

## Fehlerabschätzung bei Schwermineralanalysen

BARBARA WYPYRSCZYK, WOLFGANG BOENIGK & GEORG HEUMÜLLER \*)

Pleistocene, Pliocene, Oligocene, heavy minerals, sedimentary cycles, statistic deviation  
Middle Rhine

**Kurzfassung:** Es wurden Schwermineralanalysen pleistozäner, pliozäner und oligozäner Sedimente am Mittelrhein statistisch aufgearbeitet, um unterschiedliche Sedimentationsräume am Mittelrhein zu kennzeichnen und die Ablagerungen stratigraphisch zu gliedern. Die Schwankungsbreite der Analysedaten wurde bestimmt. Die Faziesunterschiede innerhalb eines Aufschlusses wurden dabei als statistische Schwankungen in einem homogenen Schüttungskörper interpretiert.

[The estimation of error for heavy mineral analysis]

**Abstract:** Heavy mineral analysis of pleistocene, pliocene and oligocene Middle Rhine sediments were statistically evaluated in order to identify different Middle Rhine sedimentary cycles and to classify sediments stratigraphically. The scale of deviation in analysis data was determined, treating the facies differentiation of a gravel pit as statistic deviation in a homogeneous embankment.

### 1 Einleitung

Ausgewertet wurden die sedimentpetrographischen Daten für drei Schüttungskörper am südlichen Mittelrhein zwischen Bingen und Bonn (s. Abb. 1):

Grube Nochern:      Altpleistozän  
                          TK 5812 St. Goarshausen  
                          H 5560,50 R 3409,20  
                          234,2 m ü. NN

Grube Waldorf:     Pliozän  
                          TK 5509 Burgbrohl  
                          H 5595,82 R 2587,87  
                          219,66 m ü. NN

Grube Köhlerhof  
bei Remagen:       Oligozän  
                          TK 5409 Linz  
                          H 5603,61 R 2584,83  
                          171,0 m ü. NN

Bei den Sedimentkörpern handelt es sich um komplexe Bereiche, die mit einer sedimentpetrographischen Untersuchungsmethode allein nicht erfaßt werden können. Die Ablagerungen des Alt-Pleistozäns (Nochern), des Pliozäns (Waldorf) und des Oligozäns (Köhlerhof) wurden mit Hilfe von Schwermineralanalysen, Siebanalysen und Schotteranalysen untersucht. Die vollständigen Datensätze finden sich bei WYPYRSCZYK (1988) und HEUMÜLLER (1988).

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Verteilung der Schwerminerale in den nach Geländebefund jeweils einheitlich erscheinenden Schüttungskörpern. Die Sedimente haben ein enges Schwermineralspektrum und weisen einen nur geringen Anteil an Lokal-Komponenten auf. Dies erleichtert die Vergleiche der zu unterschiedlichen Zeiten abgelagerten Sedimente. Es wurden folgende Merkmale erfaßt:

- Prozentuale Verteilung (Kornhäufigkeit) der Schwerminerale in oligozänen, pliozänen und pleistozänen Sedimenten.
- Anteil der Schwerminerale (Gewichtsprozent) der Fraktionen 0,063—0,1 mm; 0,1—0,2 mm; und 0,2—0,4 mm an der Fraktion 0,063—0,4 mm eines Sediments.

Bereits in einer früheren Arbeit (WYPYRSCZYK & BOENIGK, 1985) wurden die Sedimente der Grube Nochern (Alt-Pleistozän) bearbeitet. Die neu hinzugekommenen Daten für pliozäne und oligozäne Sedimente zeigen, daß sich die Ergebnisse aus den Schwermineraluntersuchungen des Alt-Pleistozäns auf das Tertiär übertragen lassen. Die erweiterte Datenbasis ermöglicht einen Vergleich unterschiedlicher stratigraphischer Einheiten.

\*) Anschriften der Verfasser: Dr. B. WYPYRSCZYK, Maxrainstr. 2, 8000 München 90; Prof. Dr. W. BOENIGK, Geologisches Institut der Universität zu Köln, Zülpicher Str. 49, 5000 Köln 1; Dipl.-Geol. G. HEUMÜLLER, Zülpicher Str. 223, 5000 Köln 41.

