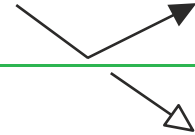


DR. BAERMANN & PARTNER

MIKROANALYTIK



Dr. Baermann & Partner · Hochallee 40 · D-20149 Hamburg

Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR
Frau S. Anders
Reimersbrücke 5
20457 Hamburg

- RÖNTGENLABOR
- MATERIALPRÜFUNG
- BAUSTOFFBEWERTUNG
- UMWELTGUTACHTEN

Mitglied im VDI, ITVA, DMG und
Bundesverband der Sachverständigen

Hochallee 40
D-20149 Hamburg

Telefon: 040 / 44 80 98 50
040 / 44 80 98 55

Telefax: 040 / 44 80 98 51

E-Mail: dr.baermann@t-online.de
www.baermannundpartner.de

Hamburg, den 16.05.2020
doc: g661-1-20

BV: Fernwärmesystemanbindung (FWS West) – Los 2

Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad an Sanden und Geschiebemergeln sowie Mineral- und Tonmineralanalysen

Bearbeitung: Dr. A. Baermann
G. Nastov
Dipl.-Geol. M. Lexau
B.Sc. P. Schüttenhelm
B.Sc. H. Schöneck
J. Maier

Bericht Nr.: G 661-1-2020

Stand: 16. Mai 2020

1 Auftrag und Veranlassung

Die Firma Dr. Baermann & Partner wurde von der Fa. Steinfeld und Partner mit Schreiben vom 06. März 2020 mit der Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad sowie Tonmineral-Analysen an insgesamt 10 Bodenproben beauftragt. Bei den Bodenproben handelt es sich um 4 Sande, 2 Geschiebemergel sowie 4 Tonproben, die im Rahmen des geplanten Schildvortriebs für die Fernwärmesystemanbindung (FWS West) im Bereich Los 2 in Hamburg entnommen worden sind.

Neben der Vermessung und Klassifizierung der einzelnen Mineralkörner in den Sedimenten sind entsprechende Fotodokumentationen an den Proben durchzuführen. Hierzu sollen Übersichtsaufnahmen von jeder Sedimentprobe sowie einzelne Detailaufnahmen und Mikrofotographien an den Körnerpräparaten aus den Kies-, Sand- und Feinsandfraktionen angefertigt werden.

Zielsetzung ist, die verschiedenen Sande und Geschiebemergel vollständig zu charakterisieren und eine Klassifizierung der auftretenden Kornformen vorzunehmen. Ferner sollen zur Beurteilung der Quellfähigkeit Ton-haltiger Sedimente an 2 Glimmerton-Proben und 2 Proben aus dem Lauenburger Ton, die jeweils aus verschiedenen Tiefenbereichen stammen, röntgendiffraktometrische Untersuchungen zur Mineral- und Tonmineralbestimmung durchgeführt werden.

2 Beprobung und Probenbeschreibung

Die Beprobung sowie die Auswahl repräsentativer Proben für die Untersuchungen aus bestimmten Tiefenlagen erfolgten durch die Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR.

Bei den eingelieferten Proben handelt es sich um 4 feinsandige Mittelsande mit Schluff- und Kiesanteilen sowie zwei als sandig eingestufte Geschiebemergel-Proben, an denen die Kornform und der Rundungsgrad bestimmt werden sollen.

Die tonmineralogischen Untersuchungen erfolgen an zwei Proben des Lauenburger Tones aus 17, 4 bzw. 35,5 m Tiefe sowie um eine Glimmerton-Probe aus 15,25 m Tiefe und einen aufgearbeiteten Glimmerton aus 24,4 m Tiefe.

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der Labornummern sowie die Bohrungs-Nummern mit den Entnahmetiefen und der Bodenart bzw. des Sedimentes. Die Einstufung der Bodenart wurde von der der Steinfeld und Partner GbR übernommen.



Tabelle 1: Probenliste

Labor-Nummer	Bohrung	Tiefe [m]	Bodenart
L 661-1-20	B02	19,0	Mittelsand, fs, gs“, g“
L 661-2-20	B03	28,3 – 28,5	Mittelsand, fs‘, gs‘
L 661-3-20	B04	38,6 – 38,9	Mittelsand, fs, gs‘, u“, g‘
L 661-4-20	WB03	12,7 – 12,8	Geschiebemergel, sandig
L 661-5-20	WB06	22,4 – 22,7	Fein- bis Mittelsand, u“, gs“, g“
L 661-6-20	B06	27,0 – 27,25	Geschiebemergel, sandig
L 661-7-20	B3	35,5	Lauenburger Ton (OT)
L 661-8-20	WB04	15,25	Glimmerton
L 661-9-20	WB06	24,4	Glimmerton, aufgearbeitet (TM)
L 661-10-20	WB01	17,4	Lauenburger Ton

Bei den eingelieferten Geschiebemergeln lag bei der Probe B 06 aus 27,0 bis 27,25 m Tiefe mit 5 % der höchste Anteil an Kiesen vor. Die mineralogischen Untersuchungen zeigen typische Bruchstücke verschiedener Geschiebearten. Der Anteil an abrasiven, teils scharfkantigen, splittrigen Flint-Bruchstücken lag bei etwa 20 % (siehe Abbildung 1).

Bei den kieshaltigen Mittelsanden zeigen sich in den Kiesfraktionen ebenfalls typische, nordische Geschiebebruchstücke, wobei der Anteil an abrasiven scharfkantigen Flinten hier etwa 10 % beträgt. In der Abbildung 2 sind die verschiedenen Geschiebereste und die Flinte in der Kornfraktion zwischen 2 bis 8 mm dargestellt. Die Geschiebebruchstücke bestehen aus Magmatiten und Metamorphiten, die überwiegend in Form von z. B. Quarziten, Graniten, Porphyren sowie Gneisen und Schiefen vorliegen, die ebenfalls eine abrasive Wirkung verursachen. Ebenso treten Sedimentgesteine in Form von Sandsteinen mit unterschiedlichen Bindemitteln und unterschiedlicher Härte auf.

In den Anlagen 1.1 bis 1.39 sind weitere Übersichts- und Detailaufnahmen der Einzelfractionen von den eingelieferten Proben dargestellt. Zusätzlich sind an jeder Probe Korngrößenanalysen durchgeführt worden, die in Form von Nass-Siebungen ausgeführt wurden. Hintergrund ist, dass für die Mikroskopie und die 3D-Vermessungen saubere Korn-Oberflächen vorliegen müssen, die mit üblichen Trockensiebungen nicht erzielt werden können.

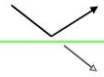


Abb. 1: Geschiebebruchstücke aus den Kiesfraktionen ($> 2\text{ mm}$) von Probe B 06 (Geschiebemergel) aus 27,0 bis 27,25 m Tiefe. Der Anteil an scharfkantigen Flinten beträgt ca. 20 %.



Abb. 2: Geschiebebruchstücke aus den Fraktionen 2000 – 8000 μm von Probe B 04 (kieshaltiger Mittelsand) aus 38,6 – 38,9 m Tiefe. Der Anteil an scharfkantigen Flinten liegt bei ca. 10 %.

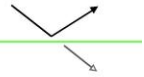


Aus den Nass-Siebungen zur Bestimmung der Kornverteilung sind die vorherrschenden Kornfraktionen für jede Probe ermittelt worden. In diesen ist jeweils die Kornform und der Rundungsgrad bestimmt worden. Um eine möglichst hohe Abdeckung zu erzielen, mussten teilweise auch drei Fraktionen untersucht werden.

Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der ermittelten Fraktionsanteile. Bei den Mittelsanden kann durch Auszählung der Mittelsand-Fraktion in Kombination mit der Feinsand- oder Grobsand-Fraktion bereits eine hohe Abdeckung von über 80 % Kornanteil für die Probe erreicht werden.

Tabelle 2: Korngrößenverteilung zur Ermittlung der vorherrschenden Kornfraktionen

			Fraktion	Kies und Steine	Grobsand	Mittelsand	Feinsand	Ton- und Schluff
Labor- nummer	Bodenart (Bohrung)	Tiefe [m]	Korn- größe [µm]	> 2000	630 - 2000	200 - 630	200 - 63	< 63
L 661-1- 20	Mittelsand (B02)	19,0	Anteil in %	1,9	7,6	66,6	22,4	1,5
					96,6			
L 661-2- 20	Mittelsand (B03)	28,3 – 28,5	Anteil in %	0,2	11,6	84,0	4,2	< 0,1
					99,8			
L 661-3- 20	Mittelsand (B04)	38,6 – 38,9	Anteil in %	4,6	13,3	60,9	19,5	1,8
					93,7			
L 661-4- 20	Geschiebe- mergel (WB03)	12,7 – 12,8	Anteil in %	0,9	4,9	42,9	31,0	20,2
					78,8			
L 661-5- 20	Fein-Mittel- Sand (WB06)	22,4 – 22,7	Anteil in %	0,5	1,4	70,1	26,0	2,1
					97,5			
L 661- 6a-20	Geschiebe- mergel (B06) A-Probe	27,0 – 27,25	Anteil in %	5,2	5,0	25,5	21,3	43,1
					51,8			
L 661- 6b-20	Geschiebe- mergel (B06) B-Probe	27,0 – 27,25	Anteil in %	2,8	5,0	24,9	22,5	44,8
					52,4			



Bei den Geschiebemergeln liegt die Abdeckung z. B. bei der B06 durch den teilweise hohen Schlämmkornanteil von 43 % nur bei etwa 50 %.

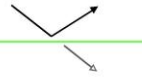
Da der Geschiebemergel von B 06 als sandig eingestuft war, erfolgte noch eine zweite Bestimmung zur Korngrößenverteilung (B-Probe). Auch in der B-Probe lagen mit 44,8 % Schlämmkornanteil gleiche Korngrößenfraktions-Verhältnisse wie in der A-Probe mit 43,1 % vor und auch die Fein-, Mittel- und Grobsandanteile stimmen bei beiden Proben sehr gut überein. Die Abweichungen beim Kiesanteil ergeben sich aus den auftretenden, unterschiedlichen Geschiebegrößen, da hier keine weiteren Differenzierungen vorgenommen bzw. beauftragt worden sind.

Aus den Übersichtsaufnahmen in den Einzelfractionen ist erkennbar, dass bei den vier Mittelsand-Proben in den Fein- und Mittelsand-Fractionen überwiegend Quarze und Quarzite vorherrschen. In den Grobsandfractionen finden sich neben den Quarzen und Quarziten auch vereinzelt Feldspäte sowie kleine Geschiebe-Bruchstücke und Flinte mit hoher Abrasivität.

Nur sehr vereinzelt treten Kalkbruchstücke, kalkige Sandsteine und biogene Kalke (stengelige Kalke) mit geringer Abrasivität auf.

Bei den Geschiebemergeln dominieren in den Fein- und Mittelsandfractionen ebenfalls Quarze und Quarzite mit unterschiedlichen Färbungen und Trübungsgraden. In den Grobsand-Fractionen sind neben den Quarzen und Quarziten auch wieder abrasiv wirkende Flint-Anteile und Gesteinsreste (Granite, Gneise) nachweisbar. Nur untergeordnet finden sich biogene Kalke und organisches Material (Braunkohlen) mit geringer Abrasivität.

Die Braunkohlen sind meist dunkelbraun bis schwarz gefärbt und verteilen sich - je nach Zerkleinerungsgrad – über alle Kornfractionen. Da die Kohlen nur in sehr geringen Anteilen vorkommen und keine abrasiven Eigenschaften besitzen, wurden diese auch nicht vermessen.



3 Untersuchungsmethoden und Ergebnisse zu Kornform und Rundungsgrad

Die umfassende Charakterisierung sowie die Klassifizierung der Proben erfolgte nach der EN ISO 14689-1. Der Sortierungs- bzw. Rundungsgrad wurde nach Pettijohn et al., 1973, und Nichols, 1999, bestimmt.

Die Einstufung erfolgte mikroskopisch je nach hoher oder geringer Kugeligkeit der Körner jeweils in die 6 Klassen zwischen sehr eckig (0) bis gut gerundet (5).

Zur Herstellung der mikroskopischen Präparate waren bei den Sanden Abtrennungen der größeren Partikel (z. B. der Kiesanteile) erforderlich, um einheitliche Arbeitsabstände am Mikroskop sicherzustellen. Zusätzlich erfolgten noch Separationen in die Fein-, Mittel- und Grobsandfraktionen durch Ausspülungen, um die Oberflächenstrukturen der Körner vollständig freizulegen und von Anhaftungen zu befreien, sodass diese Strukturen am Fotomikroskop und in der 3D-Vermessung sicher erfasst werden können.

Auch für die mikroskopischen Analysen an den Geschiebemergelproben sind die Fraktionen unterhalb von 63 µm ausgeschlämmt und gleichzeitig auch massemäßig bestimmt worden. Hierdurch konnten die teilweise auftretenden, mineralischen Verkittungen zwischen den Körnern nach der Probentrocknung vollständig gelöst und gleichzeitig auch weitere Beläge auf den Kornoberflächen durch Einsatz von Lösungsmitteln entfernt werden.

Nur auf diese Weise lässt sich der Rundungsgrad an den Kantenbereichen und auf den Bruchflächen unverfälscht und vollständig aufnehmen und darstellen.

Zur Bestimmung der Kornform sind die Achsenverhältnisse der Körner bestimmt worden. Die Untersuchungen und Auszählungen erfolgten einerseits an Körnerpräparaten am Auflichtmikroskop in den Sandfraktionen mit Hilfe eines pointer counters sowie einer neu entwickelten 3D-Vermessung mit Hilfe von drei steuerbaren Mikro-Kameras. Dies ermöglichte eine genaue, schrittweise Vermessung der X-, Y- und Z-Achsen an einzelnen Sedimentkörnern.

Die Abbildung 3 zeigt dazu beispielhaft Aufnahmen aus den drei Ebenen der Mikrokameras, mit deren Hilfe die jeweiligen 3 Achsenlängen X, Y und Z der einzelnen Mineralkörner vermessen worden sind.

Die X- und Y-Achse sind in rot bzw. in blau dargestellt, während die Z-Achse (c) in grün markiert ist.

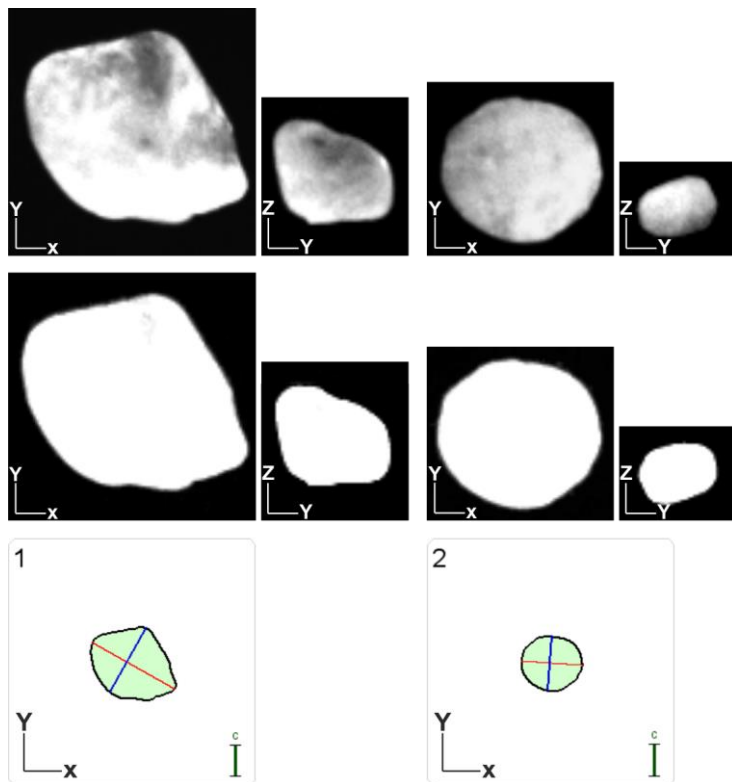
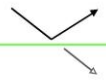


Abb. 3: 3D-Aufnahmen und Achsenvermessungen ausgewählter Mineral-Körner (Fraktion: 630 – 2000 µm) von B03, 28,3 – 28,5 m aus der automatischen Analyse

In der Anlage 1.5 sind beispielhaft die jeweils vermessenen Mineralkörner inkl. der ermittelten Achsenlängen für den Mittelsand aus der ersten Probe B 02 in der Fraktion 200 – 630 µm aufgeführt.

