### Untersuchungen zu Merkmalen von Rhombenporphyr-Geschieben

Peter Gronski E-Mail: petergronski@gmx.de

### Zusammenfassung

Für eine Teststudie wurde ein 19 Parameter verwendendes Excel-Verfahren entwickelt, um die Merkmale von 49 Rhombenporphyr(RP)-Geschiebeanschnitten zu beschreiben. Die Parameter sind meist arithmetische Mittelwerte von Kenngrößen, die per Bildanalyse (Image J) direkt ermittelt oder aus diesen Kenngrößen berechnet wurden. Sie umfassen Eigenschaften der Einsprenglinge mit und ohne Gesteinsmatrix. Das Verfahren beruht im Wesentlichen auf dem Vergleich der nach einer Häufigkeitsanalyse ermittelten Klassenzugehörigkeit der Parameterwerte eines als Muster dienenden RP (M-RP) mit einer RP-Probe. Die Merkmalsübereinstimmung wird als prozentualer Anteil der übereinstimmenden Klassen ausgedrückt (PKÜ%∑P). Proben, deren Übereinstimmung mit dem M-RP nach einem parametertypabhängigen Auswahlverfahren ermittelt wird, werden zu Mustergruppen (MGr) zusammengefasst. An einigen Beispielen wird gezeigt, wie die Verwendung von Parameterkombinationen die Merkmale von Geschiebeanschnitten nach Beträgen der PKÜ-Werte einstuft. Bei RP1-ähnlichen Proben war die Flächenform das wesentliche Erkennungsmerkmal, im Gegensatz zu RP5/6- und RP2-ähnlichen Proben, bei denen Gesteins- und Flächengrößeparameter für eine Typisierung ausreichten. Die Mehrzahl der willkürlich zusammengesetzten Stichproben wurde als eigener Merkmalstyp klassifiziert, der nur mäßig mit anderen MGr-Mitgliedern übereinstimmte. Ein Vergleich der analysierten Proben mit publizierten Abbildungen identifizierter Funde veranschaulicht die teilweise vom Autor vorgenommene Varietätenzuordnung.

#### **Einleitung**

Geschiebesammler, die an der Identifizierung eines Fundes interessiert sind, greifen in der Regel auf die im Internet oder als Druckversion verfügbaren Bilddateien zurück. Nur wenige haben die Möglichkeit ihre Proben mit den von Fachleuten typisierten Fundstücken aus Sammlungen direkt zu vergleichen oder von diesen in Exkursionen wichtige Detailinformationen zu erhalten. Die publizierten Bilder sind daher das wichtigste analytische Hilfsmittel für den, dem Labormethoden nicht zur Verfügung stehen. Da die Bilddateien nur ein begrenztes Spektrum der Varietäten enthalten können, kann auch nur ein begrenztes Spektrum von Funden zugeordnet werden, dessen Umfang solange unverändert bleibt, bis neue Bilder typisierter Varietäten publiziert werden. Größen- und Farbunterschiede der Abbildungen, kombiniert mit der oft unbekannten Variationsbreite der Geschiebemerkmale, tun ihr Übriges, um die Mehrzahl von Funden oft unbestimmbar zu machen.

Brøgger und Schetelig stellten bei Untersuchungen des Anstehenden im Krokskogen-Gebiet erstaunt fest, dass eine Reihe der RP-Lavaflüsse aufgrund von Form, Größe und Häufigkeit der auf der Gesteinsoberfläche erkennbaren Einsprenglinge (XX) unterschieden und kartiert werden können (Oftedahl, 1952: S.9 und 62). In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, inwiefern diese drei Kriterien anhand verschiedener Flächenparameter ohne die Kenngrößen Farbe und XX-Zonierung eine Klassifikation von Geschiebemerkmalen ermöglichen und die erhaltenen Ergebnisse mit publizierten Typisierungen übereinstimmen. Hierfür werden Bildanalyse und Tabellenkalkulation als laborunabhängige Methoden verwendet, die dem Stand einer allgemein verfügbaren Technik entsprechen. Dabei war auch von Interesse zu prüfen, ob die RP-Typmerkmale in Anbetracht der eher geringen Größe der analysierten Anschnittflächen und ihrer, aus statistischem Blickwinkel, meist kleinen Anzahl von Einsprenglingen ähnlich gut unterscheidbar waren, wie mit den Augen eines versierten Sammlers.

### Zur Entstehungsgeschichte der Einsprenglinge

Die Verteilung großer idiomorpher Kristalle (Einsprenglinge) in einer deutlich feinkörnigeren Matrix ist typisch für das porphyrische Gefüge mancher Vulkanite, zu denen auch die aus globaler Sicht eher seltenen Rhombenporphyre (RP) gehören und für deren Hauptvorkommen die Oslo-Gegend bekannt ist. Der Kenntnisstand zur Entwicklung der dortigen Gesteinsfolgen ist in anderen Arbeiten zusammengefasst (z.B. Andersen et. al., 2008; Larsen et al., 2008a). Im Folgenden werden einige der Vorgänge beschrieben, die die komplexe Entstehungsgeschichte von Einsprenglingen beeinflussen können, und Rückschlüsse erwähnt, die für die RP-Lavaströme das Ergebnis geowissenschaftlicher Untersuchungen darstellen.

Im oberen Bereich des Erdmantels ermöglicht stellenweise die vom lokalen geothermalen Gradienten abhängige Wärmeleitung eine Konvektion und durch adiabatisches Aufsteigen von heißem Mantelmaterial können durch Druckentlastung im Oberen Mantel basaltische Schmelzen gebildet werden. Nach Neumann (1994) könnten zwei unterschiedlich zusammengesetzte Manteldomänen die Quellenregion für die basaltischen Magmen darstellen: a) ein nahezu unveränderter Mantelbereich und b) ein mäßig verarmter Mantelbereich. Beide Manteldomänen werden als verschiedene Teile eines heterogen zusammengesetzten Oberen Mantels einer subkontinentalen Lithosphäre interpretiert. In neueren Arbeiten nehmen Neumann et al. (2004) als Mantelreservoir für die Quellenregion der basaltischen Laven einen prevalenten Mantel (PREMA) und untergeordnet ein dem HIMU (high  $\mu$ ;  $\mu$  = Isotopenverhältnis  $^{238}$ U/ $^{204}$ Pb) geochemisch ähnlich zusammengesetztes Mantelreservoir an.

Das Magma hat eine geringere Dichte als das umgebende Gestein und konnte im Grabengebiet als mafisches primitives Stammmagma durch ein Förderschlotsystem in vermutlich mehrere, in der unteren Kruste liegende subvulkanische Kammern mit Drucken von 7-10 kbar in Tiefen unter 16-17 km aufsteigen (Neumann, 1980; Neumann et al., 2002). Während des Aufstiegs der Stamm-Magmen entwickelten und veränderten sie sich durch gravitative Kristallisationsdifferentiation und durch Magmenmischung von unterschiedlich stark entwickelten Magmen (Hybridisierung) zu sogenannten Tochtermagmen. Nach weiterer Förderung in Kammern des unteren Krustenbereichs (Larsen et. al., 2008b) konnten mit zunehmendem Wasser- und Gasgehalt (überwiegend H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>; Neumann, 1980) vorzugsweise silikatreiche Nebengesteine der Lithosphäre gelöst/assimiliert (Neumann et al., 2002) und durch Konvektion gemischt werden. Vom zunehmenden Gasdruck ist bekannt, dass er in der Lage ist, zusammen mit Viskosität, Dichte und Wärmeleitfähigkeit eine Blasenbildung zu ermöglichen (Hawkesworth, 2000).

Solche Vorgänge haben möglicherweise dazu beigetragen, dass sich die Zusammensetzung des monzonitischen Magmas (z.B. Neumann, 1980) änderte und eine beginnende Kristallisation auslöste. Dabei beginnen bei einer bestimmten (Liquidus-) Temperatur auch die Kristallisembildung und das Wachstum von Feldspat-Kristallen. Letztere setzt sich als kontinuierliche fraktionierte Kristallisation fort (z.B. Maresch et al., 2016). Der Kristallisationsvorgang (frei werdende Gitterenergie) hält die Magmatemperatur in der Nähe der Liquidustemperatur (Cashman, 1993), die über der für basaltisches Gestein der Oslo-Region unter trockenen Bedingungen angenommenen Magmatemperatur von 1100°C liegen dürfte (Neumann, 1980). Daneben reagieren andere Mineralkomponenten des Magmas im Zuge der Bowen schen Abscheidungsfolge während der Abkühlung sukzessiv miteinander und bilden diskontinuierlich jeweils eine neue, sich abtrennende kristallisierende Phase (z.B. Olivine, Pyroxene, Amphibole, Biotite).

Während der kontinuierlichen Abscheidungsfolge kristallisieren bei hoher Temperatur und hohem Druck in ca. 20 km Tiefe (Oftedahl, 1978b: S.158-160) relativ Ca<sup>2+</sup>-reiche Feldspäte aus der jeweils vorliegenden Schmelze ab (Harnik, 1969). Beim Aufstieg und der damit einhergehenden Abkühlgeschwindigkeit werden die Kerne von K<sup>+</sup>- und Na<sup>+</sup>-reicheren Feldspäten (Harnik, 1969) mit abnehmender Gitterenergie ummantelt. Sie ändern in einem chemischen Ungleichgewichtszustand

ihre stöchiometrische Zusammensetzung (ähnlich dem Magma, das K<sup>+</sup>- und Na<sup>+</sup>-reicher wird; Neumann, 1980), und es kann zur Ausbildung makroskopisch sichtbarer Zonierungen kommen, wenn dies die Verweilzeiten in der flüssigen Phase zulassen. In einer solchen Phase bildeten sich die Kristalle aus, deren Anschnitte später auf Geschiebeoberflächen zu den bekannten bootsförmigen bzw. rhomboiden oder auch rechteckähnlichen Flächenformen führen können (Oftedahl, 1978b: 158-160).

Dichteunterschiede zwischen Magma und kristalliner Phase entscheiden, ob die gravitative Fraktionierung ein Aufsteigen oder Absinken der Kristalle ermöglicht (Hawkesworth, 2000), während Konvektionsströme in der Magmakammer deren Größenverteilungsmuster beeinflussen können.

Untersuchungen zur Entstehung von bis zu 3 Zentimeter großen, tafelförmigen, in basaltischem Magma entstandenen Plagioklasen lassen bei einer angenommenen Wachstumsrate von  $10^{-10}$  mm/sec unter Gleichgewichtsbedingungen auf eine Verweilzeit in der Magmakammer von 500-1.500 Jahren schließen (Higgins & Chandrasekharam, 2007). Andere Studien an zentimetergroßen Plagioklasen, die isoliert vorlagen oder sternförmig angeordnet waren, ließen für erstere Verweilzeiten von 1.000-10.000 Jahren und für letztere von 600-1.000 Jahren vermuten (Cheng et al., 2014). Möglicherweise hat auch die Wachstumszeit von zentimetergroßen RP-Einsprenglingen in monzonitischem Magma im Bereich von wenigen 100 bis einigen 1.000 Jahren gelegen.

Die Kristallgrößen mancher RP-Typen weisen auf eine seriale Verteilung hin, andere dagegen auf eine hiatale Korngrößenverteilung durch Wachstumsunterbrechung (hiatus) und eine neu beginnende Keimbildungsphase. Ein längerer Verbleib im Liquidustemperaturbereich vermag durch Kornvergröberung zu Gunsten großer Kristalle (Ostwald-Reifung) oder durch Wiederauflösungsprozesse ihre Anzahl zu reduzieren (Higgins & Chandrasekharam, 2007; Donaldson, 1985). Letztere (Bahat, 1979) sind während der Verweilzeiten im aufsteigenden Magma in der Lage, die häufig beobachtbaren gerundeten Kristallflächen zu verursachen. Solche Vorgänge können bspw. als Folge von Magmamischungen nach Einpressungen einer heißeren flüssigen Phase aus tiefer gelegenen Reservoirs und einer damit einhergehender Resorption stattfinden.

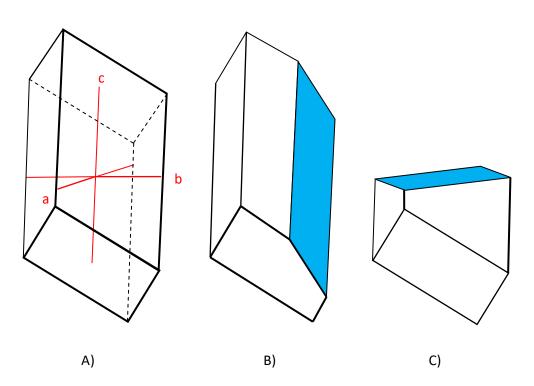
Einige der geschilderten Prozesse beeinflussten sicher auch die Entstehung der Feldspat-Kristalle und bestimmten, wie viele von ihnen pro Gesteinsvolumeneinheit vorhanden und welche ihrer Kristallflächen dominant sind (die am langsamsten wachsenden Kristallflächen sind die größten). Sie legten hiermit in jeder späteren lithostratigraphischen Einheit bzw. Untereinheit die Größe und Form der Einsprenglinge fest, sind also dafür verantwortlich, dass deren Habitus und Tracht für einen Fundort typisch sein kann.

