6	< 5 - 30	< 50	< 5	< 2 - 60	< 2 - 13	

Tab. 10-4 : Zusammenfassung der Ergebnisse der Maceralanalysen

Proben-Nr.	Vitrinit %	Inertinit %	Liptinit %	Minerale %	Proben-Nr.	Vitrinit %	Inertinit %	Liptinit %	Minerale %
63	84,4	0,8	13,2	1,6	129	89,6	0,6	4,4	5,4
65	75,2	0,6	24,2	0	130	91,4	3,2	5,4	0
67	88	2,2	9,8	0	131	84,4	6	6,2	3,4
68	64,8	5,2	12,4	17,6	132	84,6	11,2	4,2	0
69	75,2	1,4	12,6	10,8	133	90,8	4,8	2,2	2,2
71	71	1	8,6	19,4	134	92,8	2,4	2,4	2,4
72	80,4	1,6	11,4	6,6	135	87,8	7,4	1,8	3
74	46,2	3,6	47,6	2,6	136	91,8	4	2,6	1,6
75	63	2	31,6	3,4	137	86	8,4	5	0,6
76	82,6	1,6	11,2	4,6	138	89,8	3,4	4,6	2,2
80	80,8	0,8	11,2	7,2	139	90,2	7,2	2,6	0
81	78,2	3,4	12,8	5,6	140	92,2	6,2	1,6	0
82	87,6	0,8	4,8	6,8	141	88,8	2,8	8,4	0
83	62,6	17	8	12,4	143	71,6	5,8	22,4	0,2
86	71,4	5,2	11,6	11,8	145	89,6	0,8	6,2	3,4
87	64,4	2,6	18,6	14,4	146	89,8	1,2	7,4	1,6
88	64,8	2,6	20,8	11,8	148	1	2,4	96	0,6
89	87,8	0	7,4	4,8	149	76,5	1,5	17,4	4,6
90	75	1	23	1	150	70,8	13,6	15,6	0
91	65	3,6	17	14,4	151	78,4	6	11,2	4,4
92	79,4	1,4	14,2	5	152	83,2	1,4	15,2	0,2
96	69,2		9,2	20	154	57	10	9	24
98	84,8	0,6	8,8	5,8	155	68,2	16,4	4	11,4
100	86,4	1,4	5,4	6,8	156	56,2	7,8	4,8	31,2
102	85,8	1,8	12,2	0,2	157	87	3,8	2	7,2
104	84,4	1,4	10	4,2	158	81,8	1,4	4,8	12
108	70,6	1,2	12,2	16	159	75	7,2	9	8,8
109	77,6	6,4	6,2	9,8	160	78,2	1,4	2,2	18,2
111	90,8	2,8	3,2	3,2	163	54,8	9,2	11	25
121	95,2	2,6	1,6	0,6	166	69,8	0	4	26,2
123	83	8,8	8,2	0	168	37	3,8	34,2	25
125	84,6	6,2	8,8	0,4	171	80,8	1,2	10	8
126	89,8	1,4	8,8	0	173	75,4	2	8	14,6
127	82,6	4	13,2	0,2					

Tab. 10-5a : Maceralanalysen (Vitrinit und Inertinit)

Proben Nr	Telinit %	Collotelinit %	Vitrodetrinit %	Collodetrinit %	Corpogelinit %	Gelinit %	Σ Vitrinit %	Fusinit %	Semifusinit %	Macrinit %	Micrinit %	Inertodetrinit %	Sclerotinit %	Σ Inertinit %
63	53,4	3,2	0	17,4	10,4	0	<u>84,4</u>	0	0	0,2	0,4	0,2	0	<u>0,8</u>
65	33	12,8	0	22,4	7	0	<u>75,2</u>	0	0,2	0	0,2	0	0,2	<u>0,6</u>
67	30,8	13,6	3,2	23,2	17,2	0	<u>88</u>	0,4	0,2	0	1	0,6	0	<u>2,2</u>
68	9,8	4	0,6	34,4	16	0	<u>64,8</u>	0,6	1,8	0	0,4	2,2	0,2	<u>5,2</u>
69	25,8	5,2	2,2	26,4	15,4	0,2	<u>75,2</u>	0	0	0,2	0,4	0,8	0	<u>1,4</u>
71	28,2	5,2	2	16,4	19,2	0	<u>71</u>	0	0	0	0,6	0,4	0	<u>1</u>
72	11	19,6	3,6	29	17,2	0	<u>80,4</u>	0	0,4	0	0,2	1	0	<u>1,6</u>
74	2,6	3,4	0,6	31,2	8,4	0	<u>46,2</u>	0	1,4	0,4	0,4	1,2	0,2	<u>3,6</u>
75	11,3	6,1	0,2	35,1	10,3	0	<u>63</u>	0,4	0	0	0	1,4	0,2	<u>2</u>
76	34	3,2	1,8	29,8	13,8	0	<u>82,6</u>	0,4	0	0,2	0,4	0,6	0	<u>1,6</u>
80	30,2	2,2	0	38,4	10	0	<u>80,8</u>	0	0	0	0,2	0	0,6	<u>0,8</u>
81	38	3,4	0	26,4	10,4	0	<u>78,2</u>	0,2	0,6	0,4	0	2,2	0	<u>3,4</u>
82	79	1,2	0	5,8	1,6	0	<u>87,6</u>	0	0	0	0,4	0,4	0	<u>0,8</u>
83	16	2,6	2,8	34,4	6,8	0	<u>62,6</u>	1,6	8,4	0,2	0	6,8	0	<u>17</u>
86	29,6	4,6	0,4	22,2	14,6	0	<u>71,4</u>	0,6	0,8	0	0,2	3,6	0	<u>5,2</u>
87	12,2	0,6	0,4	37,4	13,8	0	<u>64,4</u>	0	0,2	0,4	0	1,8	0,2	<u>2,6</u>
88	12,4	2	0,4	34	16	0	<u>64,8</u>	0	1	0,2	0,2	1	0,2	<u>2,6</u>
89	82,6	0,4	0	3,4	1,4	0	<u>87,8</u>	0	0	0	0	0	0	<u>0</u>
90	34	2,8	0	28,6	9,6	0	<u>75</u>	0	0	0	0,2	0,8	0	<u>1</u>
91	31,8	1,6	0,2	22,2	9,2	0	<u>65</u>	0,2	2,4	0	0	1	0	<u>3,6</u>
92	58,4	3,2	0,6	12,8	4,4	0	<u>79,4</u>	0	0,8	0,4	0	0,2	0	<u>1,4</u>
96	17,2	5,2	11	20,4	15,4	0	<u>69,2</u>	0	0		1,6	0	0	
98	9,4	8,8	29	21,6	16	0	<u>84,8</u>	0	0,4	0	0	0,2	0	<u>0,6</u>
100	30,4	18,6	1,4	15,8	20,2	0	<u>86,4</u>	0	0,2	0,2	0	1	0	<u>1,4</u>
102	41,4	6,8	0,2	24,6	12,8	0	<u>85,8</u>	0	0	0,2	1,6	0	0	<u>1,8</u>
104	42,4	6,2	0,2	20,6	15	0	<u>84,4</u>	0	0	0,2	1,2	0	0	<u>1,4</u>
108	42	10,6	0	16	2	0	<u>70,6</u>	0	0	0	1	0,2	0	<u>1,2</u>
109	3,2	8	0,4	35,2	30,8	0	<u>77,6</u>	0,4	1,2	1,2	0,4	3,2	0	<u>6,4</u>
111	29,2	44,8	0	12	4,8	0	<u>90,8</u>	0,4	0,8	0	0	1,6	0	<u>2,8</u>
121	58,2	2,4	0	13,6	21	0	<u>95,2</u>	0	0	0	2,6	0	0	<u>2,6</u>
123	17,8	3,6	0,4	19,8	41	0,4	<u>83</u>	3,2	4,2	0	0,2	1,2	0	<u>8,8</u>
125	25	4,8	0,2	19,4	35	0,2	<u>84,6</u>	1,2	1,8	0,2	0,4	2,6	0	<u>6,2</u>
126	31,4	2	0	19	37,4	0	<u>89,8</u>	0,2	0	0,2	0,6	0,4	0	<u>1,4</u>
127	23,7	5	1,2	18,9	33,8	0	<u>82,6</u>	0	0,6	0,8	1,2	1,4	0	<u>4</u>
129	43,6	3,6	0	20,8	21,6	0	<u>89,6</u>	0	0	0	0,6	0	0	<u>0,6</u>

Tab. 10-5a : Maceralanalysen (Vitrinit und Inertinit)

Proben Nr	Telinit %	Collotelinit %	Vitrodetrinit %	Collodetrinit %	Corpogelinit %	Gelinit %	Σ Vitrinit %	Fusinit %	Semifusinit %	Macrinit %	Micrinit %	Inertodetrinit %	Sclerotinit %	Σ Inertinit %
130	52,2	7	0	17,2	15	0	<u>91,4</u>	0,4	0,4	0	1,2	1	0,2	<u>3,2</u>
131	26,6	7,8	0	30,2	19,8	0	<u>84,4</u>	1	3,4	0,2	0,8	0,6	0	<u>6</u>
132	5	13,6	0	20,8	45,2	0	<u>84,6</u>	2,6	4,6	1,2	0,6	2,2	0	<u>11,2</u>
133	7	31,2	0	18,4	34,2	0	<u>90,8</u>	0,8	0,6	1,2	0,2	2	0	<u>4,8</u>
134	14,2	18	0	21,6	38,8	0,2	<u>92,8</u>	0,8	0,6	0,2	0,8	0	0	<u>2,4</u>
135	10,8	34,2	0	15,4	27,2	0,2	<u>87,8</u>	2,8	1,8	1	0,4	1,4	0	<u>7,4</u>
136	10,8	28,4	0	21,4	31,2	0	<u>91,8</u>	0,2	0,4	2,4	0,4	0,6	0	<u>4</u>
137	6,8	24,6	0	21	33,4	0,2	<u>86</u>	3,2	4,8	0	0,2	0,2	0	<u>8,4</u>
138	15,2	12,4	0	27,8	34,4	0	<u>89,8</u>	0,2	1,4	1,2	0	0,6	0	<u>3,4</u>
139	8,4	23,2	0	12,8	45,6	0,2	<u>90,2</u>	1,6	1,2	1	2,2	1,2	0	<u>7,2</u>
140	26,2	45,6	0,6	1,8	18	0	<u>92,2</u>	1,4	0,4	0	4,2	0,2	0	<u>6,2</u>
141	17,6	47	1	4,4	18,6	0,2	<u>88,8</u>	0,8	0,4	0	1,2	0,4	0	<u>2,8</u>
143	6,6	12	1	31	21	0	<u>71,6</u>	0,6	1,4	1,8	1,2	0,8	0	<u>5,8</u>
145	19,2	26,6	0	22	21,8	0	<u>89,6</u>	0,2	0	0,4	0	0,2	0	<u>0,8</u>
146	38,2	9,6	0	18,6	23,4	0	<u>89,8</u>	0,2	0	0,2	0,6	0,2	0	<u>1,2</u>
148	0	0,4	0,6	0	0	0	<u>1</u>	0,2	0	0	1,6	0,6	0	<u>2,4</u>
149	12,6	25	0,4	19,8	18,7	0	<u>76,5</u>	0	0	1,5	0	0	0	<u>1,5</u>
150	10,8	23,4	0	14,6	22	0	<u>70,8</u>	2,4	5,8	0	3,4	1,8	0,2	<u>13,6</u>
151	5	23	0	22,4	28	0	<u>78,4</u>	0,2	1,4	0,8	3,2	0,4	0	<u>6</u>
152	15,4	21,8	0	23	23	0	<u>83,2</u>	0	0	0,8	0	0,6	0	<u>1,4</u>
154	16,4	2	18	17,8	2,8	0	<u>57</u>	0	0	0	0	10	0	<u>10</u>
155	42,4	4,4	9,6	6,6	5,2	0	<u>68,2</u>	0,8	4,4	0	0,2	11	0	<u>16,4</u>
156	18,6	1,8	10,8	14,6	10,4	0	<u>56,2</u>	0,8	0,6	0	1,6	4,8	0	<u>7,8</u>
157	61,2	7,6	3,2	8	7	0	<u>87</u>	0,2	0	0	1,8	1,8	0	<u>3,8</u>
158	36,2	1,6	8,6	19,6	15,8	0	<u>81,8</u>	0,2	0	0,4	0,2	0,6	0	<u>1,4</u>
159	29,5	3,4	4,3	18,8	18,8	0,2	<u>75</u>	2,2	2,4	0,6	0	2	0	<u>7,2</u>
160	20,2	1	0	16,8	40,2	0	<u>78,2</u>	0	0	0	1,4	0	0	<u>1,4</u>
163	3,8	13	0	17,2	20,8	0	<u>54,8</u>	0	0	0	9,2	0	0	<u>9,2</u>
166	7,6	45	0,2	4,6	12,4	0	<u>69,8</u>	0	0	0	0	0	0	<u>0</u>
168	2,6	5,4	0	11	18	0	<u>37</u>	0,2	1,6	0	1,6	0,4	0	<u>3,8</u>
171	13,4	35,2	0,6	11,8	19,4	0,4	<u>80,8</u>	0	0	0,6	0,2	0,4	0	<u>1,2</u>
173	9,6	14,2	0	19,8	31,6	0,2	<u>75,4</u>	0	0	1	1	0	0	<u>2</u>

Tab. 10-5b : Maceralanalysen (Liptinit und Minerale)

Proben Nr	Sporinit %	Cutinit %	Resinit %	Alginit %	Fluorinit %	Liptodetrinit %	Bituminat %	Exsudatinit %	Σ Liptinit %	Ton %	Quarz %	Pyrit %	Unbest. Erz/Mineral %	Σ Minerale %
63	0	4,4	5,4	0	0	3,4	0	0	<u>13,2</u>	1,4	0	0,2	0	<u>1,6</u>
65	0	5	9	0	0	9,4	0,8	0	<u>24,2</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
67	0,2	4,2	0,8	0	0,8	3,2	0,6	0	<u>9,8</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
68	0	4,2	1,4	0	0	6,6	0,2	0	<u>12,4</u>	13,4	0,2	4	0	<u>17,6</u>
69	0	6,6	1,4	0,4	0	3,4	0,8	0	<u>12,6</u>	9,6	1,2	0	0	<u>10,8</u>
71	0	3	1,6	0	1,2	2,8	0	0	<u>8,6</u>	19,2	0,2	0	0	<u>19,4</u>
72	0,4	4,2	3,2	0,2	0	2,4	0,4	0,6	<u>11,4</u>	5,4	1,2	0	0	<u>6,6</u>
74	0	15,4	17	0	0	10,6	4,6	0	<u>47,6</u>	0	2,6	0	0	<u>2,6</u>
75	0,2	10,6	9,2	0	0	10,2	1,4	0	<u>31,6</u>	0	2,4	0	1	<u>3,4</u>
76	0,2	4,2	3,6	0	0	2,6	0,6	0	<u>11,2</u>	3,2	1,4	0	0	<u>4,6</u>
80	0	4,4	4,6	0	0	1,6	0,6	0	<u>11,2</u>	6,8	0,4	0	0	<u>7,2</u>
81	0,4	6,4	2	0	0	3,6	0,4	0	<u>12,8</u>	3,6	1	1	0	<u>5,6</u>
82	0,2	0,4	0,8	0	0	1,6	0,4	1,4	<u>4,8</u>	3,4	0,6	0	2,8	<u>6,8</u>
83	0,6	2	0,8	0	0	3,2	1,4	0	<u>8</u>	12	0,4	0	0	<u>12,4</u>
86	0	5,2	0	0,2	0	3,4	2,8	0	<u>11,6</u>	11,2	0,2	0,4	0	<u>11,8</u>
87	0	8,4	4,8	0	0	4,6	0,8	0	<u>18,6</u>	14	0,4	0	0	<u>14,4</u>
88	0	11,2	1,6	0,4	0	6,8	0,8	0	<u>20,8</u>	11,6	0,2	0	0	<u>11,8</u>
89	0	2,2	2,2	0	0	2	1	0	<u>7,4</u>	4,4	0,4	0	0	<u>4,8</u>
90	0,6	6,8	5,2	0,2	0	10,2	0	0	<u>23</u>	0	1	0	0	<u>1</u>
91	0,4	5	5	0	0	6,2	0,4	0	<u>17</u>	9	2,8	2,6	0	<u>14,4</u>
92	0,2	5,4	3	0	0	4,8	0,8	0	<u>14,2</u>	4,8	0,2	0	0	<u>5</u>
96	0,2	2,2	0,4	0,2	0	4,6	1,6	0	<u>9,2</u>	20	0	0	0	<u>20</u>
98	0	3,2	0,4	0,4	0	2,8	0,8	1,2	<u>8,8</u>	5,6	0	0,2	0	<u>5,8</u>
100	0,2	2,2	0,6	0,4	0	1,8	0,2	0	<u>5,4</u>	4,2	2,6	0	0	<u>6,8</u>
102	0,4	3	3	0	0	5,4	0,4	0	<u>12,2</u>	0,2	0	0	0	<u>0,2</u>
104	0	3,4	2,2	0	0	3,8	0,6	0	<u>10</u>	4,2	0	0	0	<u>4,2</u>
108	0,8	4,4	0,2	0,4	0	6	0,4	0	<u>12,2</u>	16	0	0	0	<u>16</u>
109	0,2	2	1	0	0	2,8	0,2	0	<u>6,2</u>	9	0	0,8	0	<u>9,8</u>
111	0	0,2	1	0	0	1,4	0	0,6	<u>3,2</u>	3,2	0	0	0	<u>3,2</u>
121	0	0,4	0	0	0	1,2	0	0	<u>1,6</u>	0,6	0	0	0	<u>0,6</u>
123	0,2	0,4	3,2	0	0	4	0,4	0	<u>8,2</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
125	0	0,6	2,4	0	0	5,2	0,6	0	<u>8,8</u>	0	0,4	0	0	<u>0,4</u>
126	0,2	0,8	2,6	0	0	4,6	0,6	0	<u>8,8</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
127	0,4	3,4	0,4	0,2	0	8	0,8	0	<u>13,2</u>	0	0,2	0	0	<u>0,2</u>

Tab. 10-5b : Maceralanalysen (Liptinit und Minerale)

Proben Nr	Sporinit %	Cutinit %	Resinit %	Algininit %	Fluorinit %	Liptodetrinit %	Bitumininit %	Exsudatinit %	Σ Liptinit %	Ton %	Quarz %	Pyrit %	Unbest. Erz/Mineral %	Σ Minerale %
129	0	0,6	0,2	0,2	0	3,4	0	0	<u>4,4</u>	5,4	0	0	0	<u>5,4</u>
130	0	0,4	1,2	0	0	2,6	1,2	0	<u>5,4</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
131	0,2	0	1,4	0	0	3,6	0,8	0,2	<u>6,2</u>	3,4	0	0	0	<u>3,4</u>
132	0,2	0,6	0,2	0	0	3	0,2	0	<u>4,2</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
133	0,6	0,4	0,2	0	0	0,8	0,2	0	<u>2,2</u>	1	1,2	0	0	<u>2,2</u>
134	0	1,2	0	0	0	1	0,2	0	<u>2,4</u>	2,4	0	0	0	<u>2,4</u>
135	0,6	0,2	0,4	0	0	0,4	0,2	0	<u>1,8</u>	1,4	1,6	0	0	<u>3</u>
136	0	0,2	0,8	0	0	1,2	0,4	0	<u>2,6</u>	0	1,6	0	0	<u>1,6</u>
137	1,2	0,6	0	0	0	3	0,2	0	<u>5</u>	0,6	0	0	0	<u>0,6</u>
138	0,6	0,4	0,4	0	0	2,6	0	0,6	<u>4,6</u>	2,2	0	0	0	<u>2,2</u>
139	0,4	0,2	0,6	0	0	1,2	0,2	0	<u>2,6</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
140	0	0,2	0	0	0,2	1,2	0	0	<u>1,6</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
141	0,2	0,2	1,8	0	1	4,6	0,6	0	<u>8,4</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
143	1,2	6,4	1,8	0	0,2	11,8	1	0	<u>22,4</u>	0,2	0	0	0	<u>0,2</u>
145	0	1,8	0,4	0	0	3,4	0,6	0	<u>6,2</u>	3,4	0	0	0	<u>3,4</u>
146	0	1,2	1	0	0,4	4,6	0,2	0	<u>7,4</u>	1,6	0	0	0	<u>1,6</u>
148	1	0	0	94	0	0	1	0	<u>96</u>	0	0,6	0	0	<u>0,6</u>
149	0,8	5,6	1,2	0	0,4	8	1,4	0	<u>17,4</u>	0	4,6	0	0	<u>4,6</u>
150	0,4	4	5,6	0	0,2	5	0,4	0	<u>15,6</u>	0	0	0	0	<u>0</u>
151	0,2	2,6	1,8	0	0,6	5,4	0,6	0	<u>11,2</u>	4,4	0	0	0	<u>4,4</u>
152	0,8	1,4	1,8	0	1,2	8,4	1,6	0	<u>15,2</u>	0	0,2	0	0	<u>0,2</u>
154	1	4,6	0,2	0,4	0,2	2,6	0	0	<u>9</u>	23,8	0,2	0	0	<u>24</u>
155	0,2	1,2	0,4	0	0	1,8	0,2	0,2	<u>4</u>	11,2	0,2	0	0	<u>11,4</u>
156	0,2	1,6	0,6	0	0	2,4	0	0	<u>4,8</u>	12,8	18,2	0,2	0	<u>31,2</u>
157	0	0,8	0,2	0	0	0,8	0	0,2	<u>2</u>	7	0,2	0	0	<u>7,2</u>
158	0,2	1,6	0,8	0	0,6	1,4	0,2	0	<u>4,8</u>	11,6	0,4	0	0	<u>12</u>
159	0,2	3,6	0,2	0	2	2,8	0,2	0	<u>9</u>	3,6	4,4	0,8	0	<u>8,8</u>
160	0,2	0,2	0,2	0	0	0,8	0,2	0,6	<u>2,2</u>	18,2	0	0	0	<u>18,2</u>
163	1,8	2	0	0	0	3	4,2	0	<u>11</u>	15	10	0	0	<u>25</u>
166	0,2	1,8	0,2	0	0,2	1,6	0	0	<u>4</u>	9,4	16,8	0	0	<u>26,2</u>
168	1,8	8,2	2,8	0,6	0,2	14,4	6,2	0	<u>34,2</u>	24,8	0,2	0	0	<u>25</u>
171	0,8	2,8	2,2	0	0,2	3,8	0,2	0	<u>10</u>	6	2	0	0	<u>8</u>
173	1,2	1	0,8	0,4	1,4	3	0,2	0	<u>8</u>	11,4	3,2	0	0	<u>14,6</u>