Die Klassifizierung erfolgte anhand der jeweils berechneten Achsenverhältnisse in die 4 Feld-Bereiche mit

- A: tafelig/plattig,
- B: isometrisch (oblate),
- C: flachstängelig (bladed) und
- D: stängelig (rodshaped)

ausgebildeten Körnern entsprechend der Kornform nach Zingg.

Die Anlagen 1.1 bis 1.39 zeigen dazu die Mikrofotographien und die entsprechenden Ergebnisse der Korn-Vermessungen für jede untersuchte Probe.

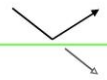


Ferner sind die Einzelmessungen in Form eines Plots in den jeweiligen Quadranten mit den Bereichen A, B, C und D dargestellt und ausgewertet worden.

Der jeweilige Mittelwert aus allen drei Achsvermessungen an den Sedimentkörnern ist im Plot jeweils als rote Raute markiert und innerhalb des Verteilungsbereiches im jeweiligen Feld eingezeichnet. Diese Untersuchungsergebnisse sind nachfolgend in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst worden.

Tabelle 3: Kugeligkeit und Kornform

Labor-Nummer	Bohrung	Tiefe [m]	Fraktion [µm]	Hohe Kugeligkeit [%]	Geringe Kugeligkeit [%]	B-Achse/ A-Achse Mittelwert	C-Achse/ B-Achse Mittelwert	Kornform-Klassifizierung (mod. nach Zingg)
L 661-1-20	B02	19,0	63 - 200	54,5	45,5	0,76 ± 0,13	0,70 ± 0,20	B/A
			200 - 630	77,5	22,5	0,80 ± 0,10	0,68 ± 0,17	B/(A)
			630 - 2000	78,0	21,0	0,80 ± 0,11	0,76 ± 0,13	B
L 661-2-20	B03	28,3 – 28,5	200 - 630	73,5	26,5	0,78 ± 0,11	0,67 ± 0,16	B/A
			630 - 2000	64,9	35,1	0,80 ± 0,12	0,73 ± 0,14	B/(A)
L 661-3-20	B04	38,6 – 38,9	63 - 200	62,5	37,5	0,74 ± 0,13	0,70 ± 0,18	B/A/D
			200 - 630	64,0	36,0	0,77 ± 0,11	0,68 ± 0,16	A/B
			630 - 2000	56,5	43,0	0,79 ± 0,11	0,74 ± 0,15	B/(A)
L 661-4-20	WB03	12,7 – 12,8	63 - 200	69,8	30,3	0,76 ± 0,13	0,71 ± 0,16	B/A/(D)
			200 - 630	69,0	31,0	0,76 ± 0,12	0,67 ± 0,15	A/B
L 661-5-20	WB06	22,4 – 22,7	63 - 200	61,1	38,9	0,76 ± 0,12	0,66 ± 0,19	A/B
			200 - 630	77,5	22,5	0,78 ± 0,12	0,71 ± 0,16	B/A
L 661-6a-20	B06	27,0 – 27,25	63 - 200 (A-Probe)	47,5	52,5	0,72 ± 0,14	0,72 ± 0,18	B/D/(A)
L 661-6b-20			63 - 200 (B-Probe)	60,0	40,0	-	-	-
			200 - 630 (A-Probe)	53,5	46,5	0,78 ± 0,12	0,68 ± 0,16	B/A
			200 - 630 (B-Probe)	57,5	42,5	-	-	-



Bei der ersten Probe B 02 ergibt sich primär eine isometrische Ausbildungsform B, die besonders in der Grobsandfraktion vorherrscht (siehe Abbildung 4, rechtes Bild). In der Mittelsandfraktion zwischen 200 bis 630 µm bleibt diese noch weitgehend erhalten, zeigt aber schon Tendenzen in Richtung leicht tafeliger Ausbildungsformen in Richtung von Quadrant A (siehe Anlage 1.4).

Mit kleineren Korngrößen vergrößern sich schließlich in der Feinsandfraktion dann die Anteile an tafelig ausgebildeten Körnern (siehe Abbildung 4, linkes Bild).

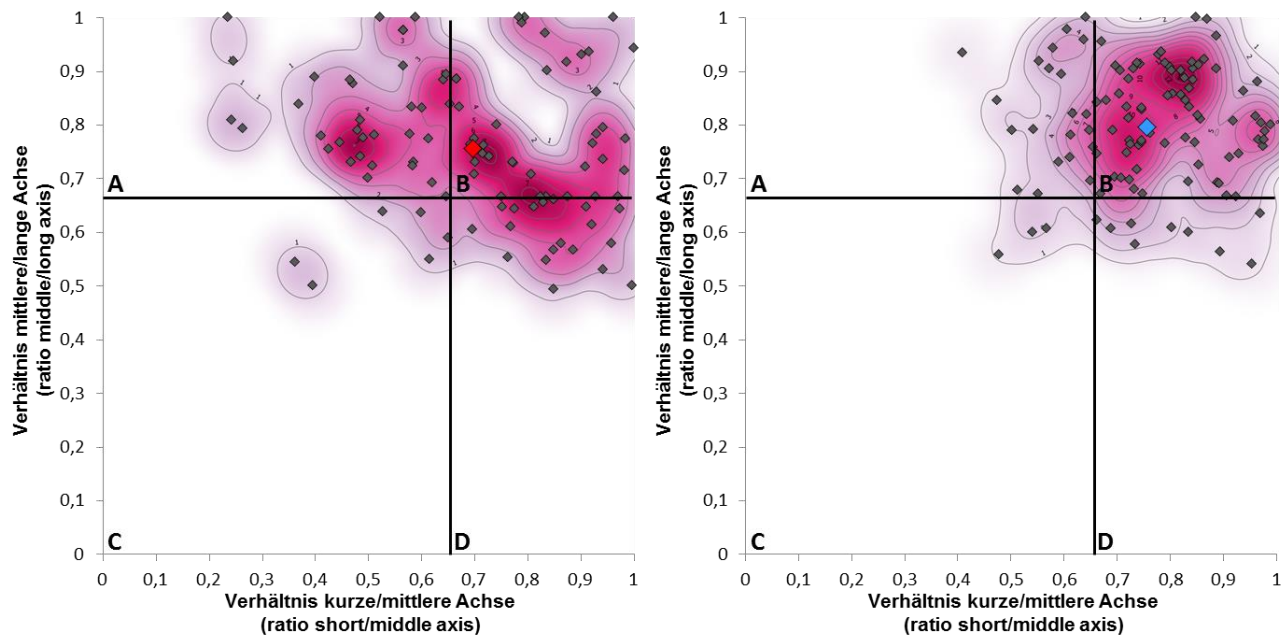
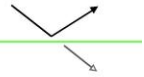


Abb. 4: Probe B02, 19,0 m (Fraktion 63 – 200 µm links und Fraktion 630 – 2000 µm rechts). Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (links: rot; rechts: blau): B/A = 0,76/0,80 (Standard-Abweichung: 0,13/0,11), C/B = 0,70/0,76 (Standard-Abweichung: 0,20/0,13)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

Bei der Bewertung zur Klassifizierung ist daher zu beachten, dass sich der Mittelwert aller ausgezählten Körner aufgrund möglicher Streuungen teilweise auch im Grenzbereich zwischen zwei Quadranten befinden kann. Dementsprechend werden dann auch beide Quadranten benannt, wobei sich der erstgenannte jeweils aus der interpolierten Dichte in der Häufigkeitsverteilung des plots ergibt. Überschneiden sich die plots etwa gleichrangig, werden auch beide Quadranten in gleicher Weise aufgeführt. Streuen die Werte nur geringfügig in einen Nachbarquadranten ein, wird dieser in der Einstufung geklammert in der Tabelle 3 dargestellt.



Bei einer hohen Streubreite können die Kornformen teilweise auch zu Quadranten-Überschreitungen führen, die sich auf drei Quadranten in unterschiedlicher Weise ausdehnen. Dies trat z. B. bei den beiden Geschiebemergelproben WB 03 und B 06 auf. Die überwiegend isometrische Ausbildung der Körner bleibt hier zwar bei beiden Proben erhalten, aber die WB 03 zeigt gleichzeitig auch tafelige Ausbildungen und streut zusätzlich teilweise schwach in Richtung D mit stängeliger Ausbildungsform, während sich bei Probe B 06 eher noch stängelige Ausbildungen zeigen und sich zusätzlich nur leicht in Richtung tafelige Ausbildung bewegen. Entsprechend sind derartige „leichte“ Verschiebungen in einen dritten Quadranten in der Tabelle 3 wieder geklammert angegeben worden. Auch der Anteil von 53 % mit geringer Kugeligkeit deutet bei B 06 schon an, dass diese Geschiebemergel-Probe einen großen Streubereich aufweist.

Verschiebungen in Richtung von Quadrant A mit tafeliger Ausbildung können insbesondere beim Auftreten in größeren Fraktionen Hinweise auf eher plattig ausgebildete Flinte geben, die durch deren meist Scherben-artig ausgebildete Morphologie verursacht werden.

Dies wird bei Probe WB 03 in der Fraktion zwischen 200 – 630 µm deutlich, deren Verteilungsbereich deutlich in Richtung Quadrant A verschoben ist. Ursache können hierfür erhöhte Anteile an Flintbruchstücken sein, die in den Kiesfraktionen deutlich nachweisbar sind und während der Genese in die Grob- und Mittelsandfraktionen miteingearbeitet worden sind.

Insofern kann bei den Kies- und Grobsandfraktionen eine Verschiebung in Richtung Quadrant A auch als Indikator für stark abrasiv wirkende Flint-Anteile genutzt werden, da in den Kiesfraktionen üblicherweise angerundete Geschiebe mit dementsprechend vorwiegend isometrischer Struktur vorherrschen.

Demgegenüber wären in den feineren Kornfraktionen Verschiebungen in Richtung A eher auf erhöhte Anteile an z. B. Phyllo-Silikaten zurückzuführen, deren Abrasivität gegenüber den dort meist vorherrschenden, gerundeten Quarzen und Quarziten deutlich geringer ist.

Der Tabelle 3 ist weiter zu entnehmen, dass aus der Kornform nicht automatisch auf den Grad der Kugeligkeit geschlossen werden kann. Eine überwiegend isometrische Ausbildungsform bedingt somit nicht automatisch auch eine hohe Kugeligkeit.

Aus der Kornform und der Kugeligkeit lassen sich auch noch keine unmittelbaren Rückschlüsse auf den Rundungsgrad der Körner ziehen. In Tabelle 4 sind daher die ermittelten Rundungsgrade 0 bis 5 von Körnern mit hoher und geringer Kugeligkeit zusammengefasst worden.

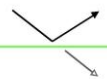


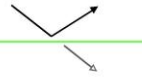
Tabelle 4: Rundungsgrad von Körnern mit hoher und geringer Kugeligkeit (Angaben in %)

Labor-Nummer	Bohrung	Tiefe [m]	Fraktion [µm]	0	1	2	3	4	5
L 661-1-20	B02	19,0	63 - 200	6,0	25,0	35,0	25,0	11,0	4,5
			200 - 630	5,8	21,8	30,0	27,0	13,3	2,3
			630 - 2000	1,5	4,5	20,0	29,0	27,0	17,0
L 661-2-20	B03	28,3 – 28,5	200 - 630	5,0	8,0	20,0	25,0	27,0	15,0
			630 - 2000	0,0	5,7	18,0	29,9	32,0	14,4
L 661-3-20	B04	38,6 – 38,9	63 - 200	0,0	19,5	34,5	23,5	20,0	2,5
			200 - 630	0,0	4,5	22,0	34,5	32,5	6,5
			630 - 2000	0,0	5,5	24,0	30,0	26,5	13,5
L 661-4-20	WB03	12,7 – 12,8	63 - 200	0,5	18,5	29,3	38,5	12,5	0,8
			200 - 630	0,0	2,5	18,0	23,0	32,0	24,5
L 661-5-20	WB06	22,4 – 22,7	63 - 200	2,7	11,2	28,9	37,7	16,7	2,7
			200 - 630	1,5	13,0	20,5	28,0	26,5	10,5
L 661-6a-20	B06	27,0 – 27,25	63 - 200 (A-Probe)	7,5	23,5	29,5	22,5	14,0	3,0
L 661-6b-20			63 - 200 (B-Probe)	5,5	15,0	23,0	26,0	18,5	12,0
			200 - 630 (A-Probe)	3,7	13,3	25,7	33,5	20,3	3,5
			200 - 630 (B-Probe)	0,5	12,5	20,0	24,0	28,5	14,5

Rundungsgrad (nach Pettijohn et al., 1973): **0** = sehr eckig, **1** = eckig, **2** = eckig mit beginnender Kantenrundung, **3** = angerundet, **4** = gerundet, **5** = gut gerundet

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, streut der Anteil an sehr eckigen Körnern z. B. in der Probe B 04 (feinsandiger Mittelsand) zwischen 0 % und maximal 6 % in der B 02 (feinsandiger Mittelsand).

Die höchsten Anteile an gut gerundeten Körnern (5) weist mit 24,5 % der Geschiebemergel von Probe WB 03 in der Mittelsand-Fraktion auf. In den Feinsand-Fractionen fällt der hohe Rundungsgrad (5) auf unter 1 % ab.



Ursache dafür ist, dass u. a. in den feineren Fraktionen die tafelig, plattigen Kornformen aufgrund der höheren Anteile an Schichtsilikaten zunehmen und damit der Rundungsgrad entsprechend stark abnimmt.

Der Anteil an sehr eckig (0) bis eckig (1) ausgebildeten Körnern erhöht sich dadurch auf etwa 19 %, während dieser Anteil in den Mittelsandfraktionen nur bei 2,5 % liegt.

In der weiteren Geschiebemergel-Probe B 06 ist dieser Trend noch deutlicher erkennbar. Die Anteile an eckigen Körnern steigen hier auf über 30 % an, wobei es sich hier nicht um stärker abrasiv wirkende, eckig ausgebildete Quarz-Körner, sondern um Anteile an plattigen, ausgefranst Schichtsilikaten wie Biotite und Muskovite mit geringerer Härte handelt (siehe Anlagen 1.21 bis 1.27).

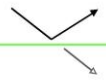
Die Einzelergebnisse der Kornformbestimmungen und Rundungsgrad-Einstufungen von allen untersuchten Proben sind in den Anlagen 1.1 bis 1.39 zusammen mit den Übersichtsaufnahmen der jeweils untersuchten Kornfraktionen dargestellt.

4 Tonmineralogische Untersuchungen

Die auftretenden Minerale und Tonminerale wurden durch röntgendiffraktometrische Untersuchungen (XRD-Analysen) bestimmt. Alle Untersuchungen erfolgten mit Kupfer-K-Alpha-Strahlung und einem Nickel-Filter im Winkelbereich zwischen 2 bis 70 ° bzw. 2 bis 40 ° für 2 Theta. Hierzu sind sowohl texturfreie Pulverpräparate, als auch Textur-Präparate (Sedimentationspräparate) für die Einzel-Untersuchungen in den Tonfraktionen angefertigt worden.

Die Proben sind im Ultraschallbad zunächst suspendiert und anschließend stabilisiert worden, um die Tonfraktionen vollständig auch aus den Schluff-Fraktionen ausschlämmen zu können. Damit wurde sichergestellt, dass auch der Anteil an Fein- und Mittelton in den Proben vollständig erfasst werden konnte. Dies ist insofern wichtig, da sich hier die Hauptaufenthaltsbereiche der quellfähigen Minerale befinden.

An den Textur-Präparaten erfolgten neben den Magnesium-Belegungen und Luft-Trocknungen auch verschiedene thermische Behandlungen sowie Bedampfungen mit Glycol und/oder Glycerin.



Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine Gegenüberstellung der Röntgendiffraktogramme an den unterschiedlich behandelten Textur-Präparaten zur Identifizierung und Quantifizierung der verschiedenen Minerale.