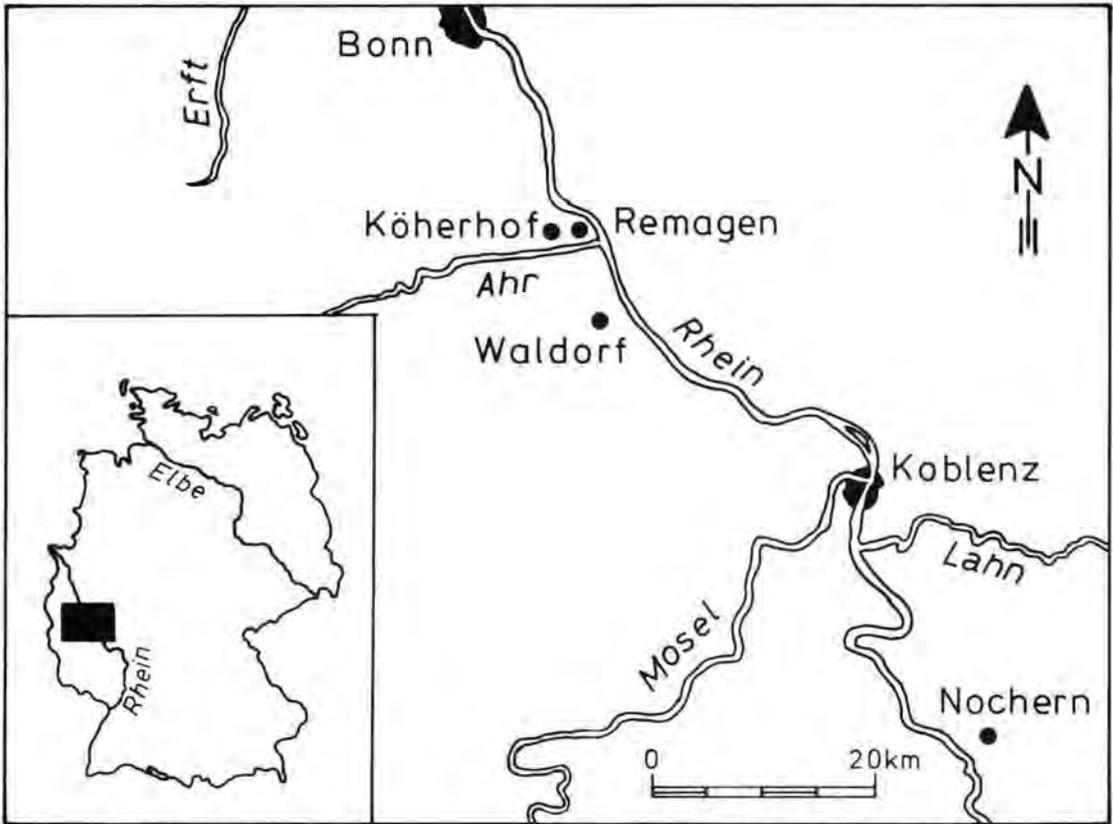


Abb. 1: Skizze des Arbeitsgebietes mit Lage der bearbeiteten Aufschlüsse.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Vorlaufs zum Projekt „Fluviatile Dynamik“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt, wofür wir uns bedanken.

## 2 Probennahme

Die 3 ausgewählten Aufschlüsse weisen ein typisches Erscheinungsbild auf. Lokaleinflüsse waren im Gelände nicht zu erkennen. In den Gruben wurden nicht nur entlang vertikaler Profile, sondern auch flächig aus räumlich eng begrenzten Aufschluß-Bereichen Proben genommen. Die Probengröße lag bei 10–25 kg.

Bei der Bearbeitung der Sedimente aus der Grube „Nochern“ (WYPYRSCZYK & BOENIGK, 1985) hatte sich gezeigt, daß durch eine zu geringe Probenzahl Änderungen im Schwermineralgehalt vorgetäuscht werden können, die tatsächlich nicht gegeben sind. Dies wiederum hat eine Fehlinterpretation der Daten zur Folge. Eine Verbesserung der Ergebnisse kann aber durch die Erhöhung der Probenzahl erreicht werden.

Für die Gruben „Waldorf“ und „Köhlerhof“ wurde durch eine gezielte Probennahme mit ca. 0,5 m Abstand in der Vertikalen und die Gewinnung von bis zu 7 Parallelproben, eine hohe Probenzahl erreicht. Durch das Aufsplitten der Proben in mehrere Teilproben und das Fraktionieren dieser Teilproben wurde umfangreiches Datenmaterial gewonnen, das die Anwendung statistischer Modelle auf Ergebnisse von Schwermineral-, Schotter- und Siebanalysen ermöglichte.

## 3 Bearbeitung der Proben

Aus den Erfahrungen bei der Bearbeitung der Sedimente aus der Grube „Nochern“ ergab sich für die Gruben „Waldorf“ und „Köhlerhof“ eine abgewandelte Vorgehensweise.

Die Sandfraktion (ca. 10 kg) wurde im Labor aufbereitet. Testweise wurde eine Probe aus der Grube „Waldorf“ komplett untersucht. Die Probe wurde in 14 Teilproben aufgeteilt, von der jede als eigenständige Probe weiterbearbeitet wurde. Die Untersuchungen zeigten, daß die Mittelwerte von 14 Teilproben

dieses heterogenen Materials nicht wesentlich von den Mittelwerten von 6 Teilproben abweichen. Daher wurden von allen anderen zuvor getrockneten Proben 6 Teilproben (Grube „Nochern“: 2 Teilproben) zu ca. 300 g abgetrennt.

Mit einem Siebsatz nach DIN 4188 wurde jede Teilprobe 20 min. naß (Grube „Nochern“: trocken) gesiebt. Naßsiebungen sollte der Vorzug gegeben werden; denn diese werden bei hohem Schluffanteil ohnehin nötig. Da es für spätere Vergleiche wichtig ist, daß alle Proben in der gleichen Art und Weise vorbehandelt wurden, sollte man einen Wechsel der Siebmethode vermeiden.

Die fraktionierten Teilproben wurden durch Kochen in 30% iger Salzsäure gereinigt. Zur Abtrennung der Schwerminerale von den Leichtmineralen wurde die Schwerkrafttrennung mit einfachen Scheidetrichtern (Grube „Nochern“: Zentrifugen-Abtrennung) eingesetzt.

Die Höhe der Einwaage (s. Tab. 1) für eine Schwermineraltrennung ist von drei Punkten abhängig: von der petrographischen Zusammensetzung des Sediments, von der Abtrennungs-Methode und von der zu bearbeitenden Fraktion. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Schwermineralausbeuten.

Zwischen den einzelnen Arbeitsgängen wurde das jeweils getrocknete Material gewogen. Zur Herstellung der Schwermineralpräparate wurden die Einbettungsmittel Hyrax und Mountex verwendet.

Bei der Bestimmung der Schwerminerale und der Auszählung der Schwermineralpräparate wurden Kornhäufigkeiten entlang vorgegebener Traversen ermittelt. Gezählt wurden 100 transparente Körner pro Präparat. Eine Zählung von 100 Körnern reicht bereits aus, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten; denn

die Fehlergrenzen für eine Probe sollten nicht enger sein als die Fehlergrenzen, die durch die natürliche Schwankungsbreite im Sediment vorgegeben sind. Eine ausreichende Genauigkeit ist schon bei einer Zählung von 100 transparenten Schwermineralen gegeben, wie die Ergebnisse aus der Bearbeitung der Grube „Nochern“ zeigen (WYPYRSCZYK & BOENIGK, 1985).