Tab. 10-6 : Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen

Proben-Nr	Extrakt		Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene	Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene
	ppm	mg/g C _{org}	mg/kg C _{org}				%			
63	29532,4	43,1	0,1	0,5	11,6	30,9	0,2	1,2	27	71,6
65	60495,6	86,7	1,4	2,8	50,6	31,8	1,7	3,2	58,4	36,7
66	5093,3	35,4	0,3	0,3	28,9	5,9	0,9	0,8	81,7	16,6
67	34523	49,1	0,6	1,6	30,7	16,1	1,3	3,3	62,7	32,8
68	151670,1	218,5	3,4	8,6	83,4	123	1,6	3,9	38,2	56,3
69	53421,8	75,2	1,2	2,9	37,3	33,8	1,7	3,9	49,5	45
71	32165,3	47	0,8	1,1	33,4	11,7	1,7	2,3	71,1	24,9
72	31076,9	44,9	0,2	0,5	25,8	18,4	0,4	1,1	57,5	41
74	74992	106	1,1	2,9	50,1	52	1	2,7	47,2	49
75	48109,5	68,2	1,1	1,7	53,7	11,6	1,7	2,5	78,8	17
76	25585,4	36,3	0,3	1,3	22,3	12,5	0,7	3,4	61,3	34,5
77	59884,5	82,3	0,9	2,4	54,3	24,7	1,1	3	66	30
80	24912	35,7	0,5	1,4	22,1	11,6	1,5	4,1	61,9	32,6
81	19581,3	27,9	0,6	1,4	17,9	7,9	2,2	5,2	64,2	28,4
82		0	0	0	0	0				
83	34068,3	49,2	0,7	1,4	32,2	14,9	1,5	2,8	65,4	30,4
86	30862,2	43,1	0,6	1,4	25,4	15,6	1,5	3,3	59	36,2
87	23837,3	33,8	0,6	0,9	25,2	7,2	1,8	2,6	74,4	21,2
88	46210,8	66,6	0,9	2	35,2	28,5	1,4	3	52,8	42,8
89	46331,2	63,1	1,1	1,8	37,3	22,9	1,7	2,9	59,1	36,3
90	47713,1	65,5	1,3	1,8	55	7,4	2	2,7	83,9	11,3
91	17524,2	23,7	0,4	1,5	16	5,8	1,8	6,4	67,3	24,5
92	30818,8	42,6	0,9	1,7	33,8	6,2	2,1	4,1	79,3	14,5
96	19423,3	29,4	0,5	1,3	20,9	6,8	1,6	4,5	70,9	23
98	19578,6	28,6	0,4	0,9	16,3	11	1,3	3,2	57,1	38,5
100	38429	54,9	0,6	2,3	35,8	16,3	1,1	4,1	65,1	29,7
101	15882,6	26,7	0,3	0,5	9,4	16,5	1,1	1,7	35,3	61,8
102	23548	33	0,5	0,9	18,5	13,1	1,4	2,8	56,2	39,6
103	24113,4	35,7	0,5	1,3	19,9	14	1,5	3,5	55,7	39,2
104	17487,6	25,2	0,5	1,7	14,4	8,7	1,9	6,6	57	34,5
108	13723,8	19,5	0,5	0,9	11	7,2	2,5	4,6	56,2	36,8
109	15320,4	22,3	0,5	1,1	15,2	5,6	2	4,8	67,9	25,3

Tab. 10-6 : Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen

Proben-Nr	Extrakt		Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene	Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene
	ppm	mg/g C _{org}								
110	4102,1	6,7	0,3	0,3	4,3	1,8	4,1	4,8	64,1	27
111	15857,1	22,9	0,5	2,2	15,1	5,2	2	9,5	65,8	22,7
113	109922	128,3	2,2	12,3	80	33,8	1,7	9,6	62,3	26,4
114	82760,7	117,2	0,8	1,6	44,4	70,4	0,7	1,3	37,9	60,1
115	12686,8	13,2	0	0,9	5,6	6,6	0,2	7	42,7	50,1
116	27463,7	29,1	0	0,5	1	27,6	0,2	1,7	3,3	94,9
117	2345,6	2,4	0,1	0,9	1,6	-0,1	2,3	36,1	66,9	-5,2
121	32804,2	43,4	0,6	2,5	26,6	13,7	1,4	5,8	61,4	31,5
123	37101,1	47,1	0,7	2,8	35,5	8,1	1,5	6	75,3	17,3
125	40026,5	53,9	0,8	3,8	38,6	10,7	1,4	7	71,6	19,9
126	42941,6	57,8	1	3,5	40,8	12,5	1,7	6,1	70,7	21,6
127	56527,4	74,1	0,6	2,3	16,1	55,1	0,8	3,1	21,7	74,4
129	42422,4	56,2	1	4,8	33,5	16,9	1,9	8,5	59,6	30
130	42330,7	56,4	0,5	4,5	32,9	18,5	0,9	8	58,3	32,7
131	48138,9	63,1	0,8	5,2	42	15	1,3	8,3	66,6	23,8
132	72354,9	92,9	1,2	7,9	44,4	39,4	1,3	8,5	47,8	42,5
133	61754	80,3	1	5,7	41,2	32,3	1,3	7,1	51,3	40,3
134	70676,4	100,1	0,6	5,5	29,1	65	0,6	5,5	29,1	64,9
135	57706,9	74,8	0,9	8,3	35,3	30,4	1,2	11,1	47,1	40,6
136	47369,5	61,2	0,5	6,2	36,1	18,3	0,9	10,1	59,1	30
137	99653,4	126,2	1,7	12,1	74,9	37,6	1,3	9,6	59,4	29,8
138	72111,9	92,9	1	2,9	21,1	67,8	1,1	3,1	22,8	73
139	65054,4	84,2	1,5	9,9	56,6	16,1	1,8	11,8	67,3	19,1
140	41282,3	53,2	0,5	4,3	43,9	4,4	1	8,1	82,6	8,3
141	81118,5	103,6	0,6	3,3	18,2	81,5	0,6	3,2	17,6	78,6
143	41189,7	54,4	1,8	4,3	35,1	13,2	3,3	7,9	64,5	24,3
145	49216	68,7	0,8	4	40	23,8	1,2	5,8	58,3	34,7
146	42320,2	61,2	0,6	3	36,1	21,4	1	5	59	35
148	48406,4	62,3	1,2	2,5	39,8	18,8	1,9	4,1	63,8	30,2
149	103292,4	132	0,5	3	19	109,4	0,4	2,3	14,4	82,9
150	102138,3	127,9	4,4	17,3	67,7	38,5	3,4	13,5	53	30,1
151	186505,9	240,4	4,4	22,9	129,5	83,6	1,8	9,5	53,9	34,8

Tab. 10-6 : Extraktmengen und Verteilung der Kohlenwasserstoffgruppen

Proben-Nr	Extrakt		Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene	Alkane	Aromaten	NOS-Verb.	Asphaltene
	ppm	mg/g C _{org}								
152	131025,3	166,2	2,9	38,2	82,3	42,8	1,7	23	49,5	25,8
154	131028	206,8	3,2	8,8	114,2	80,6	1,6	4,3	55,2	38,9
155	17460,1	26,8	0,1	1	18,1	7,6	0,4	3,7	67,5	28,4
156	37581,2	56	0,7	3	42,7	9,6	1,3	5,3	76,2	17,2
157	33753,7	48,6	0,3	1,8	40	6,4	0,7	3,8	82,4	13,2
158	24574	38	0,3	2,1	24	11,5	0,7	5,7	63,3	30,4
159	29795,2	44,9	0,6	1,8	31,9	10,6	1,2	4	71,1	23,7
160	17745,4	26,9	0,5	1,1	19,4	5,9	1,8	4,1	72,3	21,8
163	74735,4	98,7	1,3	5,7	71,1	20,6	1,3	5,8	72	20,9
166	45083,2	58,9	2,1	6	46,6	4,3	3,5	10,1	79	7,3
168	87325,9	110,7	7,4	18,1	50	35,1	6,7	16,3	45,2	31,7
171	112503,3	158,2	2,2	5,1	76,3	74,7	1,4	3,2	48,2	47,2
173	117561,7						1,8	4,2	58,7	35,3

Tab. 10-7 : Gehalte an n-Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie vgl. Tab. 10-10)

Proben-Nr	n-Alkane total	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35
63	61,6	0	0	0	0	0,1	0,3	0,7	3,2	2	11,7	3,1	10,7	2	4,6	1,4	4,3	2	3,5	2,4	4,9	1,8	2,8	0	0
68	2126,5	0	0	0	0	0	3,8	30,9	66,4	41,7	125,5	70,6	354,3	87,2	242	62,7	259,4	93,2	291,5	87,1	185,7	42,2	82,4	0	0
72	97,5	0	0	0	0	0	0,1	0,9	2,9	2,5	13,9	4,7	11,5	4,4	11,6	3,3	10,6	3,5	7,9	3,2	6,9	3	6,8	0	0
76	112,3	0	0	0	0	0	0,7	1,8	4,8	3,2	20,5	7,6	13,2	4,5	9,4	3,4	10,1	3,5	7,9	3,1	5,1	6,5	7,1	0	0
81	259,3	0	0	0,9	3,5	2,3	5,4	10,5	30,9	10,3	30,9	12,2	32,1	8,3	21,6	4,8	22,5	4,7	14	14,2	13,2	5,2	5,3	6,5	0
86	469,8	0	0	0	0	0	1,4	3,2	9,4	7	14,9	13,8	72,7	25	135,2	25,1	74,5	12,8	34,2	5,8	14,3	8,2	12,2	0	0
87	436,6	0	0	0	0	0	0,2	3,1	8,8	5,7	15,9	12,7	65,9	23	65,7	21,3	70,9	18,3	70,4	11,1	32,5	11	0	0	0
88	386,5	0	0	0	0,4	4,2	3,9	11,6	14,6	7,6	16,6	10,7	43,3	13,1	33,1	13,8	42,9	28,7	35,3	32,6	11,4	22,3	33,9	6,6	0
89	404,7	0	0	0	0	0	0,7	4	11,3	6,9	14,6	10,4	41,7	17,8	65,6	25,2	76	18,6	53,5	10	19	22,5	6,9	0	0
96	281,7	0	0	0	0	0	1	3,1	10,7	5,4	12,5	6,9	44,4	14,4	55,3	12,6	42,9	9,6	29,7	5,4	13,1	10,1	4,8	0	0
98	263	0	0	0	0	0	1,1	3,3	10,4	4,7	11,3	7,2	36,2	13,4	47,1	11	41,4	9,3	37,1	5,9	17,6	4,3	1,6	0	0
100	435,9	0	0	0	0	0	0,8	4,6	15,4	1,4	23,9	14,8	62,7	24,7	81,9	20,7	72,5	18,2	50,3	10,1	24,7	9,1	0	0	0
102	330,8	0	0	0	0	0	0,2	1,8	6,9	4,5	18	11,2	62,1	17,3	59,2	14,4	53,3	12,6	38,5	5,9	13,7	11,4	0	0	0
103	421,9	0	0	0	0	0	1,1	5,4	17,5	8,7	42,4	19,5	94,4	21,4	62,3	15,5	54,3	11,6	38,1	6,8	15,6	7,4	0	0	0
104	146,1	0	0,4	8,7	6,1	5	3	5,9	7,2	2,8	5,2	3,8	11,2	4,8	13,1	3,6	15,9	5,6	10,9	14,7	3,5	7	7,6	0	0
108	277,6	0	0	0	0,7	0,9	1,9	3,4	10,7	4,4	21,6	13	75,1	11,5	35,3	4,7	23,1	3,8	17	17,5	9	7,3	15,2	1,4	0
109	178,1	0	0	2,3	7,5	22,4	8,4	17,1	13,2	6,2	11,9	6,3	27,4	5,6	11,9	2	9,2	1,5	4,4	10,2	0	4	6,4	0	0
111	254	0	0	1	1,8	1,2	2,2	4,4	12,3	5,6	17	11	44,5	11,5	46,5	6,2	29	4,1	16,2	4,1	21,3	3,8	10,3	0	0
113	567,1	0	0	0	0	0	27,1	14,4	63,8	32,2	55,8	49,2	71,9	35,2	43,6	34,3	23,4	26,9	30,7	8,4	50	0	0	0	0
121	151,2	0	0	1	2,5	8,5	6,8	14,8	12,1	11,7	20,1	14,6	16,9	7,9	4,8	1,9	5,3	6	4,6	3,7	4,1	1,9	2,1	0	0
123	573,3	0	0	0	0	0	4,7	5,3	21,5	31,7	124,5	71,1	105,5	38	42,2	13,4	20,5	17,9	24,1	14,3	38,7	0	0	0	0
127	380,2	0	0	0	0	0	1,3	4,1	18,3	20,7	69,4	37,1	70,6	24,3	32	13,8	26,2	13,5	21,9	8	12,4	6,6	0	0	0
129	441,4	0	0	0,7	1,5	6,7	7,4	18,6	24,2	16,9	55,2	26,1	41,8	17,6	23,9	10,2	48,9	21,4	75,8	15,5	10,7	8,5	9,8	0	0
130	226,7	0	0	0	0	0	5,1	16,9	28,5	16,5	32,1	25,6	23,9	11,4	15,8	5,9	11,4	8,9	11,1	5	8,6	0	0	0	0
133	781	0	0	0	0	0	5,9	24,1	85,5	61,5	112,4	91,6	121,5	43,7	89,4	23,5	42,5	14,8	27,9	18,2	18,6	0	0	0	0
135	369,8	0	0	0	1,1	4,1	7,9	16,2	41,1	25,2	47,9	33	57,8	23,5	36,1	12,9	22,1	9,4	17,6	2,8	7,7	3,3	0	0	0
137	641	0	2	8,4	10,4	14,8	17,9	30,7	211	37,9	68,9	44	76,8	22	23,8	9,2	15,5	10,5	16,6	7,4	5,7	5,9	1,6	0	0
138	1017,7	0	0	0	0	0	1,7	24,1	72,6	63,1	119,9	85,9	167,9	55,9	150,4	32,5	89	20,8	63,6	12,3	26,5	13	18,7	0	0
141	230,9	0	0,8	23,8	11	9,6	8,8	10	15,4	10,2	27,8	13,6	24,4	11,3	16,5	7,7	13,7	7,2	9,6	4,2	1,9	2,4	0,7	0	0
146	431,8	0	0	0	0	0	5,5	16,5	44,7	25,2	69,8	36,5	61,1	23,2	33,8	15,3	30,7	10,9	27,6	9	12,3	7,9	1,8	0	0
148	602,9	0	0,5	2,4	15	51,5	89,8	35,2	32,6	29,4	31,4	32,5	40,9	42,7	46,9	35,7	41,4	24,2	9,3	18,9	19,8	2,7	0	0	0

Tab. 10-7 : Gehalte an n-Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie vgl. Tab. 10-10)

Proben-Nr	n-Alkane total	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35
149	279,8	0	0	0	0	0	0,6	2,6	7,1	7,5	12,5	15,3	23,9	18,7	34,8	22,4	36,9	21,1	33,3	13,1	15,8	9,5	4,8	0	0
150	1299,7	0	0	9,9	15,7	37,4	45,2	77,2	85,3	112,1	190,5	143,4	210,6	76	86,9	36,9	43,4	30,9	28,9	12,9	0	47,1	9,2	0	0
151	2728,8	0	0	0	0	24,8	34,5	169,8	267,7	301,1	576,1	438,6	550,4	145,2	194,3	3,7	21,8	0,7	0	0	0	0	0	0	0
154	2419,9	0	0	0	0	0	1,5	27,3	40,6	50,8	148	151,6	670,1	246,4	394,1	122,7	184,4	68,8	123,8	39,2	61	67,1	22,4	0	0
155	51,8	0	0	0	0	0	0,1	1,4	1,6	2,5	3,9	3,5	8	4,7	8	4,2	3,2	2,1	4,8	1,5	2,3	0	0	0	0
156	249,3	0	0	0,4	1	13,6	4,2	32,7	6,9	13,6	19,1	11,3	26,3	8,7	13,7	5,1	16,6	5,9	19,6	29,5	9,7	3,4	8,2	0	0
159	233,7	0	0	0	0	0	1,1	3,5	10,9	6,3	26,9	18	33,6	12,2	24	8,7	22,5	11,8	23,5	5,3	13,6	6	5,9	0	0
160	94,6	0	0	0,2	0,2	3,1	1,4	5,4	5,9	3,4	2,4	2,7	5,1	3	3,9	4,1	7,8	12,6	4,5	12,6	12,9	1,5	2	0	0
163	446,6	0	1,4	1,6	13	37,1	43,4	57,6	52,2	43,1	41,5	38,6	34,5	22,9	22,6	10,1	8,5	4,9	5,1	5,3	2,2	1,1	0	0	0
166	1456,6	0	0	0	0	12	35,2	64,5	108,9	96,9	139,2	134,3	182,4	115,8	166,8	86,3	119	51,1	64,3	24,8	27,7	19,7	7,7	0	0
168	3393,4	0	18,9	44,4	72,2	91,9	119,8	169,4	249,1	208,5	330,5	267,4	393,2	190,7	255,3	135,5	195,4	115,3	197,9	191,9	65,6	80,5	0	0	0
171	1317,2	0	0	0	0	16,2	45	78,9	116,6	110,3	130,4	123,2	140,6	95	108	68,9	79,8	45,4	65,9	27,2	24,7	25,2	15,9	0	0

Tab. 10-8 : Gehalte der i-Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie, vgl. Tab. 10-10)

Proben-Nr.	i-Alkane, total	Farnesan	Norpristan	Pristan	Phytan	Squalan
	mg/kg C _{org}					
63	2,2	0	0	0,1	0,5	1,6
68	26,3	0	0	4,4	4,2	17,7
72	3	0	0	0,1	0	2,9
76	7,4	0	0	0,4	0,6	6,4
81	15,1	0	2,3	4,7	4,4	3,7
86	4,9	0	0	0,8	0,8	3,3
87	4,3	0	0	0,1	0,4	3,9
88	7,5	0	0,8	1	1,1	4,6
89	4,3	0	0	0,2	0,5	3,6
96	1	0	0	0,4	0,6	0
98	1,5	0	0	0,5	0,5	0,5
100	2,6	0	0	0,4	0,6	1,6
102	2,8	0	0	0,1	0,2	2,5
103	3,8	0	0	0,6	0,8	2,4
104	7,4	0	2	2,8	0,7	1,9
108	4,5	0	0,6	1,2	0,8	1,9
109	17,1	0	5,1	8,9	3,2	0
111	10,3	0	1,2	5,2	1,2	2,7
113	20,8	0	0	2,1	9,6	9,1
121	32,6	0	3,4	18,3	4,4	6,4
123	17,5	0	0	0	2,3	15,3
127	8,1	0	0	0	0,9	7,2
129	120,9	0	8,3	97,5	10	5,1
130	51,5	0	0	34,2	7,7	9,6
133	61,3	0	9,8	21,9	14,1	15,6
135	87,1	0	4,2	71,4	5,1	6,3
137	108,4	0	7,9	88,2	7,5	4,8
138	8,6	0	0	4	4,6	0
141	33,7	0	4,6	26,4	2,2	0,5
146	23,1	0	1	14,2	2,9	5
148	51,7	0	3,6	38,9	7	2,1
149	10,4	0	0	4,9	1,6	3,9
150	1030,6	0	56,8	909	51	13,7
151	1466,4	0	0	1466,4	0	0
154	17,1	0	0	0,7	2,4	13,9
155	2,2	0	0	0,1	0,4	1,7
156	13,4	0	1,1	1,7	3,6	7
159	12,2	0	0	0,6	1	10,6
160	17,2	0	0,6	1,2	1	14,4
163	47,8	0	13,8	26,3	4,9	2,7
166	111,6	0	9,1	59,9	12,7	29,9
168	266,5	0	40,2	180,8	24,3	21,2
171	106,4	0	14	70,8	15,4	6,2

Tab. 10-9 : Gehalte an cyclischen Alkanen (Ergebnisse der Gaschromatographie vgl. Tab. 10-10)