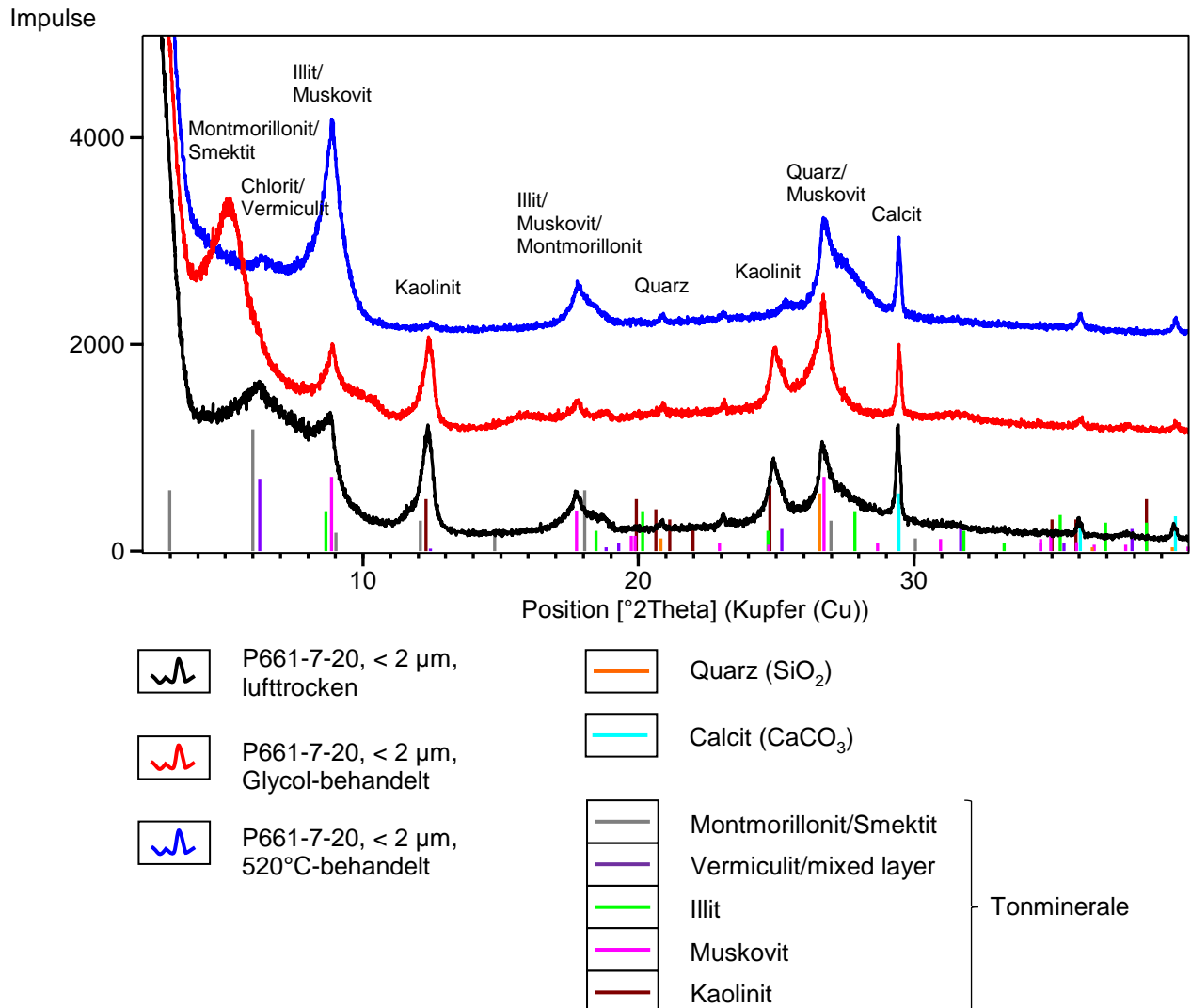


Abb. 5: Röntgendiffraktometrische Untersuchungen an P661-7-20, B 3, Lauenburger Ton aus 35,5 m Tiefe mit deutlichen Anteilen an quellfähigen Tonmineralen in Form von Montmorillonit (Smektiten). Ebenso sind Illit-/Muskovit, Kaolinit sowie Chlorite und Calcit nachweisbar, während Vermiculite bzw. mixed layer-Mineralen unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Anhand von Standards und Auswerteprogrammen lassen sich die Mineral-Zusammensetzungen größenordnungsmäßig abschätzen und ermöglichen eine halbquantitative Auswertung (siehe hierzu Tabelle 5). Die Auswertung der Röntgendiffraktogramme ergab, dass sich bei Probe B 3 im Lauenburger Ton bis in etwa 35 m Tiefe die höchsten Anteile an quellfähigen Tonen (Smektiten) in Form von Montmorilloniten nachweisen lassen. Die Smektit-Gehalte liegen hier in den Tonfraktionen bei etwa 45 %.

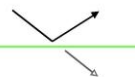


Tabelle 5: Mineral- und Tonmineralzusammensetzung

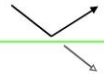
Labor-Nummer	Bohrung	Bodenart	Tiefe [m]	Smektit-Anteil [%]	Illit-/Muskovit-Anteil [%]	Kaolinit-Anteil [%]	Vermiculit-Anteil / mixed layer-Mineralie [%]	Chlorit-Anteil [%]	Calcit-Anteil [%]
L 661-7-20	B 3	Lauenburger Ton (OT)	35,5	45 – 47	23 – 25	16 – 18	< 2	2 – 4	8 - 10
L 661-10-20	WB 01	Lauenburger Ton	17,4	31 – 33	24 – 26	21 – 23	< 2	2 – 4	16 -18
L 661-8-20	WB 04	Glimmerton	15,25	20 – 22	43 – 45	32 – 34	< 2	< 2	< 1
L 661-9-20	WB 06	Glimmerton, aufgearbeitet (TM)	24,4	25 – 27	35 – 37	30 – 32	< 2	2 – 4	3 - 5

Bei dem Lauenburger Ton aus 17,4 m Tiefe (Probe WB 01) ließ sich demgegenüber nur ein Anteil von etwa 30 % an Smektiten bestimmen.

Im Glimmerton aus 15,25 m Tiefe (Probe WB 04) treten mit etwa 20 % die geringsten Smektit-Gehalte auf. Hier dominieren die Illit-/Muskovit-Mineralie mit rund 45 % und Kaolinit mit etwa 33 %. Vermiculit und Chlorit konnten in dieser Glimmerton-Fazies nicht nachgewiesen werden und liegen unterhalb der Nachweisgrenze von 2 %. Diese Glimmerton-Probe zeigt auch keine Calcit-Reflexe, sodass der Kalkgehalt zumindest in der untersuchten Tonfraktion unterhalb von 1% liegt. Weitere Untersuchungen zu anderen Karbonaten wie relativ feste Siderit-Bildungen (aus „Karbonat-Bänken“) und Ankerite sind nicht beauftragt worden.

Im aufgearbeiteten Glimmerton von Probe WB 06 werden demgegenüber geringfügig höhere Smektit-Gehalte von rund 25 - 27 % bestimmt und gehen zu Lasten des Illit-/Muskovit-Anteils der auf 35 % abnimmt. Der Kaolinit-Gehalt bleibt etwa gleich und liegt bei 32 %. Vermiculit konnte auch hier nicht nachgewiesen, aber Chlorit ist jetzt eindeutig nachweisbar und erreicht mit 2 bis 4 % ähnliche Werte wie der Lauenburger Ton. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Anteil an Calcit, der jetzt bis zu 5 % erreichen kann. Da in der WB 06 wohl keine andere Glimmerton-Fazies erbohrt wurde und es sich um eine Probe aus einem aufgearbeiteten Glimmerton handeln soll, könnten die höheren Smektit-, Chlorit- und Calcit-Gehalte durch Überprägungen vom Lauenburger Ton hervorgerufen worden sein.

In den Anlagen 2.1 bis 2.4 sind die Röntgendiffraktogramme für jede Tonprobe detailliert dargestellt.



Im Hinblick auf mögliche Verklebungseffekte beim Schildvortrieb ist beim Durchfahren der tonigen Sedimente auf den jeweiligen Tongehalt von Glimmerton und Lauenburger Ton zu achten. Auch wenn im Glimmerton mit nur 20 % Smektit-Anteil deutlich geringere Anteile an quellfähigen Mineralen als im Lauenburger Ton mit 45 % Smektit-Anteil nachgewiesen werden konnten, kann dies dennoch durch entsprechend hohe Tonanteile im Glimmerton zu stärkeren „Verklebungen“ führen. In der tonigen Fazies des Glimmertons sind Tongehalte von bis zu 60 % nachgewiesen worden (Wüstenhagen, K.; Baermann, A. et. al., 1991), während der Lauenburger Ton teilweise nur als schwach toniges Material mit hohen Schluff-Anteilen ausgebildet sein kann.

Insofern kommt einer genauen, sorgfältigen Schlämmkornanalyse bei den anstehenden Tonen besondere Bedeutung zu, die gerade bei tonigen Substraten nach Möglichkeit durch Ausschlämmung und Absaugung der Tonfraktionen aus den Schluff-Fractionen durchgeführt werden sollte.

Abschließend ist bei der hier vorliegenden Quantifizierung der Mineralanteile zu berücksichtigen, dass der Anteil an organischer Substanz (TOC-Gehalte) sowie die Anteile an röntgenamorphen Verbindungen quantitativ nicht mit erfasst bzw. beauftragt worden sind.

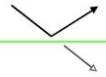
Die jeweiligen Röntgendiffraktogramme sind in den Anlagen 2.1 bis 2.4 dargestellt.

Hamburg, den 16.05.2020


(Dr. A. Baermann)

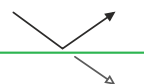


Anlagen



Anlagenverzeichnis

- Anlagen 1.1 – 1.39: Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen und Bestimmung von Korngrößenverteilung, Kornform und Rundungsgrad**
- Anlagen 2.1 – 2.4: Röntgendiffraktometrische Untersuchungen zur Mineral- und Tonmineral-Bestimmung**



Probe B02, 19,0 m, Mittelsand

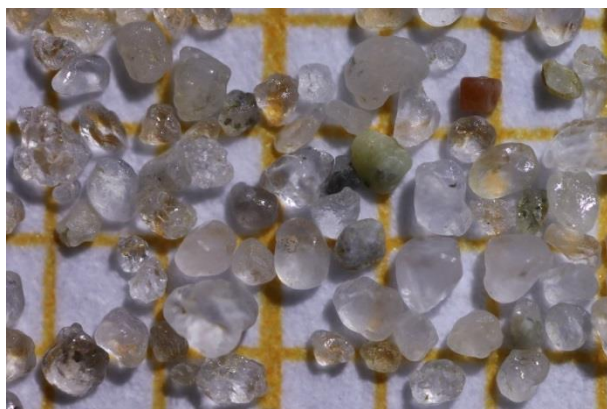
Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion



Fraktion > 2000 µm: **Kies**



Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**



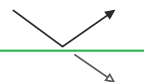
Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**



Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**



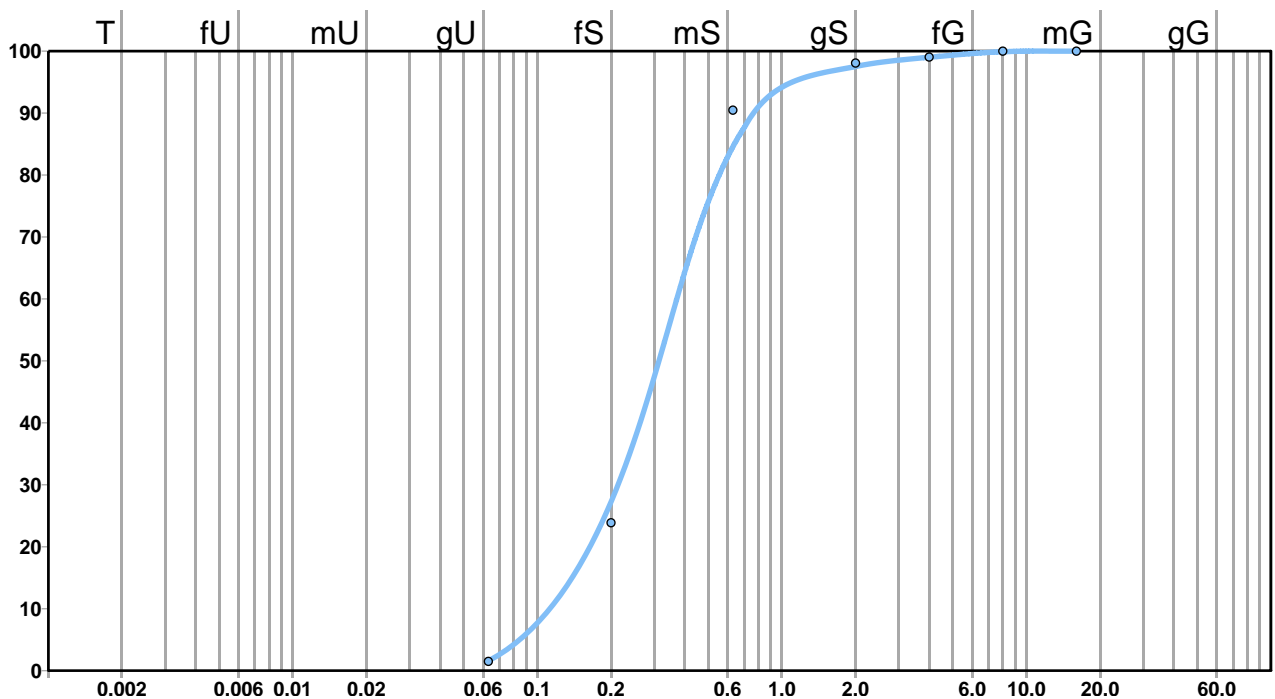
Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**



Probe B02, 19,0 m

Korngrößenanalyse und Körnungslinie

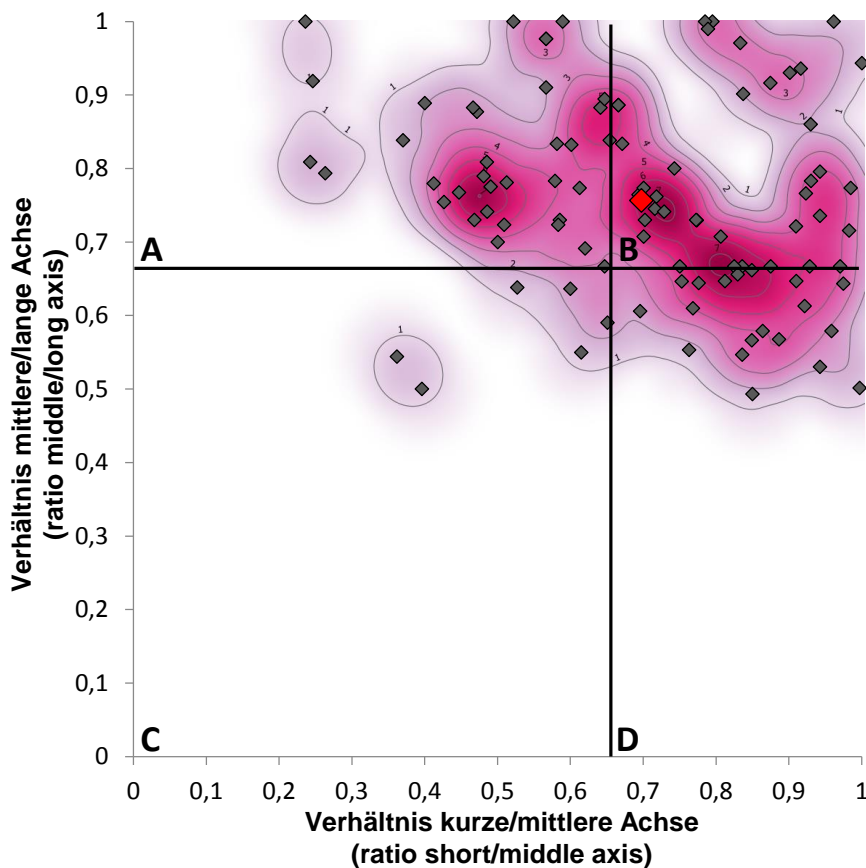
Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	1,9	1,9	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	7,6	96,6	98,1
200 – 630 µm	Mittelsand	66,6		90,5
63 – 200 µm	Feinsand	22,4		23,9
< 63 µm	Ton- und Schluff	1,5	1,5	1,5