Die Fraktion 0,1—0,2 mm ist besonders gut geeignet, ein Sediment zu charakterisieren. Verschiedene Gründe sprechen dafür, nur diese Fraktion schwermineralanalytisch zu bearbeiten:

Die Körner der Fraktion 0,1—0,2 mm sind durchweg gut bestimmbar. Zudem sind die Schwerminerale in der Fraktion 0,1—0,2 mm angereichert. Beschränkt man sich auf die Bearbeitung dieser Fraktion, so kommt man mit sehr wenig Probenmaterial aus (Waldorf: 150 g Sediment je Schwermineralpräparat). Die Einengung des Korngrößenbereichs bewirkt bei den hier untersuchten Schüttungskörpern keine Informationsverluste bezüglich des Schwermineralspektrums, d. h. es gibt keine qualitativen Unterschiede zwischen Schwermineralspektren der Fraktion 0,063—0,4 mm und der Fraktion 0,1—0,2 mm.

#### 4 Beschreibung der Schwermineralspektren

##### 4.1 Grube „Nochern“

Wesentlichen Anteil an der Schwermineralführung der Sedimente der Grube „Nochern“ (Altpleistozän) haben die Minerale des Rhein-Spektrums; die Fraktion 0,1—0,2 mm besteht im Wesentlichen aus Epidot (ca. 60 %), Alterit (ca. 15 %), Granat (ca. 4 %) und grüner Hornblende (ca. 4 %). Außerdem treten Turmalin, Zirkon, Rutil und Staurolith jeweils mit

Tab. 1: Schwermineralabtrennungen für die Proben aus den Gruben „Nochern“, „Waldorf“ und „Köhlerhof“; Sedimente einwaage und Schwermineralausbeute in g

	Korngröße	Einwaage	Ausbeute
Nochern	0,063—0,1 mm	ca. 0,5 g	ca. 0,003—0,015 g
	0,1 —0,2 mm	ca. 1,5 g	ca. 0,004—0,040 g
	0,2 —0,4 mm	ca. 3,0 g	ca. 0,001—0,010 g
	0,063—0,4 mm	ca. 3,0 g	ca. 0,001—0,010 g
Waldorf	0,063—0,1 mm	ca. 2—20 g	ca. 0,01—0,05 g
	0,1 —0,2 mm	ca. 10—30 g	ca. 0,05—0,15 g
	0,2 —0,4 mm	ca. 25—50 g	ca. 0,01—0,07 g
	0,063—0,4 mm	ca. 30—50 g	ca. 0,08—0,15 g
Köhlerhof	0,1 —0,2 mm	ca. 15—25 g	ca. 0,01—0,03 g

einem Anteil von 2–5 % auf. Die Angaben für die übrigen Fraktionen finden sich bei WYPYRSCZYK (1983).

#### 4.2 Grube „Waldorf“

Im Schwermineralspektrum der Grube „Waldorf“ (Pliozän) treten über 50 % opake Minerale auf. 75–95 % der transparenten Schwerminerale sind die stabilen Schwerminerale Zirkon, Turmalin, Rutil, Brookit und Titanit.

Mit abnehmender Korngröße steigt der Anteil der stabilen Minerale an; entsprechend nimmt der Gehalt an metamorphen Mineralen ab. Auch das Verhältnis der stabilen Komponenten zueinander ändert sich mit dem Korngrößenbereich. Der Turmalin verliert von der Fraktion 0,2–0,4 mm zur Fraktion 0,063–0,1 mm an Bedeutung. Gleichzeitig nimmt die Zahl der Zirkone und der Minerale aus der Titanoxid-Gruppe zu. Bei der Fraktion 0,063–0,4 mm liegen die Anteile von Turmalin, Zirkon, der Titanoxid-Gruppe und den Metamorphen jeweils zwischen den Minimum- und Maximumwerten der Fraktionen 0,063–0,1 mm, 0,1–0,2 mm und 0,2–0,4 mm.

In Abb. 2 sind die Mittelwerte der Kornhäufigkeit von Turmalin, Zirkon, der Titanoxid-Gruppe und

den Metamorphen in Prozent bezogen auf den Anteil der transparenten Schwerminerale dargestellt. Ein Ansteigen des Turmalingehalts bedeutet eine Abnahme des Zirkongehalts. Derartige Schwermineralverteilungen innerhalb eines Schüttungskörpers sind typisch für eine immer wieder wechselnde Zusammensetzung der Korngrößen in der Sedimentfracht. Dies weist auf Änderungen in den Sedimentationsbedingungen hin, wie sie bei einem mäandrierenden Flußlauf üblich sind, dessen Flußbett mehrfach verlagert wurde.

#### 4.3 Grube „Köhlerhof“

In der Grube „Köhlerhof“ (Oligozän) liegt der Anteil der opaken Minerale noch höher (ca. 67 % in der Fraktion 0,1–0,2 mm) als in den Gruben „Nochern“ und „Waldorf“. Die stabilen Schwerminerale Zirkon, Turmalin, Rutil und Brookit stellen mit 80 % in der Fraktion 0,1–0,2 mm einen hohen Anteil der transparenten Schwerminerale. Anatas, Spinell, Topas, Disthen, Andalusit und Staurolith treten jeweils mit 2–3 % im Schwermineralspektrum auf.