Proben-Nr.	Norisopi- maran	Norpi- maran	C27-Hopan	C29-Hopan	C30-Hopan	C31-Hopan	Hop- 17(21)en	Hop- 22(29)en	C31- Hopene	Sesqui- terpane
	mg/kg C _{org}									
63	0	0,6	0	0,7	0,7	1,6	3,3	0	1,3	13
68	0	8,2	7,2	66,1	128,8	22,8	155,9	0	53,7	1241,1
72	0,5	1,1	2,2	3,5	3,1	0	5,5	0	0	8,7
76	0,9	2,6	3,8	4,6	5,6	5	3	2,3	4	79
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	8,5	7,6	0	1,8	13,5	7,2	0	0	0	138,2
87	0	1,3	0	0	0	0	0	0	8	279
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	43,7	344,7	0	2,9	0	0	0	0	24,5	356,5
96	4,4	3,1	0	2	9,6	0	0,9	0	0	327
98	5,5	4,2	0,8	0,9	0	0,5	0,7	0	3,9	131,7
100	1,9	3,4	0	2,4	0	0	0	0	22,9	305,7
102	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0	300,9
104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	39,6	14,9	94,8	23,2	0	0	126,4	97	0	980,2
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1666,9
127	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	780,7
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	7,4	10,6	3,7	0	0	0	0	0	0	836,7
133	11,8	15,5	0	0	0	0	0	0	0	129,4
135	5,7	3,1	6,8	3,2	6,7	0	0	8,1	3,4	485,2
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	18,7
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146	3,6	1,1	4,9	3,2	0	0	0	7,8	0	286,6
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	1,7	1,4	11,9	2,3	3,5	0	13	12,9	13,9	34
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	72,1	0	0	0	0	0	0	0	0	1458,2
155	4,3	1,2	0	0	0	0	0	0	0	7,2
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	6,6	3,4	0	5,8	0	0	4,8	0	10,7	59,5
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	19,8	8,8	25,8	0	0	0	24,2	0	0	703,3
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	18,3	10,4	44,1	0	14,7	0	52,4	0	23,7	779,8

Tab. 10-10 : Milieuparameter und Biomarker

Proben-Nr	CPI (17-29)	Pri/Phy	Pri/n-C17	Phy/n-C18	i-Alk/n-Alk	Squalan/Summe i-Alkane	Cyklische Diterpane mg/kg	Hopane mg/kg	Hopene mg/kg	Cykl. Diterpane/Alkane	Hopane/Alkane
63	2,6	0,2	0,3	0,7	0	0,7	0,5	3	4,5	0	0
68	2,9	1	1,1	0,1	0	0,6	8,1	224,8	209,5	0	0,1
72	2,4		0,8	0	0	0,9	1,5	8,7	5,4	0	0
76	2,2	0,5	0,5	0,3	0	0,8	3,4	18,9	9,2	0	0,1
81	2,4	1	0,8	0,4	0	0,2	0	0	0	0	0
86	3,1	0,9	0,5	0,2	0	0,6	16,1	22,5	0	0	0
87	3	0,2	0,4	0,1	0	0,8	1,3	0	7,9	0	0
88	1,7	0,9	0,2	0	0	0,6	0	0	0	0	0
89	2,7	0,3	0,2	0,1	0	0,8	388,4	2,8	24,4	0,3	0
96	3,1	0,7	0,4	0,1	0	0	7,5	11,5	0,9	0	0
98	3,2	0,9	0,4	0,1	0	0,3	9,6	2,2	4,5	0	0
100	3	0,6	0,5	0,1	0	0,6	5,2	2,3	22,9	0	0
102	3,2	0,5	0,6	0	0	0,9	3,2	0	0	0	0
103	3,2	0,7	0,5	0,1	0	0,6	10,6	0	9,4	0	0
104	1,7	4	0,9	0,1	0	0,2	0	0	0	0	0
108	3,4	1,4	0,6	0,2	0	0,4	0	0	0	0	0
109	1,4	2,7	1	0,1	0	0	0	0	0	0	0
111	3,2	4,4	2,3	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0
113	1,5	0,2	0	0,6	0	0,4	54,5	118	223,3	0	0,1
121	1	4,1	2,6	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0	0
123	1,6	0	0	0,4	0	0,8	0	0	0	0	0
127	1,8	0	0	0,2	0	0,8	7,5	0	0	0	0
129	2	9,7	13,2	0,5	0,2	0	0	0	0	0	0
130	1,3	4,4	6,7	0,4	0,2	0,1	18	3,6	0	0	0
133	1,6	1,5	3,7	0,5	0	0,2	27,2	0	0	0	0
135	1,7	13,9	9	0,3	0,2	0	8,8	16,7	11,4	0	0
137	2,5	11,7	4,9	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0
138	2	0,8	2,3	0,1	0	0	2,2	0	0	0	0
141	1,5	12,2	3	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0
146	1,8	4,8	2,5	0,1	0	0,2	4,6	8,1	7,7	0	0
148	1,2	5,5	0,4	0,1	0	0	0	0	0	0	0
149	1,4	3	7,9	0,6	0	0,3	3	17,7	39,8	0	0,1
150	1,2	17,8	20,1	0,6	0,7	0	0	0	0	0	0
151	1,3		42,4	0	0,5	0	0	0	0	0	0
154	2,1	0,2	0,4	0	0	0,8	72,1	0	0	0	0
155	1,4	0,1	0,4	0,2	0	0,8	5,4	0	0	0	0
156	1	0,4	0,4	0,1	0	0,5	0	0	0	0	0
159	2	0,6	0,5	0,2	0	0,8	9,9	5,7	15,5	0	0
160	0,8	1,1	0,8	0,1	0,1	0,8	0	0	0	0	0
163	1	5,3	0,6	0	0,1	0	0	0	0	0	0
166	1,3	4,7	1,7	0,1	0	0,2	28,6	25,7	24,2	0	0
168	1,3	7,4	1,5	0,1	0	0	0	0	0	0	0
171	1,2	4,6	1,5	0,1	0	0	28,6	58,8	76	0	0

Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

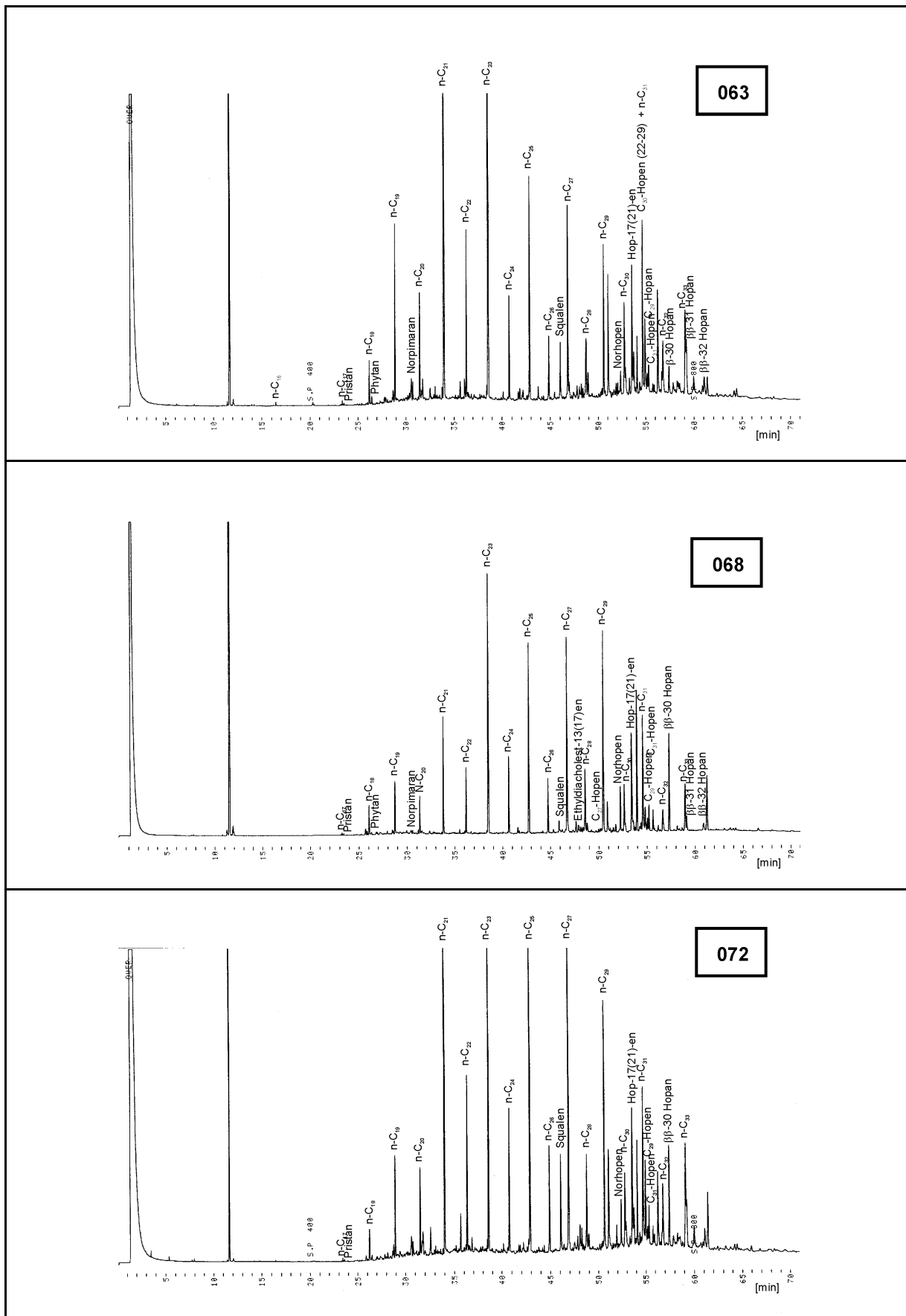


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

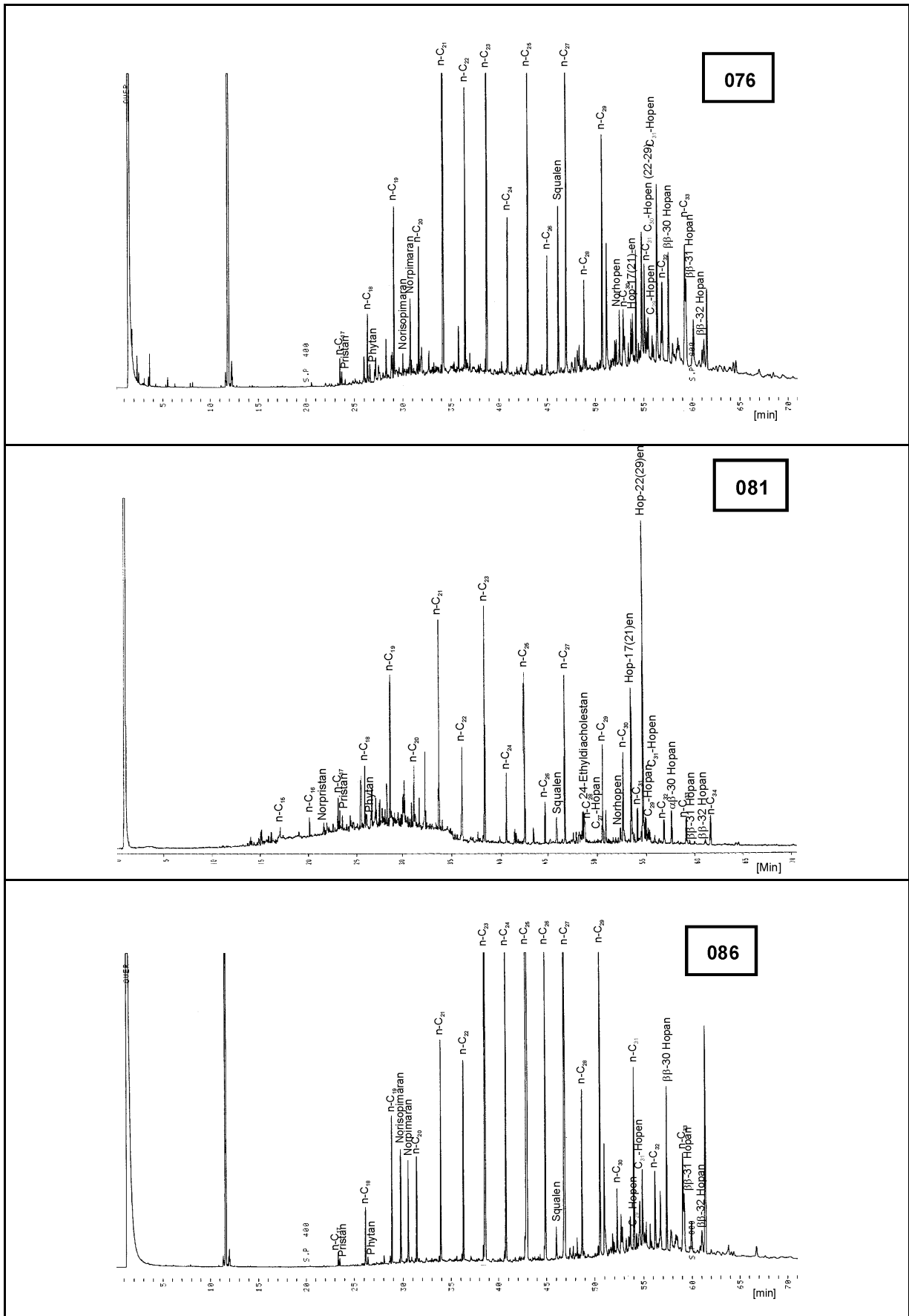


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

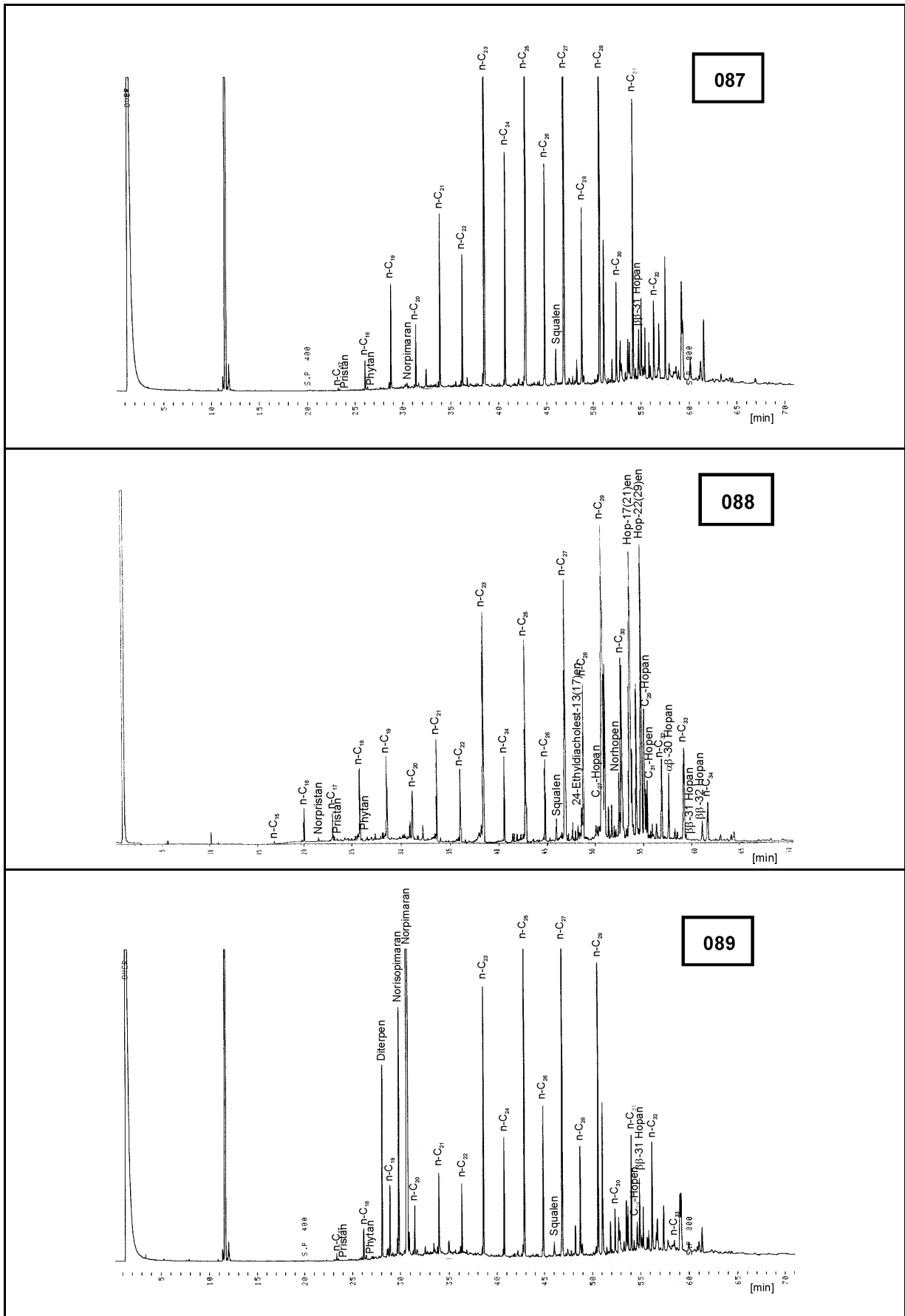


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

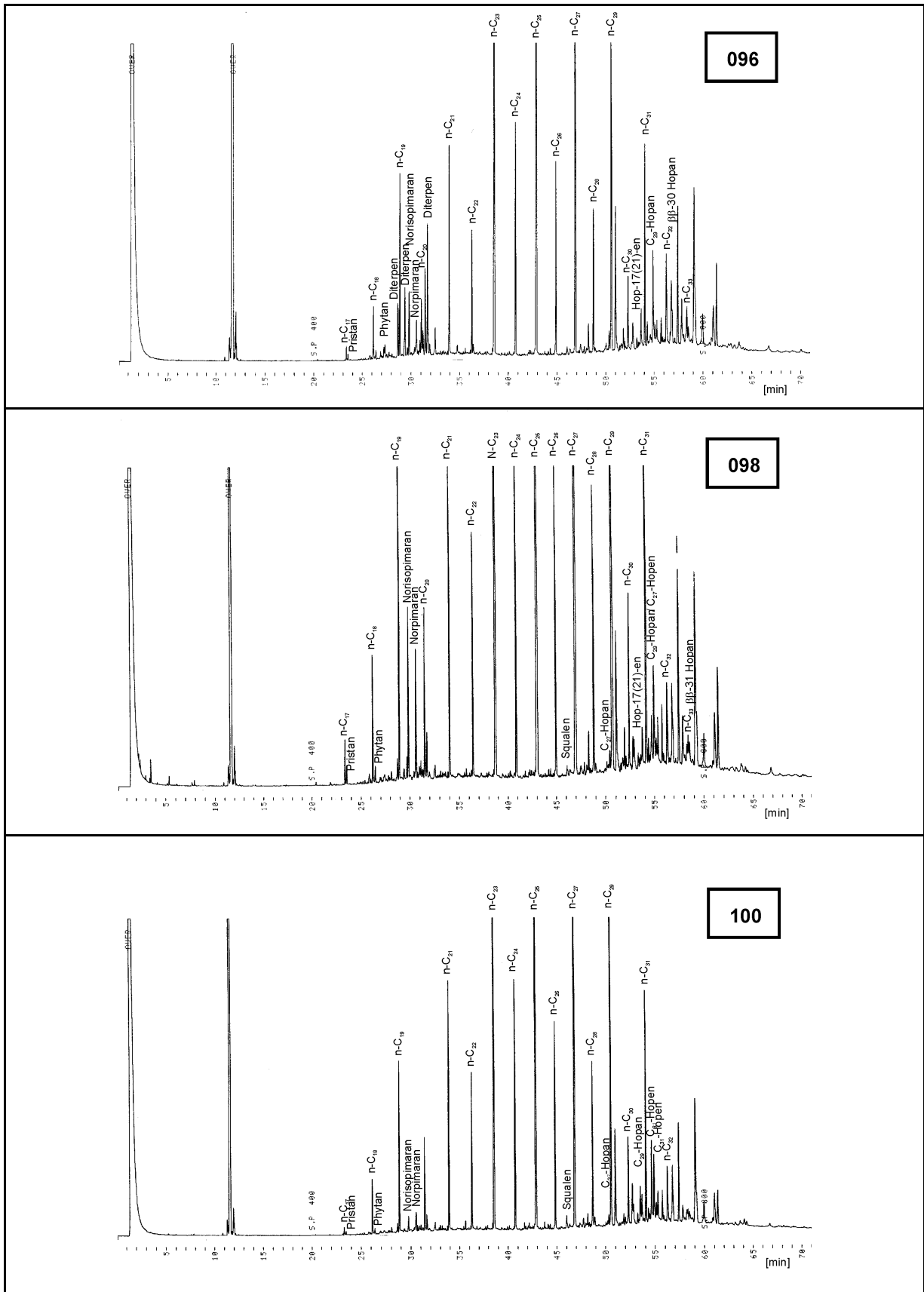


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

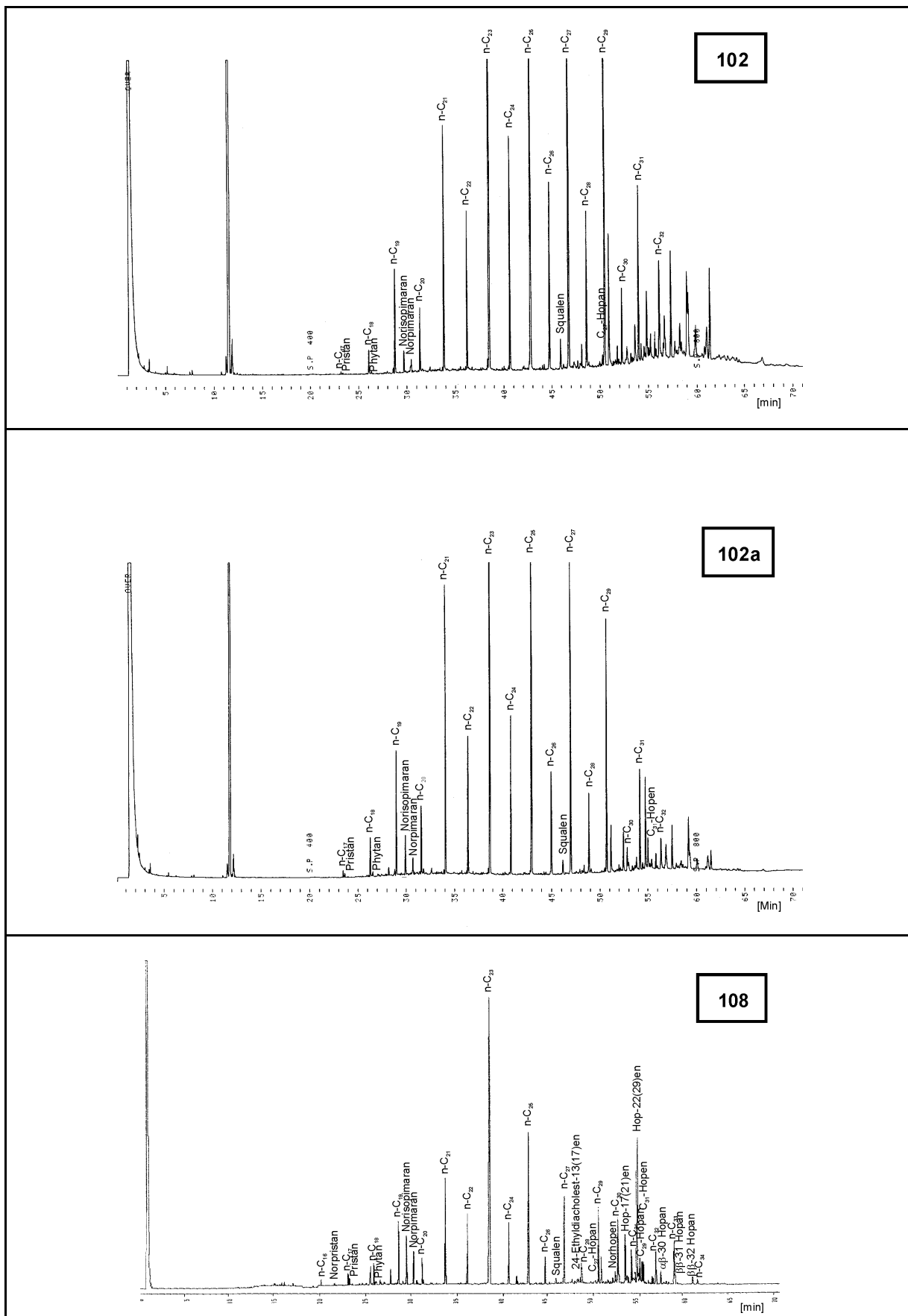


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

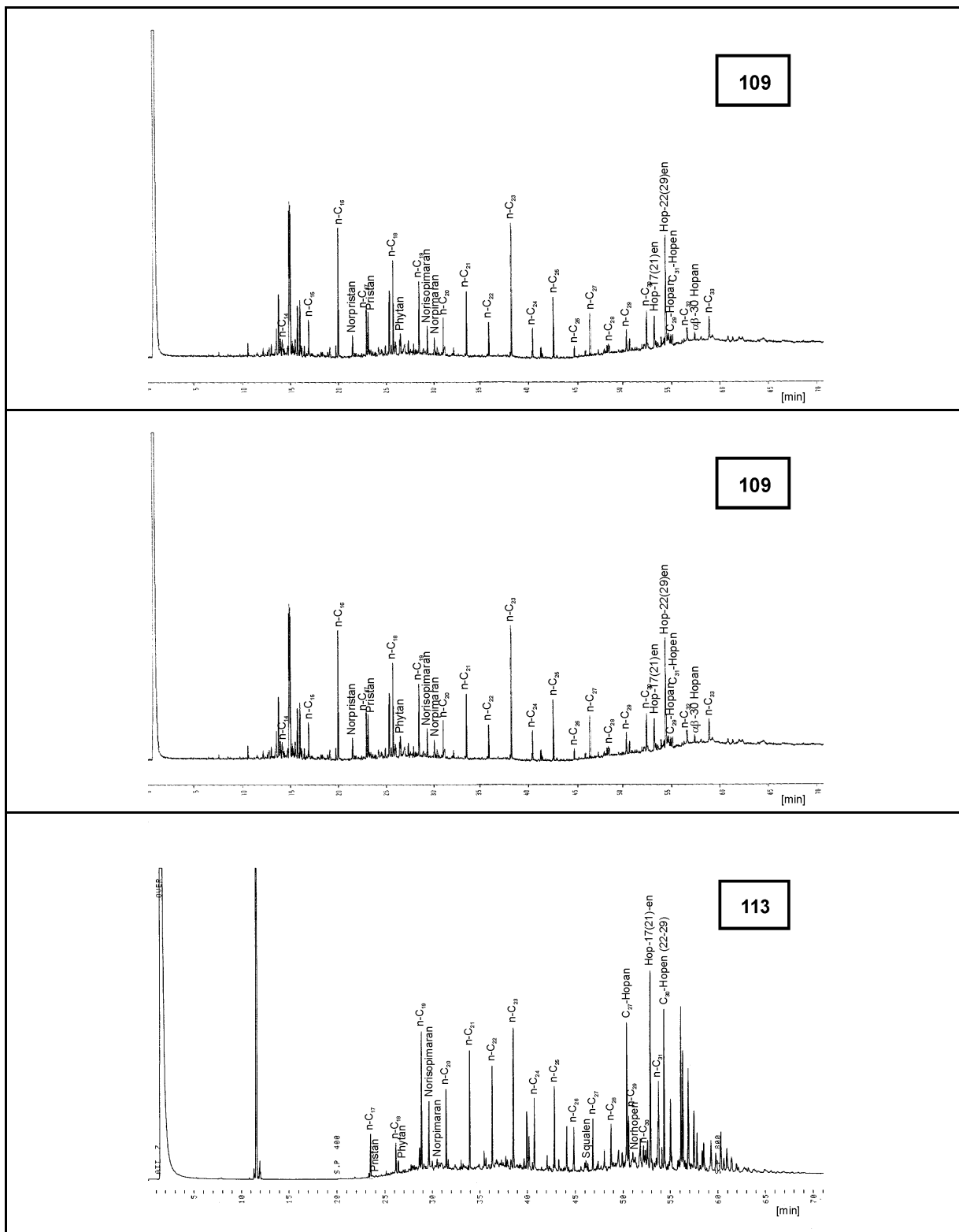


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

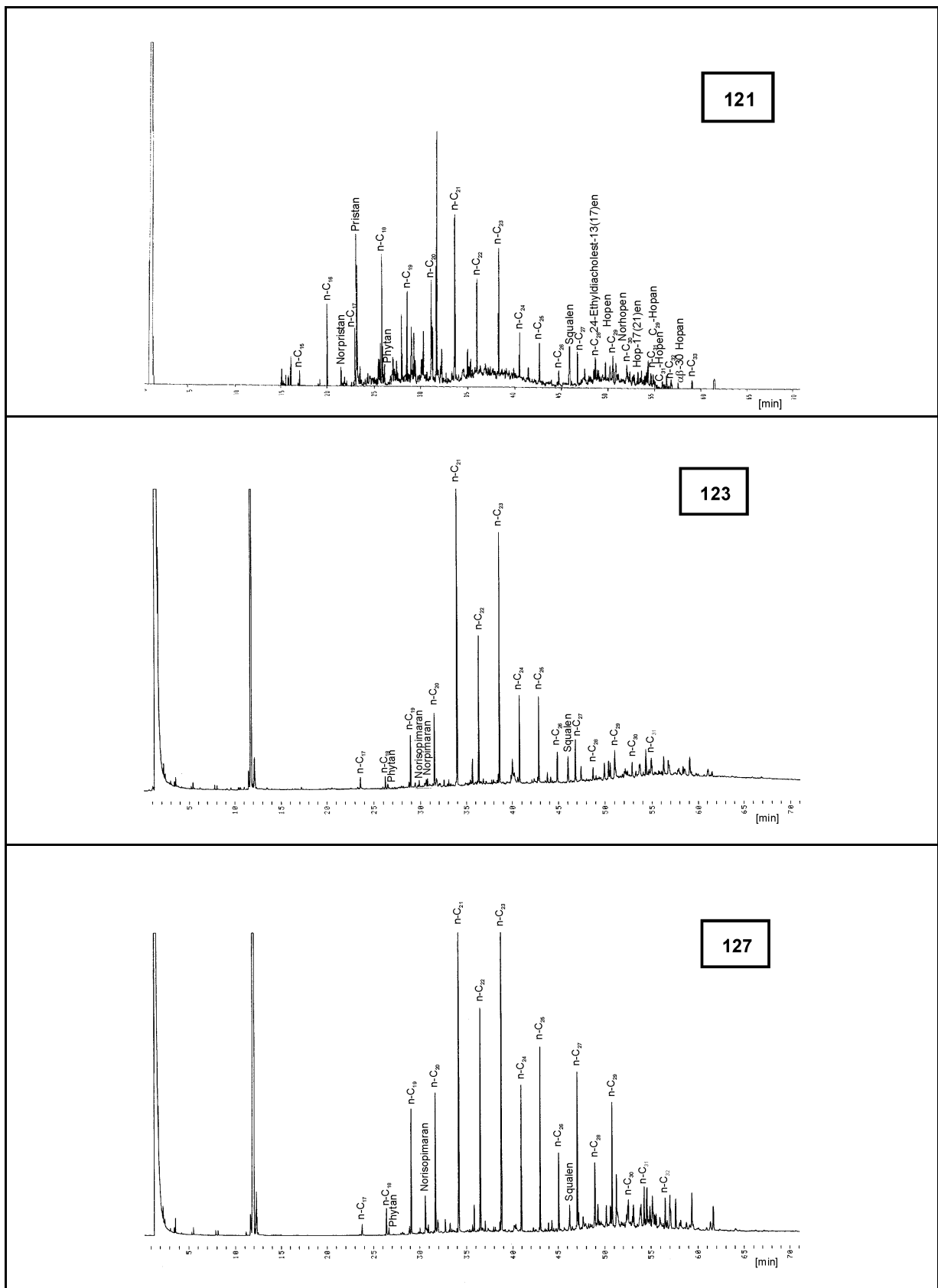


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

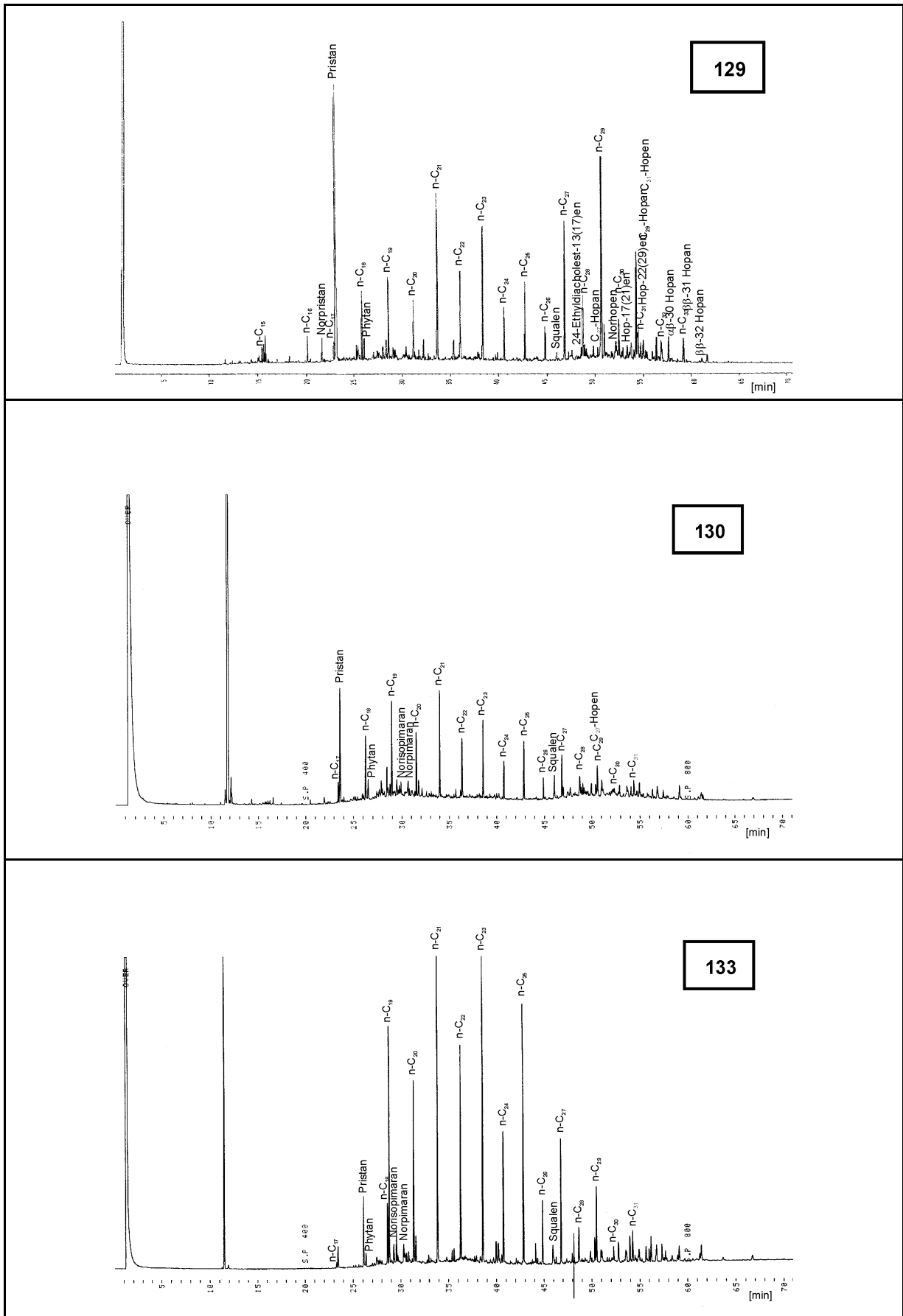


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

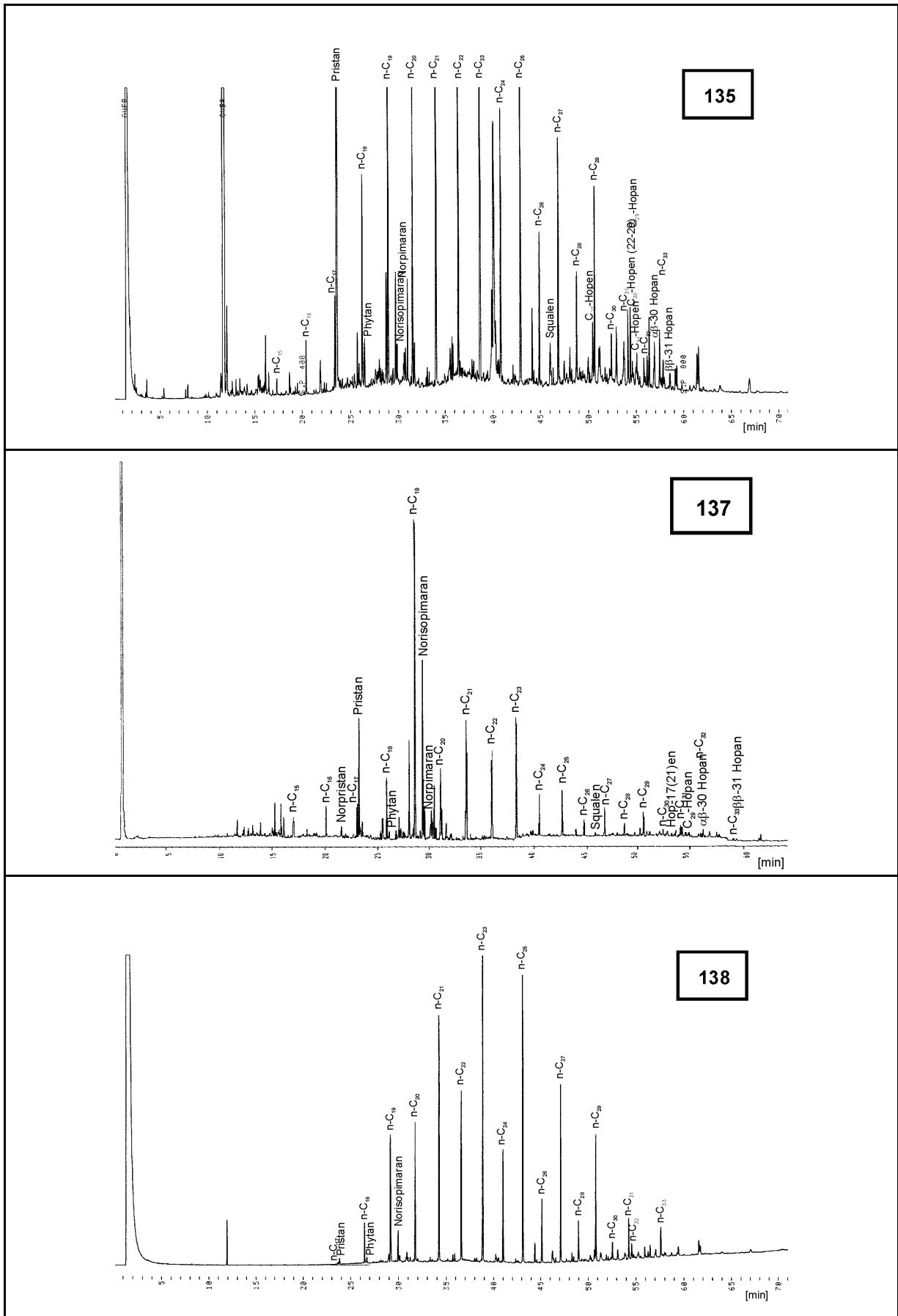


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

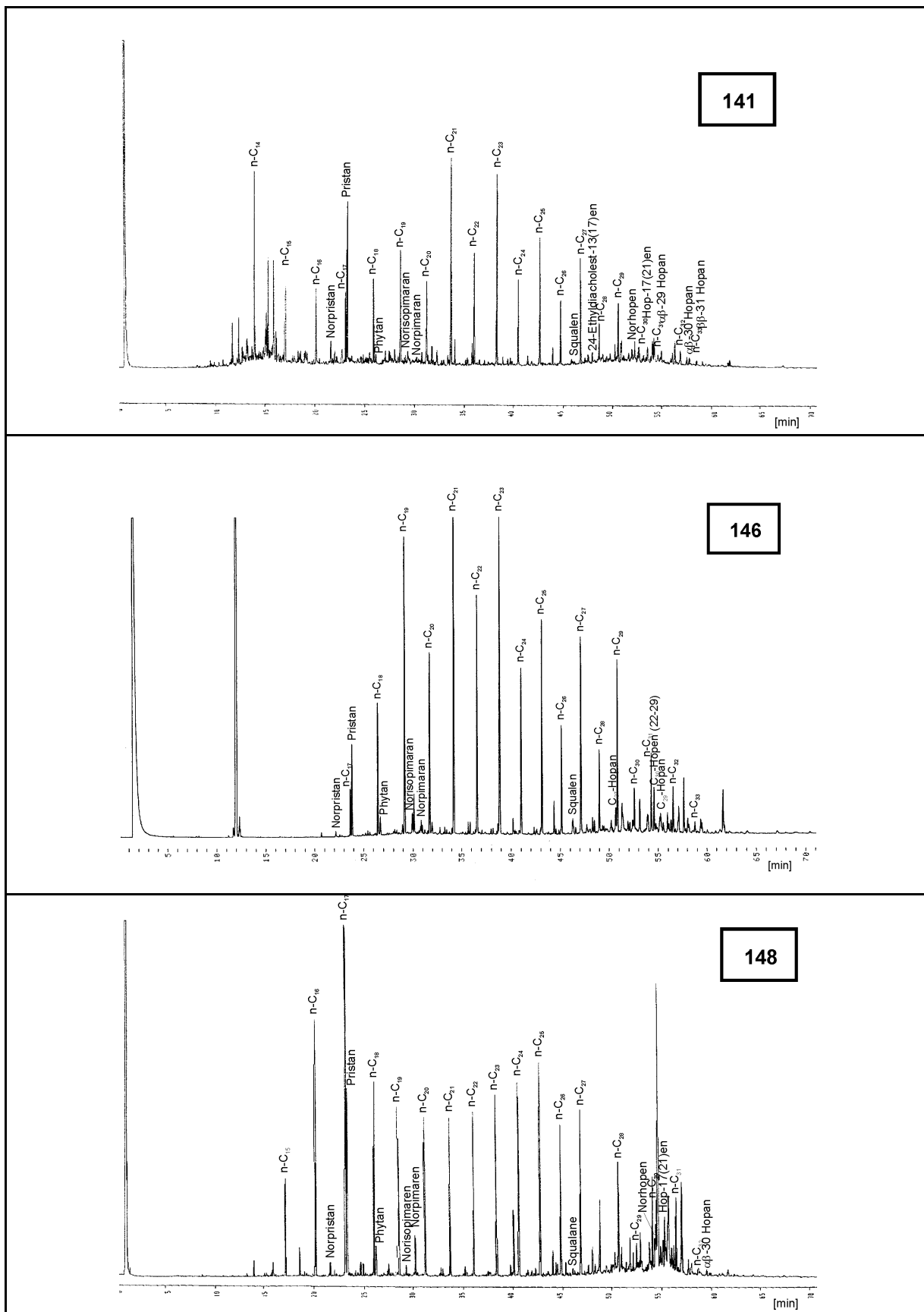


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

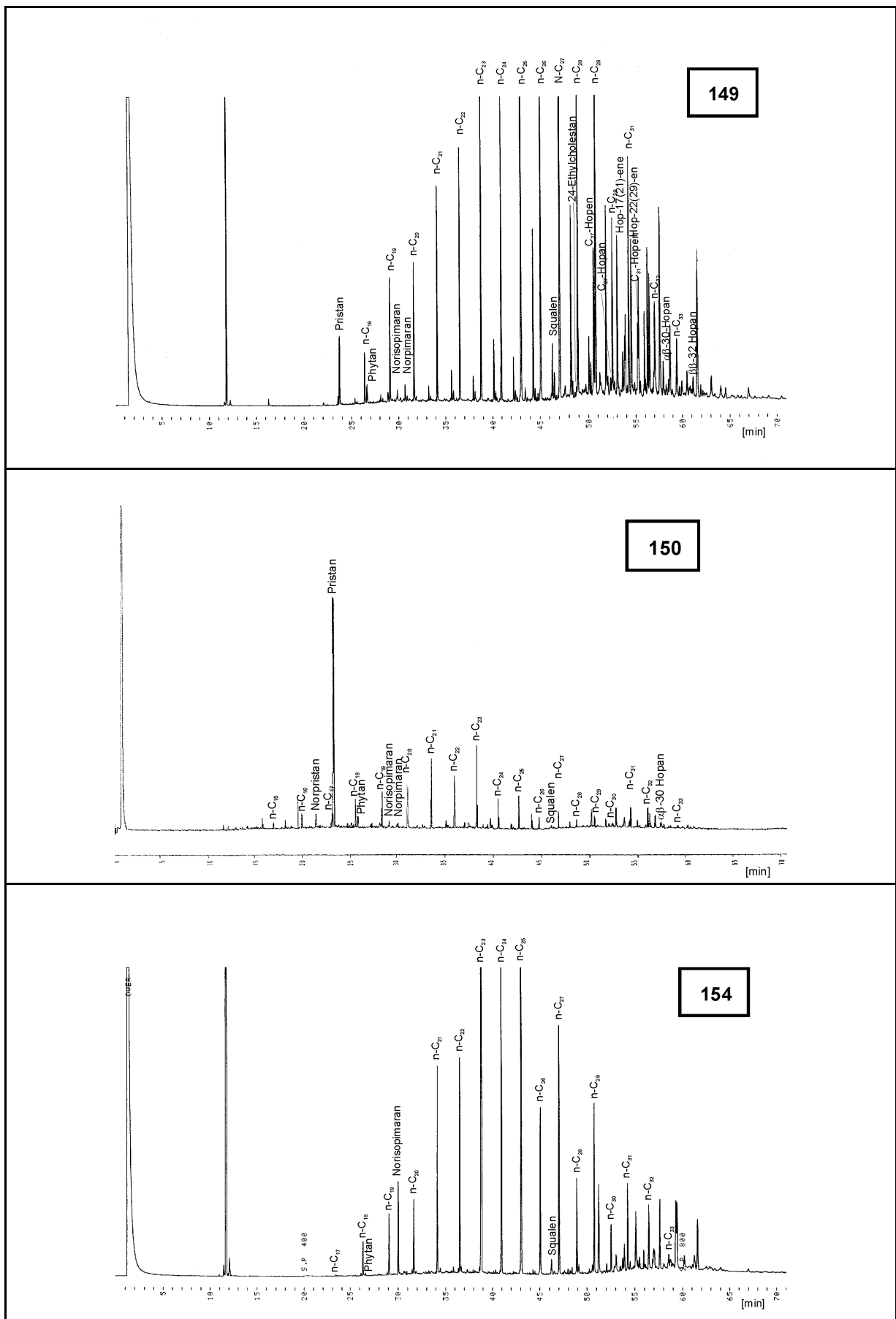


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

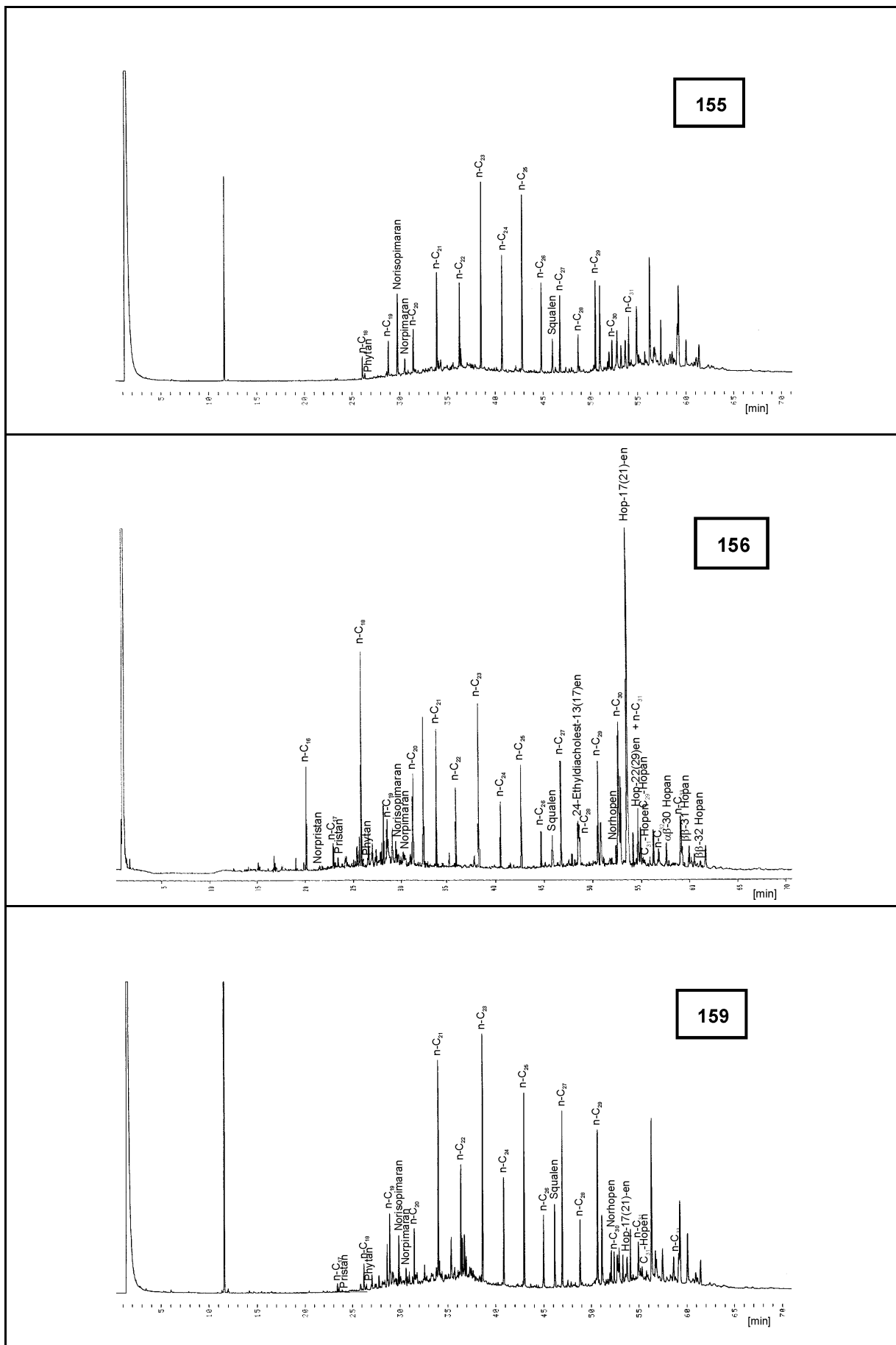


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)

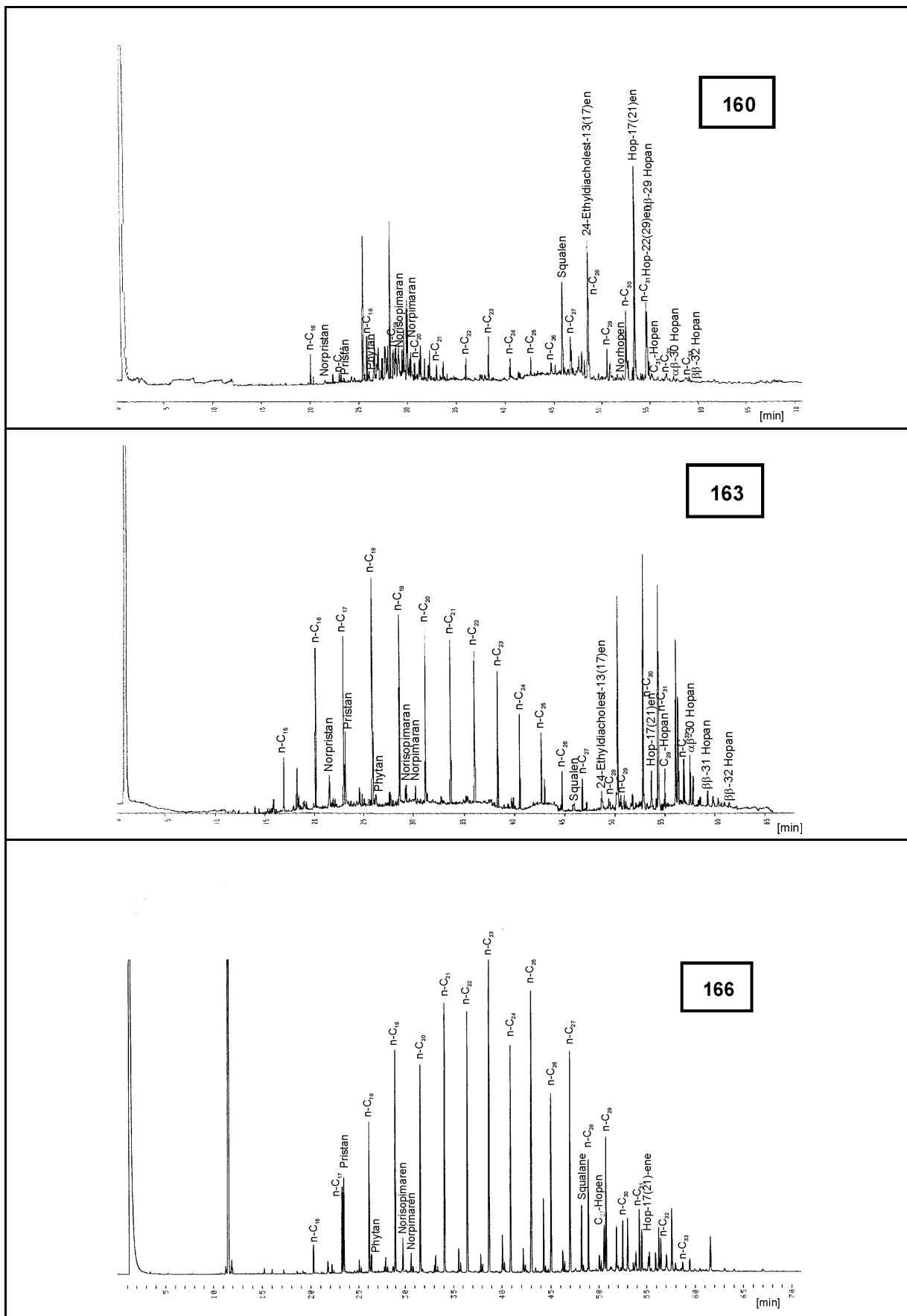
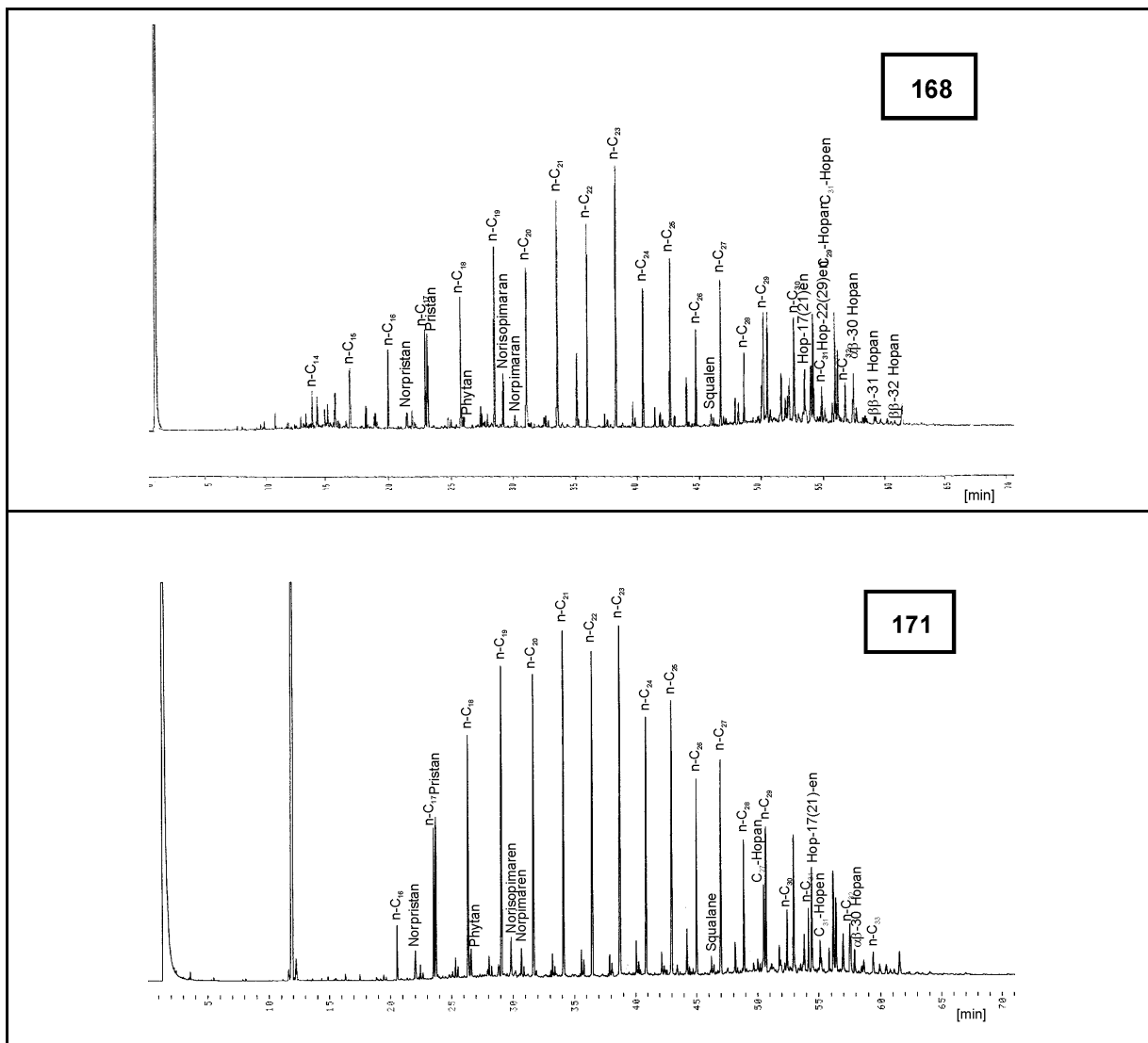


Abb. 10-1 : Gaschromatogramme der Alkan-Fractionen (Probennummer im Rechteck)



Tab. 10-11 : Probenliste Sediment- und Wasseruntersuchungen

Proben-Nummer	Fluss-kilometer	Fluss	Rechtswert Grad östl. Länge	Hochwert Grad nördl. Breite	Beschreibung Probenahmepunkt	Bemerkungen	Probenmenge Wasser [ml]	Probe Sedimentart
D 01		Aldan	135,808	62,185	flussaufwärts des Bergwerkschachts, am östl. Ufer aus 1,5 m Tiefe		30	S, g
D 02		Aldan	135,832	62,293	an einer Insel, aus ca. 2 m Tiefe		35	mS, fs
D 03		Aldan	135,687	62,41	keine Angaben		32	mS, fs, u'
D 04		Aldan	135,568	62,568	keine Angaben		40	S, g'
D 05		Aldan	135,42	62,653	am südl. Ufer in einer kleinen Bucht aus 1 m Tiefe; nur hier sandiges Material, ansonsten steiniger Untergrund		20	fS, ms, u'
D 06		Aldan	135,205	62,581	am südl. Ufer in einer kleinen sandigen Bucht aus 1,5 m Tiefe		25 - 30	mS, stark fs
D 07		Aldan	135,063	62,622	an der Spitze einer Insel aus ca. 1 m Tiefe		30	mS, stark fs