Unter "Einfrierung" des jeweiligen Kristallisationszustands wurden diese Vorgänge mehr oder weniger abrupt unterbrochen, als das vom Gasdruck geförderte Magma als intermediäre (SiO<sub>2</sub>-Gehalt ca. 55 Gew.%; Larsen et al., 2008b), latitische oder andesitische Lava entlang von Verwerfungen auf dem Weg an die Erdoberfläche gefördert wurde. In der Umgebung von Oslo geschah dies höchstwahrscheinlich überwiegend durch Ausbrüche von Spaltenvulkanen. Legt man Meßwerte und Standardabweichungen von Altersbestimmungen für RP-Laven zugrunde, fand dies ungefähr vor etwa 300 bis 270 Ma statt (Sundvoll & Larsen, 1990; Haldan, 2014; Corfu & Larsen, 2020). Die frühen Lavaströme (RP1-RP12) bedeckten einen Bereich von über 10.000 km² mit einer geschätzten Dicke von mindestens 100 m (entspricht ca. 1000 km³; Larsen et al., 2008b) und kühlten dort an der Oberfläche relativ rasch oder in oberflächennahen Gängen als Intrusion en langsamer ab. Die wenig viskosen RP-Laven (Oftedahl, 1952: S.52) wiesen relativ hohe Fluor-Gehalte auf, waren gasreich und hatten die relativ hohe Temperatur von geschätzten 1050-1100°C (Larsen et al., 2008a und b). Die Ergusstemperatur basaltischer Lava wird auf 1270-1340°C geschätzt (Neumann, 1994), ist also deutlich höher. Eine rasche Abkühlung führt zur kleinkristallinen Ausbildung der oft feinkörnigen bis dichten, die Einsprenglinge umgebenden Matrix, eine langsamere Abkühlung zu einer mit

größeren Körnern. Der Begriff "rasch" muss in einer geologischen Zeitskala gesehen werden und könnte im Bereich von Jahren gelegen haben (z.B. Resmini & Marsh, 1995).

Allein im Krokskogen- und Vestfold-Gebiet sind zusammen mehr als 70 verschiedene RP-haltige Lavaflüsse identifiziert worden (Larsen et al., 2008a und b; Haldan et al., 2014). Neben lokalen Varietäten werden in der Literatur 26, teilweise sehr ähnliche RP-Haupttypen lithostratigraphisch unterschieden, von denen einige weiter untergliedert werden konnten (Oftedahl, 1952: S.44, 1978a: S.194 und 1978b: S.153; Sæther, 1962; Heyer, 1967; Haldan et al. 2014). Ihre teilweise vorhandene Ähnlichkeit wird schon durch Oftedahls Wortwahl offenkundig, wenn er bei ihrer Beschreibung Ausdrücke wie bspw. RP1-, 2-, 4-, 6- oder Rektangel-Typ verwendet.

Die idiomorphen Anorthoklas-Einsprenglinge der RP besitzen meist einen dünn- bis dicktafeligen oder prismatischen Habitus (Tröger, 1969: S.682). Ihre Population kann auch komplexere Wachstumsformen (z.B. Zwillinge) und glomerophyrische Aggregate umfassen. Auf einer RP-Geschiebeoberfläche sind die zweidimensionalen Anschnitte der im Gestein eher zufällig orientierten oder auch mehr oder weniger eingeregelten Kristalle zu erkennen. Deren Flächenform und -größe hängt von der Position ab, in welcher sie von der Schnittfläche getroffen wurden. Dabei entspricht die Anzahl der Ecken der Anzahl der angeschnittenen Kristalloberflächen. Nur bestimmte Schnittebenen verursachen die typische Rhombus- oder "Boot"-Form (Abb.1); legt man die Kristallform eines Parallelepipeds zugrunde, können drei-, vier-, fünf- oder sechseckige Umrisse erzeugt werden. Selbst bei gleichem Habitus und gleicher Korngröße einer hypothetischen Idealform variieren schnittebenenpositionsabhängig alle Flächenparameter.



**Abb.1:** A) Modell eines Anorthoklas-Kristalls mit dicktafeligem Habitus und einfacher Tracht (orthogonales Achsenkreuz: rot); Rhomboide Kristallanschnittflächen (blau) B) parallel zur Ebene ac und C) senkrecht zur c-Achse; Schnittebenenpositionen nach Oftedahl (1948: S.9) und modifiziertes Kristallmodell nach Smith (1974).

Im zweidimensionalen Muster der Anschnittflächen stecken in komplexer Form alle Informationen zur dreidimensionalen Geometrie einer gegebenen Kristallgrößenverteilung, was erstmals von Higgins (1994) an orthogonalen Modell-Parallelepipeden mittels Computerrechnungen simuliert wurde.

#### **Material und Methoden**

#### Geschiebeproben

Alle Proben stammen von der Nordseeküste Mittel- und Nordjütlands in Dänemark etwa vom Ringkøbing-Fjord bis zur Vigsø-Bucht. Bei den analysierten Proben handelt es sich um gesägte Anschnitte, die geschliffen (Glasplatte; Siliziumcarbid, SiC; Körnung 80, 220, 400, 800 und/oder 1000), poliert (Aluminiumoxid, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), mittels Farbscanner abgebildet und vor der Bildanalyse computergespeichert wurden. Die Größe der analysierten Geschiebeanschnittflächen betrug ca. 20-65 cm<sup>2</sup> mit etwa 30-300 Einspenglingen.

### Typisierung der RP-Proben

Bei den verwendeten Typbezeichnungen handelt es sich lediglich um Vermutungen des Autors, die auf visuellem Vergleich mit publizierten ähnlichen Abbildungen und deren Typbezeichnungen beruhen. Bei Bildvergleichen wurden folgende Symbole als Quellenangaben verwendet:

- J Publikation Jensch 2013a (s. Literaturverzeichnis)
- skk <a href="https://skan-kristallin.de/">https://skan-kristallin.de/</a>
- SSS Svens Strandstens Site, <a href="http://www.rapakivi.dk">http://www.rapakivi.dk</a>
- vsk <a href="http://www.vendsysselstenklub.dk">http://www.vendsysselstenklub.dk</a>
  zsw <a href="https://www.zwerfsteenweb.nl">https://www.zwerfsteenweb.nl</a>

Die in diesen Bilddateien vorhandenen, vom jeweiligen Autor vorgenommenen Typ- oder Varietätenbezeichnungen der Anstehend- und Geschiebeproben wurden übernommen. Wegen der komplexen Sachlage fehlt bei Geschieben oft eine Begründung des Finders für die betreffende Typisierung. Zur Veranschaulichung der hier vorgeschlagenen Zuordnung sind eigene und aus obigen Quellen stammende Abbildungen den Größenangaben folgend maßstabsgerecht nebeneinandergestellt (Anhang Abb.3).

In RP-relevanten Publikationen wird der Begriff "Typ" sowohl zur Einordnung stratigraphischer RP-führender Lavaflüsse als auch zur Beschreibung ähnlicher Merkmalstypen verwendet; in dieser Arbeit dient er letzterem Zweck und für ersteren wird der Ausdruck "Varietät" verwendet.

### Bildanalyse

Die Bildanalyse wurde mit einem der zahlreichen, seit Jahren kontinuierlich verbesserten und aus dem Internet herunterladbaren Bildanalyse-Programmversionen von ImageJ (ImageJ 1.51f bzw. 1.52h; Java 1.8.0\_77 [64-bit]) durchgeführt (https://imagej.nih.gov/ij/download.html). Das Verfahren erlaubt u.a. den Flächeninhalt einer auswählbaren Region der in eine Schwarz-Weiß-Version (8-bit) umgewandelten Geschiebeanschnittabbildung zu bestimmen und die im Grauton von der Matrix unterscheidbaren Anschnitte der Einsprenglinge (XX) individuell mit verschiedenen quantitativen Kenngrößen (s.u.) zu charakterisieren (Anhang, Abb.5: Beispielbilder).

Es sei darauf hingewiesen, dass die Bilder oft nachbearbeitet werden müssen (z.B. Trennung von den sich mit ihren Umrissen berührenden, dicht nebeneinanderliegenden XX, Komplettierung der Umrisse, Elimination von Geschiebebruchlinien). Dies erfordert einen sorgfältigen Vergleich mit dem Bild oder Original des Geschiebeanschnitts. Die Nachbearbeitung kann subjektive Fehler der Analyseergebnisse verursachen und deren Minimierung bedarf sicher individuell einiger Übung. Sie stellt den zeitaufwändigsten Teil der Analyse dar.

### Die verwendeten Kenngrößen

Nachfolgend werden die verwendeten Symbole und Kenngrößen beschrieben, die überwiegend zur Charakterisierung von Größe, Form oder einer Eigenschaft der Gesamtheit der einzelnen XX-Anschnittflächen in der sie einbettenden Matrix eines Geschiebeanschnitts verwendet wurden.

F: Individueller Flächeninhalt eines XX-Anschnittes in mm². Es wurden nur Messwerte

≥ 1,00 mm<sup>2</sup> berücksichtigt (Ausgabe ImageJ).

U: Individueller Flächenumfang eines XX-Anschnittes in mm (Ausgabe ImageJ).

maxD: Individueller maximaler XX-Flächendurchmesser in mm; dieser sog. Feret-Durchmesser stellt den maximalen Abstand zweier paralleler Linien dar, zwischen

denen eine diese Geraden berührende, beliebig begrenzte Fläche ohne Kreuzung des

Umfangs positioniert werden kann (Ausgabe ImageJ).

minD: Individueller minimaler XX-Flächendurchmesser in mm (vergleiche maxD; Ausgabe

ImageJ).

FS: Flächensumme = prozentualer Anteil aller F-Werte vom analysierten Flächeninhalt

des Geschiebeanschnitts, F', in mm² (beide Werte Ausgabe ImageJ).

FZ: Flächenzahl in n<sub>xx</sub> pro cm<sup>2</sup>; Anzahl der Einsprenglinge pro Flächeneinheit wird aus n<sub>xx</sub>

(Ausgabe ImageJ) und F' berechnet.

Um dimensionslose Parameter der Flächenform zu erhalten, kann man eine hypothetische Form (Kreis, Ellipse, Rechteck, Rhombus) auswählen, für die der funktionelle Zusammenhang zwischen F, U, maxD und/oder minD bekannt ist. Dies ermöglicht, eine dieser Größen als Funktion der anderen darzustellen und erlaubt eine Quotientenbildung, die für die hypothetische Form den Betrag von 1,00 ergibt. Das Einsetzen der Messwerte in solche Ausdrücke resultiert in Beträgen, die form- und parametertypabhängig den Wert von 1,00 entweder maximal erreichen, aber auch unter- oder überschreiten können.

AR: Längenverhältnis (aspect ratio); AR = D1/D2 (großer Durchmesser/kleiner

Durchmesser) des an eine Ellipse angepassten Flächeninhalts (Ausgabe ImageJ).

Zirk: Zirkularität (*circularity*, Kreisförmigkeit; kreisabhängiger Flächenformparameter, FFP);

Zirk =  $4\pi \cdot F/U^2 \le 1,00$  (Ausgabe ImageJ).

St: Stauchung (längenabhängiger FFP); St = minD/maxD≤1,00.

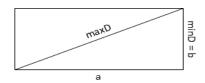
Ru: Rundheit (kreisabhängiger FFP); Ru =  $4F/(\pi \cdot \text{max}D^2) \le 1,00$ ; ImageJ verwendet D1 an

Stelle von maxD (roundness, siehe AR).