Abb. 3 zeigt für ein Profil die Mittelwerte der Kornhäufigkeit von Turmalin, Zirkon, der Titanoxid-

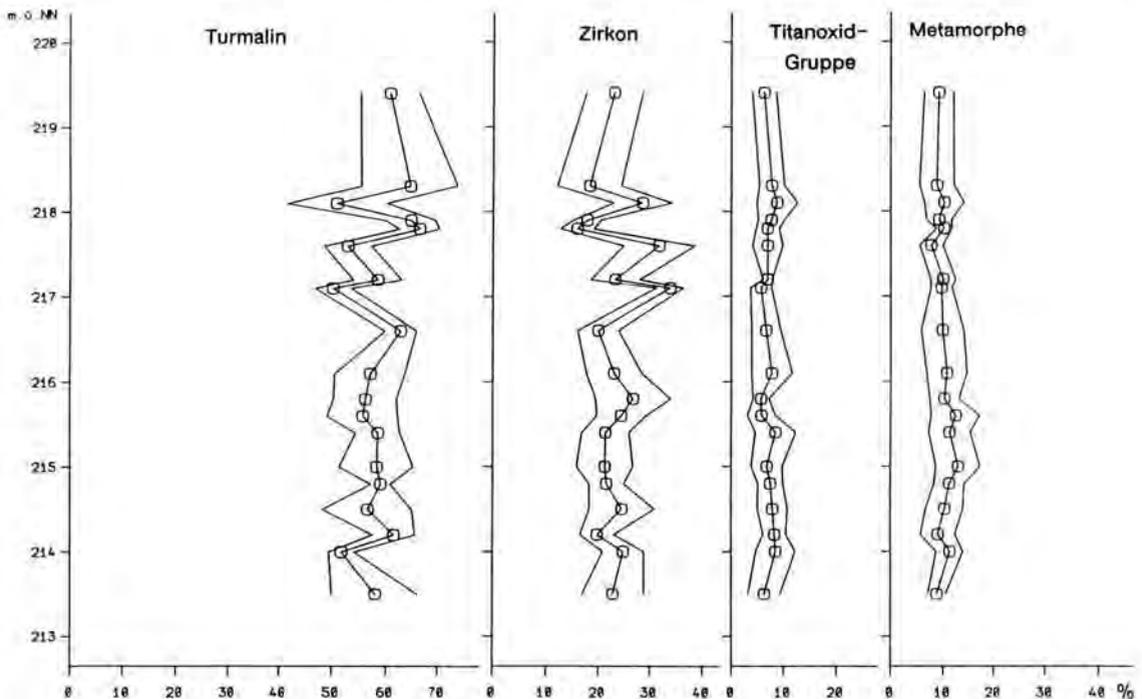


Abb. 2: Grube „Waldorf“: Fraktion 0,1–0,2 mm; Kornhäufigkeit von Turmalin, Zirkon, der Titanoxid-Gruppe und den Metamorphen in % bezogen auf den Anteil der transparenten Schwerminerale; Mittelwerte und Standardabweichungen.

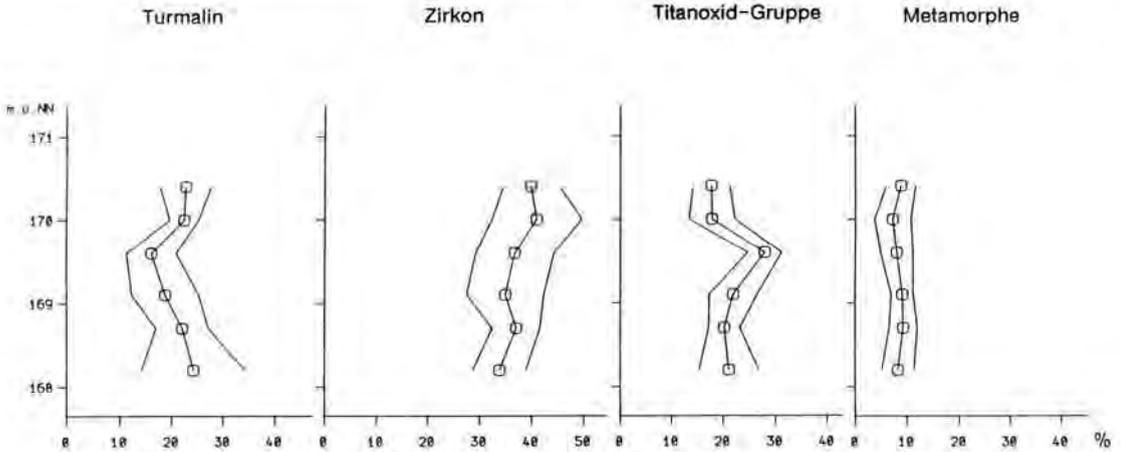


Abb. 3: Grube „Köhlerhof“: Fraktion 0,1–0,2 mm; Kornhäufigkeit von Turmalin, Zirkon, der Titanoxid-Gruppe und den Metamorphen in % bezogen auf den Anteil der transparenten Schwerminerale; Mittelwerte und Standardabweichungen.

Gruppe und den Metamorphen in Prozent bezogen auf den Anteil der transparenten Schwerminerale. Auch in diesem Profil ist mit dem Ansteigen des Turmalingehalts eine Abnahme des Zirkongehalts zu beobachten.

## 5 Statistik

Das umfangreiche Datenmaterial wurde computergestützt ausgewertet. Zur Anwendung kamen Programme aus dem Software-Paket SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Zur Arbeit mit SPSS wurde die Programmbeschreibung der Version 9 von BEUTEL und SCHUBÖ (1983) benutzt. Die Untersuchungen haben ergeben, daß für geologische Fragestellungen nur einige Tests aus dem Software-Paket SPSS in Frage kommen. Leider fehlt der  $\chi^2$ -Anpassungstest, der im Bereich der Naturwissenschaften üblicherweise zur Prüfung auf Normalverteilung herangezogen wird. Statt dessen steht der KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test zur Verfügung. Da dieser Test den Abweichungen in der Verteilungsform eine zu große Bedeutung beimißt, wurde er nicht eingesetzt, sondern es wurde dem Schnelltest nach DAVID der Vorzug gegeben.