D 08		Aldan	134,76	62,652	in einer ca. 300 m tiefen Bucht, Probenahme bei ca. 200 m aus 0,8 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		28	fS, u, ms'
D 09		Aldan	134,637	62,718	an einer kleinen Insel aus ca. 0,3 m Tiefe		25	fS, stark ms
D 10		Aldan	134,481	62,793	an der nördl. Seite einer großen Insel gegenüber Krest-Chal'džajy (Крест-Хальджайы) in einer kleinen sandigen Bucht		25	fS, ms, u'
GH					Trinkwasser aus dem Gästehaus der Universität Jakutsk			
N 01		Wiljuj	118,485	63,264	nahe des Benzinlagers (Нефти-База), 15 m vom nördl. Ufer entfernt, aus 1,5 m Tiefe		33	mS, fs, gs'
N 02		Wiljuj	118,598	63,272	ca. 30 m vom nördl. Ufer entfernt, aus 2 m Tiefe; sandiger Untergrund		25	mS, fs, gs'
N 03		Wiljuj	118,72	63,315	ca. 200 m flussabwärts der Mündung des Flüsschens Kutu (Куту), ca. 20 m vom nordwestl. Ufer entfernt, aus 2,5 m Tiefe		30	mS, fs, gs', u'
N 04		Wiljuj	118,91	63,374	50 m vom westl. Ufer entfernt, aus 3 m Tiefe; sandiger Untergrund		40	mS, fs', gs', g'
N 05		Wiljuj	118,875	63,464	ca. 20 m vom nördl. Ufer entfernt, aus 2,5 m Tiefe		38	S-G
N 06		Wiljuj	118,818	63,532	ca. 2 km flussaufwärts der Siedlung Žarchan (Жархан), 25 m vom westl. Ufer entfernt, aus 2 m Tiefe; nur hier sandiger Untergrund, ansonsten grobkiesig		40	S, g'
N 07		Wiljuj	118,708	63,568	1 km flussabwärts der Siedlung Kirov (Киров), 25 m vom nördl. Ufer entfernt, aus 0,7 m Tiefe; sandiger Untergrund		30	mS, fs, gs
N 08		Wiljuj	119,04	63,455	gegenüber der Mündung des Flüsschens Obere Marchinskij (Верх. Мархинский?), ca. 50 m vom nördl. Wiljuj-Ufer entfernt, aus 1,5 m Tiefe; sandiger Untergrund		40	S, g'
N 09		Wiljuj	119,226	63,498	ca. 30 m vom nördl. Ufer einer Insel entfernt, aus 1 m Tiefe; sandiger Untergrund		35	mS, fs', gs'
N 10		Wiljuj	119,52	63,498	ca. 30 m vom südl. Ufer einer Insel entfernt, aus 1 m Tiefe; sandiger, teilweise schwach kiesiger Untergrund		38	mS, fs', gs'
N 11		Wiljuj	119,756	63,565	ca. 30 m flussaufwärts der Mündung des Flusses Tjukjan (Тюкян), ca. 40 m vom nördl. Ufer entfernt, aus 2 m Tiefe		37	mS, fs, gs'
N 12		Wiljuj	119,892	63,563	ca. 300 m flussabwärts der Mündung des Flusses Tonguo (Тонгуо), ca. 50 m vom südl. Ufer entfernt, aus 2 m Tiefe; sandiger Untergrund		38	mS, gs, fs'
P 01	1603	Lena	130,03	62,28	3 km Luftlinie, 4,5 Flusskilometer (FKM) flussaufwärts der Kohleverladestelle von Kangalassy (Кангалассы); bei Boje weiß (15), aus ca. 3 m Tiefe		40	gS, ms, g'