Mittelsand, fs, gs

Probe B02, 19,0 m, Fraktion 63 – 200 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	4,0	12,0	12,5	14,0	8,0	4,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	2,0	13,0	15,0	12,0	3,0	0,5
Gesamt	6,0	25,0	35,0	25,0	11,0	4,5

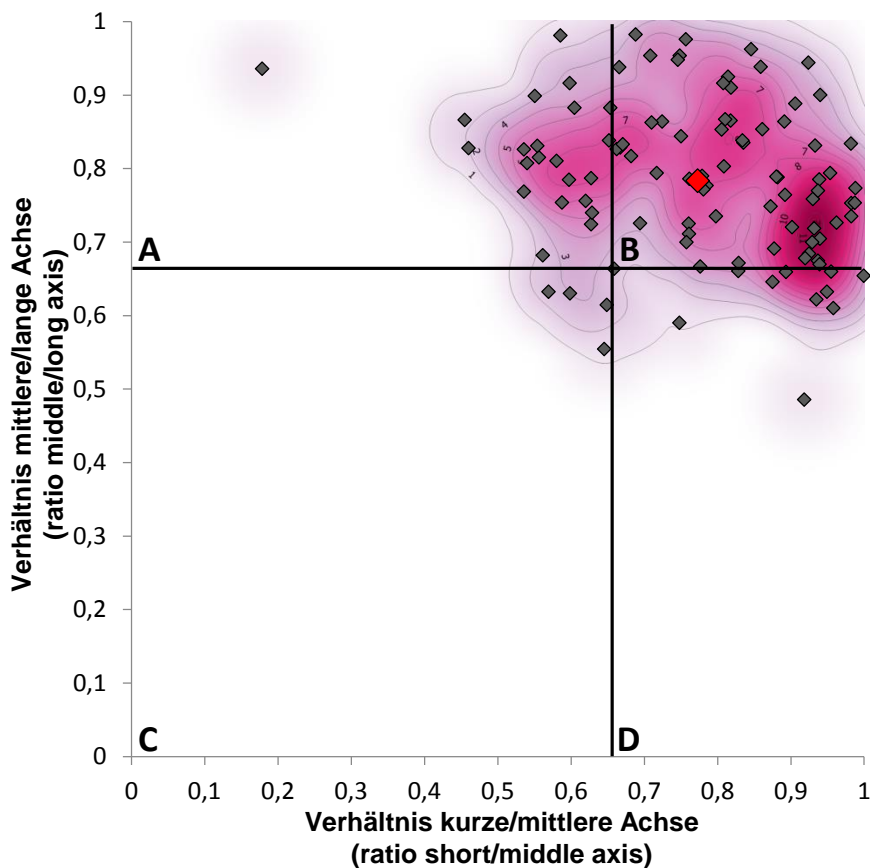


Probe B02, 19,0 m, Fraktion 63 – 200 µm (L 661-1-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,76$ (Standard-Abweichung: $0,13$), $C/B = 0,70$ (Standard-Abweichung: $0,20$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

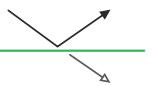
Probe B02, 19,0 m, Fraktion 200 – 630 µm

Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	4,0	15,5	23,8	21,8	11,0	1,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	1,8	6,3	6,3	5,3	2,3	0,8
Gesamt	5,8	21,8	30,0	27,0	13,3	2,3

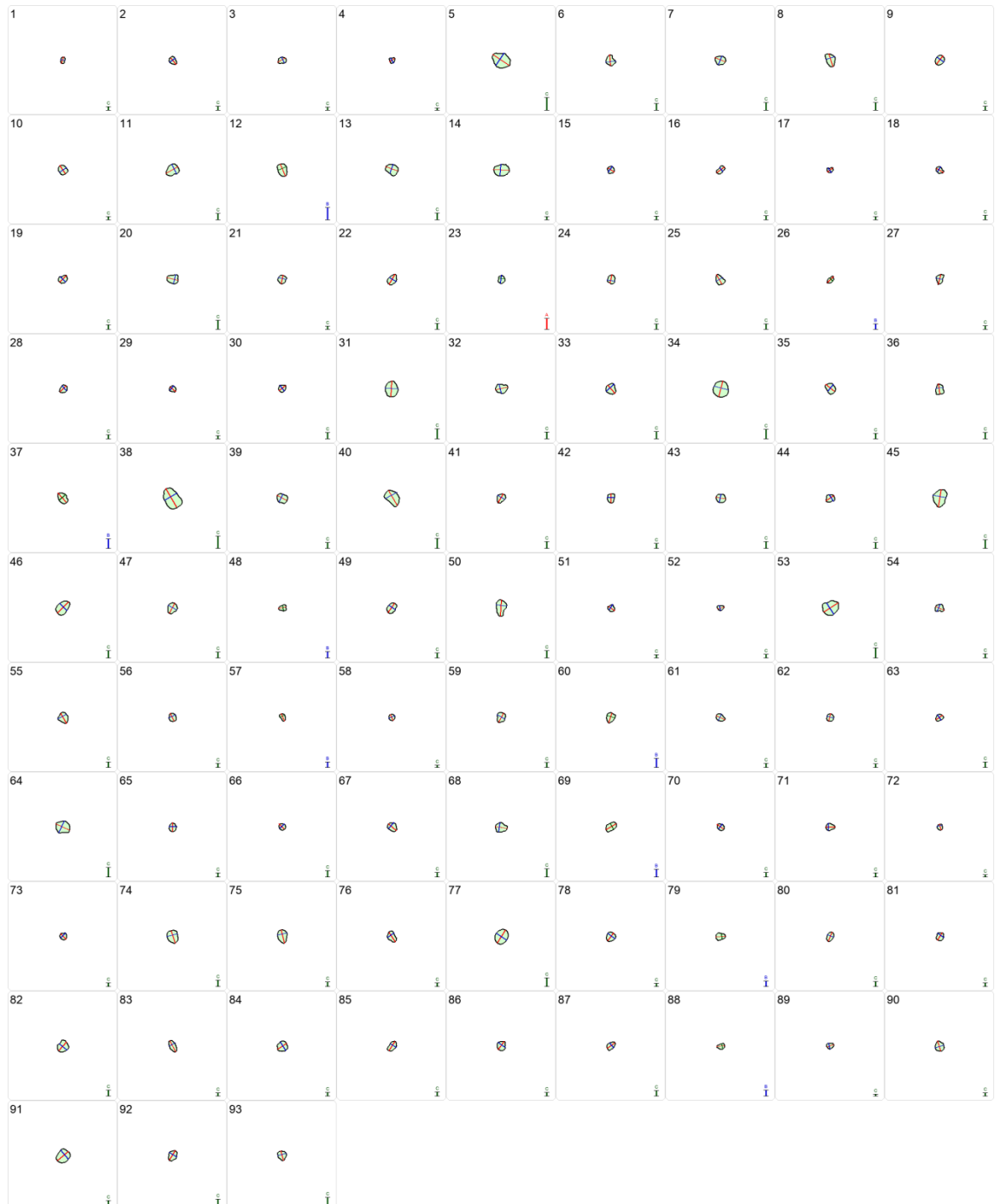


Probe B02, 19,0 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-1-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,80$ (Standard-Abweichung: $0,10$), $C/B = 0,68$ (Standard-Abweichung: $0,17$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.



Probe B02, 19,0 m, Fraktion 200 – 630 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform

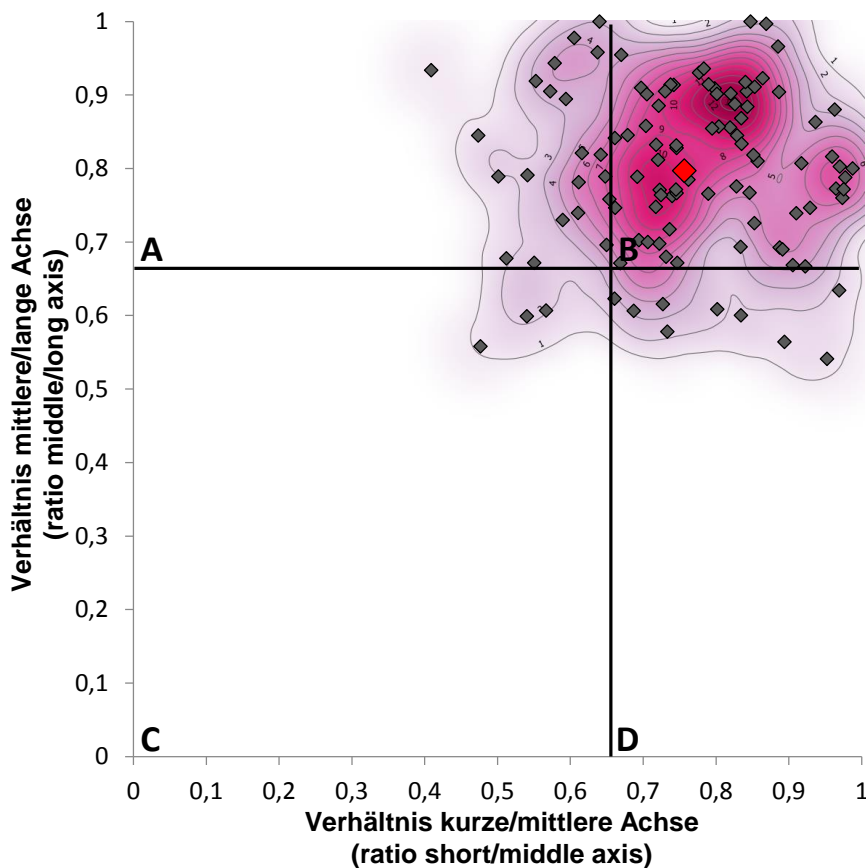


Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

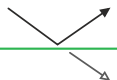
Probe B02, 19,0 m, Fraktion 630 – 2000 µm

Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,5	2,5	15,0	23,5	23,0	13,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	1,0	2,0	5,0	5,5	4,0	3,5
Gesamt	1,5	4,5	20,0	29,0	27,0	17,0

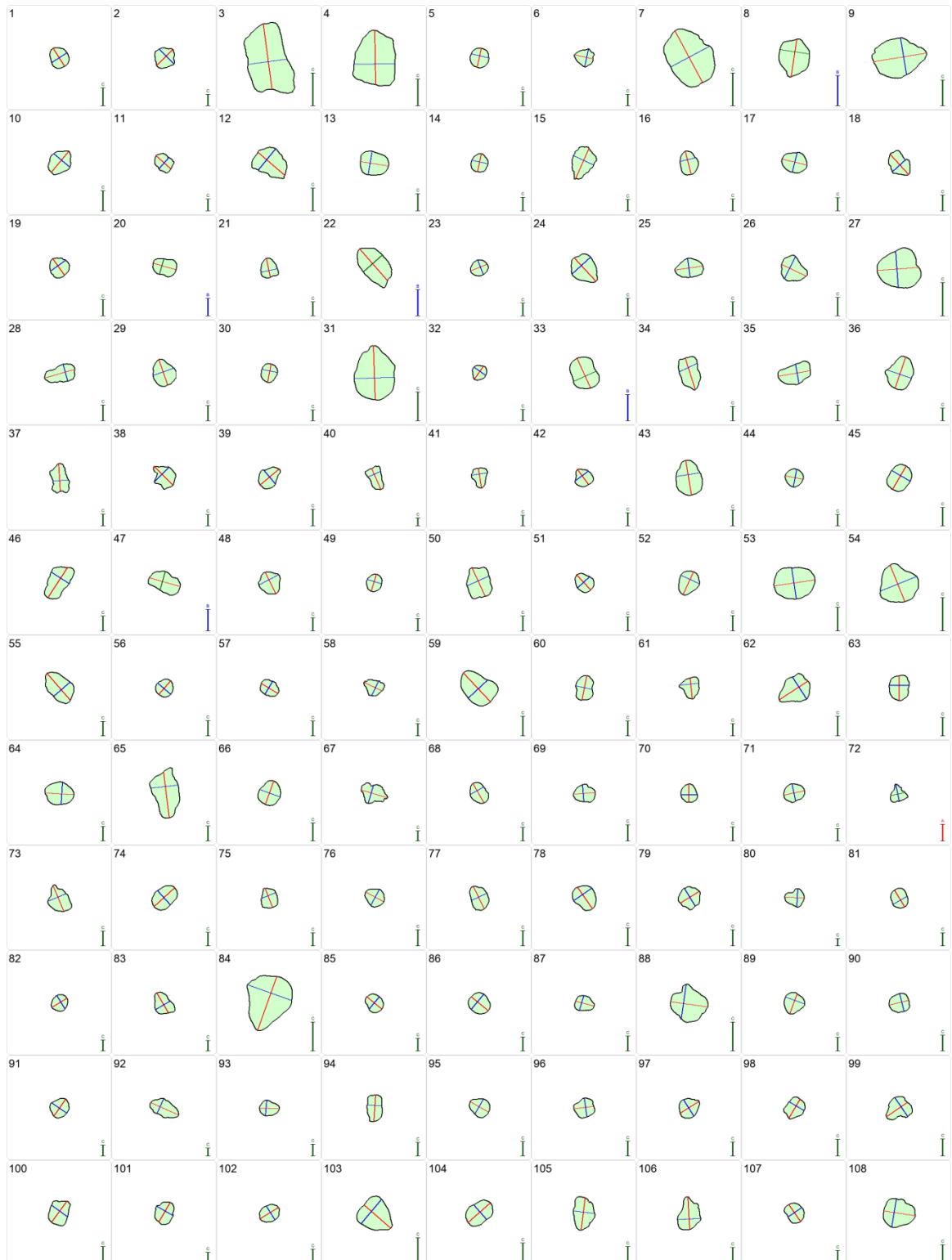


Probe B02, 19,0 m, Fraktion 630 – 2000 µm (L 661-1-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,80$ (Standard-Abweichung: $0,11$), $C/B = 0,76$ (Standard-Abweichung: $0,13$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

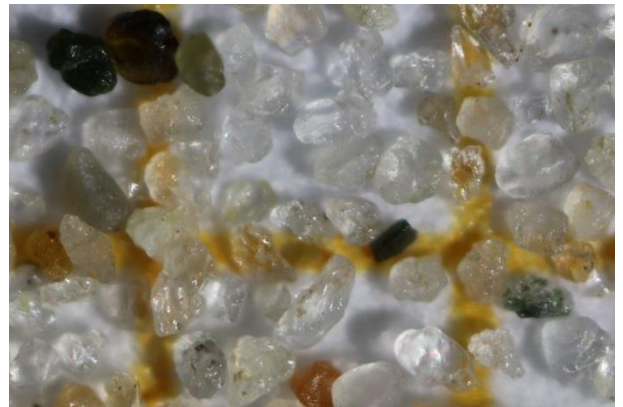


Probe B02, 19,0 m, Fraktion 630 – 2000 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