Re1: rechteckabhängiger FFP; Re1 =  $U/U_R$ 

 $= U/{2[\min D + (\max D^2 - \min D^2)^{1/2}]}$ 

### Ableitung



$$maxD^2 = a^2 + minD^2$$

$$a = (maxD^2 - minD^2)^{1/2}$$

$$U_R = 2(a + minD) = 2[(maxD^2 - minD^2)^{1/2} + minD]$$

Re1=U/U<sub>R</sub>=U/
$$\{2[\min D + (\max D^2 - \min D^2)^{1/2}]\}$$

Re2: rechteckabhängiger FFP; Re2 =  $F/F_R$ 

$$= F/[\min D \cdot (\max D^2 - \min D^2)^{1/2}]$$

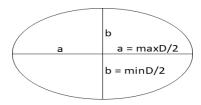
$$F_R = b \cdot a = \min D \cdot (\max D^2 - \min D^2)^{1/2}$$

Re 2 = 
$$F/F_R = F/[\min D \cdot (\max D^2 - \min D^2)^{1/2}]$$

E1: ellipsenabhängiger FFP; E1 =  $U/U_E$ 

= 
$$[2U \cdot (64 - 16 \lambda^2)]/[\pi \cdot (\text{maxD} + \text{minD}) \cdot (64 - 3\lambda^4)]$$

Ableitung



minD = 2b

maxD = 2a

 $\lambda = (maxD - minD)/(maxD + minD)$ 

 $U_E \approx (\pi/2) \cdot (\max D + \min D) \cdot (64 - 3\lambda^4) / (64 - 16\lambda^2)$ 

E1 = U/U<sub>E</sub> =  $[2U \cdot (64 - 16 \lambda^2)]/[\pi \cdot (\text{maxD} + \text{minD}) \cdot (64 - 3\lambda^4)]$ 

E2: ellipsenabhängiger FFP; E2 =  $F/F_E$ 

= 
$$4F/(\pi \cdot maxD \cdot minD)$$

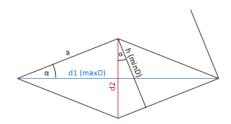
 $F_E = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot maxD/2 \cdot minD/2 = \pi \cdot maxD \cdot minD/4$ 

 $E2 = F/F_E = 4F/(\pi \cdot maxD \cdot minD)$ 

Rh1: rhombusabhängiger FFP; Rh1 =  $U/U_{Rh}$ 

=  $U \cdot \cos \alpha / (2 \text{max D})$ 

Ableitung



h = minD

d1= maxD

 $\sin \alpha = h/d1 = \min D/\max D$ 

 $\alpha^{\circ} = GRAD[arcsin(minD/maxD)]$ 

 $\cos \alpha = d1/(2a) = maxD/(2a)$ 

 $a = maxD/(2 cos \alpha)$ 

 $U_{Rh} = 4a = 4maxD/(2cos\alpha) = 2maxD/cos\alpha$ 

Rh1 = U /U<sub>Rh</sub> = U·cos  $\alpha$  /(2maxD)

Rh2: rhombusabhängiger FFP; Rh2 =  $F/F_{Rh}$ 

=  $2F \cdot \cos \alpha / (\min D \cdot \max D)$ 

 $F_{Rh} = a \cdot h = minD \cdot maxD/(2cos\alpha)$ 

 $Rh2 = F/F_{Rh} = 2F \cdot \cos \alpha / (minD \cdot maxD)$ 

Rh3: rhombusabhängiger FFP; Rh3 =  $U/U_{Rh}$ 

 $= U/(4((maxD/2)^2+(2F/maxD)^2)^{0.5})$ 

 $F = d1 \cdot d2/2 = maxD \cdot d2/2$ 

d2 = 2F/maxD

 $a^2 = (d1/2)^2 + (d2/2)^2 = (maxD/2)^2 + (2F/maxD)^2$ 

 $a = ((maxD/2)^2 + (2F/maxD)^2)^{0.5}$ 

 $U_{Rh} = 4a = 4((maxD/2)^2 + (2F/maxD)^2)^{0.5}$ 

Rh3 =  $U/U_{Rh} = U/(4((maxD/2)^2 + (2F/maxD)^2)^{0,5})$ 

Rh4: rhombusabhängiger FFP; Rh4 =  $F/F_{Rh}$ 

$$=4F/(U\cdot minD)$$

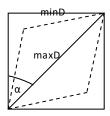
 $F_{Rh} = a \cdot h = a \cdot minD$ 

 $U = 4a = 4F_{Rh}/minD$ 

 $F_{Rh} = U \cdot minD/4$ 

 $Rh4 = F/F_{Rh} = 4F/(U \cdot minD)$ 

RhXX: rhombusabhängiger prozentualer Anteil für  $\alpha \le 45^{\circ}$  (FFP)



Prozentualer XX-Anteil mit einem bei hypothetischer Rhombusform aus minD und maxD berechneten Winkel < 45°. Formal stellt ein Quadrat die gestauchteste Form eines Rhombus mit dem größtmöglichen Verhältnis minD/maxD = 0,71 und damit über sin $\alpha$  berechenbaren größtmöglichen Winkel  $\alpha$  = 45° dar (Ableitung: vergl. Rh1). Flächen, bei denen der Winkel  $\alpha$  > 45° wird, gehören meist unregelmäßig gestauchten Formen an.

HV:

Häufigkeitsverhältnis der F-Werte (FFP); HV =  $H_{<2 mod F}$ :  $H_{>2 mod F}$ . Die modalen Flächeninhalte der untersuchten RP-Proben entsprechen der halben Klassenbreite der Klasse, die die Häufigkeit der niedrigsten F-Werte zusammenfasst. Es wird angenommen, dass bei der Existenz von zwei XX-Generationen der HV-Wert überproportional hoch ist; der Faktor 2 wurde willkürlich gewählt.

FM:

Ferrimagnetismus. Manche RP-Typen enthalten im Gestein verteilte ferrimagnetische Minerale (z.B. Magnetit,  $Fe^{2+}Fe^{3+}_{2}O_{4}$ ; Maghemit,  $\gamma$ - $Fe^{3+}_{2}O_{3}$ ) in einer genügend hohen Menge, um von einem Magneten angezogen zu werden. Abgesehen von der Menge und Kornverteilung dieser Minerale, hängt die Messbarkeit des magnetischen Kraftfeldes von der Geometrie der Messeinrichtung und der Stärke des verwendeten Magneten ab. Der Autor verwendete eine Glasplatte und einen Ni-Cu-beschichteten Neodym-Stabmagneten (Länge 30,0 mm, Ø 8,0 mm, Gewicht 11,46 g; hält 4,00 kg). Die möglichst senkrecht auf der waagerecht positionierten Glasplatte ausgerichtete Schnittebene der Geschiebeprobe wird dem an einer definierten Stelle ruhenden, rollfähigen Stabmagneten langsam aus der zu seiner Längsachse senkrechten Richtung mittig genähert, bis die Rollbewegung ausgelöst wird. Dabei liegt die Glasplatte auf Millimeterpapier, um eine Abschätzung der vom Magneten zurückgelegten Weglänge zu ermöglichen.

Die magnetische Kraftflussdichte in der Längsachse des Stabmagneten kann als Folge atomarer Kreisströme ( $I_1$ ) im ferromagnetischen Material des Magneten aufgefasst werden, wobei parallel zur Achse ein magnetisches Kraftfeld induziert wird. Positioniert man die Schnittebene einer ferrimagnetischen Probe in diesem Kraftfeld ebenfalls parallel zur Längsachse, kommt zwischen Stabmagnet und Probe eine abstandsabhängige Kraft (Lorentz-Kraft,  $F_L$ ) zur Wirkung. Wenn diese einen bestimmten Betrag erreicht (z.B. um die Rollbewegung auszulösen), korreliert die am

Ort der Probe über eine gewisse Länge ( $L_2$ ) induzierte atomare Stromstärke ( $I_2$ ) direkt mit diesem Abstand (r).

$$I_2 = 2\pi \cdot r \cdot F_L / (I_1 \cdot L_2 \cdot \mu)$$

Dies entspricht einer direkten Korrelation des Abstandes r mit der vom Magnetfeld ausgeübten Lorentz-Kraft bei gleichem Abstand. Vergleicht man unterschiedliche Proben, gilt dies im strengen Sinn nur dann, wenn das Produkt  $L_2 \cdot \mu$  ( $\mu$  = Permeabilität) den gleichen Betrag aufweist.

Ungleichverteilung der ferrimagnetischen Mineralkörner, Unebenheiten hauptsächlich der Magnet- und weniger der Glasoberfläche, sowie ungenaue vertikale manuelle Positionierung der Schnittebene verursachen Streuungen der Messwerte. Um die Reproduzierbarkeit zu testen, wurden jeweils 10 Messungen bei möglichst identischen Probepositionierungen in zwei unterschiedlichen Positionen an einer stark magnetischen Probe (P657) durchgeführt. Obwohl nur die Randbereiche der auf der Glasplatte ruhenden Schnittebene dem Kraftfeld des Magneten ausgesetzt waren, betrug der sd-Wert aller 20 Messungen nur 13,4%<sub>mw</sub> (mw = 1,66 cm). Unebenheiten der Oberfläche des Stabmagneten können den Beginn der Rollbewegung erkennbar hemmen; in solchen Fällen wurde die jeweilige Messung nach geringer Drehung des Magneten an der Startposition um seine Längsachse wiederholt.

Bei Routinemessungen wurden mit jeder Probe 5 Messungen in unterschiedlichen Positionierungen durchgeführt, bei denen die zur Längsachse des Stabmagneten parallele Schnittebene so gedreht wurde, dass möglichst Abschnitte aller Randbereiche erfasst wurden (idealer theoretischer Drehwinkel 360°/5 = 72°). Der Abstand r bezeichnet die Distanz zwischen der Längsachse des Magneten und der dazu parallelen Schnittebene bei Auslösung der Rollbewegung (halber Stabmagnetdurchmesser = 0,4cm + Rollweglänge); er dient als grobes Maß für die Stärke des magnetischen Kraftfeldes der Probe. Die Messwertstreuung wurde tendenziell erwartungsgemäß mit schwächer werdender Kraft des Magnetfeldes größer und betrug bei der Mehrzahl der Proben (39 von 49) maximal 30%mw.

Insgesamt wurden 3 Parameter des Gesteins bzw. der in der Gesteinsmatrix verteilten XX (GP: FM, FZ und FS), 4 Parameter der XX-Flächengröße (FGP: F, maxD, minD und HV) und 13 der XX-Flächenform (FFP: AR, Zirk, St, Ru, Re1+2, E1+2, Rh1-4 und RhXX), also zusammen 20 Kenngrößen zur Beschreibung der Merkmale von Einsprenglingen verwendet.

Mit Ausnahme der GP, den Parametern HV (FGP) und RhXX (FFP), wurde nach Berechnung der individuellen XX-Werte einer Probe jeweils der arithmetische Mittelwert (mw) und die Standardabweichung (sd) berechnet, wobei der *mw als ein die gesamte Probe charakterisierender Parameterwert* für das Pako-Verfahren (s.u.) verwendet wurde. Die Gesamtheit der Mittelwerte stellte somit für jede Probe ein Eigenschafts- oder Merkmalsmuster dar.

Für den F-Wert wurde die Häufigkeitsverteilung (H-Verteilung) und der Wert im Maximum von H (Modalwert, modF) ermittelt, wobei die Klassenbreite h nach der Regel von Scott (1979) bestimmt wurde (h = 3,5·sd·n<sup>-1/3</sup>, n = Stichprobenumfang = Anzahl XX im ausgewerteten Geschiebeanschnittflächeninhalt); die Anzahl der Klassen folgt dann aus dem gerundeten Quotienten (maxF-minF)/h, wobei (maxF-minF) das maximale Werteintervall darstellt. Der modF-Wert wurde zur Bestimmung des Parameters HV (s.o.) verwendet.

Alle Kenngrößen wurden probespezifisch entweder von ImageJ ermittelt oder mit von ImageJ erzeugten Werten, inklusive ihrer mw und des modF-Wertes, in einem entsprechend vorbereiteten Analyseprotokoll berechnet (Microsoft® Office-Programm Excel®2007), aus dem sie in das Basisdatenregister als Parameterwerte für das Pako-Verfahren (s.u.) kopiert werden konnten.

Beginnend mit der Bildanalyse, wurden am Beispiel der Probe P369 nach 10facher Wiederholung des Verfahrens die sd-Werte für die 19 im Pako-Verfahren (s.u.) benutzten Parameter ermittelt (Beträge der %<sub>mw</sub>-Werte in Klammern): FZ (3,3), FS (1,0), AR (1,0), Ru (1,3), Zirk (19,3), St (0,6), E1 (11,3), E2 (1,2), Re1 (11,4), Re2 (1,3), Rh1 (11,2), Rh2 (1,2), Rh3 (12,0), Rh4 (10,5), RhXX (2,5), F (2,7), maxD (1,8), minD (1,8) und HV (7,0). Alle U-abhängigen Parameter (Zirk, E1, Re1, Rh1/3 und 4) wiesen erhöhte sd-Werte auf (10-20%<sub>mw</sub>), die vermutlich durch die Nachbearbeitung der ImageJ-Bilder verursacht wurden; die übrigen sd-Werte waren meistens deutlich niedriger (1-7%<sub>mw</sub>). Dieses Ergebnis ist nicht vorbehaltlos auf andere Proben übertragbar und kann nur beispielhaft die Größenordnung der Reproduzierbarkeit widerspiegeln.