Bei den bearbeiteten einheitlichen Schüttungskörpern ist Normalverteilung zu erwarten. Die Verteilungsform kann aber bereits durch zeitlich begrenzte Änderungen in der Sedimentzufuhr deutlich beeinflusst werden. Eine Ursache sind die Unterschiede zwischen der Fernkomponente und dem Lokalmaterial bezüglich der Korngrößenzusammensetzung und des Schwermineralspektrums. Wird die Zufuhr von Lokalmaterial verstärkt, so kommt es selbst innerhalb enger Bereiche zu Schwankungen in der Schwermineralver-

teilung. Die Schwankungen sind abhängig von Art und Menge der Materialzufuhr und sind üblicherweise in den Fraktionen 0,063–0,1 mm, 0,1–0,2 mm und 0,2–0,4 mm unterschiedlich.

Während der Probenaufbereitung treten mehrere systematische und zufällige Fehler auf. Die systematischen Fehler sind für Vergleiche von Ergebnissen, die mit denselben Geräten, denselben Chemikalien und mit denselben Methoden gewonnen wurden, nicht wesentlich und können in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben. Die zufälligen Fehler werden definitionsgemäß dadurch hervorgerufen, daß immer nur Stichproben einer Grundgesamtheit untersucht werden können. Bei den Untersuchungen lagen die zufälligen Fehler in ihrer Größenordnung weit über den systematischen Fehlern (WYPYRSCZYK, 1989). Die Aussagen zur Schwermineralverteilung können daher eher verbessert werden, wenn die Größe der zufälligen Fehler herabgesetzt wird.

Die Auswertungen liefern den Gesamtfehler für jede bearbeitete Schwermineralgruppe. Dieser wiederum setzt sich zusammen aus einem statistischen Zählfehler und mehreren Aufbereitungsfehlern. Die gewonnenen Schwermineraldaten (Köhlerhof: 162 pro Fraktion und Mineralgruppe; Waldorf: 204 pro Fraktion und Mineralgruppe; Nochern: 52 pro Fraktion und Mineralgruppe) erlauben es zudem, verschiedene zufällige Fehler zu erfassen, die die Ergebnisse der Schwermineralanalyse beeinflussen. Mit Hilfe statistischer Methoden werden die Fehler in ihrer Größenordnung abgeschätzt.

In nachstehendem Text wird mit folgenden Bezeichnungen gearbeitet:

**Gesamtfehler:**

Empirisch ermittelter Fehler, der alle Fehler von der Probennahme bis zur Auszählung beinhaltet.

**Zählfehler:**

Berechneter Fehler, der auf Grund der Normalverteilung statistisch zu erwarten ist.

**Aufbereitungs-Fehler gesamt:**

Fehler, der die Fehler aus Probennahme, Siebung, Schwereretrennung und Anfertigung des Streupräparates beinhaltet. Es handelt sich hierbei um den Gesamtfehler abzüglich des Zählfehlers.

**Aufbereitungs-Fehler 1:**

Fehler, der die Fehler aus Probennahme, Siebung und Schwereretrennung beinhaltet. Dies ist der Aufbereitungs-Fehler gesamt abzüglich des Aufbereitungs-Fehlers 2.

**Aufbereitungs-Fehler 2:**

Fehler, der sich aus dem empirisch ermittelten Fehler für die Anfertigung des Streupräparates abzüglich des Zählfehlers ergibt.

0,4 mm und 0,063—0,4 mm jeweils ein Präparat 5-fach gezählt. Um 5 voneinander unabhängige Zählergebnisse und eine Aussage über die Qualität von Streupräparaten zu bekommen, werden die Präparate in 5 Abschnitte unterteilt. Für jeden Abschnitt wird eine separate Schwermineralzählung durchgeführt. Die Traversen werden so gelegt, daß kein Mineral-korn 2 Mal gezählt wird. Die Untersuchungen zeigen, daß die Zählergebnisse für ein und dasselbe Präparat beträchtlich voneinander abweichen können. Der empirisch ermittelte Fehler (Standardabweichung) aus jeweils 5 Zählungen liegt teils unterhalb, teils oberhalb des statistisch zu erwartenden Zählfehlers (s. Tab. 2). In dem empirisch ermittelten Fehler (Standardabweichung) ist der Aufbereitungs-Fehler 2 enthalten.

Der Fehler der Präparatherstellung ist deutlich geringer als der statistische Zählfehler. Einzelne, jeweils vom Mittelwert abhängige Standardabweichungen, sind der Tab. 3 zu entnehmen.

Aufbereitungsfehler wirken sich auf die Ergebnisse von Schwermineralanalysen um so mehr aus, je stärker die Schwerminerale durch vorangehende Aufbereitungsmethoden bereits angereichert wurden. Der Fehler der Siebung hat einen größeren Einfluß als der Fehler der Probennahme, und der Fehler der Schwermineralabtrennung wirkt sich stärker aus als der Fehler der Siebung. Weiter kann der Aufbereitungsfehler nicht aufgesplittet werden; denn der Einfluß der Fehler von Probennahme, Siebung und Schwereretrennung auf die Ergebnisse der Schwermineralanalysen kann jeweils nur über die Herstellung eines Präparates ermittelt werden.

### 5.1 Fehler bei Anfertigung und Auszählung eines Präparates

Zur Ermittlung des Fehlers, der sich durch das Aufstreuen der Schwerminerale auf einen Objektträger und das Auszählen eines Präparates ergibt, wird in den Fraktionen 0,063—0,1 mm, 0,1—0,2 mm, 0,2—

Tab. 2: Empirisch ermittelter Fehler (Standardabweichung) und statistisch zu erwartender Zählfehler in Schwermineralpräparaten der Grube „Waldorf“; Tu: Turmalin, Zi: Zirkon, Ti: Titanoxid-Gruppe, Me: Metamorphe, Op: Opake