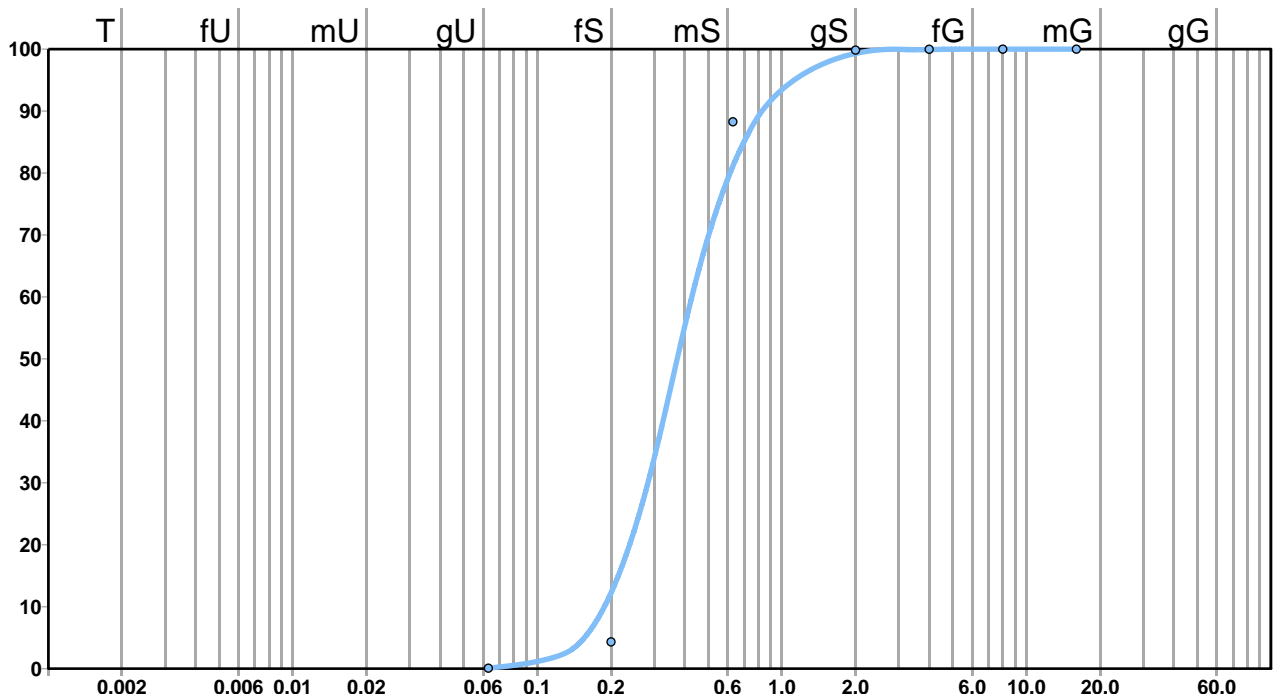
Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Mittelsand**Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion**Fraktion > 2000 µm: **Kies**Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**

Probe B03, 28,3 – 28,5 m

Korngrößenanalyse und Körnungslinie

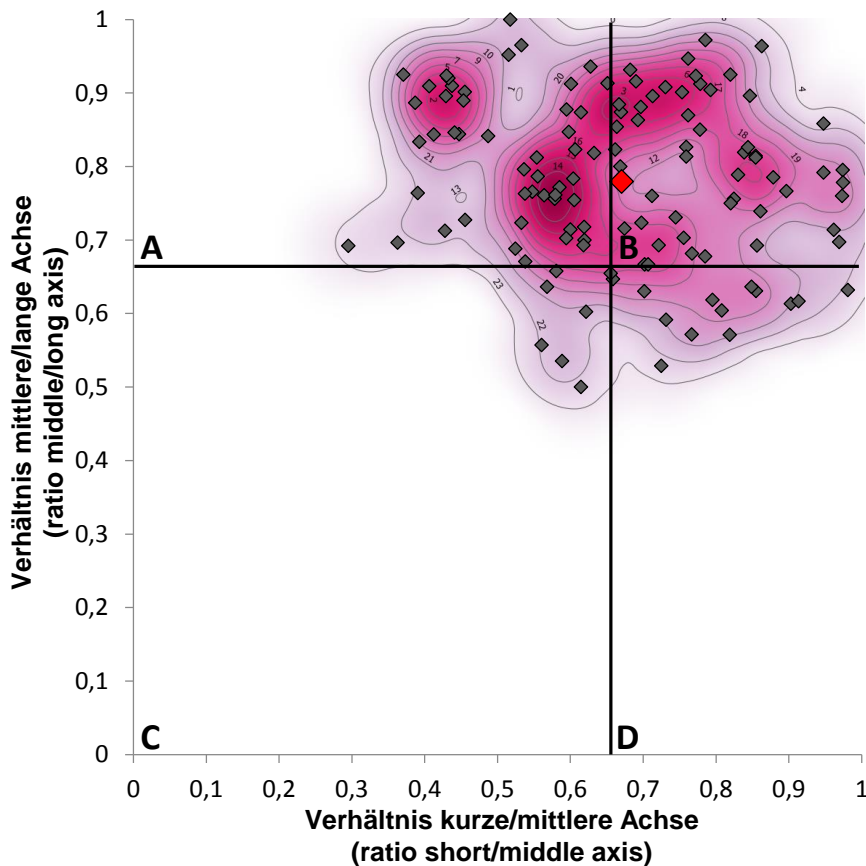
Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	0,15	0,15	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	11,6	99,8	99,9
200 – 630 µm	Mittelsand	84,0		88,3
63 – 200 µm	Feinsand	4,2		4,3
< 63 µm	Ton- und Schluff	< 0,1 (0,08)	< 0,1 (0,08)	< 0,1 (0,08)



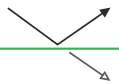
Mittelsand, $g\bar{s}$, fs'

Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 200 – 630 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	3,0	5,0	15,0	20,0	20,5	10,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	2,0	3,0	5,0	5,0	6,5	5,0
Gesamt	5,0	8,0	20,0	25,0	27,0	15,0

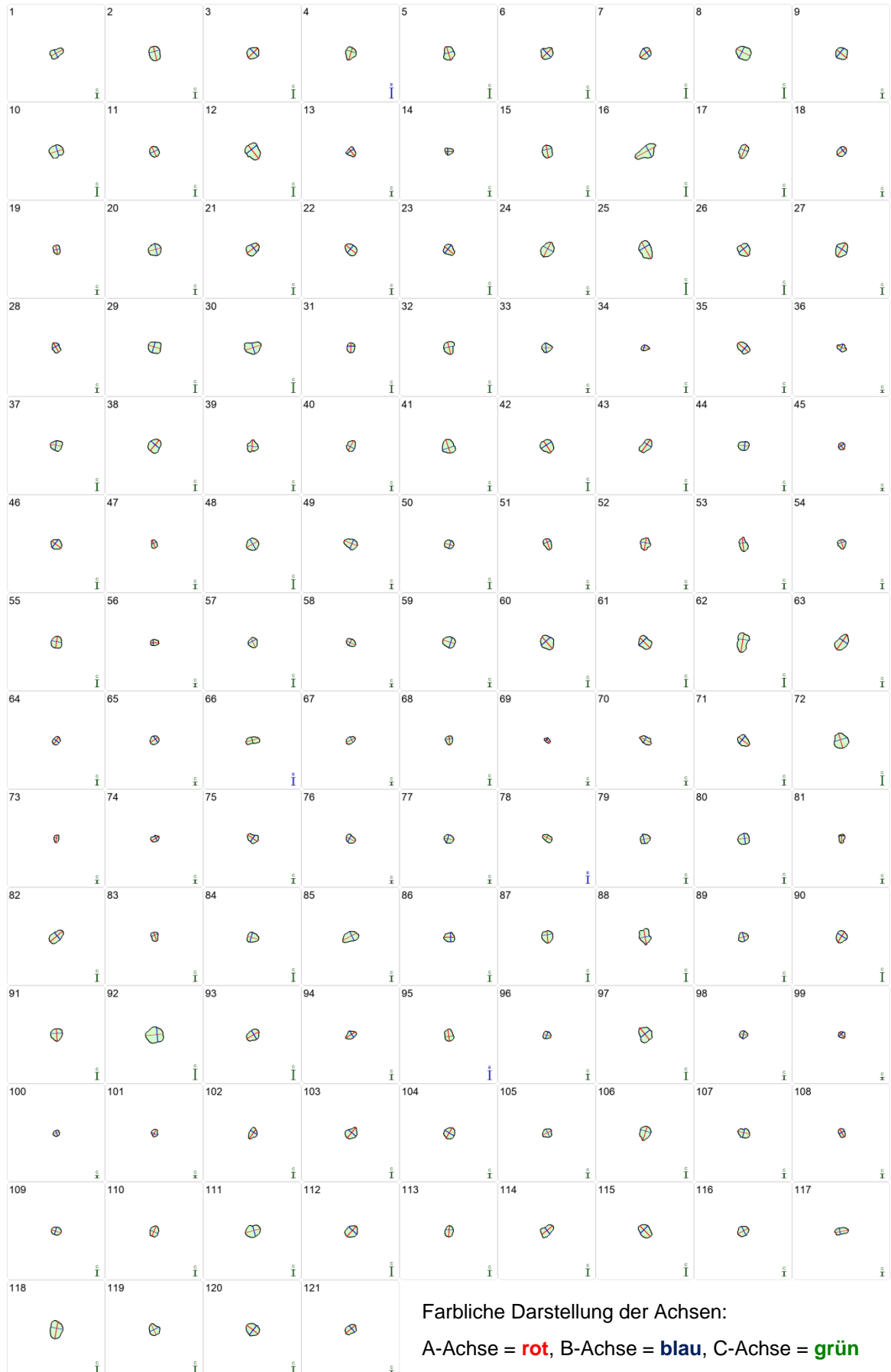


Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-2-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,78$ (Standard-Abweichung: $0,11$), $C/B = 0,67$ (Standard-Abweichung: $0,16$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.



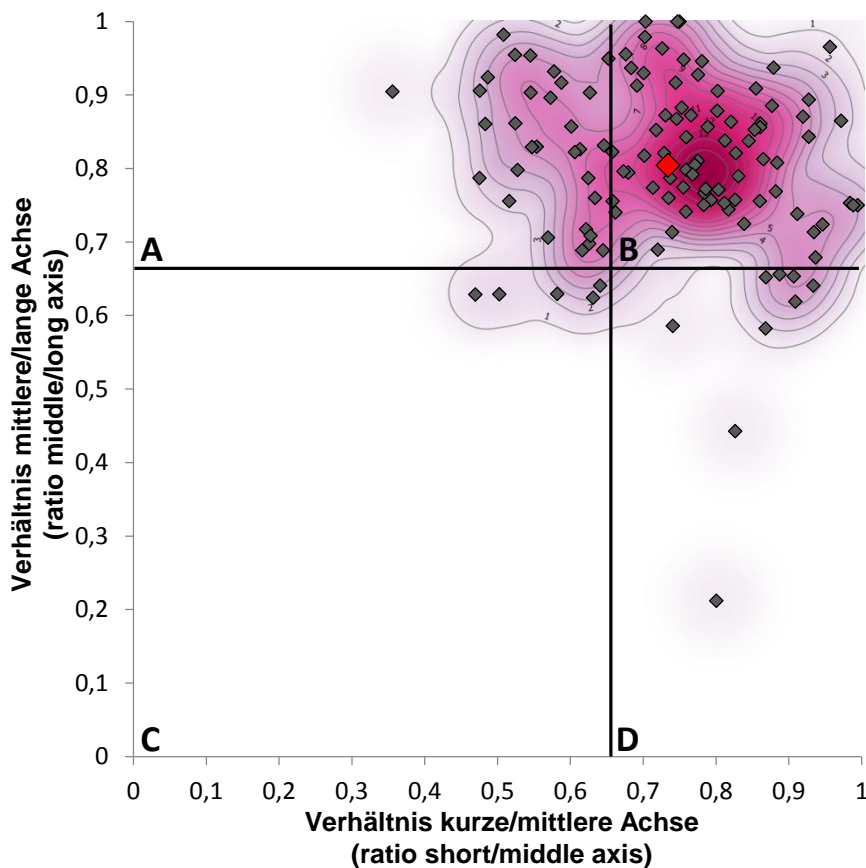
Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 200 – 630 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform

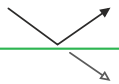


Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 630 – 2000 μm **Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	3,1	10,3	19,6	23,2	8,8
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,0	2,6	7,7	10,3	8,8	5,7
Gesamt	0,0	5,7	18,0	29,9	32,0	14,4

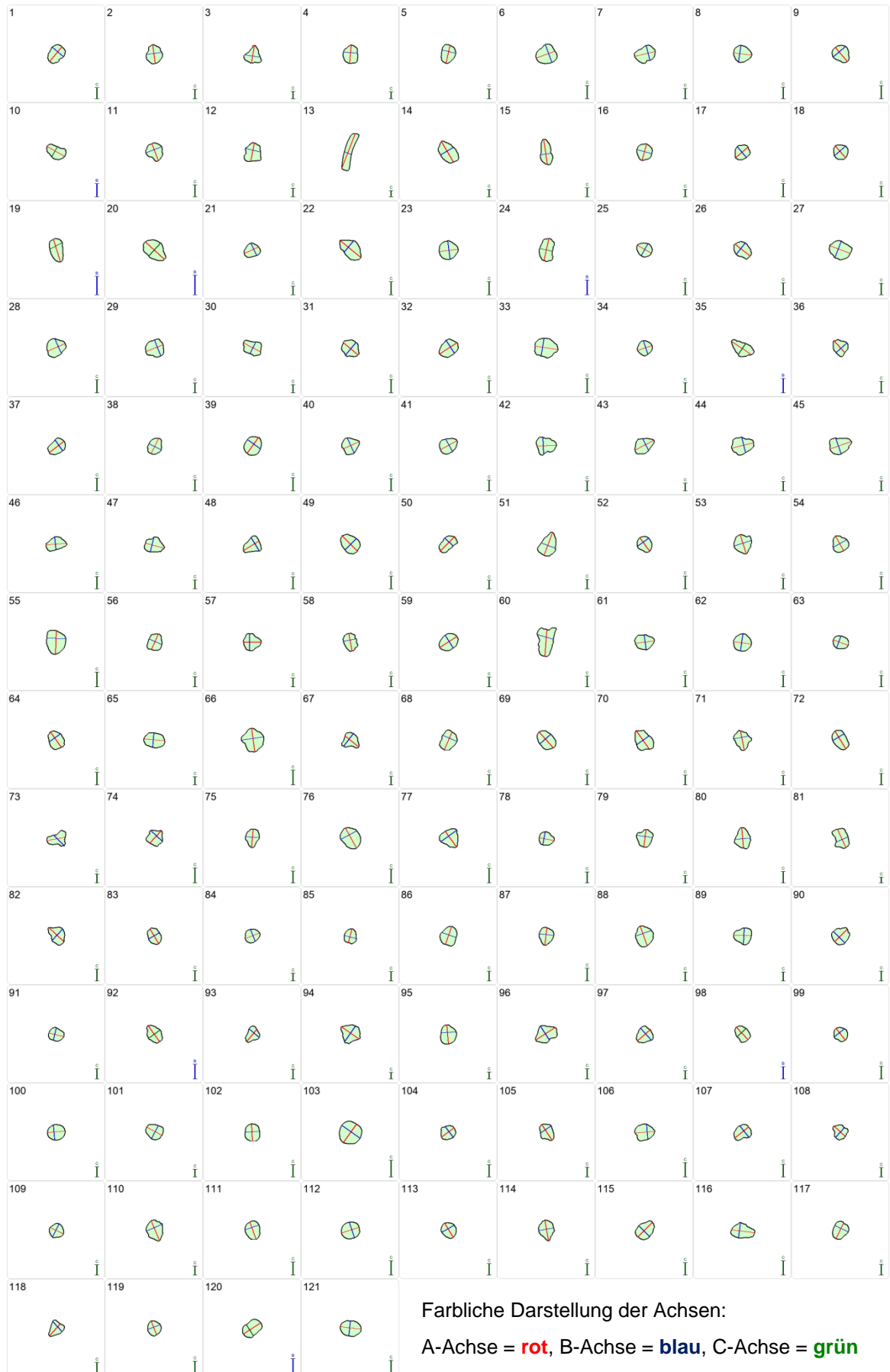


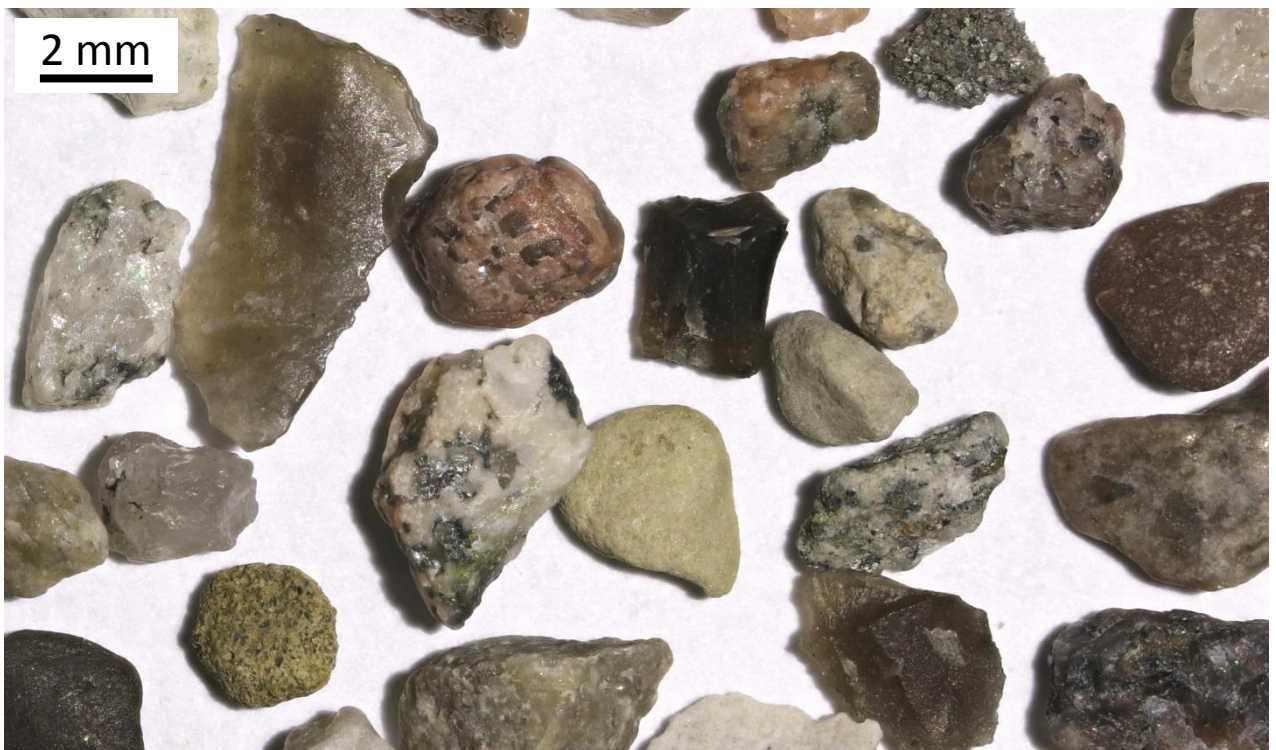
Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 630 – 2000 μm (L 661-2-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,80$ (Standard-Abweichung: $0,12$), $C/B = 0,73$ (Standard-Abweichung: $0,14$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