Tab. 10-11 : Probenliste Sediment- und Wasseruntersuchungen

Proben-Nummer	Fluss-kilometer	Fluss	Rechtswert Grad östl. Länge	Hochwert Grad nördl. Breite	Beschreibung Probenahmepunkt	Bemerkungen	Probenmenge Wasser [ml]	Probe Sedimentart
P 02	1598,5	Lena	130,03	62,3	500 m querab der Kohleverladestelle von Kangalassy (Кангалассы)		40	S
P 03	1596	Lena	129,99	62,37	bei Boje 24, am nördl. Ende d. „Kangalassy Hügel“, nahe eines Häuschens am Ufer		30	S
P 04	1550	Lena	129,89	62,58	ca. 10 km flussaufwärts Namcy (Намцы), aus ca. 2,5 m Tiefe nahe einer Sandbank; große schwarze Brocken (Kohle) in der Probe		40	gS, ms-, g'
P 05	1510	Lena	129,67	62,96	bei Stolby (Столбы), nahe am Ufer, aus 2 m Tiefe		38	S
P 06	1468	Lena	129,52	63,31	14-15 Flusskilometer flussaufwärts der Aldanmündung; nahe ankerndem Schiff; Probenahme in unmittelbarer Ufernähe		30	S, u'
P 07		Lena	129,53	63,45	Mündungsbereich des Aldans in die Lena (ca. 300-400 m in den Aldan reingefahren), Probenahme in der Flussmitte aus ca. 2,5 m Tiefe		18	fS-mS
P 08	1430	Lena	129,29	63,47	ca. 12 km Luftlinie flussabwärts von Batamai (Батамай); direkt am westl. Ufer aus 1,5 m Tiefe;		30	fS-mS
P 09	1390	Lena	128,51	63,47	21 km flussabwärts der Mündung des Flusses Beljanka (Белянка), Probenahme am Ufer einer kleinen Insel aus ca. 1,5 m Tiefe		23	fS-mS
P 10	1350	Lena	128,15	63,66	östl. Seite d. Fahrrinne an einer Sandbank bei Belaja Gora (Белая Гора) aus 0,7 m Tiefe		25	mS, fs'
P 11	1324	Lena	127,67	63,81	3 km flussaufwärts Smorodičnyj (Смородичный) bzw. 7,5 km flussaufwärts Sangar (Сангар), Probenahme westl. der Fahrrinne nahe einer Sandbank aus 2,5 m Tiefe		28	fS-mS
P 12	1313,5	Lena	127,51	63,85	ca. 2 km flussabwärts d. Kohleverladestelle von Sangar (Сангар) (FKM 1315,5); westl. der Fahrrinne aus 3 m Tiefe		28	gS, ms', g'; grobkörniger Sand; à starke Strömung, deshalb wahrscheinlich wenig Kohle
P 13	1310	Lena	127,42	63,89	ca. 5,5 km flussabwärts der Kohleverladestelle von Sangar (Сангар) (FKM 1315,5), westl. der Fahrrinne		40	S-G;sehr grobe Kiesel, dazwischen etwas Feinmaterial; Probe v. Feinen
P 14	1300	Lena	127,3	63,97	ca. 15,5 km flussabwärts d. Kohleverladestelle von Sangar (Сангар) bzw. 3 km flussabwärts der Mündung des Flusses Čočuma (Чочума), Probenahme westl. der Fahrrinne an einer Sandbank aus ca. 1 m Tiefe		28	mS, fs', gs';Feinmaterial
P 15	1285	Lena	127,12	64,06	ca. 30,5 km flussabwärts der Kohleverladestelle von Sangar (Сангар), östl. der Fahrrinne an einer Sandbank aus 2 m Tiefe		23	mS, fs', gs';mittelkörniger Sand
P 16	1238	Lena	126,53	64,35	gegenüber der Mündung des Flusses Wiljuj (Вилюй), am östl. Ufer aus 0,3 m Tiefe		25	S, g'
P 17	1235	Lena	126,42	64,36	3 km flussabwärts der Mündung des Flusses Wiljuj (Вилюй), am westl. Ufer aus 1,5 m Tiefe		22	mS, fs
P 18	1195	Lena	125,89	64,57	ca. 3 km flussaufwärts der Mündung des Ljampuška (Лампушка), westl. der Fahrrinne an einer Sandbank aus 1,5 m Tiefe		25	mS, fs', gs'
P 19	1155	Lena	125,54	64,76	am östl. Ufer aus 0,5 m Tiefe		20	fS, ms, gs', u'; faustgroße Kiesel mit etwas Sand (davon Probe)
P 20	1115	Lena	124,81	64,99	in der Verlängerung der Mündung des Flusses Džanyška (Джанышка) im Seitenarm der Lena, am östl. Ufer aus 2 m Tiefe		28	S
P 21	1075	Lena	124,43	65,35	ca. 10 km flussabwärts der Siedlung Bestjach (Бестях), östl. der Fahrrinne an einer Sandbank aus ca. 2 m Tiefe		25	fS, ms-, u'
P 22	1035	Lena	124,34	65,66	an der westl. Flussseite aus 1,5 m Tiefe		28	mS, fs, gs'
P 23	995	Lena	124,09	65,91	an der westl. Flussseite aus 3 m Tiefe		28	mS, gs

Tab. 10-11 : Probenliste Sediment- und Wasseruntersuchungen

Proben-Nummer	Fluss-kilometer	Fluss	Rechtswert Grad östl. Länge	Hochwert Grad nördl. Breite	Beschreibung Probenahmepunkt	Bemerkungen	Probenmenge Wasser [ml]	Probe Sedimentart
P 24	955	Lena	123,89	66,15	10 km flussaufwärts der Mündung des Flusses Undjuljung (Ундюлюнг), an der westl. Flussseite aus 2 m Tiefe; kurz vor Probenahme Öl auf dem Wasser, evtl. von Tanker abgelassen		25	mS, fs', gs', g'
P 25	915	Lena	123,64	66,45	am östl. Ufer aus 2 m Tiefe; Kohlevorkommen am Ufer		20	fS-mS
P 26	884	Lena	123,46	66,62	11 km flussaufwärts der Siedlung Žigansk (Жиганск), am östl. Ufer aus ca. 1,5 m Tiefe; am gegenüberliegenden Ufer steht Kohle an (Žigansk 1)		20	fS-mS
P 27	860	Lena	123,27	66,8	13 km flussabwärts von Žigansk (Жиганск), an der westl. Flussseite vor einer Sandbank aus ca. 3 m Tiefe		25	mS, fs, gs'
P 28/1	810	Lena	123,12	67,23	38 km flussabwärts von Žigansk (Жиганск), an der östl. Flussseite nahe einer Insel aus ca. 3 m Tiefe	versehentlich. 2 Pr.mit 28 beschr.		mS, fs', gs'
P 28/2	835	Lena	123,21	67		versehentlich. 2 Pr.mit 28 beschr.	25	mS, fs'
P 30	785	Lena	122,88	67,45	an der westl. Flussseite 30 m vom Ufer entfernt aus 1,8 m Tiefe; sandig, toniger Untergrund		28	fS-mS
P 31	760	Lena	123	67,68	an der östl. Flussseite direkt am Ufer aus 0,3 m Tiefe; steiniger Untergrund		30	S-G
P 32	735	Lena	123,04	67,91	ca. 3 km flussabwärts der Mündung des Flusses Muna (Муна), am östl. Ufer aus 1 m Tiefe; sandig, steiniger Untergrund		25	fS, ms, u'
P 33	710	Lena	123,23	68,12	10 km flussabwärts der Mündung des Flusses Menkéré (Мэнкэра), westl. der Fahrinne an einer Insel aus ca. 2,5 m Tiefe; sandiger Untergrund		25	mS, fs-
P 34	685	Lena	123,65	68,24	22 km flussaufwärts der Mündung der Natara (Натара), am östl. Ufer aus 0,15 m Tiefe; steiniger Untergrund		28	S, g'
P 35	660	Lena	123,81	68,45	3 km flussabwärts der Mündung der Natara (Натара), am östl. Ufer, ...?		25	fS-mS, u'
P 36	635	Lena	123,92	68,67	10 km flussaufwärts der Mündung des Flusses Džardžan (Дарджан), am östl. Ufer aus 0,30 m Tiefe ...?		25	fS, ms, u'
P 37	608	Lena	124	68,91	17 km flussabwärts der Mündung des Flusses Džardžan (Дарджан), am östl. Ufer aus 1,5 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		38	fS, u, ms'
P 38	584	Lena	124,16	69,13	ca. 500 m flussabwärts der Mündung des Flusses Kamenistaja (Каменистая), am östl. Ufer aus 1,0 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		40	fS, ms, u'
P 39	565	Lena	124,57	69,3	westl. der Fahrinne, nahe einer Insel (Sandbank) aus ca. 3,0 m Tiefe		30	mS-gS
P 40	540	Lena	124,88	69,49	6 km flussabwärts der Mündung des Flusses Bysytach (Бысыттах) bzw. 5 km flussabwärts von Kap Rybačij (Мыс Рыбачий), westl. der Fahrinne, nahe einer Insel (Sandbank) aus 3,0 m Tiefe		52	mS, gs-
P 41	515	Lena	124,97	69,66	3 m vom östl. Ufer entfernt aus 0,6 m Tiefe; schlammiger Untergrund		40	S, u-
P 42	490	Lena	125,08	69,84	10,5 km flussaufwärts der Siedlung Siktjach (Сиктях), westl. der Fahrinne, ca. 200 m von einer Insel (Sandbank) entfernt, aus ca. 2,8 m Tiefe		50	fS-mS, gs'
P 43	465	Lena	125,42	69,95	14,5 km flussabwärts der Siedlung Siktjach (Сиктях) bzw. 6 km flussabwärts der Mündung des Flusses Dal'jaja (Дальяя), westl. der Fahrinne, ca. 150 m von der Insel Tosogo (o. Toco-ro) entfernt, aus 2,8 m Tiefe; sandiger Untergrund		40	S, g'
P 44	438	Lena	125,84	70,11	östl. der Fahrinne, ca. 50 m von einer Insel (Sandbank) entfernt, aus 2,5 m Tiefe; sandiger Untergrund		50	mS, gs-

Tab. 10-11 : Probenliste Sediment- und Wasseruntersuchungen

Proben-Nummer	Fluss-kilometer	Fluss	Rechtswert Grad östl. Länge	Hochwert Grad nördl. Breite	Beschreibung Probenahmepunkt	Bemerkungen	Probenmenge Wasser [ml]	Probe Sedimentart
P 45	415	Lena	125,92	70,33	10 km flussaufwärts der Mündung des Flusses Bjosjuka (Бёсюке), ca. 100 m vom östl. Ufer aus 2,8 m Tiefe; sandiger Untergrund		52	mS, fs'
P 46	390	Lena	125,66	70,46	5 m vom westl. Ufer aus 0,5 m Tiefe; steiniger Untergrund		25	fs, ms-
P 47	365	Lena	126,2	70,54	östl. der Fahrrinne, 50 von einer Sandinsel entfernt, aus ca. 3,0 m Tiefe		25	mS, fs-
P 48	339	Lena	126,93	70,56	ca. 500 m flussabwärts der Mündung des Flusses Tikjan (Тикян), am östl. Ufer aus ca. 1,0 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		25	U-fs
P 49	315	Lena	127,22	70,72	5 km flussabwärts der Siedlung Kjusjur (Кюсюр), am östl. Ufer aus 1,0 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		25	fs, ms, gs'
P 50	290	Lena	127,37	70,93	2,5 km flussabwärts der Mündung des Flusses Eekit (Эекит), am östl. Ufer aus 1,5 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		30	U, fs-
P 51	264	Lena	127,42	71,11	am östl. Ufer aus 0,15 m Tiefe; einzige Stelle mit Feinmaterial, ansonsten steiniger Untergrund		28	S, g'
P 52	240	Lena	127,22	71,33	20 km flussaufwärts von Kumachsurt (Кумachsурт), am östl. Ufer aus ca. 0,5 m Tiefe; steiniger Untergrund		28	S, g
P 53	220	Lena	127,32	71,5	am östl. Ufer aus 1,0 m Tiefe; steiniger Untergrund		22	U-fs, ms
P 54	195	Lena	127,25	71,74	am östl. Ufer aus 1,0 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		23	fs, ms
P 55	175	Lena	127,17	71,91	ca. 4 km flussaufwärts dem südl. Ende der Insel Tit-Ary (Тит-Ары), nahe des westl. Ufers aus 3,0 m Tiefe; sandiger Untergrund		22	fs, ms
P 56	150	Lena	127,04	72,09	nahe des nördl. Endes der Insel Tit-Ary (Тит-Ары), direkt am östl. Lena-Ufer, 0,1 m über dem Wasserspiegel (kein Feinmaterial unterhalb des derzeitigen Wasserspiegels auffindbar, steiniger Untergrund)		28	S, g
P 57	125	Lena	126,94	72,32	18 km vor Beginn des Bykovskaja Seitenarmes (прот. Быковская), am östl. Ufer aus 1,0 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		23	fs, ms
P 58	106,5	Lena	126,85	72,46	ca. 500 m vor der meteorologischen Station im Bykovskaja Seitenarm, am südl. Ufer aus 1,5 m Tiefe; steiniger, schlammiger Untergrund		25	fs, ms
P 59	85	Lena	127,31	72,44	nördl. der Fahrrinne, 200 m von einer Sandbank entfernt, aus 3 m Tiefe; sandiger Untergrund		22	mS, gs-
P 60	65	Lena	127,73	72,35	am südwestl. Ufer aus 0,5 m Tiefe; steiniger, z.T. etwas sandiger Untergrund		22	fs-mS, gs'
P 61	48	Lena	128,05	72,21	8 km flussabwärts der Bucht Bulunkan (Залив Булункан), nordöstl. der Fahrrinne nahe einer Sandbank (Insel) aus 3 m Tiefe		25	gS, ms-, fs'
P 62	28	Lena	128,45	72,06	nordöstl. der Fahrrinne, nahe einer Sandbank (Insel), aus 3 m Tiefe, sandiger Untergrund		25	mS, gs-
P 63	8	Lena	128,92	72,04	südwestl. der Fahrrinne, 200 m von einer Sandbank (Insel) entfernt, aus 2,5 m Tiefe		23	fs, ms-
P 64		Lena	129,08	71,91	10 km südl. der Siedlung Bykovskij (Быковский), westl. d. Fahrrinne aus 2,5 m Tiefe		25	mS, fs, gs'
S 01		Wiljuj	117,72	62,164			250	mS, g'
S 02		Wiljuj	117,581	62,278			250	S, g
S 03		Wiljuj	117,483	62,482			250	S, g'
S 04		Wiljuj	116,15	62,254			250	S, g', u'

Tab. 10-12 : Röntgenfluoreszenz-Analytik (RFA) der Sedimente; Angaben in [Gew.%] und [ppm]

Proben-Nr	Fraktion	Al %	Si %	P %	S %	K %	Ca %	Ti %	Fe %	Mn ppm	Sr ppm	Ba ppm	Mo ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Cd ppm	Pb ppm
D 01	gesamt	7,11	35,21	0,06	<NG	2,63	0,77	0,32	1,94	324	263	850	<NG	<NG	<NG	62	<NG	<NG
D 02	gesamt	5,60	39,62	0,07	<NG	2,27	1,65	0,23	2,60	533	307	779	<NG	<BG	<NG	59	<NG	<NG
D 03	gesamt	5,35	39,20	0,07	<NG	2,32	1,30	0,22	2,05	440	287	626	<NG	<BG	<NG	50	<NG	<NG
D 04	gesamt	5,04	39,20	0,08	<NG	1,86	1,92	0,60	5,56	1133	307	822	<NG	<NG	<NG	74	<NG	<NG
D 06	gesamt	5,22	42,48	0,08	<NG	2,47	1,33	0,22	1,87	421	270	847	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
D 08	gesamt	6,39	40,01	0,07	<NG	2,78	1,96	0,32	2,99	505	337	596	<NG	<BG	<NG	71	<NG	<NG
D 10	gesamt	6,42	38,61	0,06	<NG	2,51	1,95	0,43	3,33	583	231	640	<NG	<BG	<NG	80	<NG	<NG
N 03	gesamt	6,51	40,87	<BG	<NG	3,21	1,13	0,25	1,61	347	399	1147	<NG	<BG	<NG	<BG	<NG	<NG
N 05	gesamt	3,10	45,47	<NG	<NG	2,39	0,77	0,21	1,15	310	198	875	<NG	<BG	<NG	<BG	<NG	<NG
N 07	gesamt	2,91	35,06	<NG	<NG	2,14	0,44	<BG	0,49	<BG	154	749	<NG	<NG	<NG	37	<NG	<NG
N 09	gesamt	3,05	46,84	<NG	<NG	2,74	0,73	<BG	0,62	<BG	213	836	<NG	<BG	<NG	52	<NG	<NG
N 10	gesamt	3,72	48,04	<NG	<NG	3,32	0,73	<BG	0,75	<BG	279	965	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
N 12	gesamt	3,45	49,02	<NG	<NG	3,25	0,53	<BG	0,57	<BG	242	1054	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
P 01	gesamt	3,57	43,18	<NG	<NG	2,16	1,14	<BG	1,25	350	342	972	<NG	<NG	<NG	<BG	<BG	<NG
P 05	gesamt	4,77	40,12	<NG	<NG	2,84	1,30	<BG	1,05	253	392	1154	<NG	<BG	<NG	46	<NG	<NG
P 10	gesamt	4,41	41,71	<NG	<NG	3,02	1,00	<BG	0,81	<BG	433	1164	<NG	<NG	<BG	<BG	<BG	<NG
P 15	gesamt	3,95	43,43	<NG	<NG	3,13	0,80	<BG	0,75	<BG	410	1445	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
P 20	gesamt	3,51	40,64	<NG	<NG	2,37	0,87	<BG	0,78	<BG	238	645	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
P 24	gesamt	2,72	45,10	<NG	<NG	2,68	0,67	0,20	1,04	268	285	1070	<NG	<BG	<NG	<BG	<BG	<NG
P 28/2	gesamt	2,76	47,32	<NG	<NG	2,39	1,16	0,19	1,47	442	341	1053	<NG	<BG	<NG	49	<NG	<NG
P 33	gesamt	3,89	46,52	<NG	<NG	2,94	0,96	0,18	1,25	281	386	1493	<NG	<NG	<NG	57	<NG	<NG
P 38	gesamt	7,41	37,02	<BG	<NG	2,71	1,70	0,40	2,82	445	506	1150	<NG	<NG	<NG	49	<NG	<NG
P 41	gesamt	6,02	34,00	<BG	<NG	2,17	0,95	0,31	2,65	539	311	666	<NG	<NG	<BG	45	<NG	<NG
P 48	gesamt	7,19	31,42	0,06	<NG	1,99	0,48	0,39	3,16	360	165	458	<NG	<BG	<BG	76	<NG	<NG
P 52	gesamt	2,53	42,96	<NG	<NG	1,91	2,00	0,34	2,03	518	332	850	<NG	<BG	<NG	66	<NG	<NG
P 56	gesamt	5,45	37,42	<NG	<NG	2,49	1,12	0,29	2,96	568	190	580	<NG	<BG	<BG	79	<NG	<NG
P 60	gesamt	4,44	40,44	<NG	<NG	2,11	1,11	0,51	2,57	746	256	897	<NG	<NG	<NG	61	<NG	<NG
P 64	gesamt	5,65	42,37	<NG	<NG	3,25	0,76	0,19	1,59	344	364	1176	<NG	<NG	<NG	56	<NG	<BG
S 01	gesamt	3,20	43,06	<NG	<NG	2,39	0,67	<BG	0,46	183	222	522	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<NG
S 02	gesamt	2,81	33,72	<NG	<NG	1,97	0,65	0,20	0,97	274	193	879	<NG	<NG	<NG	<BG	<NG	<BG
S 03	gesamt	2,64	38,87	<NG	<NG	2,01	1,00	0,21	1,11	326	195	770	<NG	<NG	<NG	33	<NG	<BG
S 04	gesamt	2,95	33,24	<NG	<NG	1,42	1,05	0,16	1,85	432	195	640	<NG	<BG	<BG	<BG	<BG	<NG
S 02	<63 µm	4,82	20,62	0,30	<BG	1,49	1,30	0,63	2,58	601	306	596	<NG	<BG	<NG	52	<NG	<NG

Tab. 10-12 : Röntgenfluoreszenz-Analytik (RFA) der Sedimente; Angaben in [Gew.%] und [ppm]

Proben-Nr	Fraktion	Al %	Si %	P %	S %	K %	Ca %	Ti %	Fe %	Mn ppm	Sr ppm	Ba ppm	Mo ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Cd ppm	Pb ppm
S 03	<63 µm	4,97	20,39	0,26	<BG	1,57	1,53	0,43	2,26	757	301	703	<NG	<NG	<BG	62	<NG	<NG
S 04	<63 µm	4,84	19,62	0,19	<NG	1,46	2,31	0,48	5,05	1154	373	563	<NG	<NG	<BG	90	<NG	<NG
D 01	< 63 µm	8,30	28,17	0,06	<NG	2,52	0,98	0,51	2,72	482	303	1052	<NG	<BG	<BG	100	<NG	<NG
D 02	< 63 µm	4,94	18,94	0,05	<BG	1,54	1,36	0,34	3,32	1161	222	514	<NG	<BG	<BG	87	<NG	<NG
D 03	< 63 µm	7,14	27,40	<BG	<NG	2,39	1,68	0,46	4,29	1064	196	629	<NG	<BG	<BG	116	<NG	<NG
D 04	< 63 µm	5,50	22,91	0,05	<BG	1,78	1,87	0,30	2,94	762	155	536	<NG	<BG	<BG	84	<NG	<NG
D 05	< 63 µm	6,28	24,96	0,05	<NG	1,91	1,78	0,45	3,63	666	217	641	<NG	<NG	<BG	80	<NG	<NG
D 06	< 63 µm	4,98	19,68	0,04	<NG	1,56	1,77	0,38	3,18	863	205	679	<NG	<NG	<BG	71	<NG	<NG
D 08	< 63 µm	6,69	28,12	<BG	<BG	2,30	3,27	0,54	4,58	977	255	836	<NG	<NG	<BG	113	<NG	<NG
D 10	< 63 µm	6,44	31,58	<BG	<BG	2,40	3,64	0,68	4,44	874	314	881	<NG	<NG	<NG	110	<NG	<NG
N 03	< 63 µm	7,15	28,76	<BG	<BG	2,40	1,67	0,59	4,94	942	358	666	<NG	<NG	<BG	123	<NG	<NG
P 06	< 63 µm	6,42	27,20	0,06	<NG	2,00	3,10	0,61	4,58	953	387	712	<NG	<BG	<NG	100	<NG	<NG
P 08	< 63 µm	5,18	24,00	0,06	<BG	1,76	2,59	0,44	3,06	620	300	802	<NG	<NG	<BG	73	<NG	<NG
P 09	< 63 µm	5,56	25,14	0,07	<BG	1,84	2,53	0,58	3,69	676	307	775	<NG	<BG	<BG	71	<NG	<NG
P 19	< 63 µm	6,48	32,94	0,09	<NG	1,98	0,70	0,57	2,83	455	214	632	<NG	<NG	<NG	55	<NG	<NG
P 21	< 63 µm	7,14	34,58	0,08	<NG	2,44	1,28	0,54	3,65	731	199	737	<NG	<NG	<NG	86	<NG	<NG
P 25	< 63 µm	4,95	21,40	0,06	<NG	1,45	1,71	0,81	3,71	619	233	861	<NG	<NG	<NG	66	<NG	<NG
P 32	< 63 µm	6,66	27,26	0,11	<BG	1,88	1,18	0,93	4,13	651	240	434	<NG	<BG	<NG	81	<NG	<NG
P 35	< 63 µm	7,40	34,03	0,09	<NG	2,45	0,93	0,52	3,66	628	213	717	<NG	<BG	<BG	99	<NG	<NG
P 36	< 63 µm	5,69	26,99	0,14	<NG	1,42	1,75	1,43	3,84	804	371	641	<NG	<NG	<NG	66	<NG	<NG
P 37	< 63 µm	7,64	34,22	0,08	<BG	2,54	1,05	0,57	3,75	656	252	676	<NG	<BG	<BG	88	<NG	<NG
P 38	< 63 µm	8,17	33,73	0,07	<NG	2,40	1,94	0,74	5,01	849	476	774	<NG	<NG	<NG	100	<NG	<NG
P 41	< 63 µm	8,34	35,08	0,06	<BG	2,89	1,27	0,55	4,77	1100	315	843	<NG	<BG	<BG	134	<NG	<NG
P 46	< 63 µm	6,42	28,37	0,08	<NG	2,01	1,92	1,45	4,91	842	459	1159	<NG	<NG	<NG	88	<NG	<NG
P 48	< 63 µm	8,08	37,16	0,08	<NG	2,67	0,70	0,63	4,30	532	266	802	<NG	<NG	<BG	107	<BG	<NG
P 50	< 63 µm	7,94	30,92	0,07	<BG	2,14	0,59	0,46	3,74	701	<BG	<BG	<NG	<NG	<BG	90	<NG	<NG
P 53	< 63 µm	7,17	28,92	0,07	<NG	2,05	1,50	0,39	3,08	602	<BG	455	<NG	<BG	<BG	72	<NG	<NG
P 57	< 63 µm	6,74	32,70	0,13	<NG	1,96	1,78	1,34	4,51	775	205	<BG	<NG	<NG	<NG	73	<NG	<NG
P 58	< 63 µm	6,05	28,84	0,09	<NG	1,71	1,49	0,79	3,12	522	202	549	<NG	<NG	<NG	65	<NG	<NG