	Tu	Zi	Ti	Me	Op
0,063—0,1 mm					
empirischer Fehler	1,4	2,3	2,9	1,7	5,6
statistischer Zählfehler	2,9	4,6	3,7	1,7	5,0
0,1—0,2 mm					
empirischer Fehler	5,9	5,8	2,3	2,9	4,7
statistischer Zählfehler	4,8	5,0	4,3	3,0	2,9
0,2—0,4 mm					
empirischer Fehler	2,3	2,4	0,4	2,4	5,9
statistischer Zählfehler	4,7	2,4	1,2	4,2	5,0
0,063—0,4 mm					
empirischer Fehler	3,1	1,9	1,9	2,6	3,2
statistischer Zählfehler	4,8	4,9	2,7	3,2	5,0

Tab. 3: Grube „Waldorf“: Mittelwert; Gesamtfehler; statistischer Zählfehler; Aufbereitungsfehler gesamt; Aufbereitungs-Fehler 1 (Fehler der Probennahme, Siebung, Schwermineralabtrennung); Aufbereitungsfehler 2 (Fehler der Präparatherstellung)

	Tu	Zi	Ti	Me	Op
0,063—0,1 mm; 204 Proben					
Mittelwert (Anzahl Körner)	16,8	63,9	15,2	3,3	52,2
Gesamtfehler	4,5	5,8	7,2	1,9	6,3
statistischer Zählfehler	2,9	4,6	3,7	1,7	5,0
Aufbereitungs-Fehler gesamt	3,4	3,5	6,2	0,8	3,8
Aufbereitungs-Fehler 1	4,3	5,3	6,6	0,8	2,9
Aufbereitungs-Fehler 2	2,5	4,0	2,3	0,0	2,5
0,1—0,2 mm; 204 Proben					
Mittelwert (Anzahl Körner)	58,7	22,6	7,2	10,5	64,3
Gesamtfehler	7,1	6,1	2,9	3,7	5,6
statistischer Zählfehler	4,8	5,0	4,3	3,0	2,9
Aufbereitungs-Fehler gesamt	5,2	3,5	3,2	2,2	5,0
Aufbereitungs-Fehler 1	3,9	1,9	1,8	2,3	3,0
Aufbereitungs-Fehler 2	3,4	2,9	3,6	0,8	3,7
0,2—0,4 mm; 204 Proben					
Mittelwert (Anzahl Körner)	69,0	5,3	1,4	22,3	53,5
Gesamtfehler	6,4	3,1	1,4	6,0	7,3
statistischer Zählfehler	4,7	2,4	1,2	4,2	5,0
Aufbereitungs-Fehler gesamt	4,3	2,0	0,7	4,3	5,3
Aufbereitungs-Fehler 1	6,0	2,0	1,3	5,5	4,3
Aufbereitungs-Fehler 2	4,1	0,0	1,1	3,4	3,1
0,063—0,4 mm; 34 Proben					
Mittelwert (Anzahl Körner)	35,3	48,2	9,0	7,1	59,5
Gesamtfehler	8,1	9,4	3,3	3,6	4,5
statistischer Zählfehler	4,8	4,9	2,7	3,2	5,0
Aufbereitungs-Fehler gesamt	6,5	8,0	1,9	1,7	2,2
Aufbereitungs-Fehler 1	7,5	9,2	2,7	2,5	3,2
Aufbereitungs-Fehler 2	3,7	4,5	1,9	1,9	3,8

## 5.2 Probenzahl

Da sorgfältigeres Arbeiten nicht möglich ist, können Verbesserungen im Ergebnis nur durch die Herabsetzung des statistischen Zählfehlers erreicht werden. Der statistische Zählfehler läßt sich wiederum nur über eine Erhöhung der Probenzahl einengen. Dies ist jedoch nicht mit beliebiger Genauigkeit möglich; es sei denn, man will den Einfluß lokaler Sedimentstrukturen deutlich machen. Die geologische Einstufung des Schüttungskörpers kann ab einem bestimmten Level über eine Erhöhung der Probenzahl weder verändert noch präzisiert werden.

Beim Zusammenfassen einer hohen Anzahl von Proben ergeben sich für die Mittelwerte einzelner Bereiche kleine Konfidenzintervalle, die sich nur in wenigen Fällen überlappen, aber recht eng zusammenliegen. Dies zeigt, daß die Konfidenzintervalle desto kleiner werden, je mehr Proben in die Berech-

nungen eingehen. Kleine Konfidenzintervalle sind folglich mit einem Mehraufwand bei der Probenaufbereitung verbunden. Es stellt sich die Frage, welcher Aufwand betrieben werden muß, damit treffende geologische Aussagen möglich werden. Es ist sicher sinnvoll, möglichst kleine Konfidenzintervalle anzustreben, doch läßt sich dadurch der Wert für die geologische Gesamtaussage nicht beliebig steigern. Die vorliegenden Untersuchungen an einer Vielzahl von Proben und Teilproben zeigen, daß man gut verwertbare Ergebnisse erhält, wenn sich die Konfidenzintervalle der Mittelwerte eben noch überlappen. Damit kann der Aufwand bei der Probenaufbereitung begrenzt werden.

Die Probenzahl muß so gewählt werden, daß innerhalb einer möglichst kurzen Zeitspanne repräsentative und weiterverwertbare Ergebnisse vorliegen. Tab. 3 zeigt den Gesamtfehler bei Berücksichtigung von 204 Zählergebnissen in den Fraktionen 0,063—0,1 mm,

0,1—0,2 mm, 0,2—0,4 mm und bei Berücksichtigung von nur 34 Zählergebnissen in der Fraktion 0,063—0,4 mm. Der Gesamtfehler liegt bei Betrachtung von 34 Proben meist etwas höher, z. T. aber auch niedriger als bei Betrachtung von 204 Proben. Da die Unterschiede im Gesamtfehler relativ gering sind, kann man sich bei dem vorliegenden homogenen Schotterkörper mit einer Aufschlußhöhe von 8 m auf 34 Proben beschränken. Dies sind 4 Proben je Meter Aufschlußhöhe.