### Kurzbeschreibung des Parameterkombinations(Pako)-Verfahrens

Alle Pako-Berechnungen wurden mit einem hierfür entwickelten Tabellenkalkulationsverfahren durchgeführt (Microsoft® Office-Programm Excel® 2007). Die Häufigkeitsanalyse der FZ-, FS-, RhXX- und Mittelwerte der übrigen Parameter erlaubte nach Anwendung der Regel von Scott (s.o.), die Werte einerseits nummerierten ( $N_K$ ) Klassen und andererseits den zugehörigen Proben zuzuordnen. Dadurch erzeugte jede Probe ein charakteristisches Muster der Klassenzugehörigkeit, das mit einer als Muster dienenden RP-Probe (Muster-RP, M-RP) verglichen werden konnte. Hierbei wurde geprüft, welche Werte welcher Proben in den vom M-RP besetzten Klassen vorhanden sind. Dies ermöglichte, für die mit dem M-RP verglichenen Probe den prozentualen Anteil der Parameter-Klassen-Übereinstimmung (PKÜ  $\%_{SP}$ ) zu berechnen.

Im Standardanalyseverfahren wurde zuerst die GP-Übereinstimmung der FZ- und FS- Klassen überprüft. Als Prüfkriterium diente die Summe der  $N_{\kappa}$ -Differenzen von M-RP und Vergleichsprobe, für die in diesem Fall der optionale Grenzwert von 1 eingeführt wurde ( $\lim \sum \Delta N_{\kappa}$ ). Dies bedeutete, dass nur einer dieser beiden Parameterwerte um eine Klasse abweichen durfte, bevor die nächste Überprüfung stattfand. Vergleichsproben mit größeren Summen ( $\sum \Delta N_{\kappa} > 1$ ) wurden als nicht übereinstimmend aussortiert und von nachfolgenden Analyseschritten ausgeschlossen. Bei übereinstimmenden Proben wurde im zweiten Schritt gleichermaßen mit den FGP verfahren (F, maxD, minD und HV), bevor abschließend die Übereinstimmung der FFP-Klassen ermittelt wurde. Am Ende dieser Werteauswahl blieben nur die Werte von den Proben übrig, bei denen maximal einer der insgesamt 6 verwendeten GP- und FGP-Werte um eine Klasse abwich. Sie bildeten, definitionsgemäß, zusammen mit dem M-RP eine Mustergruppe (MGr), für deren Mitglieder die PKÜ-Werte berechnet (PKÜ =  $100\%_{\Sigma P=20}$  für M-RP) und als Maß für die Merkmalsübereinstimmung benutzt wurden. Da im Verfahren die verwendeten Parameter optional genutzt werden können, sind bei speziellen Fragestellungen Änderungen der  $\lim \sum \Delta N_{\kappa}$ - und/oder  $\sum P$ -Werte möglich.

### Beschreibung der Farben

Auch wenn die Einsprenglings- und Matrixfarben keine im beschriebenen Pako-Verfahren relevanten Parameter darstellen, ist ihre Charakterisierung nach den Munsell-Bezeichnungen, die in der von der Geological Society of America herausgegebenen *Rock-Color Chart* zum Farbvergleich aufgeführt sind, der mit Worten vorzuziehen, zumindest wenn die Farbe zur Identifizierung beiträgt. Trotz der für den Ungeübten weniger anschaulichen Symbolik (in 10teiligen Skalen werden Symbole für den Farbton, die Helligkeit und die Sättigung verwendet) wird bei Benutzung dieser Farbskala der subjektive Fehler reduziert und der Farbeindruck nachvollziehbarer. Ebenso ist die oft fehlende Information hilfreich,

ob es sich bei der betroffenen Abbildung um eine trockene oder angefeuchtete bzw. polierte Geschiebeoberfläche handelt.

#### **Ergebnisse**

Zur Charakterisierung der Merkmale von 49 RP-Stichproben mit dem Pako-Verfahren wurden insgesamt bis zu 19 Parameter verwendet, die überwiegend als arithmetische Mittelwerte Eigenschaften der einzelnen XX-Anschnitte (Flächengröße und -form), aber auch Eigenschaften ihrer Gesamtheit in der sie einbettenden Gesteinsmatrix beschreiben (Tab.1: Erläuterungen in *Material und Methoden*).

Die Häufigkeitsanalyse der P-Werte ermöglicht diese in nummerierte ( $N_K$ ) Klassen zu unterteilen, von denen jede im Fall der Klassenübereinstimmung einen prozentualen Beitrag leistet, der auch von der jeweiligen Anzahl der angewendeten Parameter abhängt. Bei der durchgeführten Untersuchung von Merkmalsähnlichkeiten diente jede *RP-Probe als Muster (M-RP)*, wobei die Übereinstimmung der Merkmale einer mit dem M-RP verglichenen Probe als prozentuale *Parameter-Klassen-Übereinstimmung (PKÜ%*<sub> $\Sigma P$ </sub>) ausgedrückt wurde. Gleiche PKÜ-Beträge < 100% können durch unterschiedliche P-Kombinationen verursacht werden. Wie viele und welche Parameter verwendet wurden, erfolgte wahlweise und war abhängig vom Ziel der Untersuchung.

$N_{P}$	GP	$N_P$	FFP	$N_{P}$	FFP	$N_P$	FGP
1	FM	4	AR	10	Re1	17	F
2	FZ	5	Ru	11	Re2	18	maxD
3	FS	6	Zirk	12	Rh1	19	minD
		7	St	13	Rh2	20	HV
		8	E1	14	Rh3		
		9	E2	15	Rh4		
				16	RhXX		

**Tab.1**: Nummerierte (N<sub>P</sub>) Parameter für XX-Eigenschaften des Gesteins (GP), der Flächenform (FFP) und Flächengröße (FGP)

Als Bewertungskriterium für eine möglicherweise vorliegende zweite XX-Generation diente der Parameter HV (Häufigkeitsverhältnis: Erläuterung in *Material und Methoden*); seine Beträge sind in besonderen Fällen in einer separaten Spalte der betroffenen Tabellen angegeben. Die Angabe der ermittelten grobquantitativen Werte zur ferrimagnetischen Eigenschaft der Proben (Parameter FM: Erläuterung in *Material und Methoden*), zu der der Autor nur spärliche Literaturhinweise gefunden hat, dient lediglich der Information; sie scheint überwiegend ein lokales Merkmal eines RP-Lavaflusses widerzuspiegeln.

Als Maß für die Übereinstimmung eines Merkmals diente die Differenz der Klassennummern zwischen Muster und Probe ( $\Delta N_{\kappa}$ ). Bei den Häufigkeitsanalysen (s.o.) war aufgefallen, dass in einigen Fällen die Parameterwerte vermutlich gleicher RP-Typen über mehr als eine Klasse verteilt waren. Um zusätzlich zur Klassenbreite noch eine gewisse Variation der Kenngrößen zu ermöglichen, wurde

ein Grenzwert für die Summe der Klassennummerdifferenzen ( $lim \Sigma \Delta N_K = 1$ ) zwischen M-RP und Probe eingeführt. Dieser Wert definiert im Standardverfahren eine zulässige Abweichung von maximal einer Klasse bei einem der als primäre Auswahlkriterien für Merkmalsübereinstimmungen benut zten GP oder FGP (FZ ,FS, F, maxD, minD oder HV); d.h., Proben, bei denen bspw. zwei dieser Parameter um eine Klasse abweichen oder einer um zwei Klassen differiert, wurden als vom M-RP abweichend eingestuft und von der abschließenden Prüfung der FFP-Übereinstimmung ausgeschlossen. Die nach dieser Auswahl verbleibenden PKÜ-Werte spiegeln daher überwiegend XX-Formübereinstimmungen wider. Die zugehörigen Proben wurden zusammen mit dem jeweiligen M-RP als Mitglieder einer Mustergruppe (MGr) klassifiziert. Einzelne Mustergruppen sind in den Tabellen mit einer Nummer gekennzeichnet ( $N_{MGr}$ ). Bei signifikanten Änderungen des Stichprobenumfangs in umfangreicheren Untersuchungen muss ggf der  $lim \Sigma \Delta N_K$ -Wert aufgrund der Definition der Klassenbreite (s.o.) angepasst werden.

Welcher und ob ein PKÜ-Mindestwert mit einer Varietätenübereinstimmung zwischen M-RP und MGr-Mitglied vereinbar sein kann, lässt sich nur durch vergleichende Messungen von Proben mit stratigraphisch gesicherter Herkunft prüfen. Aus analytischer Perspektive wäre zu diesem Zweck die Verwendung von (z.Z. nicht existierenden) Referenzproben gesicherter Herkunft hilfreich.

Um einen visuellen Eindruck des quantitativen Merkmalsvergleichs von MGr-Mitgliedern zu vermitteln, sind beispielhaft einige Abbildungen von Geschiebeanschnitten nebeneinandergestellt (Anhang Abb.4) und die ermittelten Beträge der PKÜ-Werte in Klammern angegeben (100 für den M-RP). Die zu einem M-RP gehörigen PKÜ-, N<sub>ID</sub>-, HV-, FM-Werte und Typbezeichnungen sind in den Tabellen rot gekennzeichnet; PKÜ-Werte > 75% sind fett gedruckt, um erhöhte Ähnlichkeiten hervorzuheben. Je weniger Parameter zur Merkmalsbeschreibung verwendet werden, desto ungenauer gruppieren zwar die PKÜ-Beträge diese Merkmale, aber desto eher können ggf mehr allgemeine, typspezifische Übereinstimmungen erkennbar werden. Proben, die als M-RP in der untersuchten Stichprobe entweder keine oder ausschließlich MGr-Mitglieder mit PKÜ-Werten <= 75% aufweisen, wurden willkürlich als eigener Merkmalstyp angesehen.

Zur besseren Unterscheidung sind die Wertespalten der zu einem einzelnen M-RP gehörigen Mustergruppen in den Tabellen 5a und 5b abwechselnd farblos/grau unterlegt (Symbole bei Typ-Bezeichnung: L für Langtangen, Ø für Øyangen, Sv für Svarten und V für Vestfold).

#### **RP1-Merkmalstypen**

Die Proben P257, P264, P269, P334 und P592 mit ihren überwiegend rhomboiden XX-Anschnitten sind typische, namensgebende RP-Vertreter mit Merkmalen einer RP1-Lava (Anhang Abb.3a). Da in diesem Fall die Form der Einsprenglinge einen vermutlich wichtigen Anhaltspunkt für den möglicherweise zugrundeliegenden Haupttyp liefert, wurden die FFP in unterschiedlichen Kombinationen und zunehmender Anzahl verwendet. Dieses Vorgehen verdeutlicht die Arbeitsweise des Verfahrens und zeigt, welchen selektierenden Beitrag verschiedene FFP-Kombinationen leisten können.

Zunächst wurden nur die 5 rhombusabhängigen FFP benutzt (Tab.2: N<sub>MGr</sub> 1-5). Man kann erkennen, dass alle 5 Mustergruppen nicht nur die 5 RP1-Merkmalstypen, sondern noch andere Mitglieder mit PKÜ-Werten >= 75% enthielten, was nicht verwundert, da viele RP-Varietäten rhomboide XX-Anschnitte in genügend hoher Anzahl aufweisen können. Die sukzessive Beteiligung der insgesamt 4

ellipsen- und rechteckabhängigen (Tab.2:  $N_{MGr}$  6-10) bzw. der 4 undifferenzierteren FFP (Tab.2:  $N_{MGr}$  11-15) führte zu einer Eingrenzung von Formtypen, die insgesamt nur noch 4 Proben mit PKÜ-Werten >= 77% enthielten (P257, P269, P334 und P83) und zu denen auch 3 der 5 RP1-Merkmalstypen gehörten.