BG: Bestimmungsgrenze (mittlerer Fehler x 10)

NG: Nachweisgrenze (mittlerer Fehler x 3)

Tab. 10-13 : Schwermetalluntersuchungen (AAS) der Sedimente (Fraktion < 63µm), Angaben in [ppm]

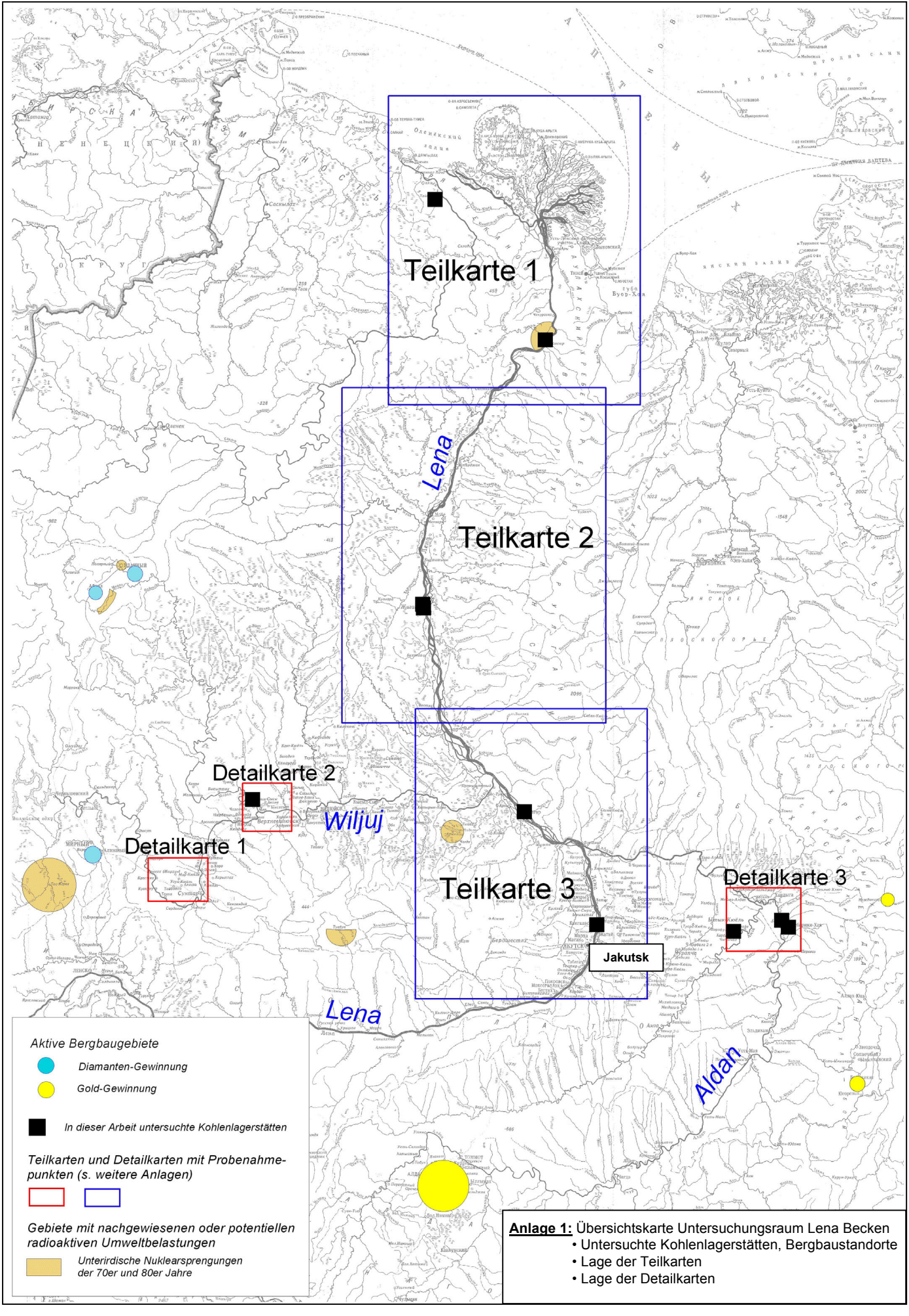
Proben-Nr.	Messung	Fraktion	As ppm	Pb ppm	Cr ppm	Zn ppm	Cd ppm	Cu ppm	Ni ppm	Tl ppm	Sn ppm
D 01	1	<63 µm	3,2	22,5	30,1	118,4	0,3	28,8	65,5	0,54	1,09
D 01	2	<63 µm	3	22,5	29	89,4	0,17	23,8	40,05	<0,38	1,24
D 02	1	<63 µm	9,4	15,3	45,3	104,3	0,46	21,6	70,87	0,56	0,88
D 02	2	<63 µm	8,2	16,1	52,5	115,7	0,31	19,6	61,83	0,35	1,13
D 03	1	<63 µm	11,4	22,9	41,6	106,4	0,06	22,1	49,27	0,57	1,23
D 03	2	<63 µm	9,2	21,8	41,5	105,4	0,35	24,2	56,59	0,53	1,43
D 04	1	<63 µm	13,2	22,2	17,6	99	0,53	19,6	66,26	0,43	2,15
D 04	2	<63 µm	11,5	16,4	20,4	103,5	0,35	22,3	45,8	<0,42	1,38
D 05	1	<63 µm	8,3	20,5	23	104,8	0,36	21,1	86,65	0,4	1,52
D 05	2	<63 µm	7	18,7	20,6	95,8	0,23	18,6	51,32	0,09	1,13
D 06	1	<63 µm	9,1	18	47	88,1	0,51	33,6	67,56	0,47	0,92
D 06	2	<63 µm	7,6	18,7	47,3	95,7	0,21	23,7	48,52	0,41	1,43
D 08	1	<63 µm	8,4	21,2	42,1	130,2	0,27	18,5	70,94	0,55	0,73
D 08	2	<63 µm	6,2	19,2	40,9	90,9	0,25	25,9	28,12	0,54	1,54
D 09	0	<63 µm	6,6	14,2	25,6		0,14		42,86	0,17	
D 10	1	<63 µm	7,6	12,5	25,7	84,7	0,43	17	47,87	0,59	0,63
D 10	2	<63 µm	6,4	17	41,4	82,2	0,26	18,1	35,93	0,48	1,52
N 03	1	<63 µm	5,6	18,6	28,3	94,4	0,25	26,6	89,46	0,41	1,08
N 03	2	<63 µm	4,3	16,3	30,8	101,7	0,24	21	57,8	<0,02	1,07
N 04	1	<63 µm	5	15	17		0,25		52,84	<0,22	
N 08	1	<63 µm	2,1	12,1	29,3		0,23		46,86	1,52	
P 05	1	<63 µm	3,2	15,7	78,2	80,6	0,29	9,4	43,58	0,41	1,33
P 06	1	<63 µm	4,3	27,1	35,1	97,5	0,26	30	59,54	0,38	0,64
P 06	2	<63 µm	3,8	25,4	58,2	96,9	0,19	16,6	46,88	0,31	2,10
P 08	1	<63 µm	2,8	14,4	29,1	85,2	0,24	18,1	52,07	0,47	
P 08	2	<63 µm	2,8	15,3	47,5	71	0,2	17,2	42,27	0,54	0,69
P 09	1	<63 µm	5,1	17,4	32,1	127,2	0,24	10,3	49,33	0,45	0,59
P 09	2	<63 µm	4,1	15,2	32	72,3	0,25	13,4	47,86	0,52	1,69
P 19	1	<63 µm	4,9	9,1	37,5	65,4	0,16	20,6	42,51	0,43	0,88
P 19	2	<63 µm	3,9	12,4	32,8	64,7	0,11	7,9	31,37	0,43	0,40
P 21	1	<63 µm	6,6	15,2	25	158,2	0,31	15,6	54,33	0,53	0,63
P 21	2	<63 µm	5	15,5	20,6	92,7	0,18	17,9	38,77	0,59	0,99
P 25	1	<63 µm	18,8	16	51,3	105,8	0,31	42,5	95,35	0,31	1,14
P 31	1	<63 µm	3,4	22,4	47	86,9	0,34	8,5	60,33	0,51	1,25
P 31	2	<63 µm	18,5	22,3	61,3	111,1	0,23	37,7	63,37	0,63	1,23
P 32	1	<63 µm	8,9	27,4	38,1	95,5	0,3	27,8	65,98	0,56	0,88
P 32	2	<63 µm	6,6	21,9	47,7	90,5	0,12	22	47,51	0,48	0,73
P 34	1	<63 µm	4,2	11,7	18,5		0,16		42,38	0,29	
P 35	1	<63 µm	7,9	12,8	24,7	121,7	0,24	14,3	66,97	0,39	0,79
P 35	2	<63 µm	6,5	21	45,3	83,2	0,11	16,1	51,8	0,94	0,92
P 36	1	<63 µm	2,7	13,3	55,9	102,5	0,21	7,8	50,31	0,56	1,76
P 36	2	<63 µm	3,6	14,7	61	77,9	0,18	7,9	30,52	0,72	1,08
P 37	1	<63 µm	8	14,1	22,1	86,4	0,35	15,2	63,14	0,56	0,98
P 37	2	<63 µm	7	14,5	45,2	83,1	0,16	16	47,6	0,82	0,15
P 38	1	<63 µm	7,2	19	36,3	84,3	0,26	11,8	63,14	0,38	0,10
P 38	2	<63 µm	5,5	15,4	50,8	77,2	0,29	12,4	47,52	0,72	0,64
P 41	1	<63 µm	8,9	13,3	21,5	96,7	0,23	23,6	74,7	0,31	1,18
P 41	2	<63 µm	7,3	17,6	23,6	131,9	0,34	16,9	44,53	0,35	0,55
P 46	1	<63 µm	3,1	17,9	59	85,5	0,22	7,5	59,37	0,24	1,90
P 46	2	<63 µm	2,4	16,1	64,2	89,1	0,22	12,2	38,2	0,49	1,76
P 48	1	<63 µm	9,1	12	24	81,2	0,19	23,5	58,84	0,27	0,78
P 48	2	<63 µm	8,1	15,1	23,4	77,8	0,11	24,2	40,82	0,11	0,35
P 49	1	<63 µm	6,7	24,3	108		0,12		42,04	0,33	
P 50	1	<63 µm	12,5	17,8	27,8	112,1	0,24	24,6	76,21	0,24	1,03
P 50	2	<63 µm	10,9	18	28,8	94,5	0,09	29,3	58,6	0,48	0,88
P 53	1	<63 µm	8,3	18,1	20,4	107,6	0,27	21,5	74,84	0,25	1,27
P 53	2	<63 µm	7,5	16,4	21,7	82,1	0,21	18,1	49,76	0,3	1,03

Tab. 10-13 : Schwermetalluntersuchungen (AAS) der Sedimente (Fraktion < 63µm), Angaben in [ppm]

Proben-Nr.	Messung	Fraktion	As ppm	Pb ppm	Cr ppm	Zn ppm	Cd ppm	Cu ppm	Ni ppm	Tl ppm	Sn ppm
P 57	1	<63 µm	5,1	15,4	70,6	89	0,33	15,7	60,55	0,19	1,62
P 57	2	<63 µm	2,7	14,3	74,9	89,7	0,2	8	46,87	0,01	1,79
P 58	1	<63 µm	5,5	12,4	38,3	76,6	0,12	13,7	53,35	0,27	1,52
P 58	2	<63 µm	4,9	14,1	42	81,4	0,19	12,4	40,81	0,08	1,29
S 01	1	<63 µm	11,4	21,7	55,5		0,21		10	2,66	
S 02	1	<63 µm	8	17	52,2	59,3	0,07	8,5	20,8	2,01	0,94
S 03	1	<63 µm	7	23,4	47,4	67,9	0,05	14	16,8	1,18	1,03
S 04	1	<63 µm	7	17,6	48,2	89,1	0,11	28,6	36,3	7,99	0,90

Tab. 10-14 : Oberflächenwässer–Analytik

Proben-Nr.	pH	Lf $\mu\text{S/cm}$	CN^- mg/l	Sulfat mg/l	Hydrogenkarbonat mg/l	Chlorid mg/l	Fluorid mg/l	Bromid mg/l	Nitrit mg/l	Nitrat mg/l	Phosphat mg/l	Natrium mg/l	Kalium mg/l	Magnesium mg/l	Kalzium mg/l	Eisen mg/l	Mangan mg/l
P 52	8,05	299															
P 53	8,45	236	<0,02														
P 54	8,03	290		16,13	108,33	8,96	0,42	<0,1	<0,1	1,89	<0,5	6,64	0,82	10,65	19,05	0,18	<0,05
P 55	8,5	216															
P 56	8,35	248															
P 57	7,91	315															
P 58	8,24	289	<0,02														
P 59	7,92	156		8,5	58,46	9,54	0,42	<0,1	<0,1	6,38	<0,5	6,37	0,63	4,27	12,92	<0,1	<0,05
P 60	8,32	265															
P 61	8,12	190															
P 62	7,85	167															
P 63	8,21	224															
P 64	8,33	280		9,59	121,08	11,39	0,38	<0,1	<0,1	2,07	<0,5	8,79	0,89	10,52	18,69	<0,1	0,7
S 02	7,63	325		8,02	31,21	80,76	<0,1	<0,1		<0,1	<0,5	49,24	9,55	5,62	15,38	<0,1	<0,05
S 04	7,53	75		6,27	26,13	3,88	<0,1	<0,1		<0,1	<0,5	2,63	1,74	6,17	12	<0,1	<0,05
GH				12,64	41,68	30,89	0,45	<0,1	<0,1	1,17	<0,5	12,69	1,75	4,28	12,37	<0,1	<0,05



Teilkarte 1

Teilkarte 2

Teilkarte 3

Detailkarte 2

Detailkarte 1

Detailkarte 3

Jakutsk

Aktive Bergbauggebiete

- Diamanten-Gewinnung
- Gold-Gewinnung

■ In dieser Arbeit untersuchte Kohlenlagerstätten

Teilkarten und Detailkarten mit Probenahme-
punkten (s. weitere Anlagen)

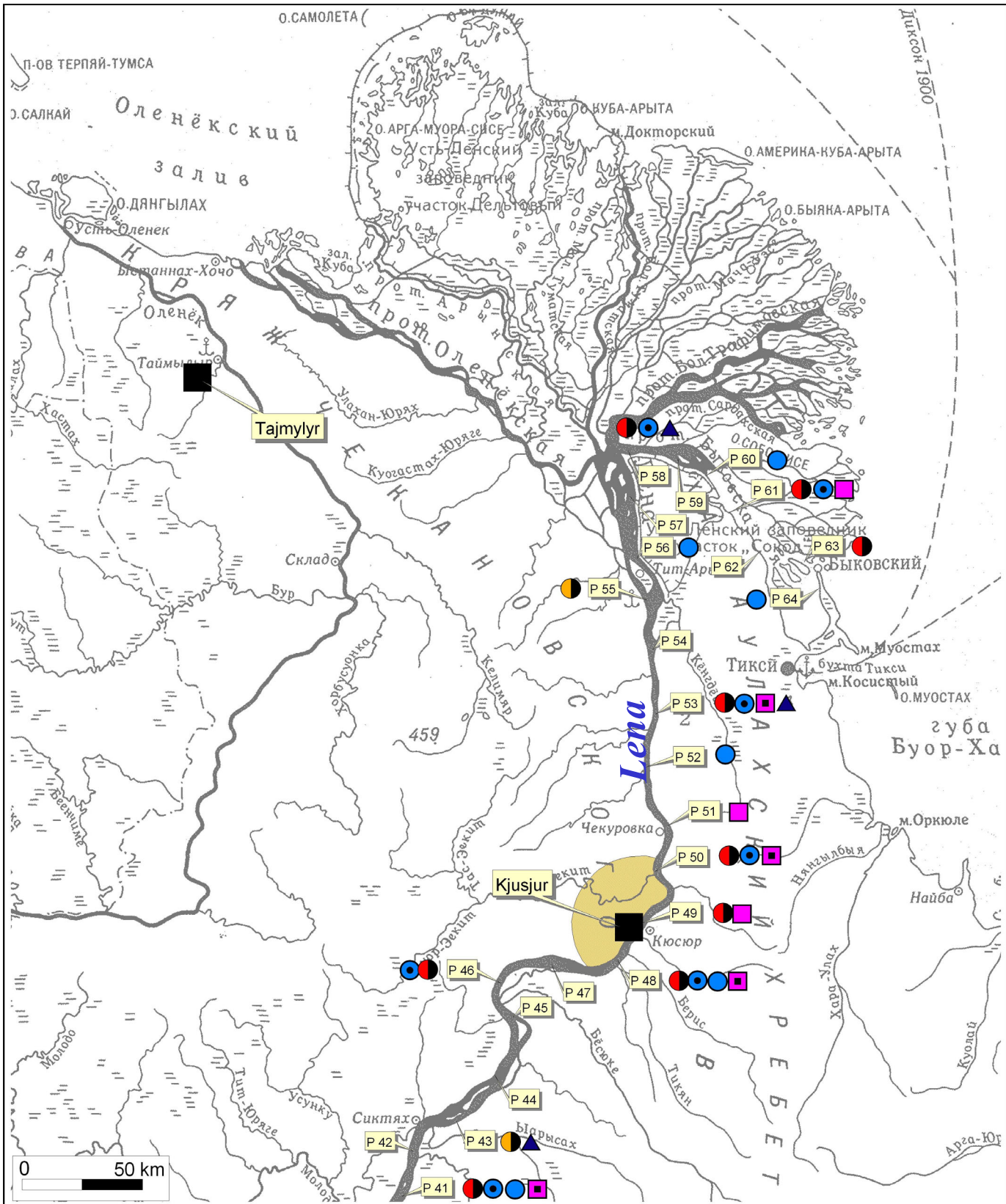
-
-

Gebiete mit nachgewiesenen oder potentiellen
radioaktiven Umweltbelastungen

Unterirdische Nuklearsprengungen
der 70er und 80er Jahre

Anlage 1: Übersichtskarte Untersuchungsraum Lena Becken

- Untersuchte Kohlenlagerstätten, Bergbaustandorte
- Lage der Teilkarten
- Lage der Detailkarten



Sediment- und Wasseruntersuchungen

- P22 Probenahmepunkte mit Nummerierung
 - Quecksilber - Pyrolyse - Untersuchungen
 - Schwermetall-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 - Cyanid - Untersuchungen
 - Radionuklid - Untersuchungen (Originalsubstanz)
 - Radionuklid-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 - Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente RFA (Originalsubstanz gemahlen)
 - Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente (Fraktion < 63 µm)
- pH- und Leitfähigkeitsuntersuchungen von Wasserproben an allen Probenahmepunkten