Für statistische Tests benötigt man eine Mindestanzahl an Proben. Verschiedene statistische Tests lassen sich bei 34 Proben nur eingeschränkt durchführen (Varianzanalyse). Andere Tests, vor allem T-Tests, liefern aber auch bei 34 Proben noch zufriedenstellende Ergebnisse. Sinkt die Probenzahl wesentlich weiter ab, so lassen sich auch T-Tests nicht mehr sinnvoll durchführen. Im Hinblick auf Vergleiche mehrerer Gruben mittels statistischer Methoden, sollte die Zahl der bearbeiteten Proben nicht weiter herabgesetzt werden.

### 5.3 Änderungen vom Liegenden zum Hangenden

Die Varianzanalyse mit Proben aus dem gesamten Aufschluß-Bereich zeigen, daß die Varianzen von Probe zu Probe größer sind als innerhalb einer Probe. Folglich muß sich die Schwermineralverteilung vom Liegenden zum Hangenden ändern.

Der Schüttungskörper „Waldorf“ wurde in 6 Höhenstufen untergliedert. Es wurden T-Tests zum Vergleich zwischen jeweils aufeinanderfolgenden Höhenstufen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß zwischen zwei benachbarten Höhenstufen Unterschiede nicht statistisch nachweisbar sind. Die Änderungen vom Liegenden zum Hangenden treten folglich nicht abrupt auf, sondern verlaufen kontinuierlich. Die Änderungen sind nur gering und vor allem dadurch bedingt, daß vom Liegenden zum Hangenden ufernahe von uferferner Fazies abgelöst wird. Diese lokalen ablagerungsbedingten Unterschiede werden durch die hohe Probenzahl in den Ergebnissen der statistischen Tests transparent.

### 5.4 Vergleich der Schwermineralfraktionen

0,063—0,1 mm, 0,1—0,2 mm, 0,2—0,4 mm und 0,063—0,4 mm

Die Ergebnisse der Varianzhomogenitätstests und der T-Tests zeigen, daß die Mittelwerte für die Schwermineralgruppen deutlich zwischen den 4 Fraktionen differieren. Die Mittelwerte weichen nicht durch nur zufällige Schwankungen voneinander ab, sondern unterscheiden sich signifikant.

Bei den Proben aus der Grube „Waldorf“ sind sowohl die Abweichungen zwischen den Teilstichproben 1—6 als auch die Abweichungen zwischen Proben aus dem Liegenden und aus dem Hangenden weitaus geringer als die Abweichungen zwischen den Fraktionen 0,063—0,1 mm, 0,1—0,2 mm und 0,2—0,4 mm.

Dies bedeutet: Vor Anwendung statistischer Tests muß sichergestellt werden, daß die in die Berechnungen eingehenden Daten zu ein und derselben Fraktion gehören. Varianzanalysen und T-Tests mit Schwermineraldaten für unterschiedliche Fraktionen sind nicht zulässig.

### 5.5 Vergleich unterschiedlicher stratigraphischer Einheiten

Die Zuordnung der Ablagerungen zu unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten wird durch die Ergebnisse der statistischen Tests bestätigt. Es lagen ca. 50 Schwermineralanalysen pro Aufschluß vor. Die eingesetzten statistischen Methoden sind geeigneter, auf Grund der vorliegenden Daten verschiedene stratigraphische Einheiten gegeneinander abzugrenzen. Das Ergebnis kann nicht dadurch verbessert werden, daß die Zahl der Schwermineralanalysen pro Aufschluß erhöht wird.

### 5.6 Relativer Schwermineralgehalt

Die Schwankungen sowohl der Kornverteilung im Sediment als auch des Schwermineralanteils innerhalb der Fraktionen sind beträchtlich. Die Schwankungen sind nicht davon abhängig, aus welcher Höhe innerhalb eines Schüttungskörpers eine Probe entnommen ist, sondern sind vor allem durch lokal modifizierte Bedingungen während der Ablagerung verursacht.

Beim Vergleich der pliozänen mit den Hauptterrassen-Sedimenten zeigen sich Unterschiede. Die Fraktion 0,063—0,4 mm der Hauptterrassen-Sedimente wird zu 90 % von der Fraktion 0,2—0,4 mm aufgebaut, hingegen wird die gleiche Fraktion der pliozänen Sedimente nur zu 55 % von der Fraktion 0,2—0,4 mm aufgebaut. Die Hauptterrassen-Sedimente haben den höchsten Schwermineralanteil in den Fraktionen 0,1—0,2 mm und 0,2—0,4 mm, die pliozänen Sedimente dagegen in den Fraktionen 0,063—0,1 mm und 0,1—0,2 mm.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse statistischer Untersuchungen quartärer und tertiärer Mittelrhein-

Sedimente ausgewertet. Einbezogen wurden Sedimente aus den Gruben „Waldorf“, „Köhlerhof“ und „Nochern“.

Einige Ergebnisse, die bisher nur an Proben des Pleistozänen (WYPYRSCZYK & BOENIGK, 1985) verifiziert werden konnten, können auf die Ablagerungen des Tertiärs übertragen werden.

- Die Probengröße ist zunächst vom Liefergebiet und der Kornverteilung, aber auch von der zu untersuchenden Schwermineralfraktion und zudem — wegen der Verwitterungserscheinungen — vom Alter des Sediments abhängig.
- Die Schwerminerale sind wie bekannt in der Fraktion 0,1—0,2 mm angereichert. Die Beschränkung auf die Bearbeitung dieser Fraktion, anstatt der Untersuchung des breiteren Korngrößenspektrums von 0,063—0,4 mm, führt bei den bearbeiteten Sedimenten nicht zu einem Informationsverlust bezüglich des Schwermineralspektrums.
- Die quantitativen Unterschiede in der Schwermineralverteilung der Fraktionen 0,063—0,1 mm, 0,1—0,2 mm und 0,2—0,4 mm sind signifikant. Schwermineraldaten verschiedener Aufschlüsse kann man nur miteinander vergleichen, wenn die Proben in gleicher Weise aufbereitet wurden und Zählergebnisse für die gleichen Fraktionen vorliegen.
- Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es ausreichend, 100 transparente Schwerminerale pro Präparat zu bestimmen.