Wurden alle Parameter standardmäßig (s.o.) eingesetzt (Tab.2: N<sub>MGr</sub> 16-20), waren 3 der 5

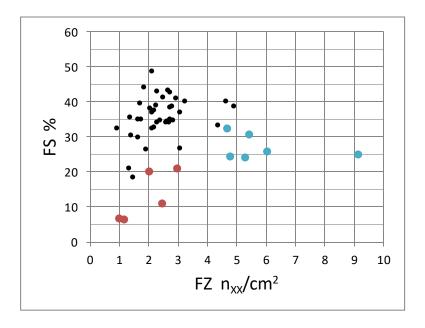
N <sub>P</sub>		FFI	P: 12-:	16			F	FP: 8-1	16			FI	FP: 4-1	.6			2	<u>(2-20</u>	)			-
$N_{MGr}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FM	
N <sub>ID</sub>						1				PKÜ						1					% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
197	0	20	0	0	0	0	11	0	0	11	0	15	0	0	8	0	0	26	0	0	20	5
369	20	0	40	0	40	22	22	44	11	44	15	15	31	8	38	0	0	47	0	0	44	5→6
257 264	<b>100</b> 60	60 <b>100</b>	<b>80</b> 60	80 80	60 40	<b>100</b> 67	67 <b>100</b>	<b>78</b> 56	89 78	56 33	<b>100</b> 46	46 <b>100</b>	<b>85</b> 38	<b>92</b> 54	38 23	<b>100</b> 0	0 <b>100</b>	0	0	0	18 79	1
269	80	60	100	60	80	<b>78</b>	56	100	67	78	85	38	100	77	54	0	0	100	79	63	. 4	1
334	80	80	60	100	40	89	<b>78</b>	67	100	44	92	54	77	100	31	0	0	79	100	53	67	1
752	40	40	20	60	40	44	56	22	56	22	54	46	38	62	15	0	0	58	68	37	49	Gang
104	0	0	20	0	20	22	33	22	22	22	15	23	15	15	23	0	0	0	0	0	15	2(b?)
328	20	0	40	0	40	22	11	22	11	33	23	8	23	15	23	0	0	0	0	0	0	2
418	0	0	20	0	20	0	11	22	0	22	0	8	15	0	23	0	0	0	0	0	0	12c?
189	20	0	40	0	40	33	33	33	22	33	23	23	23	15	31	0	0	0	0	0	81	21V
83	80	40	60	60	80	78	44	78	67	78	85	31	85	77	54	0	0	0	0	0	76	4
374	20	20	0	40	0	33	44	11	44	0	31	31	15	38	15	0	0	0	0	0	20	4
77	0	20	0	0	0	0	11	0	0	11	0	15	0	0	8	0	0	0	0	0	48	5/14
85	0	20	0	0	0	11	22	11	11	0	8	23	8	8	8	0	0	0	0	0	72	6V
755	0	0	20	0	20	11	22	11	11	11	8	15	8	8	15	0	0	0	0	0	0	5
666	20	0	40	0	40	33	22	33	22	33	23	15	23	15	31	0	0	42	0	0	94	16?
310	0 40	20 0	0 20	0 20	0 20	11 33	22 11	11 11	11 22	0 22	8 31	23 8	8 15	8 23	8 15	0	0	0	0	0	0 57	5V 6V
685	20	0	40	0	40	22	22	22	11	22	15	15	15	8	23	0	0	0	0	0	34	6
650	20	0	40	0	40	33	22	33	22	33	23	15	23	15	31	0	0	0	0	0	57	7
368	20	20	0	40	0	33	33	11	44	0	31	23	15	38	8	0	0	0	0	0	0	8
263	20	0	40	0	60	22	22	22	11	33	15	15	15	8	31	0	0	0	0	0	76	10?
651	40	20	60	20	80	44	22	67	33	89	31	15	46	23	92	0	0	0	0	0	0	9/11
86	20	40	40	40	60	33	56	33	44	56	31	38	31	38	62	0	0	47	0	0	0	9/11
333	20	0	40	0	40	33	33	33	22	44	23	23	23	15	38	0	0	0	0	0	24	15
653	20	20	20	20	40	22	11	33	22	44	15	8	23	15	46	0	0	0	0	0	50	13c
751	0	0	0	0	20	11	0	22	11	33	8	0	15	8	31	0	0	0	0	0	0	9/11
88	0	0	0	0	0	11	22	0	11	0	8	15	0	8	8	0	0	0	0	0	57	14
80	20	20	20	20	40	22	11	33	22	44	15	8	23	15	31	0	0	0	0	0	36	13c?
592	60	40	80	40	100	56	33	78	44	100	38	23	54	31	100	0	0	63	53	<b>100</b> 0	58 0	1 Kolsås 12b
655 750	20 20	20 20	0 20	40 20	0 40	33 22	44 11	11 33	44 22	0 44	31 15	31 8	15 23	38 15	15 31	0	0	0	0	0	0	11/12b
87	80	60	100	60	<b>80</b>	67	44	67	56	67	62	31	62	54	62	0	0	0	0	0	100	13c
89	20	40	20	20	40	22	44	22	22	22	38	38	38	38	15	0	0	0	0	0	4	13c
90	20	40	20	20	40	22	33	22	22	22	38	31	38	38	15	50	0	0	0	0	0	13c
347	0	0	0	0	0	0	11	11	0	11	0	8	8	0	8	0	0	0	0	0	28	13V
658	0	0	0	0	0	0	11	11	0	11	0	8	8	0	8	0	0	0	0	0	0	13V
76	20	20	20	20	40	33	22	44	33	56	23	15	31	23	54	0	0	0	0	0	71	14aL
352	0	20	20	20	40	11	33	11	22	22	15	23	15	23	23	0	0	0	0	0	64	6
463	20	20	20	20	20	33	22	44	33	44	23	15	31	23	31	0	0	0	0	0	74	14Ø
657	0	0	20	0	40	22	11	44	22	56	15	8	31	15	46	0	0	47	0	0	83	14(cØ?)
662	20	20	20	20	40	22	11	33	22	44	15	8	23	15	38	0	0	0	0	0	50	14Ø
665	0	0	0	0	0	22	33	11	22	11	15	23	8	15	15	0	0	0	0	0	80	13/14
199	20	0	40	0	40	22	11	22	11	22	23	8	23	15	15	0	0	0	0	0	0	19V?
349	40	0	20	20	20	33	11	11	22	22	31	8	15	23	15	0	0	0	0	0	55	2 (Tønsberg?)
474 611	20 40	0 20	40 20	0 40	40 40	33 44	33 33	33 33	22 44	44 33	23 38	23 23	23 31	15 38	38 46	0	0	0	0	0	57 21	6 Gang
660	0	0	0	0	20	0	33 11	33 11	0	22	38 0	23 8	31 8	38 0	23	0	0	0	0	0	47	Gang
000	J	J	J	J	20	J	-11	-11	J	~~	J	J	J	J	د2	J	J	J	U	<u> </u>	47	Cana

**Tab.2:** Mustergruppen von RP1-ähnlichen Proben (Analyse mit verschiedenen FFP-Kombinationen oder mit allen Para metern)

Proben als eigener Merkmalstyp separierbar (P257, P264 und P592), während die anderen beiden eine relativ hohe Ähnlichkeit von 79% aufwiesen (P269 und P334). Die nach den höchsten PKÜ-Werten sortierten Geschiebeanschnitt-Bilder von Mitgliedern der Mustergruppe für P269 dienen dem Vergleich der vom Verfahren generierten Werte mit dem visuellen Eindruck (Anhang Abb.4a). Die Beispiele zeigen, dass die Flächenform das wesentliche Erkennungsmerkmal für RP1-typähnliche Proben darstellt, die sich unter Berücksichtigung aller Parameter noch weiter differenzieren lassen. Bekanntlich können hierzu auch bestimmte RP4-Varietäten gehören, die sich als Geschiebefund visuell kaum von einer RP1-Varietät unterscheiden lassen.

#### RP5/6-Merkmalstypen

Bestimmte RP-Laven fallen durch eine besonders hohe oder niedrige Flächenzahl (FZ) der XX auf. Hierzu gehören bekanntlich u.a. bestimmte RP5-, RP6- und RP2-Varietäten, bei denen außerdem die kleine Korngröße der ggf. vorhandenen zweiten Einsprenglingsgeneration charakteristisch sein kann, was wiederum besondere FS-Werte verursacht. Trägt man die FZ- gegen die FS-Werte auf, wird die



**Abb.2:** Flächenzahl(FZ)-abhängige Flächensumme (FS) der analysierten RP-Proben (rot: RP2-ähnlich; blau: RP5/6-ähnlich)

Sonderstellung der RP5/6- und RP2-ähnlichen Varietäten erkennbar (Abb.2). Letztere tendieren zu niedrigen FZ- und FS-Werten, erstere eher zu hohen FZ- und mittleren FS-Werten. Beide Merkmalsgruppen nehmen im Diagramm eine Grenzposition ein, die sich sowohl untereinander, als auch von den übrigen Proben abgrenzt; in einigen Fällen können diese beiden Parameter für eine Zuordnung offensichtlich ausreichen. Es wurde nun geprüft, welchen Einfluss ihre Kombination mit Größenparametern auf die Typisierung hat.

Die Ähnlichkeitsprofile der als RP5- und RP6-ähnlich eingestuften Proben (Abb.3d) zeigen, dass dies für einige Varietäten möglich ist. Wendet man die GP, kombiniert mit den Parametern F, maxD und minD der insgesamt 4 FGP an (Tab.3:  $N_{MGr}$  = 21-26), wiesen die Proben P85, P667, P685 und P755

identische MGr-Mitglieder mit hohen PKÜ-Werten auf, während P77 den Proben ohne markante RP5/6-Merkmale (P374 und P199) glich und P310 ein eigener Merkmalstyp war. Bei P77 könnte es sich auch um eine RP5-ähnliche RP14-Varietät handeln.

Wird zusätzlich der zum Nachweis einer ggf vorhandenen zweiten XX-Generation definierte Parameter HV benutzt (Tab.3:  $N_{MGr}$  = 27-32), wurden die Profile differenzierter: P85 und P667 blieben sich ähnlich, aber P685, P755 und P310 wurden eigene Merkmalstypen. Die zugehörigen HV-Werte (HV-Spalte in Tab.3) verdeutlichen, dass P310 und P685 wegen der hohen Beträge eher RP6-Merkmale, P85 und P667 aber eher RP5-Merkmale aufweisen. Für P685 und P755 waren mit HV die Klassendifferenzen so groß, dass das Prüfkriterium der Übereinstimmung im Standardverfahren (s.o.) nicht zutraf, was für den lokalen RP6-Typ P310 aufgrund des extrem hohen FZ-Wertes von Anfang an der Fall war (Abb.2: FZ-Wert > 9  $n_{XX}$ /cm²). Da die HV-Beträge von P85 und P667 etwas höher als

$N_P$			∑(2,3;	17-19	)				∑(2,3;	17-20	)				
$N_{\text{MGr}}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	HV	FM	
N <sub>ID</sub>						PKÜ	% <sub>∑P</sub>						% <sub>Max</sub>	% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
374	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	27	20	4
77	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	15	48	5/14
85	0	100	100	100	80	0	0	100	83	0	0	0	38	72	6V
755	0	80	80	80	100	0	0	0	0	0	100	0	27	0	5
667	0	100	100	100	80	0	0	83	100	0	0	0	47	0	5V
310	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	96	57	6V
685	0	100	100	100	80	0	0	0	0	100	0	0	100	34	6
199	100	0	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	31	0	19V?

N <sub>P</sub>			∑(4	-16)					∑(2	-20)					
$N_{MGr}$	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	HV	FM	
N <sub>ID</sub>						PKÜ	% <sub>∑P</sub>						% <sub>Max</sub>	% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
374	8	23	23	23	23	38	37	0	0	0	0	0	27	20	4
77	100	69	69	38	38	54	100	0	0	0	0	0	15	48	5/14
85	69	100	100	31	31	38	0	100	95	0	0	0	38	72	6 <b>V</b>
755	38	31	31	92	100	54	0	0	0	0	100	0	27	0	5
667	69	100	100	31	31	38	0	95	100	0	0	0	47	0	5V
310	54	38	38	62	54	100	0	0	0	0	0	100	96	57	6V
685	38	31	31	100	92	62	0	0	0	100	0	0	100	34	6
199	38	31	31	85	77	77	53	0	0	0	0	0	31	0	19V?

**Tab.3:** Mustergruppen von RP5/6-ähnlichen Proben (Analyse mit verschiedenen GP/FGP-Kombinationen, mit FFP oder mit allen Parametern)

die von P755 lagen, könnte es sich bei den ersteren um RP5→6 Übergangsformen handeln. Die relativ hohe Ähnlichkeit von P77 mit P374 und P199 blieb erhalten. Die durch den ausschließlichen Gebrauch der FFP ohne Vorselektion erhaltenen PKÜ-Werte (Tab.3: N<sub>MGr</sub> = 33-38) deuteten eine hohe Ähnlichkeit der XX-Flächenformen zwischen einerseits P85 und P667 und andererseits P755 und P685 an; überraschend wenig dagegen ähnelten sie sich bei P667 und P685, wenn man dies mit dem visuellen ersten Eindruck vergleicht (Anhang Abb.3d). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen,

dass beim Vorliegen vieler kleiner Einsprenglinge Formunterschiede ohne genauere Betrachtung mittels Lupe weniger auffallen.