Lagerstättenkundliche Untersuchungen

- Untersuchte Kohlenlagerstätten

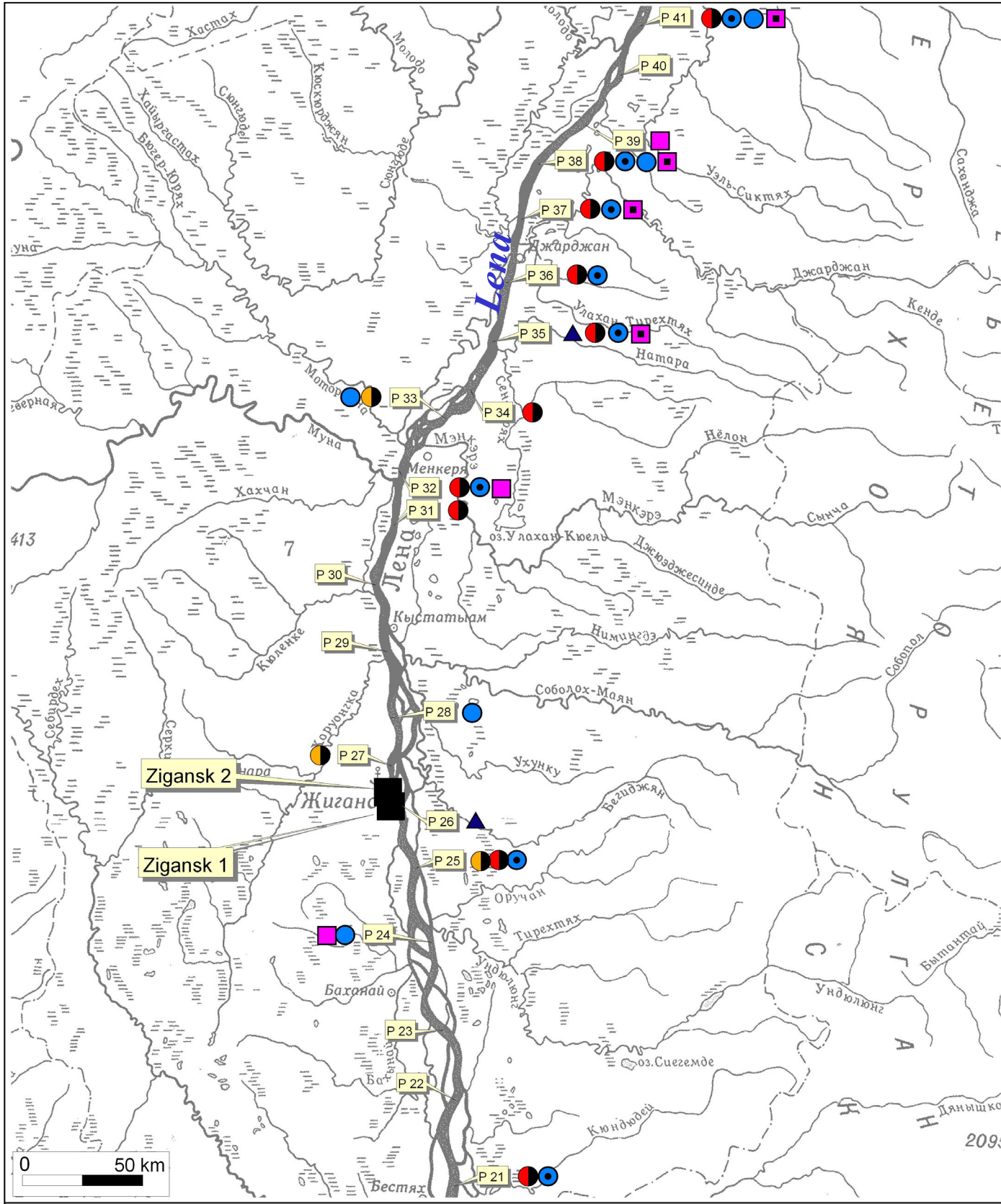
Kjusjur

Gebiete mit nachgewiesenen oder potentiellen radioaktiven Umweltbelastungen









- Lage der unterirdischen Nuklearsprengungen der 70er und 80er Jahre

Anlage 2 : Teilkarte 1





Lage der Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle
Unterlauf der Lena und Lena-Delta (Proben-Nr. P41 bis P64)



Sediment- und Wasseruntersuchungen

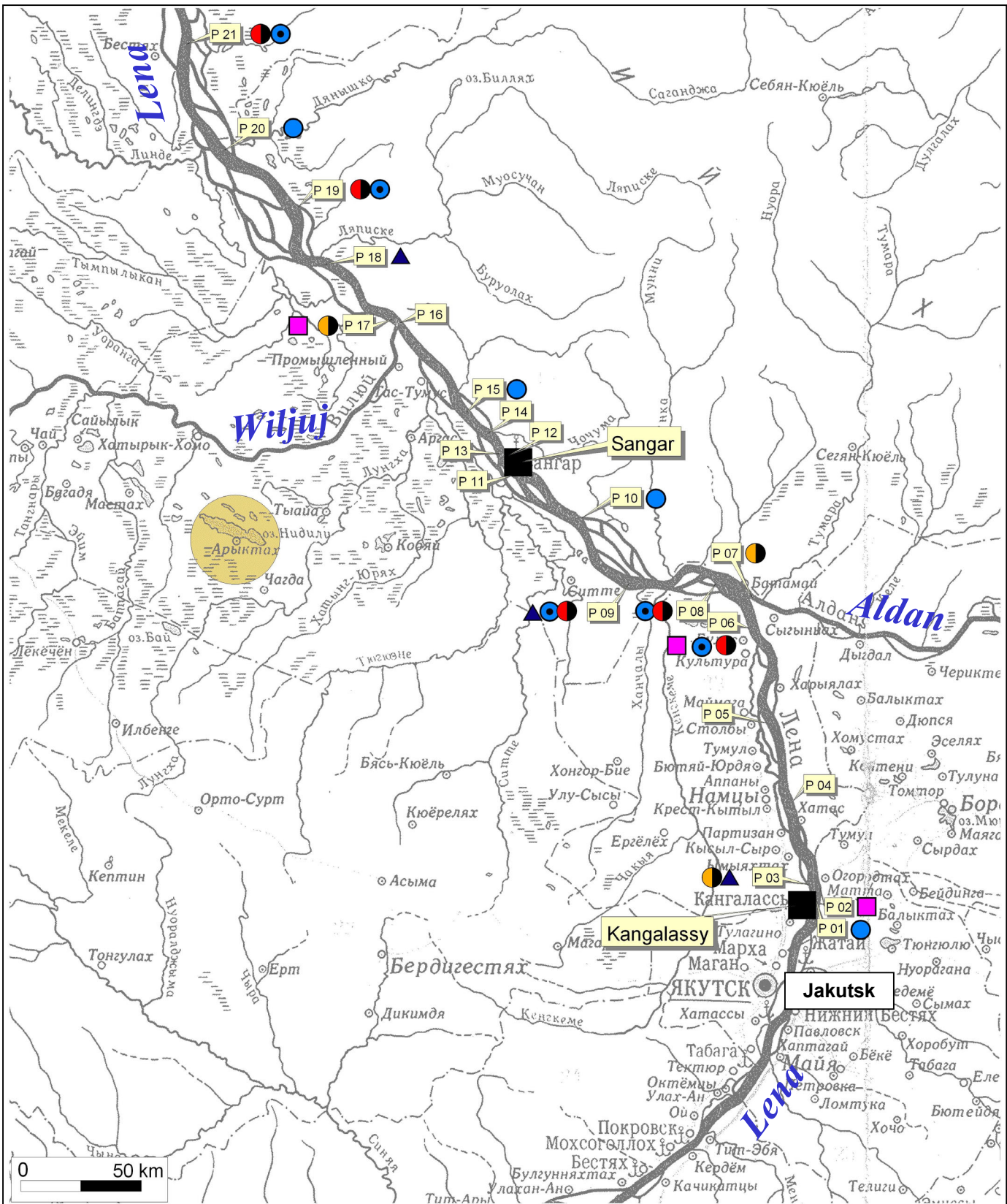
-  Probenahmepunkte mit Nummerierung
 -  Quecksilber - Pyrolyse - Untersuchungen
 -  Schwermetall-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 -  Cyanid - Untersuchungen
 -  Radionuklid - Untersuchungen (Originalsubstanz)
 -  Radionuklid-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 -  Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente RFA (Originalsubstanz gemahlen)
 -  Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente (Fraktion < 63 µm)
- pH- und Leitfähigkeitsuntersuchungen von Wasserproben an allen Probenahmepunkten

Lagerstättenkundliche Untersuchungen

-  Untersuchte Kohlenlagerstätten
-  Kjusjur
-  Gebiete mit nachgewiesenen oder potentiellen radioaktiven Umweltbelastungen
-  Lage der unterirdischen Nuklearsprengungen der 70er und 80er Jahre

Anlage 3 : Teilkarte 2

Lage der Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle
Mittellauf der Lena (Proben-Nr. P21 bis P41)



Sediment- und Wasseruntersuchungen

- P22 Probenahmepunkte mit Nummerierung
 - Quecksilber - Pyrolyse - Untersuchungen
 - Schwermetall-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 - ▲ Cyanid - Untersuchungen
 - Radionuklid - Untersuchungen (Originalsubstanz)
 - Radionuklid-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 - Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente RFA (Originalsubstanz gemahlen)
 - Röntgenfluoreszenzuntersuchungen: 18 Elemente (Fraktion < 63 µm)
- pH- und Leitfähigkeitsuntersuchungen von Wasserproben an allen Probenahmepunkten

Lagerstättenkundliche Untersuchungen

■ Untersuchte Kohlenlagerstätten

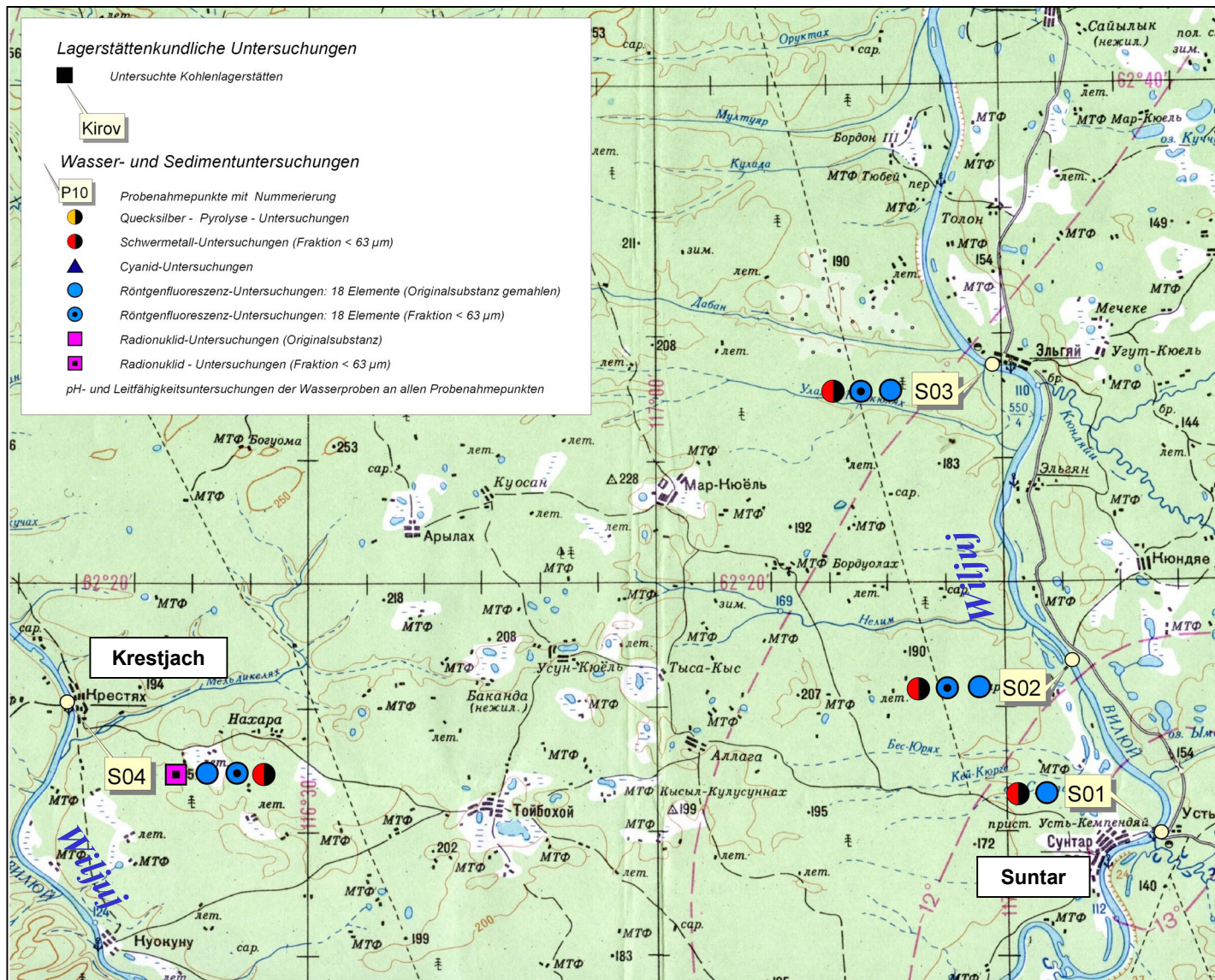
Kjusjur

Gebiete mit nachgewiesenen oder potentiellen radioaktiven Umweltbelastungen

Lage der unterirdischen Nuklearsprengungen der 70er und 80er Jahre

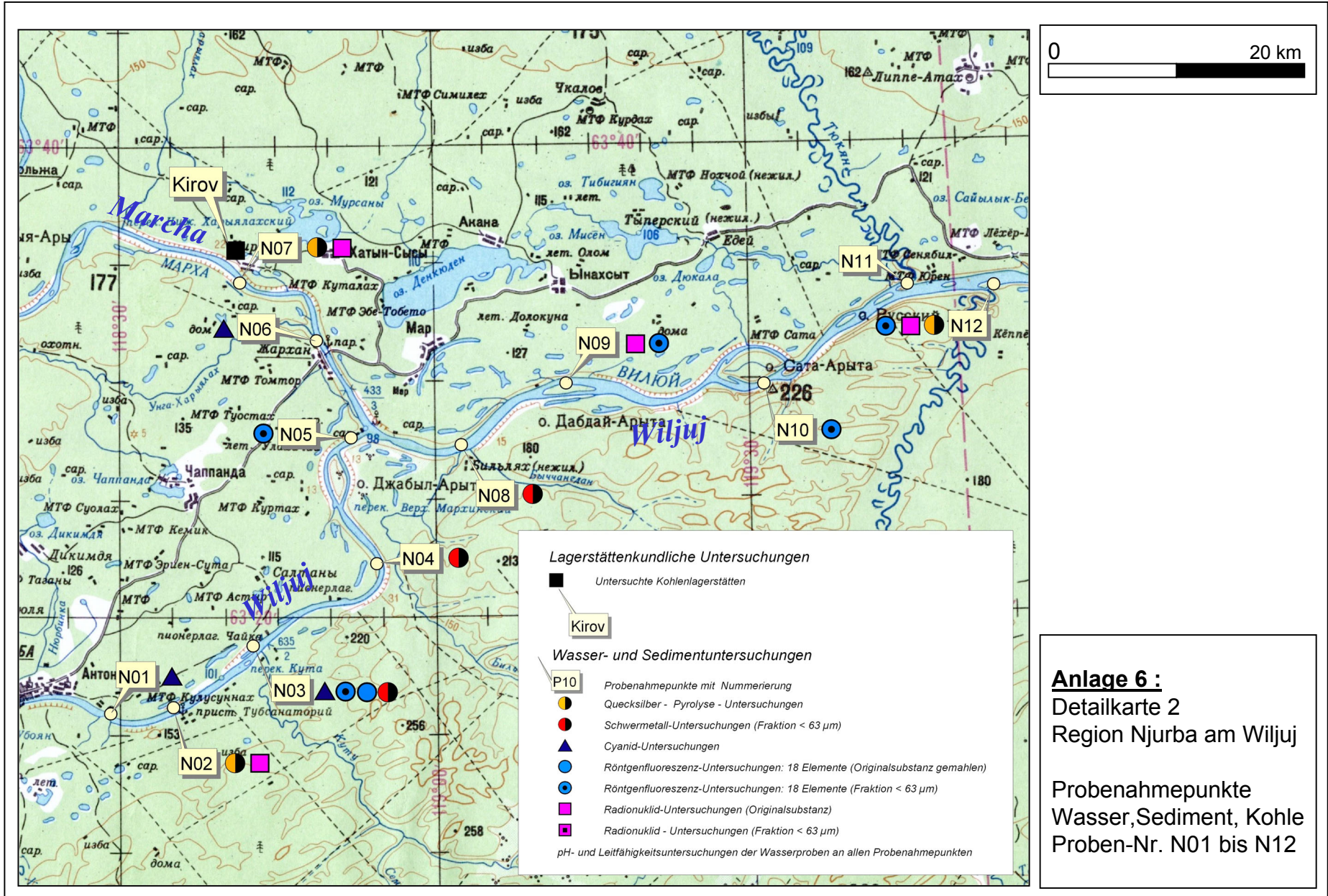
Anlage 4 : Teilkarte 3

Lage der Probenahmepunkte Wasser, Sediment, Kohle
Mittellauf der Lena, Einmündung Wiljui und Aldan
(Proben-Nr. P01 bis P21)



Anlage 5:
 Detailkarte 1
 Region Suntar am Wiljui

Probenahmepunkte
 Wasser, Sediment
 Proben-Nr. S01 bis S04



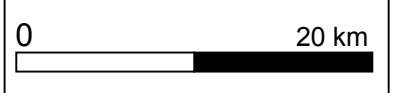
Lagerstättenkundliche Untersuchungen

■ Untersuchte Kohlenlagerstätten

Kirov

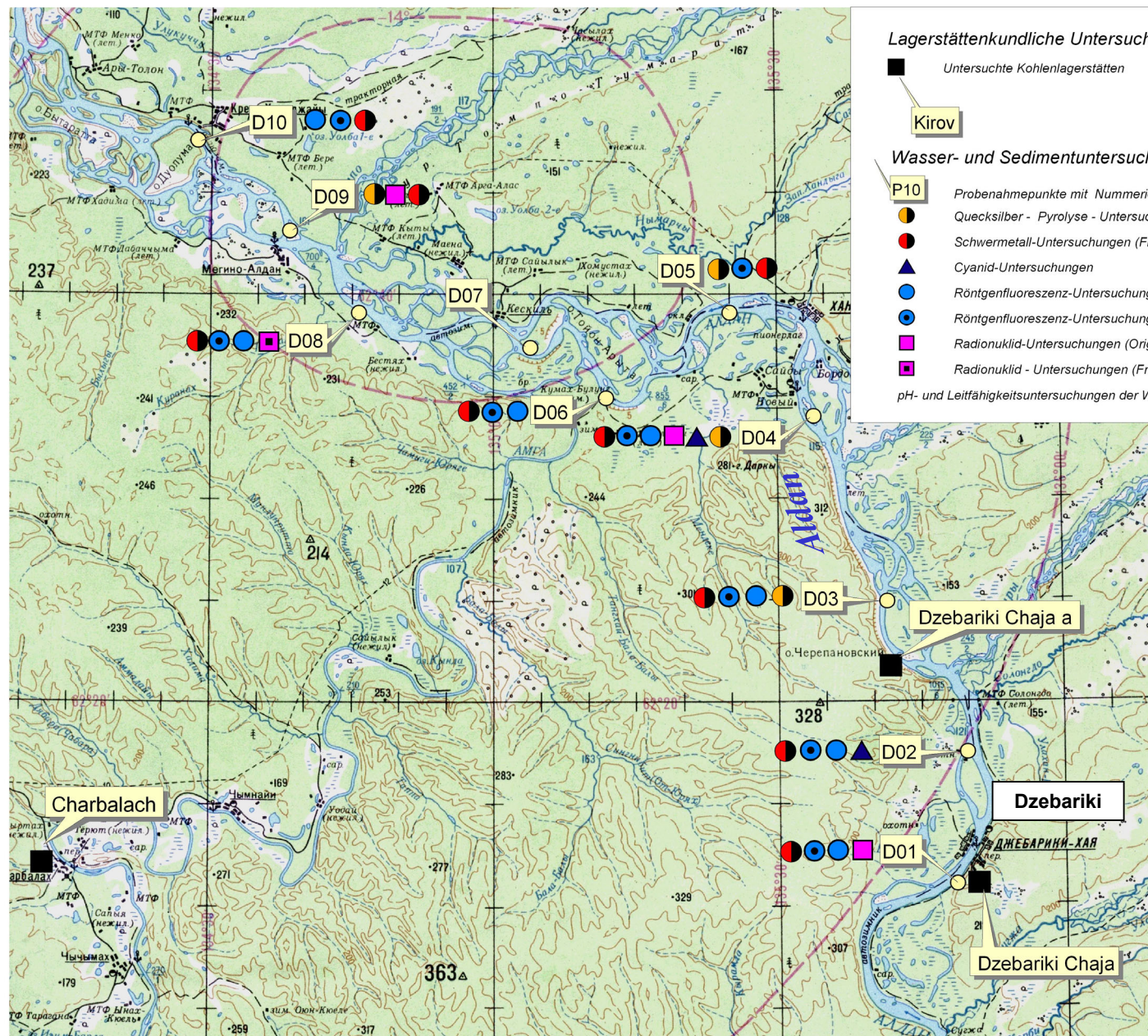
Wasser- und Sedimentuntersuchungen

- P10 Probenahmepunkte mit Nummerierung
 - Quecksilber - Pyrolyse - Untersuchungen
 - Schwermetall-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
 - ▲ Cyanid-Untersuchungen
 - Röntgenfluoreszenz-Untersuchungen: 18 Elemente (Originalsubstanz gemahlen)
 - Röntgenfluoreszenz-Untersuchungen: 18 Elemente (Fraktion < 63 µm)
 - Radionuklid-Untersuchungen (Originalsubstanz)
 - Radionuklid - Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)
- pH- und Leitfähigkeitsuntersuchungen der Wasserproben an allen Probenahmepunkten



Anlage 6 :
Detailkarte 2
Region Njurba am Wiluj

Probenahmepunkte
 Wasser, Sediment, Kohle
 Proben-Nr. N01 bis N12



Lagerstättenkundliche Untersuchungen

■ Untersuchte Kohlenlagerstätten

Kirov

Wasser- und Sedimentuntersuchungen

P10

Probenahmepunkte mit Nummerierung

●

Quecksilber - Pyrolyse - Untersuchungen

●

Schwermetall-Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)

▲

Cyanid-Untersuchungen

●

Röntgenfluoreszenz-Untersuchungen: 18 Elemente (Originalsubstanz gemahlen)

●

Röntgenfluoreszenz-Untersuchungen: 18 Elemente (Fraktion < 63 µm)

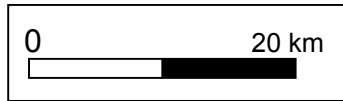
■

Radionuklid-Untersuchungen (Originalsubstanz)

■

Radionuklid - Untersuchungen (Fraktion < 63 µm)

pH- und Leitfähigkeitsuntersuchungen der Wasserproben an allen Probenahmepunkten



Anlage 7 :
 Detailkarte 3
 Region Dzebariki am Aldan
 Probenahmepunkte
 Wasser, Sediment, Kohle
 Proben-Nr. D01 bis D10