Die Untersuchungen zeigen, daß bei der Probenahme, bei der Aufbereitung der Proben sowie bei der Interpretation weitere Punkte beobachtet werden müssen.

- Den Naßsiebungen sollte der Vorzug gegeben werden; denn diese werden bei hohem Schluffanteil ohnehin nötig.
- Interpretationen sollten nicht auf Grund von nur einer sedimentpetrographischen Methode durchgeführt werden.

In dieser Arbeit wurden die zufälligen Fehler der Schwermineralanalyse so weit möglich quantitativ erfaßt. Um eine Vorstellung über die Größenordnung dieser Fehler zu bekommen, wurden die Proben aus der Grube „Waldorf“ und der Grube „Köhlerhof“ jeweils 6 Mal bearbeitet. Für jede Probe liegen somit 6 Korngrößenanalysen, 6 Schwermineralanalysen und 6 Schotteranalysen vor. Aus den Untersuchungen läßt sich folgendes ableiten.

- Es gibt einen empirisch faßbaren Fehler, der durch das Aufstreuen, Fertigstellen und Auszählen des Präparates bedingt ist. Es ist technisch nicht mög-

lich, diesen Fehler mit empirischen Methoden weiter zu untergliedern.

- Der empirisch ermittelte Zählfehler liegt teils oberhalb, teils unterhalb des statistisch zu erwartenden Zählfehlers.
- Der Fehler der Präparatherstellung (Aufstreuen der Schwerminerale und Fertigung des Präparates) ist geringer als der statistisch zu erwartende Zählfehler.
- Die Probenzahl je Aufschluß darf nicht zu klein, aber auch nicht zu groß gewählt werden. Je kleiner eine Stichprobe ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein relevanter Unterschied nicht erkannt wird, da er statistisch nicht signifikant ist. Bei großen Stichproben sind bereits kleine Unterschiede signifikant, d. h. mit großen Stichproben werden Faziesunterschiede innerhalb des Schüttungskörpers herausgearbeitet. Die Untersuchungen insbesondere der Grube „Waldorf“ haben gezeigt, daß man mit 4 Proben je Meter Wandhöhe und insgesamt 30 bis 40 Proben pro Aufschluß auskommt, wenn der Schüttungskörper als homogene Einheit angesehen werden kann.
- Die Proben sollten in verschiedenen Bereichen einer Grube genommen werden. Dabei sollte möglichst jede Sedimentationseinheit erfaßt werden.
- Verschiedene stratigraphische Einheiten können mit Hilfe statistischer Verfahren gegeneinander abgegrenzt werden. T-Tests zeigen, daß deutliche Unterschiede zwischen Oligozän, Pliozän und Pleistozän vorliegen. Um stratigraphisch unterschiedliche Einheiten zu erkennen, genügt ein Zählergebnis je Probe.
- Wird eine Grube als Ganzes betrachtet, werden z. B. die Proben mit einer geraden Probennummer mit den Proben mit einer ungeraden Probennummer verglichen, so sind die Sedimente der Grube statistisch betrachtet homogen. Betrachtet man allerdings Teilbereiche, z. B. Proben aus dem Liegenden und Proben aus dem Hangenden, so erhält man Unterschiede. Hier kommen Faziesunterschiede zum Tragen, die sich in lokalen Anreicherungen äußern.

## 7 Schriftenverzeichnis

- BEUTEL, P. & SCHUBO, W. (1983): SPSS9 Statistik-Programm-System für die Sozialwissenschaften, 4. Aufl. — 323 S.; Stuttgart-New York.
- FRECHEN, J. & VAN DEN BOOM, G. (1959): Die sedimentpetrographische Horizontierung der pleistozänen Terrassenschotter im Mittelrheingebiet. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 4: 89—125, 26 Abb., 21 Tab.; Krefeld.

- HELMÜLLER, G. (1988): Statistische Untersuchungen an oligozänen Sedimenten des Mittelrheins. — Dipl.-Arb., Geol. Inst. Univ. Köln: 124 S., 30 Abb., 22 Tab.; Köln — Unveröff.
- KAISER, K. (1961): Gliederung und Formenschatz des Pliozäns und Quartärs am Mittel- und Niederrhein unter besonderer Berücksichtigung der Rheinterrassen. — Köln u. Rheinld., Festschrift, 33. dt. Geographentag: 236—278, 6 Abb., 7 Tab., 3 Kte.; Wiesbaden.
- QUITZOW, H. W. (1959): Hebung und Senkung am Mittel- und Niederrhein während des Jungtertiärs und Quartärs. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 4: 389—400, 1 Abb., 5 Taf.; Krefeld.
- SEMMEI, A. (1972): Fragen der Quartärstratigraphie im Mittel- und Oberrheingebiet. — Jb. Mitt. oberrhein. geol. Ver., 54: 61—71, 2 Abb.; Stuttgart.
- WYPYRSCZYK, B. (1983): Statistische Untersuchungen der Schwermineralführung pleistozäner Sedimente am Mittelrhein. — Dipl.-Arb., Geol. Inst. Univ. Köln: 134 S., 11 Abb., 9 Tab.; Köln. — Unveröff.
- (1989): Statistik an sedimentpetrographischen Daten im Tertiär und Quartär. — Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, 67: 142 S., 34 Abb., 44 Tab.; Köln.
- & BOENIGK, W. (1985): Anwendung statistischer Methoden auf Ergebnisse der Schwermineralanalyse pleistozäner Sedimente bei Nochern (Mittelrhein). — Eiszeitalter u. Gegenwart, 35: 181—204, 7 Abb., 6 Tab.; Hannover.

Manuskript eingegangen am 26. 11. 1991