Setzt man alle Parameter unter Standardbedingungen ein (Tab.3:  $N_{MGr} = 39-44$ ), glichen die PKÜ-Werte etwa denen, die mit den GP und FGP erzielt wurden (Tab.3:  $N_{MGr} = 27-32$ ). Die zusätzliche Beteiligung der FFP reduzierte jetzt deutlich alle Ähnlichkeiten, in die P374 und P199 zuvor involviert waren. Abbildung 4b (Anhang) ermöglicht wieder den Vergleich der visuellen Eindrücke mit den PKÜ-Werten für das Standardverfahren und bei ausschließlicher Verwendung der FFP.

Das Beispiel zeigt, dass GP und FGP ausreichen können, um bestimmte RP5/6-ähnliche Merkmalstypen von anderen zu unterscheiden. Über die Flächenformen kann dann eine weitere Differenzierung möglich sein.

#### **RP2-Merkmalstypen**

Die gleiche Vorgehensweise wurde auf RP2-ähnliche Proben (P104, P328, P418, P368 und P349; Anhang Abb.3b) angewendet. Hier ließen die GP- und FGP-abhängigen PKÜ-Werte lediglich bei P104 und P349 eine hohe Übereinstimmung erkennen (Tab.4a:  $N_{MGr} = 45-49$ ), die sich bei exklusiver Anwendung der FFP (Tab.4a:  $N_{MGr} = 50-54$ ) nur für P328 und P349 andeutete. Beim Einsatz aller Parameter wurden auch P104 und P349 deutlich unterscheidbar (Tab.4a:  $N_{MGr} = 55-59$ ).

N <sub>P</sub>	∑(2	,3;17-	19 od	er 17-	20)		2	∑(4-16	)			2	2-20	))				
$N_{MGr}$	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	HV	FM	
N <sub>ID</sub>							F	κü % <sub>2</sub>	P							% <sub>Max</sub>	% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
104	100	100	0	0	0	100	31	38	62	23	100	47	0	0	0	60	15	2(b?)
328	0	0	100	0	0	38	77	100	54	31	0	0	100	0	0	34	0	2
418	0	0	0	100	0	62	46	54	100	15	0	0	0	100	0	43	0	12c?
368	0	0	0	0	100	23	54	31	15	100	0	0	0	0	100	55	0	8
349	100	100	0	0	0	31	100	77	46	54	47	100	0	0	0	34	55	2( Tønsb.?)

**Tab.4a:** Mustergruppen von RP2-ähnlichen Proben (Analyse mit GP/FGP-Kombinationen, mit FFP oder mit allen Parametern)

$N_P$			∑(2,3)				∑(2	2,3;17-	19)			∑(2	2,3;17-	20)				
$N_{MGr}$	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	HV	FM	
N <sub>ID</sub>							Р	KÜ %∑	P							% <sub>Max</sub>	% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
104	100	100	0	0	0	100	100	0	0	0	100	83	0	0	0	60	15	2(b?)
328	0	0	100	100	0	0	0	100	60	0	0	0	100	67	0	34	0	2
418	0	0	100	100	0	0	0	60	100	0	0	0	67	100	0	43	0	12c?
368	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	55	0	8
349	100	100	0	0	0	100	100	0	0	0	83	100	0	0	0	34	55	2 (Tønsb.?)

**Tab.4b:** Mustergruppen von RP2-ähnlichen Proben (Analyse mit GP oder mit GP/FGP-Kombinationen unter modifizierten Verfahrensbedingungen: Details siehe Text)

Diese Ergebnisse warfen die Frage auf, ob bei den vorhandenen Probemerkmalen andere Varianten des Verfahrens erlaubten, einzeltypübergreifende Gemeinsamkeiten darzustellen. Es lag nahe,

hierfür zunächst die Anzahl der Parameter zu reduzieren, aber gleichzeitig das Prüfkriterium  $\lim \Delta N_K$  von 1 auf 0 einzuengen. Unter diesen Voraussetzungen resultierte durch alleinige Verwendung der GP (Tab.4b:  $N_{MGr}$  = 60-64) eine vollständige Übereinstimmung von P104 mit P349 und von P328 mit P418. Die Ähnlichkeit der Merkmale blieb auf reduziertem Niveau aber nur erhalten, wenn bei der Kombination mit den FGP (Tab.4b:  $N_{MGr}$  = 65-69 und 70-74) deren Prüfkriterium  $\lim \Delta N_K$  von 1 auf 2 erhöht wurde. Somit können bestimmte Merkmalsverwandtschaften zwischen M-RPs mit größeren Unterschieden bestimmter Parameterwerte erst nach Änderung der Randbedingungen auffallen.

Zur RP8-ähnlichen Probe P368 sei noch erwähnt, dass der auffällig erhöhte HV-Wert möglicherweise das Vorliegen einer zweiten XX-Generation andeutet. Zumindest ist die Existenz unterschiedlicher Varietäten bekannt (RP8a und b: vsk).

Die Probe P418 hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Schwarzweißfotografie der Varietät RP12c in einer Publikation von Holtedahl (1943; Anhang Abb.3b). Es sei angemerkt, dass die Mehrzahl der sehr kleinen Einsprenglinge aufgrund ihrer rundlichen Umrisse mit grünlichen, rötlich- (Glas?) oder schwarzbraunen Mineralen gefüllte Blasenhohlräume sind, die im ImageJ-Verfahren von den ähnlich großen, gelblichgrauen (5Y 7/2) Feldspäten in der dunkelgrauen (N3) Matrix nicht unterschieden werden. Eigentlich müsste der für P418 ermittelte HV-Wert deutlich höher sein, da viele der in dieser Probe zahlreich vorhandenen Einsprenglinge im praktizierten Verfahren nicht erfasst werden, weil hierfür ein minimaler Flächeninhalt von 1,00 mm² festgelegt wurde (aus einem RP6- wurde ein RP2-Typ). Die Sachlage ist somit komplex. Der Autor besitzt einen weiteren Geschiebefund (Anhang Abb.3b), der einer publizierten Abbildung der als RP12c bezeichneten Varietät ähnlich sieht (Jensch 2013a). Die Feldspäte dieser Probe (FM =  $0 \, \text{M}_{\text{Max}}$ ) sind bräunlich bis hellbraun (5YR 4/4 bis 6/4), die großen Einsprenglinge erscheinen zum Teil zusammengesetzt und haben manchmal gerundete Kristallflächen, die angefeuchtete Matrix ist tiefdunkelrot (10R 2/2) und, im Gegensatz zu P418, deutlich Kalzit-haltig (HCl-Probe), was wiederum mit der von Holtedahl erwähnten Eigenschaft dieses Gesteins übereinstimmt (1943, S.38). Bei der irrtümlich als Ospeskog-Typ bezeichneten RP12c-Probe der Vendsyssel Stenklub-Fotogallerie handelt es sich um die Varietät RP12x (s. Holtedahl 1943, S.10; persönliche Mitteilung von H. Arildskov). Somit könnten unterscheidbare RP12c-Varietäten existieren, zumal neben dem Bærum-Sørkedal Kessel (Oftedahl 1952, S.33) auch das Vestfold-Gebiet (Oftedahl 1967, S.207) als Herkunftsort erwähnt wird.

### **Andere RP-Merkmalstypen**

In den Tabellen 5a und 5b sind die Mustergruppen und ihre PKÜ-Werte für die übrigen RP-Proben zusammengefasst. Die Mehrzahl zeigten nur mäßige, einige aber auch größere Übereinstimmungen der Merkmale ihrer MGr-Mitglieder.

P197 und P369 vermitteln visuell einen sehr ähnlichen Eindruck (Anhang Abb.3d) und besetzten zusammen mit P657 (Tab.5a:  $N_{MGr}$  = 75, 76 und 78) die gleichen GP- und FGP-Klassen, sodass die Unterschiede ihrer Merkmale ausschließlich von der Flächenform abhingen. In einer separaten Untersuchung wurden die FFP in zwei Gruppen unterteilt und zwar in solche Parameter, die vom XX-Umfang unabhängig (Tab.1:  $N_P$  = 4, 5, 7, 9, 11, 13 und 16) bzw. abhängig waren (Tab.1:  $N_P$  = 6, 8, 10, 12, 14 und 15), bevor P197 und P369 ausschließlich mit diesen FFP-Gruppen analysiert wurden. Die umfangunabhängigen Parameter führten zu einem PKÜ-Wert von 71%  $\Sigma_{P=7}$ , die abhängigen zu einem Wert von  $\Sigma_{\Sigma_{P=6}}$  (Parameterdefinitionen in *Material und Methoden*). Dies zeigt, dass die

Abweichungen zwischen diesen beiden Proben unter Standardbedingungen durch die jeweiligen Umfänge verursacht wurden (der mittlere XX-Umfang von P197 war um ca. 27% kleiner), möglicherweise eine Folge der relativ geringen analysierten Geschiebefläche. Hiervon abgesehen, enthielt P369 einen deutlich höheren Anteil ferrimagnetischer Minerale (Tab.5a: FM-Spalte). Es ist durchaus vorstellbar, dass dies zur natürlichen Variationsbreite eines varietätenspezifischen Lavastroms (hier vermutlich RP5K) gehören kann.

P76 ähnelte P657 genauso stark, wie letztere der Probe P369 (Tab.5a:  $N_{MGr}$  = 76-78). Der Bildvergleich (Anhang Abb.4c) für die Mitglieder der Mustergruppe von P657 (Tab.5a:  $N_{MGr}$  = 78) bestätigt die

$N_P$						∑(2	-20)							
$N_{\text{MGr}}$	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	FM	
N <sub>ID</sub>						PKÜ	% <sub>ΣP</sub>						% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
197	100	58	37	47	0	0	0	0	0	0	0	0	20	5
369	58	100	58	79	0	0	0	0	0	0	0	0	44	5→6
269	26	47	0	47	0	0	42	0	47	0	0	0	4	1
752	37	37	0	37	0	0	32	0	58	0	0	0	49	Gang
189	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	81	21V
374	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	20	4
77	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	48	5/14
666	0	0	0	0	0	0	100	47	0	68	0	0	94	16?
651	0	0	0	0	0	0	47	100	0	63	63	47	0	9/11
86	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	9/11
333	0	0	0	0	0	0	68	63	0	100	47	53	24	15
653	0	0	0	0	0	0	0	63	0	47	100	0	50	13c
751	0	0	0	0	0	0	0	47	0	53	0	100	0	9/11
655	37	42	0	37	53	0	0	0	58	0	0	0	0	12b
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	13c
347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	13V
658	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	13V
76	0	58	100	79	0	0	0	0	0	0	0	0	71	14aL
657	47	79	79	100	0	0	0	0	0	0	0	0	83	14(cØ?)
199	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	19V?

Tab.5a: Mustergruppen anderer RP-Proben (Analyse mit allen Parametern)

visuelle Ähnlichkeit der Flächenformen dieser drei Proben, und Abweichungen betreffen im Wesentlichen Farbunterschiede und Zonierungen. Relativ ähnlich waren auch P88, P347 und P658 (Tab.5b: N<sub>MGr</sub> = 87-89). Sie zeigen an RP13V erinnernde XX-Anschnittformen (Anhang Abb.4d), wobei sich bei ähnlichen Flächenformen die Matrixfarben von P347 (graubraun, 5YR 3/2) und P658 (graurot, 5R 4/2) etwas unterscheiden. Da die lokale Ende-Varietät eine eher dunkelrote (5R 3/4) Matrix aufweist, könnte es sich bei beiden Proben um den Soa-Typ handeln. Der ausgeprägte Ferrimagnetismus von P88 (Tab.5b: FM-Spalte) erinnert an eine RP6-Varietät, XX-Größe, -Form und -Verteilungsmuster ähneln der von P77, die Merkmale von RP12a aufweist (Tab.3, RP5-Typ).

Die Proben, die im Standardverfahren keine anderen MGr-Mitglieder aufwiesen, für die also in der untersuchten Reihe keine ausreichend übereinstimmenden Merkmalstypen vorhanden waren, sind in Tabelle 6 noch einmal zusammengefasst. Unter ihnen befindet sich mit P87 eine Probe, deren

N <sub>P</sub>						∑(2	2-20)							
$N_{MGr}$	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	FM	
N <sub>ID</sub>						PK	تٰ % <sub>Σ</sub> Ρ						% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
197	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	20	5
369	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	44	5→6
269	0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0	0	4	1
334	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	67	1
752	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	49	Gang
189	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	81	21V
374	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	20	4
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	48	5/14
651	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9/11
86	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0	0	9/11
333	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	15
751	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	9/11
88	100	79	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	14
80	0	0	0	100	0	0	0	0	0	58	0	0	36	13c?
655	0	0	0	0	0	100	0	0	42	0	0	53	0	12b
90	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	13c
347	79	100	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	13V
658	79	89	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13V
463	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	53	74	14Ø
657	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	83	14(cØ?)
662	0	0	0	0	0	42	0	0	100	0	0	0	50	14Ø
665	0	0	0	58	0	0	0	0	0	100	0	0	80	13/14
199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	19V?
474	0	0	0	0	0	53	0	53	0	0	0	100	57	6

**Tab.5b:** Mustergruppen anderer RP-Proben (Analyse mit allen Parametern)

	HV	FM	
N <sub>ID</sub>	% <sub>Max</sub>	% <sub>Max</sub>	RP-Varietät
418	43	0	12c?
83	29	76	4
650	28	57	7
263	19	76	10?
750	19	0	11/12b
87	47	100	13c
89	35	4	13c
352	39	64	6
611	17	21	Gang
660	12	47	Gang

**Tab.6:** Proben ohne MGr-Mitglieder (Analyse mit allen Parametern unter Standardbedingungen)

Flächenformen eine RP13-Varietät vermuten läßt (Anhang Abb.3j) und die sich als am stärksten ferrimagnetisch erwies.

Unter den RP7-Vergleichsproben (Anhang Abb.3e) befindet sich ein als RP10 typisierter Geschiebefund, der wegen seiner Ähnlichkeit hier mitaufgeführt ist. Aufgrund der nicht vitrophyrischen Matrix und deren Färbung wurde P650 als RP7-Typ mit geringer Zonierung eingestuft (vergleiche Probe P263, Anhang Abb.3g).

#### Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerungen

Die überwiegend arithmetischen Mittelwerte einer Reihe von insgesamt 19 Kenngrößen, die auf RP-Geschiebeanschnitten per Bildanalyse gemessen bzw. berechnet werden können, dienten als Parameter, um Eigenschaften der Einsprenglinge mit und ohne Gesteinsmatrix von 49 Proben einer willkürlichen Zusammensetzung zu charakterisieren. Hierfür wurde ein Excel-basiertes Verfahren entwickelt, das mittels Kombination dieser Parameter ermöglichte, Merkmalsähnlichkeiten quantitativ zu beschreiben. Es beruht im Wesentlichen auf dem Vergleich der Klassenzugehörigkeit der Parameterwerte, die sich nach deren Häufigkeitsanalyse ermitteln ließ. Dabei diente jede Probe als Merkmalsmuster einer bestimmten Eigenschaftskombination, mit der die anderen Proben verglichen wurden, um den prozentualen Anteil übereinstimmender Klassen zu berechnen (PKÜ $\%_{5P}$ ). Als Maß für die Übereinstimmung diente die Differenz der Klassennummern zwischen Muster und Probe, für die im Verfahren ein optionaler Grenzwert zur Auswahl der zu berücksichtigenden eingesetzt wurde. Die Übereinstimmung wurde Parameterwerte sequentiell parametergruppenweise geprüft, die zunächst von Merkmalen der Einsprenglinge in der Gesteinsmatrix, anschließend von ihrer Größe und abschließend von ihrer Form abhingen. Dabei wurden auch Parameterkombinationen und die Reihenfolge der Parametergruppen verändert. Proben, die nach diesem Auswahlverfahren mehr oder weniger mit dem Muster-RP (M-RP) übereinstimmten, wurden in Mustergruppen (MGr) zusammengefasst, in denen im Standardverfahren die PKÜ-Werte überwiegend relative Ähnlichkeiten von Flächenformen widerspiegeln.

Berücksichtigt man die existierende Varietätenvielfalt, konnte in der Teststudie das Auswerteverfahren nur an einer relativ kleinen, willkürlich zusammengestellten Stichprobe getestet werden. In der Stichprobenmenge stellte die Mehrzahl einen eigenen Merkmalstyp dar, der nur mäßig mit anderen MGr-Mitgliedern übereinstimmte. In Mustergruppen von merkmalsähnlichen Proben fielen die gemeinsamen Mitglieder durch relativ hohe PKÜ-Werte auf und der visuelle Vergleich mit typisierten Mustern (Anhang Abb.3) belegt deren erhöhte Ähnlichkeit. Ebenso veranschaulichen visuelle Beispiele die Einstufung der Unterschiede durch die im Verfahren ermittelten PKÜ-Werte (Anhang Abb.4).

Speziell für RP1-ähnliche Proben konnte die Flächenform als das wesentliche Erkennungsmerkmal identifiziert werden (Tab.2), im Gegensatz zu RP5/6- und RP2-ähnlichen Proben (Tab.3 und Tab.4a,b), bei denen Gesteins- und Flächengrößeparameter zur Identifizierung ausreichen können. In der Stichprobenmenge zeigten auch einige RP13- und RP14-ähnliche Typen (Tab.5a,b) weitgehend übereinstimmende Merkmalsmuster.

Die Ergebnisse zeigen, dass Werte, die von den Eigenschaften aller Einsprenglinge abhängen (z.B. Mittelwerte), ausreichen können, um relativ kleindimensionierte Geschiebeoberflächen anhand ihrer Merkmale zu unterscheiden. Die beschriebene Verfahrensweise erlaubt, bei speziellen Fragestellungen Anzahl und Art der verwendeten Parameter zu ändern, um trotz der vorhandenen Variationsbreite bestimmte Merkmalstypen zu erkennen. Die Ergebnisse verdeutlichen aber auch,

dass sich manche RP-Varietäten sehr ähnlich sein können und bei ihrer visuellen Zuordnung als Geschiebe die Bezeichnung "Typ" im eigentlichen Wortsinn eher eine Ähnlichkeit und weniger die Identität mit einer stratigraphischen Varietät bezeichnet. Ebenso belegt der Vergleich mit von Fachleuten eingestuften Proben, dass in manchen Fällen bestimmte Parameter, wie bspw. Färbung und/oder XX-Zonierung, für eine Zuordnung unverzichtbar sein können.

#### Danksagung

Der Autor möchte sich bei Herrn Prof. Dr. Peter Masberg (Mineralogisches Museum der Philipps-Universität Marburg; Emeritus seit Nov. 2019) für die korrigierenden Hinweise und Ergänzungen zur Entstehungsgeschichte der Einsprenglinge bedanken. Ein besonderer Dank geht auch an Herrn Dr. Heinz Hahn für die Entwicklung und Programmierung eines Rechenverfahrens zur Generierung zufälliger Schnittebenen durch Parallelepipede beliebiger Kantenlängen und -winkel im Vorfeld der hier beschriebenen Untersuchungen. Die Anwendung dieses Verfahrens auf unterschiedliche Formen von Modellkristallen hat das Verständnis und die Interpretation zweidimensionaler Kristallanschnitte auf Geschiebeoberflächen erheblich erleichtert.

#### Literaturverzeichnis

Andersen, T., Trønnes, R.G., Nilsen, O., and Larsen, A.O., 2008. Alkaline rocks of the Oslo Rift, SE Norway: A field trip with emphasis on felsic to intermediate intrusive rocks and their associated mineralizations. IGCP 510 field trip. August 1st to 5th, 2008, 1-54.

Cashman, K.V., 1993. Relationship between plagioclase crystallization and cooling rate in basaltic melts. Contrib. Mineral Petrol. 113, 126-142.

Cheng, L.-L., Yang, Z.-F., Zeng, L., Wang, Y. and Luo, Z.-H., 2014. Giant plagioclase growth during storage of basaltic magma in Emeishan Large Igneous Province, SW China. Contrib. Mineral Petrol. 167:971, 20 p..

Corfu, F. and Larsen, B.T., 2020. U-Pb systematic in volcanic and plutonic rocks of the Krokskogen area: Resolving a 40 million years long evolution in the Oslo Rift. Lithos 376-377 (2020) 105755

Dons, J.A. and Györy, E., 1966. Permian sediments, lavas, and faults in the Kolsås area of Oslo. Norsk Geologisk Tidsskrift 47, 57-77.

Haldan, M.M., Meijers, M.J.M., Langereis, C.G., Larsen, B.T. and Heyer, H., 2014. New palaeomagnetic results from the Oslo Graben, a Permian Superchron lava province. Geophys. J. Int. 199, 1554-1571.

Harnik, A.B., 1969. Strukturelle Zustände in den Anorthoklasen der Rhombenporphyre des Oslogebietes. Schweiz. mineralog. petrograph. Mitt. 49 (3), 509-567.

Hawkesworth, C.J., Blake, S., Evans, P., Hughes, R., Macdonald, R., Thomas, L.E., Turner, S.P. and Zellmer, G., 2000. Time scales of crystal fractionation in magma chambers – Integrating physical, isotopic and geochemical perspectives. J. Petrology 41 (7), 991-1006.

Heyer, H., 1967. Rhombeporfyr-stratigrafi vest for Holmestrand. Norges Geologiske Undersøkelse 225, 86-96.

Higgins, M.D., 1994. Numerical modeling of crystal shapes in thin sections: Estimation of crystal habit and true size. American Mineralogist, 79, 113-119.

Higgins, M.D. and Chandrasekharam, D., 2007. Nature of Sub-volcanic Magma Chambers, Deccan Province, India: Evidence from Quantitative Textural Analysis of Plagioclase Megacrysts in the Giant Plagioclase Basalts. J. Petrology 48 (5), 885-900.

Holtedahl, O., 1943. Studies on the igneous rock complex of the Oslo region I. Some structural features of the district near Oslo. Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo I. Mat.-Naturv. Kl. 1943. No.2, 36.

Jensch, J.-F., 2013a. Bestimmungspraxis Rhombenporphyre. Der Geschiebesammler 46 (2-3), 47-103.

Jensch, J.-F., 2013b. Korrekturen zu Bestimmungspraxis Rhombenporphyre. Der Geschiebesammler 46 (4), 120.

Larsen, B.T., Olaussen, S., Sundvoll, B. and Heeremans, M., 2008a. The Oslo rift and North Sea in the Carboniferous and Permian, 359-251 Million years ago. In: Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. and Ragnes, K. (eds.) 2008, The Making of a Land – Geology of Norway. Trondheim. Norsk Geologisk Forening, 260-303.

Larsen, B.T., Olaussen, S., Sundvoll, B. and Heeremans, M., 2008b. The Permo-Carboniferous Oslo Rift through six stages and 65 million years. Episodes 31 (1), 52-58.

Larsen, B.T., Olaussen, S., and Sundvoll, B., 2008c. 33. IGC Excursion 23, 15. -17. August 2008, The Carboniferous – Permian Oslo Rift, The northernmost Rotliegendes and Variscan in Europe. Notes to the localities, map and photos.

Maresch, W., Schertl, H.-P. und Medenbach, O.(Edit.), 2016: Gesteine Systematik, Bestimmung, Entstehung. Dritte, korrigierte und ergänzte Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 51-53.

Neumann, E.-R., 1980. Petrogenesis of the Oslo Region Larvikites and Associated Rocks. J. Petrology, 21 (3), 499-531.

Neumann, E.-R., 1994. The Oslo Rift: P-T relations and lithospheric structure. Tectonophysics 240 (1), 159-172.

Neumann, E.-R., Dunworth, E.A., Sundvoll, B.A. and Tollefsrud, J.I., 2002. B<sub>1</sub> basaltic lavas in Vestfold–Jeløya area, central Oslo rift: derivation from initial melts formed by progressive partial melting of an enriched mantle source. Lithos 61, 21-53.

Neumann, E.-R., Wilson, M., Heeremans, M., Spencer, E.A., Obst, K., Timmerman, M.J. and Kirstein, L., 2004. Carboniferous-Permian rifting and magmatism in southern Scandinavia, the North Sea and northern Germany: a review. Geological Society, London, Special Publications, 11-40.

Oftedahl, C., 1948. Studies on the igneous rock complex of the Oslo region IX. The feldspars. Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo I. Mat.-Naturv. Kl. No.3, 1-71.

Oftedahl, C., 1952. Studies on the igneous rock complex of the Oslo region XII. The lavas. Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo I. Mat.-Naturv. Kl. No.3, 1-64.

Oftedahl, C., 1953. Studies on the igneous rock complex of the Oslo region XIII. The cauldrons. Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo I. Mat.-Naturv. Kl. No.3, 1-108.

Oftedahl, C., 1967. Magmen-Entstehung nach Lava-Stratigraphie im südlichen Oslo-Gebiete. Geol. Rundschau 57, 203-218.

Oftedahl, C., 1978a. Origin of the magmas of the Vestfold lava plateau. In: Petrology and geochemistry of continental rifts. Neumann, E.-R. and Ramberg, I.B. (eds). D. Reidel Publ. Co., 193-208.

Oftedahl, C., 1978b. Main geological features of the Oslo Graben. In: Tectonics and Geophysics of Continental Rifts. Volume Two of the Proceedings of the NATO Advanced Study Institute Paleorift Systems with Emphasis on the Permian Oslo Rift, held in Oslo, Norway, July 27 – August 5, 1977, Ramberg, I.B. and Neumann, E.R. (eds.), 149-165.

Resmini, R.G. and Marsh, B.D., 1995. Steady-state volcanism, paleoeffusion rates, and magma system volume inferred from plagioclase crystal size distributions in mafic lavas: Dome Mountain, Ne vada. J. Volcanol. Geotherm. Res. 68 (4), 273-296.

Sæther, E., 1962. Studies on the igneous rock complex of the Oslo region XVIII. General investigation of the igneous rocks in the area north of Oslo. Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo I. Mat.-Naturv. Kl. 1962. No.1, 10-46.

Scott, D.W., 1979. On optimal and data-based histograms. Biometrika, 66, 605-610.

Smith, J.V., 1974. Feldspar Minerals. Vol.2 Chemical and Textural Properties. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 267.

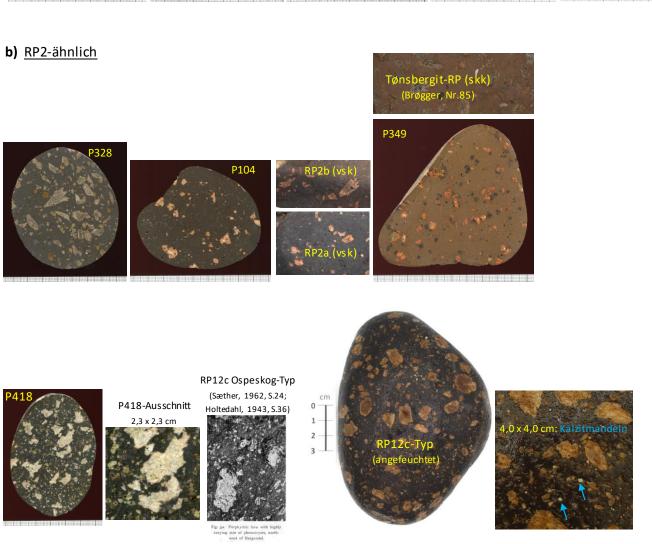
Tröger, W.E., 1969: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2, 2. Aufl., Bambauer, H.U., Taborszky, F. und Trochim, H.D. (Edit.), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

# **Anhang**

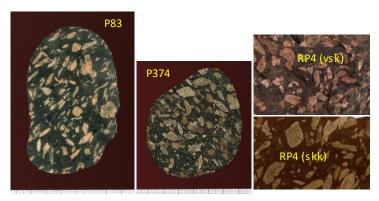
## Abb.3: Bildvergleich der untersuchten mit typisierten Proben

a) RP1-ähnlich

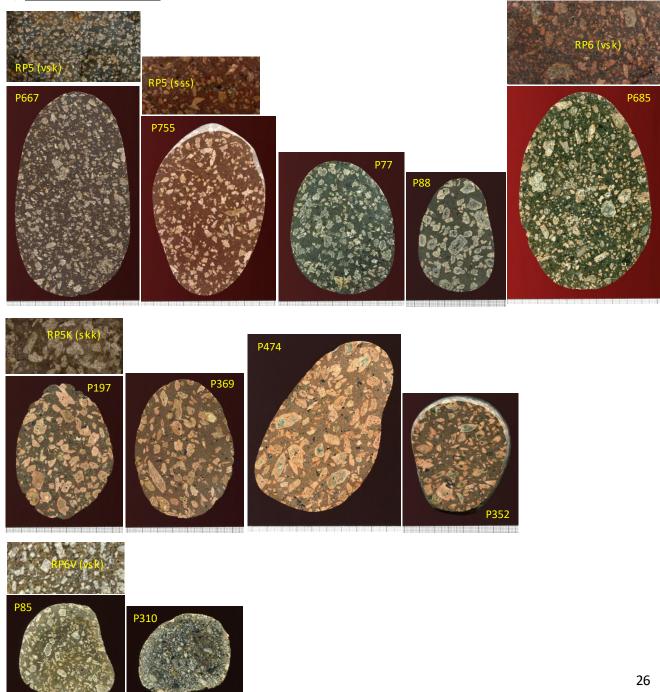




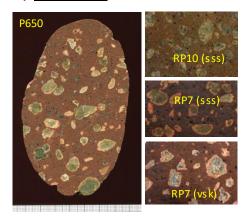
# c) RP4-ähnlich



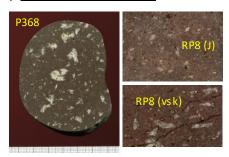
# d) RP5- oder RP6-ähnlich



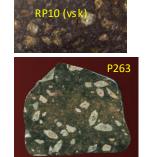
## e) RP7-ähnlich



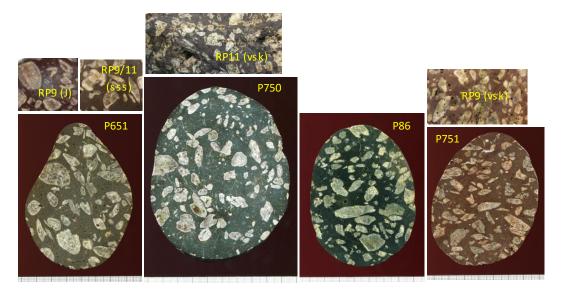
## f) RP8-ähnlich (RP2-Typ)



# g) RP10-ähnlich



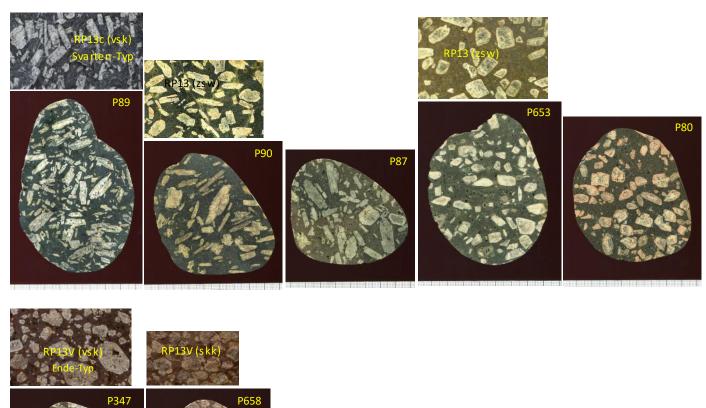
## h) RP9- bzw. RP11-ähnlich



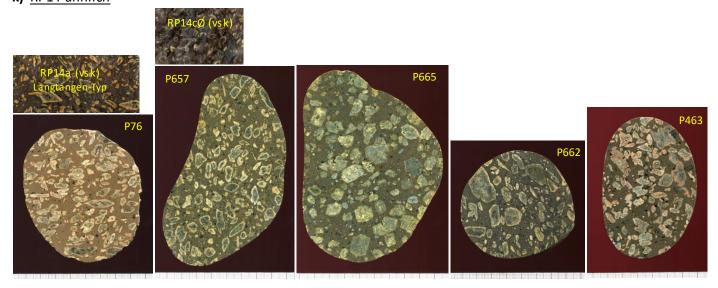
## i) RP12-ähnlich

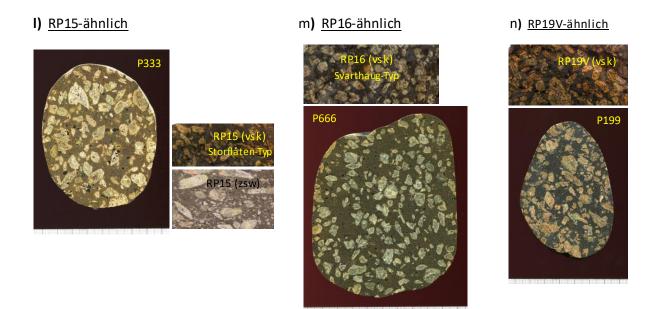


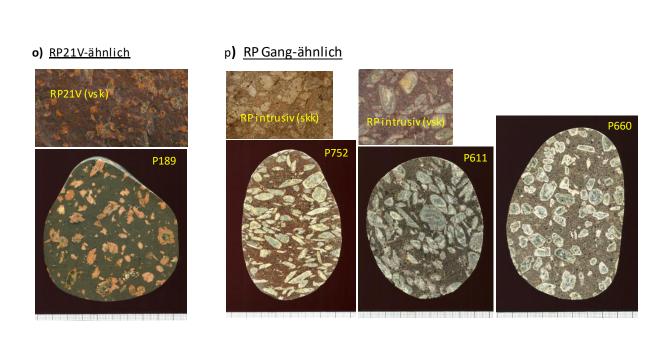
# j) RP13-ähnlich





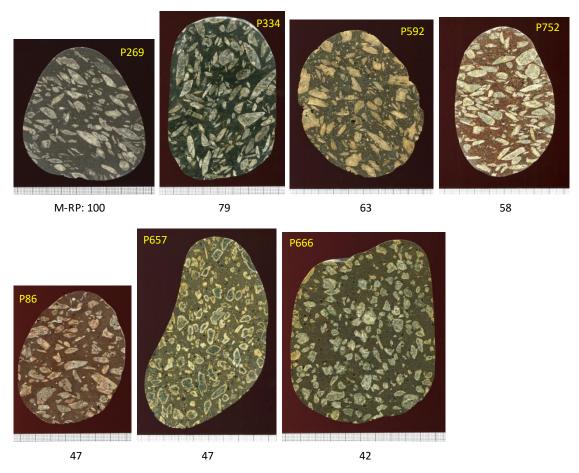




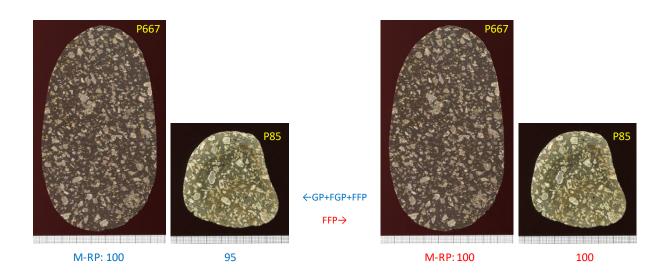


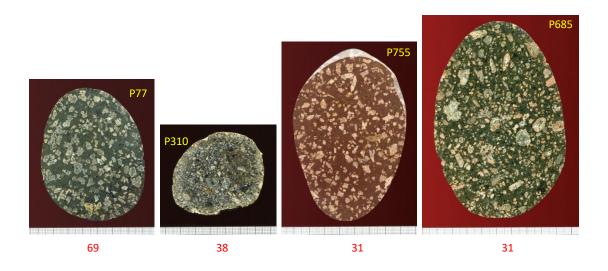
# Abb.4: Bildvergleiche nach quantitativen Übereinstimmungsmerkmalen (PKÜ-Beträge)

## a) RP1-ähnliche P269-Mustergruppenmitglieder (GP+FGP+FFP)

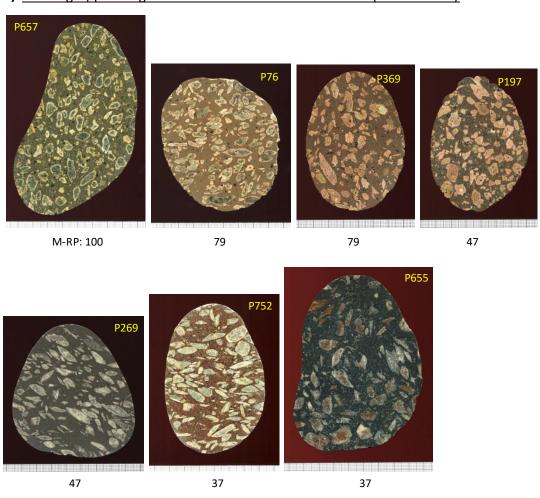


## **b)** RP5/6-ähnliche P667-Mustergruppenmitglieder





## c) Mustergruppenmitglieder der RP14-ähnlichen Probe P657 (GP+FGP+FFP)



## d) RP13V-ähnliche P658-Mustergruppenmitglieder (GP+FGP+FFP)

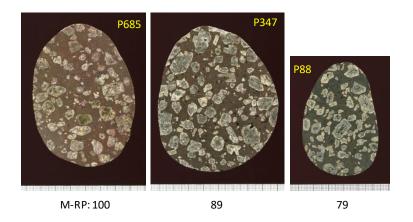


Abb.5: Beispiel-Bilder einer ImageJ-Analyse









c) ausgewertete Einsprenglingsflächen > 1,00 mm²