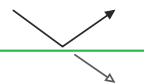


Probe B03, 28,3 – 28,5 m, Fraktion 630 – 2000 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



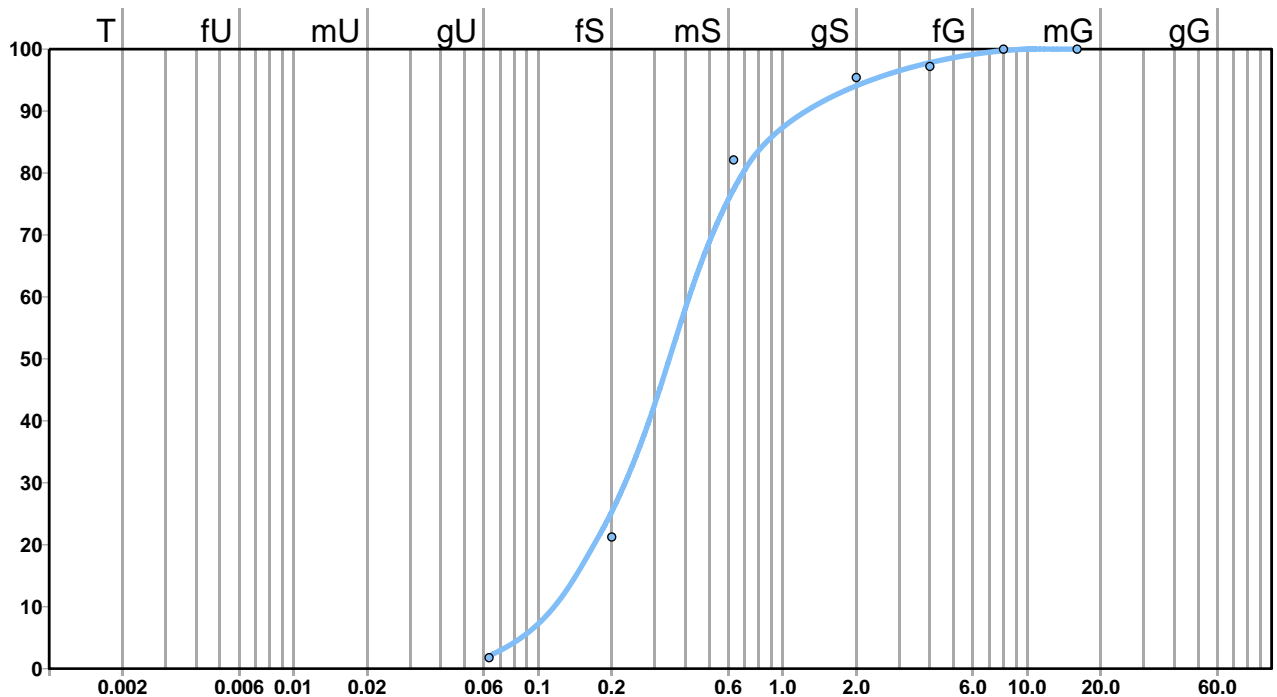
Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Mittelsand**Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion**Fraktion > 2000 µm: **Kies**Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**



Probe B04, 38,6 – 38,9 m

Korngrößenanalyse und Körnungslinie

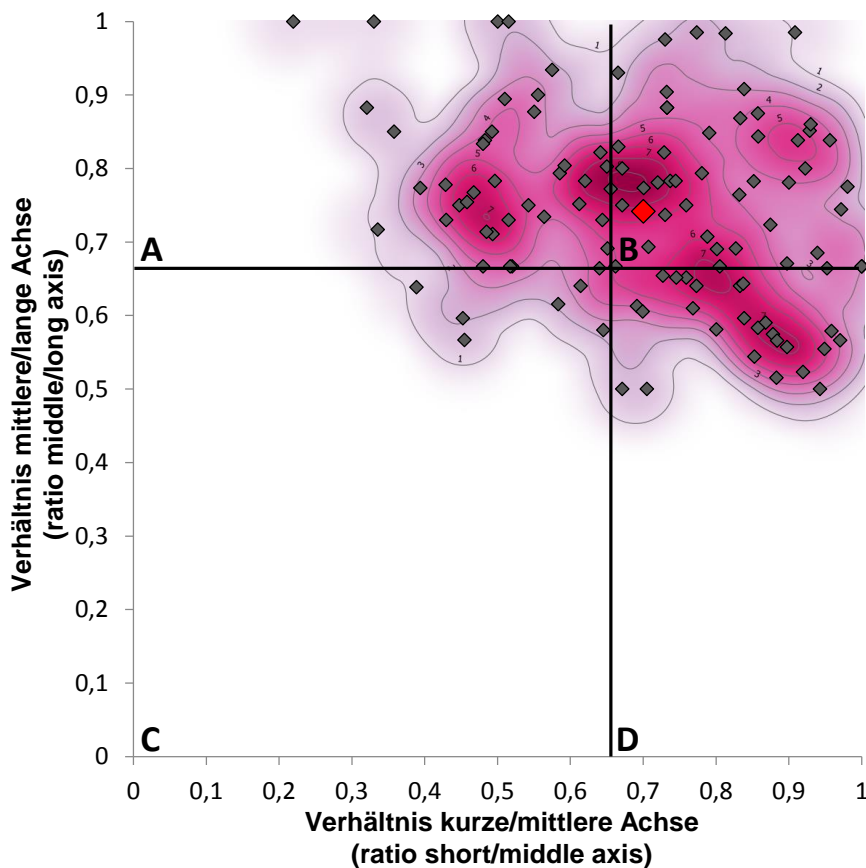
Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	4,6	4,6	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	13,3	93,7	95,4
200 – 630 µm	Mittelsand	60,9		82,1
63 – 200 µm	Feinsand	19,5		21,3
< 63 µm	Ton- und Schluff	1,8	1,8	1,8



Mittelsand, fs, gs, fg'

Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 63 – 200 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

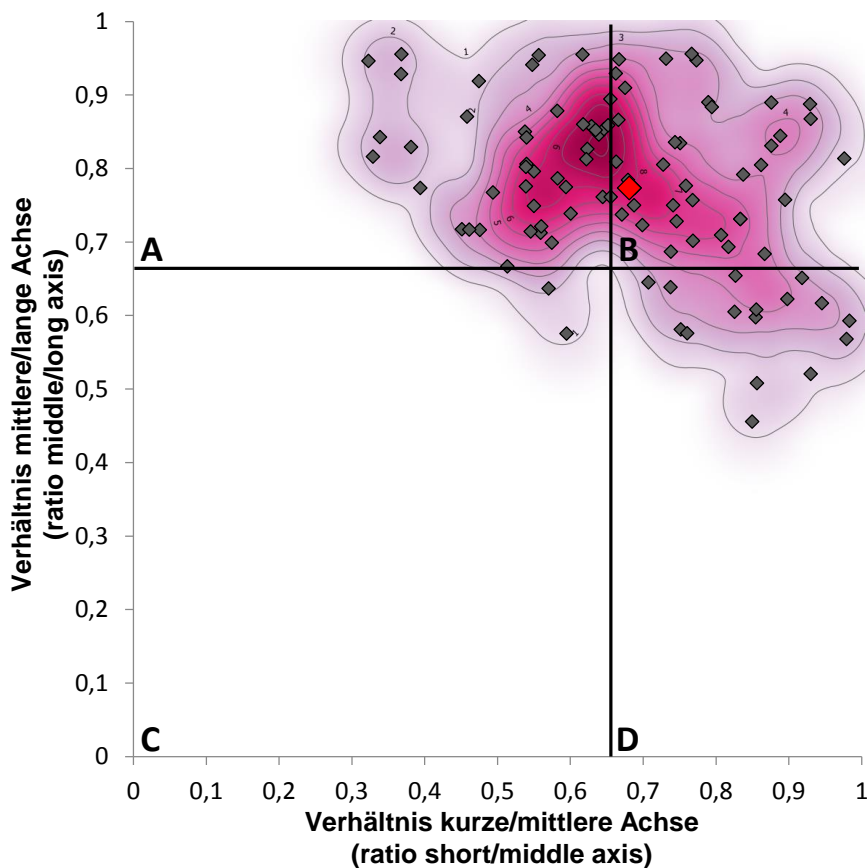
Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	12,0	22,0	13,5	13,5	1,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,0	7,5	12,5	10,0	6,5	1,0
Gesamt	0,0	19,5	34,5	23,5	20,0	2,5



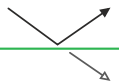
Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 63 – 200 µm (L 661-3-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,74$ (Standard-Abweichung: $0,13$), $C/B = 0,70$ (Standard-Abweichung: $0,18$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 200 – 630 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	4,0	10,5	24,0	20,5	5,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,0	0,5	11,5	10,5	12,0	1,5
Gesamt	0,0	4,5	22,0	34,5	32,5	6,5

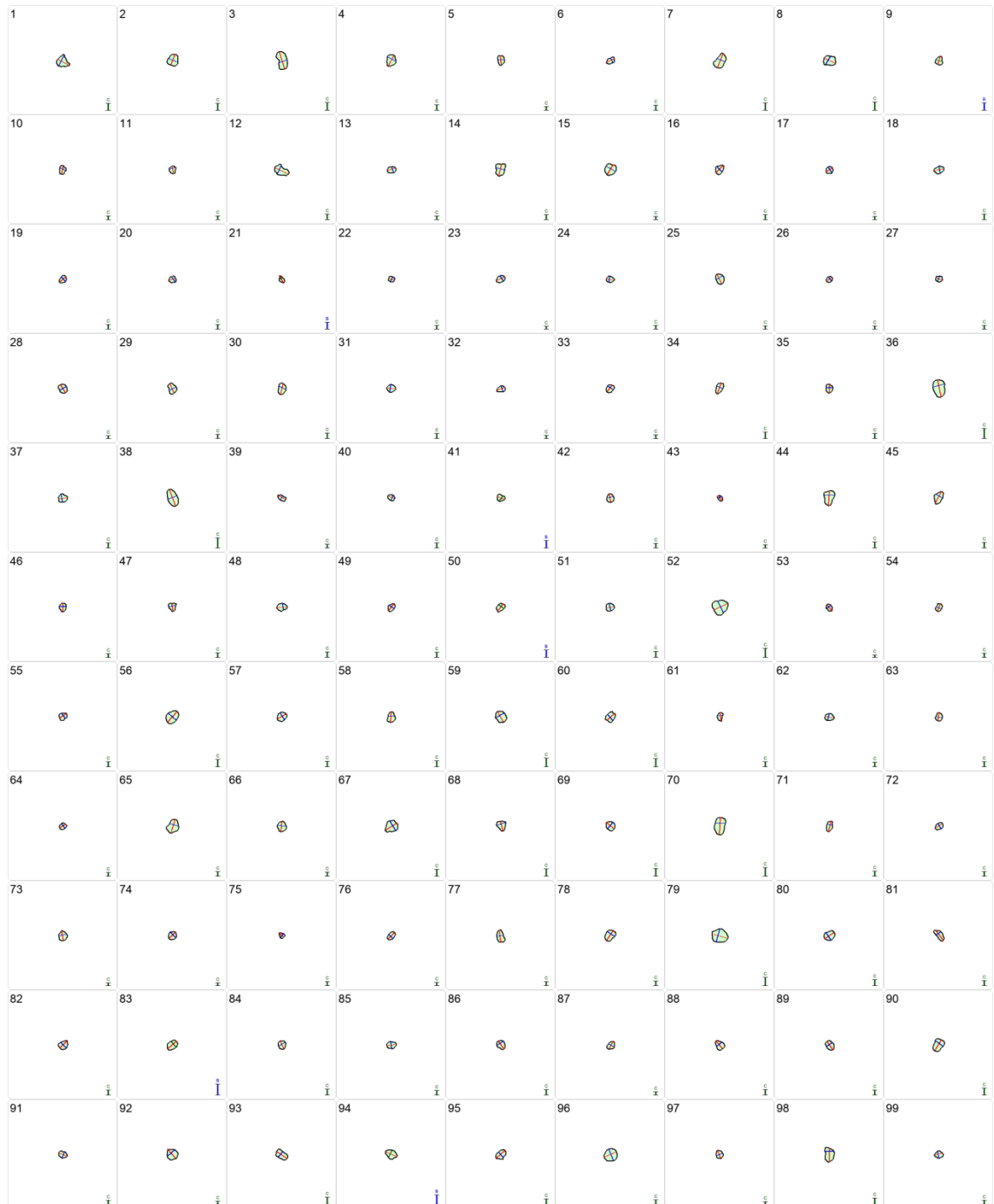


Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-3-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,77$ (Standard-Abweichung: $0,11$), $C/B = 0,68$ (Standard-Abweichung: $0,16$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.



Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 200 – 630 µm

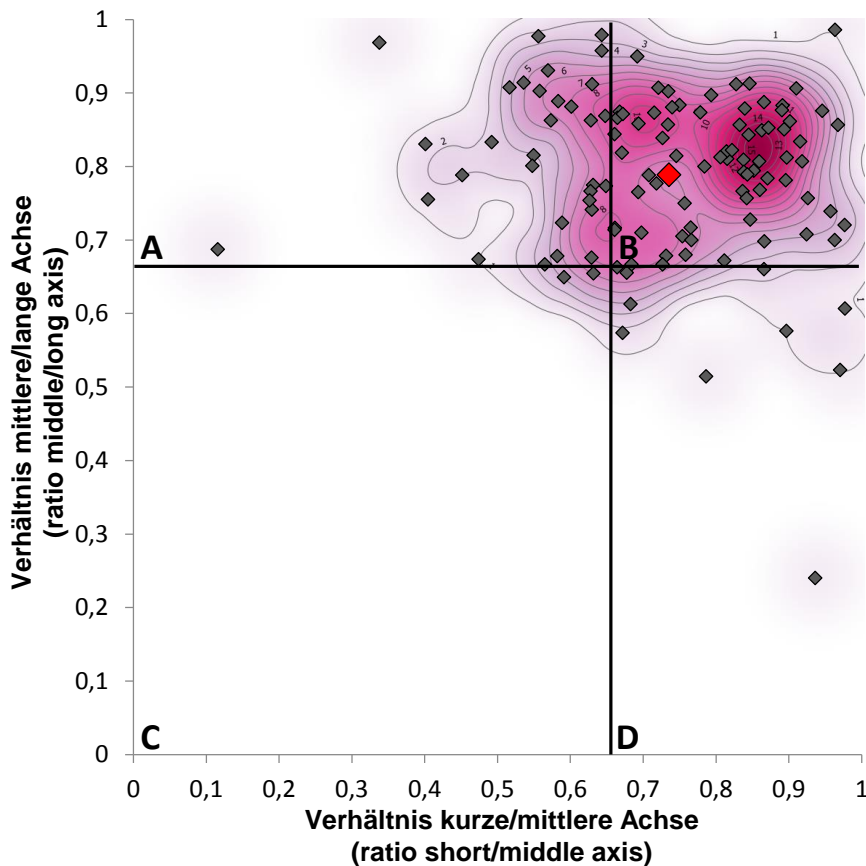
Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



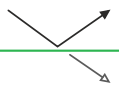
Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 630 – 2000 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	3,0	14,0	13,5	16,0	10,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,0	2,5	10,0	16,5	10,5	3,5
Gesamt	0,0	5,5	24,0	30,0	26,5	13,5

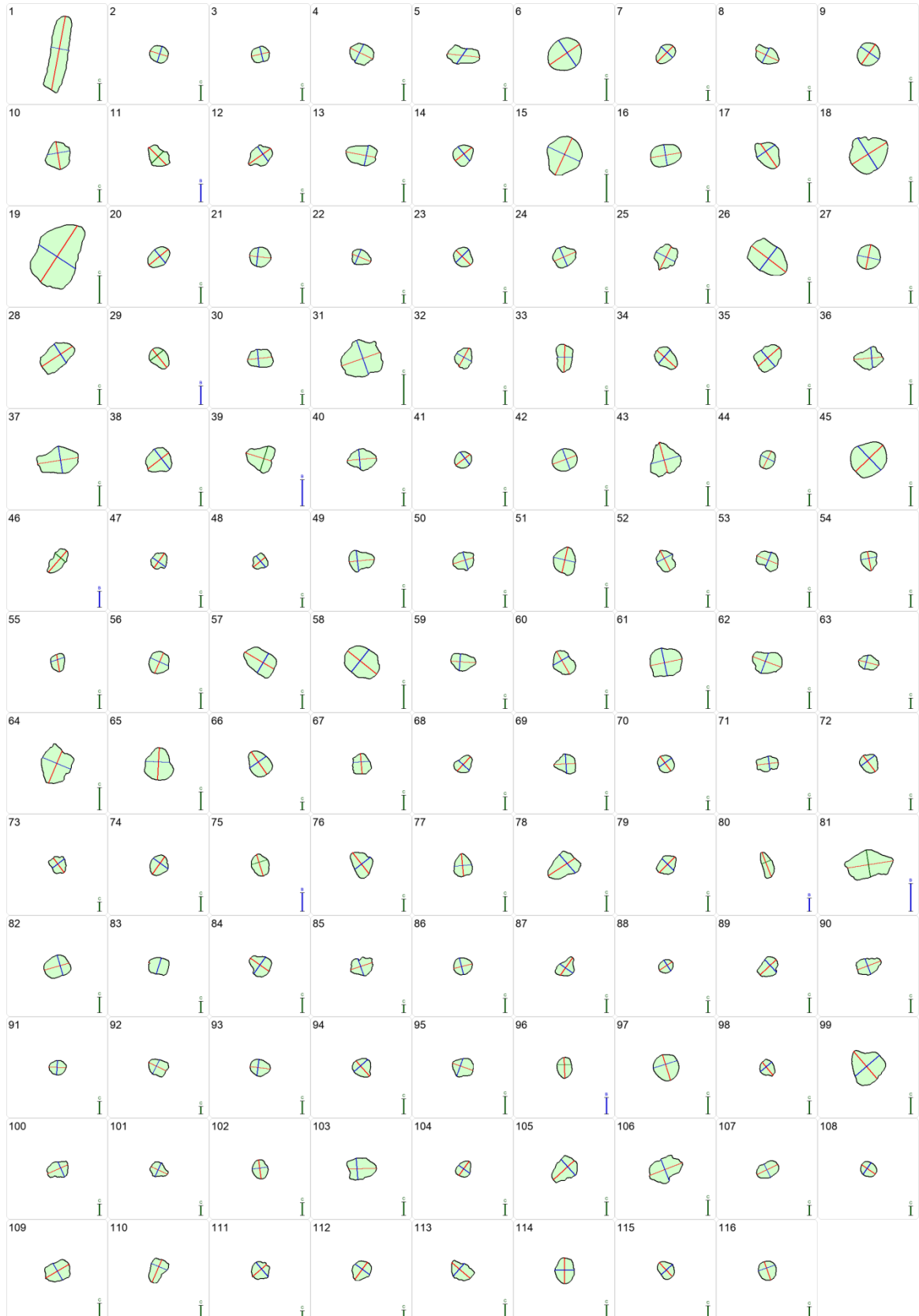


Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 630 – 2000 µm (L 661-3-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,79$ (Standard-Abweichung: $0,11$), $C/B = 0,74$ (Standard-Abweichung: $0,15$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

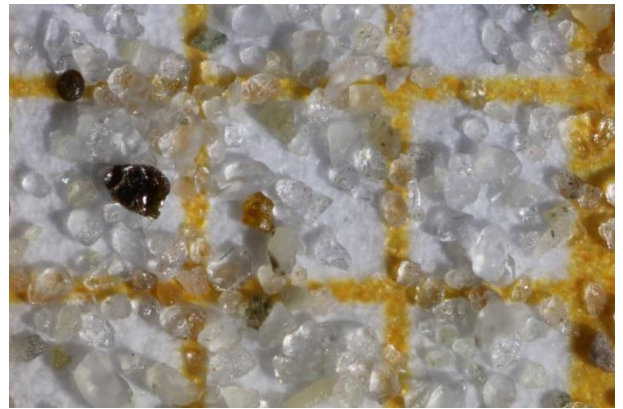


Probe B04, 38,6 – 38,9 m, Fraktion 630 – 2000 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

Probe B06, 27,25 m, Geschiebemergel, A-Probe**Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion**Fraktion > 2000 µm: **Kies**Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**

Probe B06, 27,25 m, Geschiebemergel, B-Probe

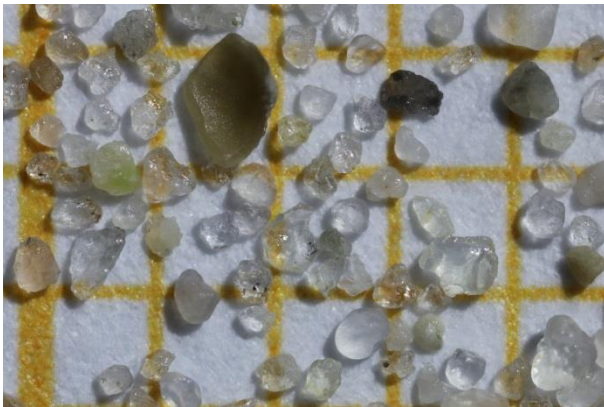
Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion



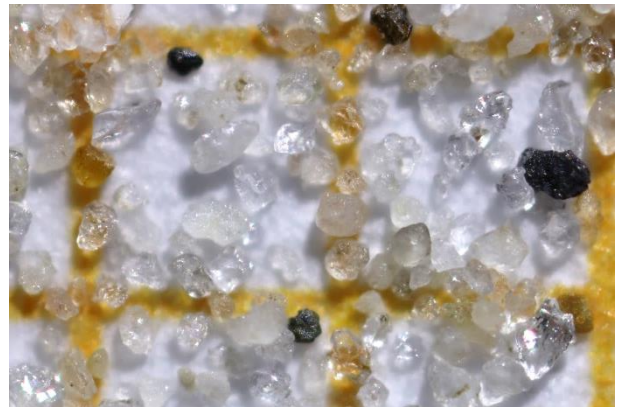
Fraktion > 2000 µm: **Kies**



Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**



Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**



Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**



Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**

Probe B06, 27,25 m

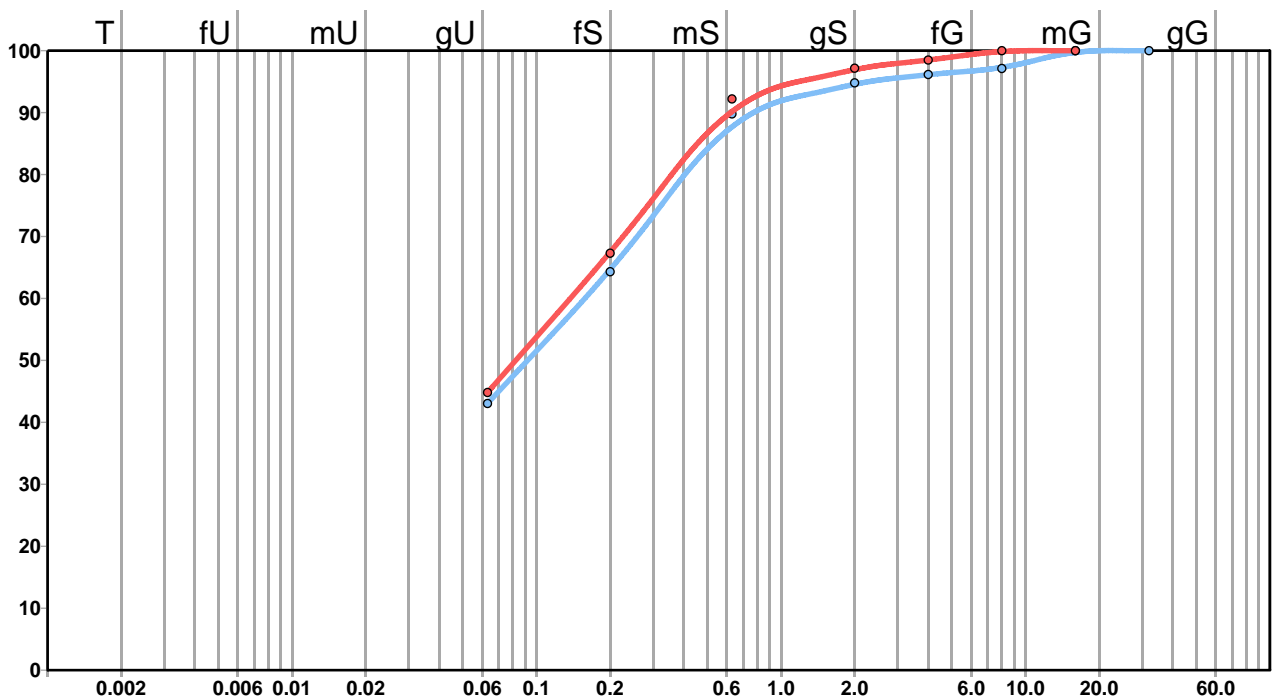
Korngrößenanalyse und Körnungslinie

A-Probe

Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	5,2	5,2	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	5,0	51,8	94,8
200 – 630 µm	Mittelsand	25,5		89,8
63 – 200 µm	Feinsand	21,3		64,3
< 63 µm	Ton- und Schluff	43,1	43,1	43,1

B-Probe

Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	2,8	2,8	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	5,0	52,4	97,2
200 – 630 µm	Mittelsand	24,9		92,2
63 – 200 µm	Feinsand	22,5		67,3
< 63 µm	Ton- und Schluff	44,8	44,8	44,8



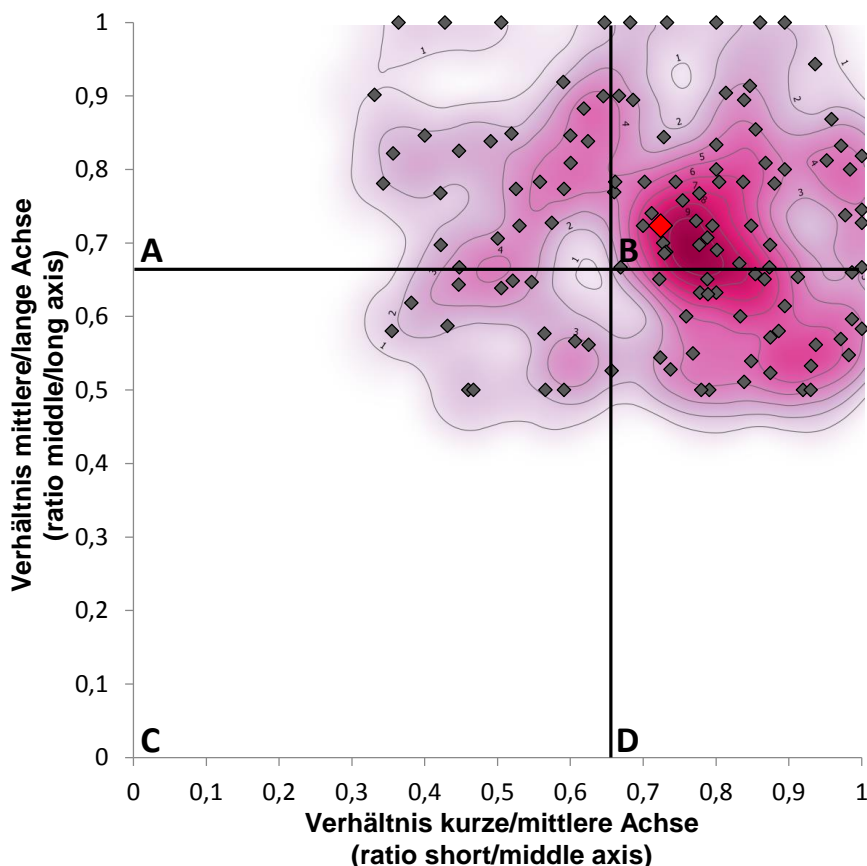
Feinsand, ms, g', gs' (A-Probe) / Feinsand, ms, gs' (B-Probe)

Probe B06, 27,25 m, Fraktion 63 – 200 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen****A-Probe**

Rundungsgrad (%)	0 (sehr eckig/ very angular)	1 (eckig/ subangular)	2 (weniger eckig/ subangular)	3 (angerundet/ subrounded)	4 (gerundet/ rounded)	5 (gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	4,5	13,5	14,0	7,0	8,0	0,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	3,0	10,0	15,5	15,5	6,0	2,5
Gesamt	7,5	23,5	29,5	22,5	14,0	3,0

B-Probe

Rundungsgrad (%)	0 (sehr eckig/ very angular)	1 (eckig/ subangular)	2 (weniger eckig/ subangular)	3 (angerundet/ subrounded)	4 (gerundet/ rounded)	5 (gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	2,0	10,0	13,0	16,0	12,5	6,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	3,5	5,0	10,0	10,0	6,0	5,5
Gesamt	5,5	15,0	23,0	26,0	18,5	12,0



Probe B06, 27,25 m, Fraktion 63 – 200 µm (L 661-6a-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,72$ (Standard-Abweichung: $0,14$), $C/B = 0,72$ (Standard-Abweichung: $0,18$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

Probe B06, 27,25 m, Fraktion 200 – 630 µm

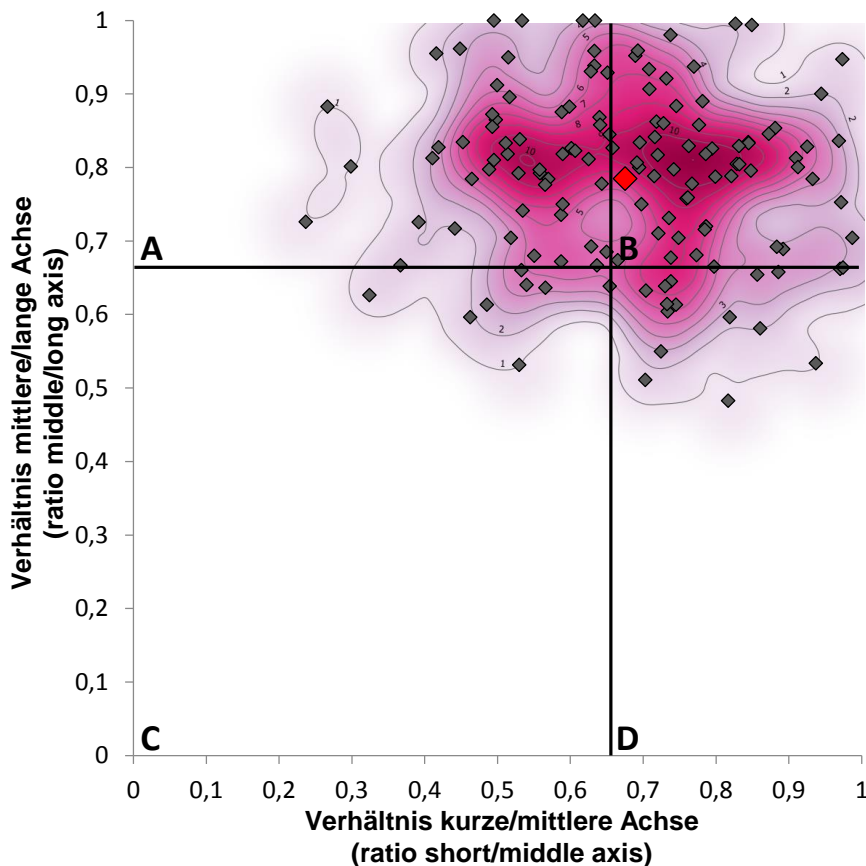
Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen

A-Probe

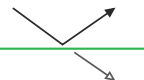
Rundungsgrad (%)	0 (sehr eckig/ very angular)	1 (eckig/ subangular)	2 (weniger eckig/ subangular)	3 (angerundet/ subrounded)	4 (gerundet/ rounded)	5 (gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	2,5	14,0	14,5	12,5	3,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	3,0	6,0	18,0	20,0	4,0	2,0
Gesamt	3,0	8,5	32,0	34,5	16,5	5,5

B-Probe

Rundungsgrad (%)	0 (sehr eckig/ very angular)	1 (eckig/ subangular)	2 (weniger eckig/ subangular)	3 (angerundet/ subrounded)	4 (gerundet/ rounded)	5 (gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	7,5	10,0	14,0	19,0	7,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,5	5,0	10,0	10,0	9,5	7,5
Gesamt	0,5	12,5	20,0	24,0	28,5	14,5

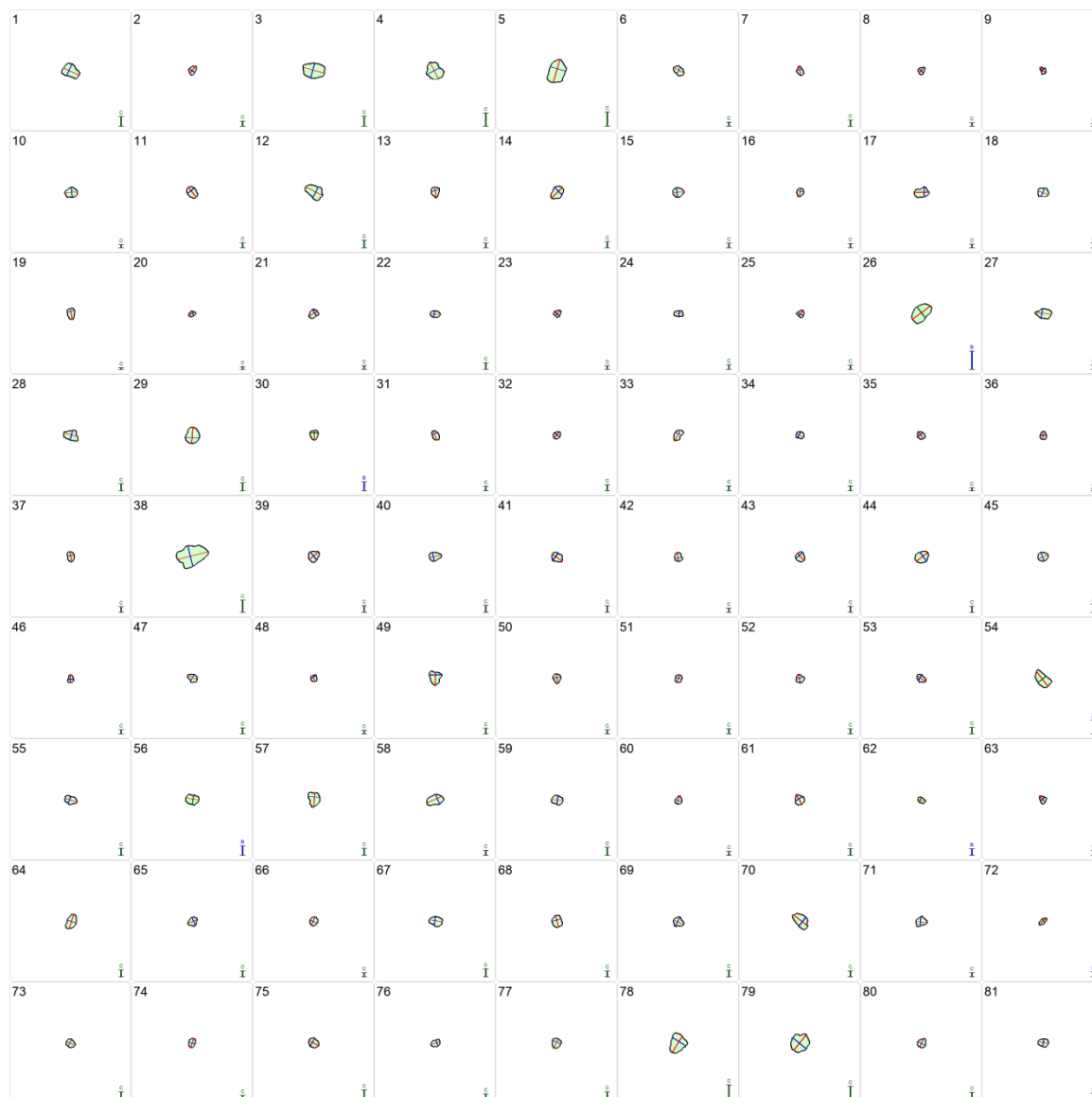


Probe B06, 27,25 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-6a-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,78$ (Standard-Abweichung: $0,12$), $C/B = 0,68$ (Standard-Abweichung: $0,16$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

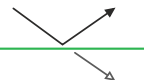


Probe B06, 27,25 m, Fraktion 200 – 630 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform

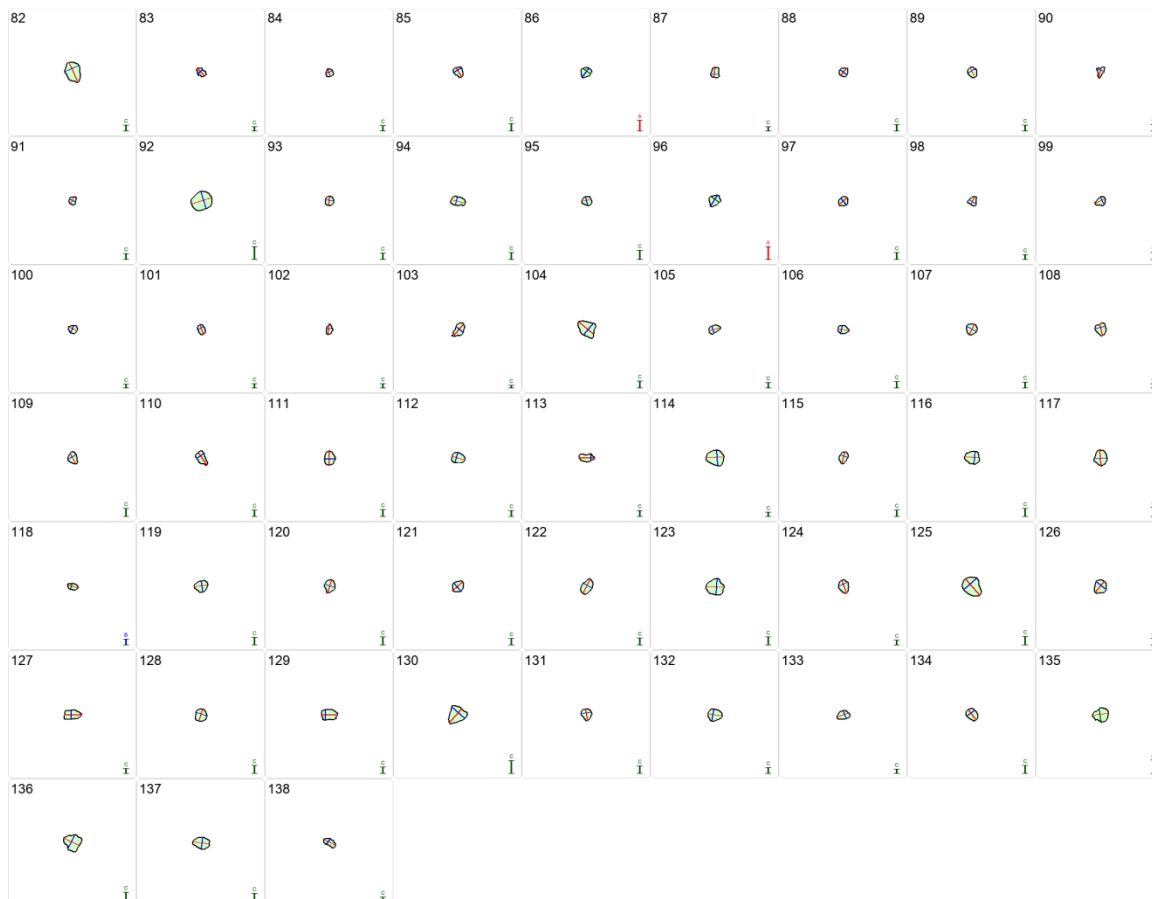


Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**



Probe B06, 27,25 m, Fraktion 200 – 630 µm

Fortsetzung: Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Geschiebemergel

Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion



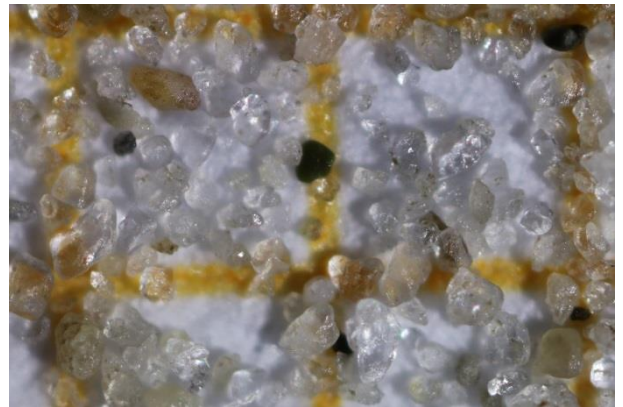
Fraktion > 2000 µm: **Kies**



Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**



Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**



Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**

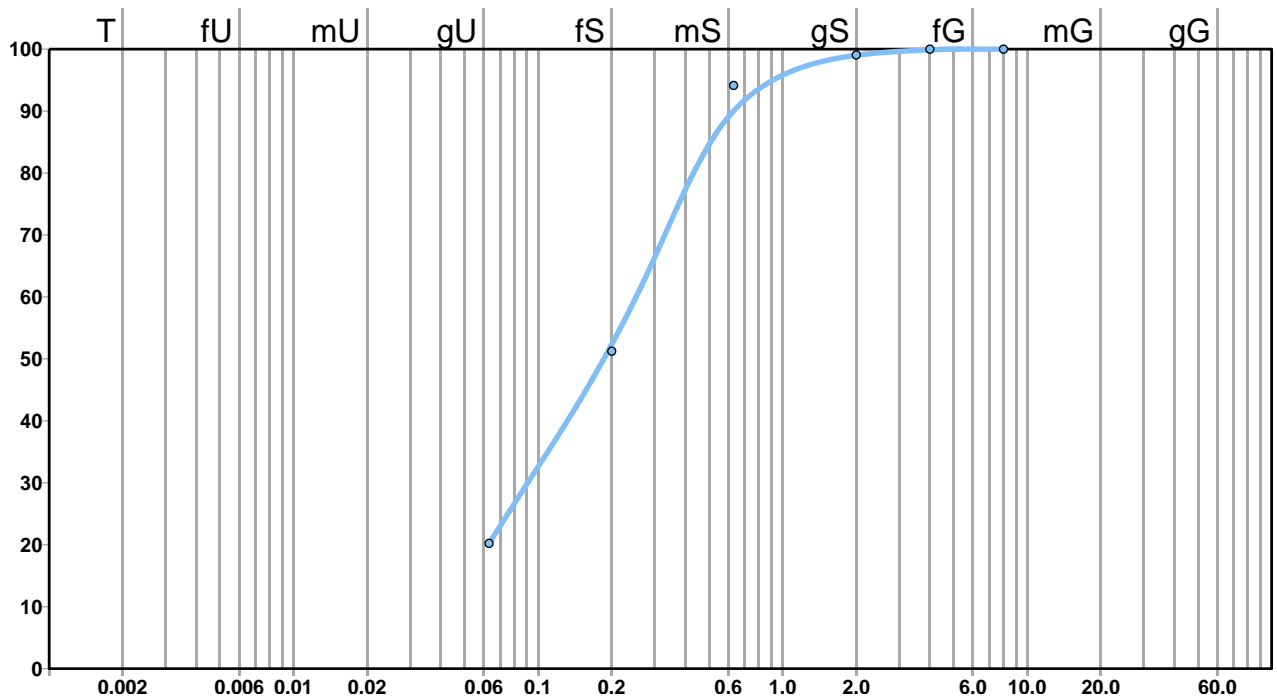


Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Kies**

Probe WB03, 12,7 – 12,8 m

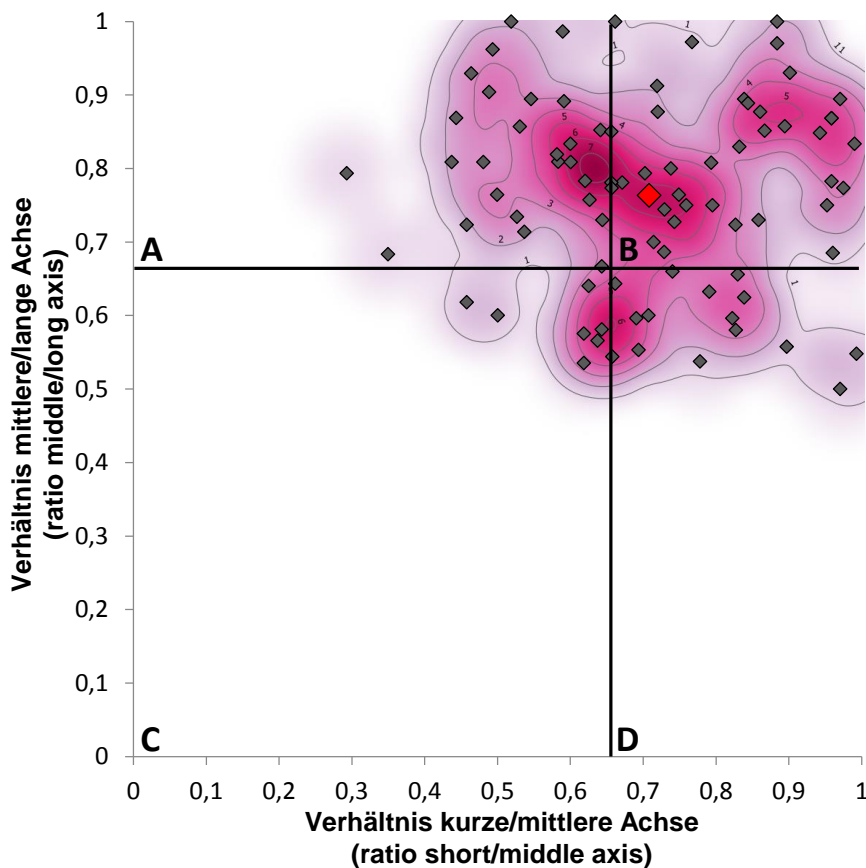
Korngrößenanalyse und Körnungslinie

Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 μm	Kies und Steine	0,9	0,9	100,0
630 – 2000 μm	Grobsand	4,9	78,8	99,1
200 – 630 μm	Mittelsand	42,9		94,1
63 – 200 μm	Feinsand	31,0		51,2
< 63 μm	Ton- und Schluff	20,2	20,2	20,2

Mittelsand, $f\bar{s}$, g_s

Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 63 – 200 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

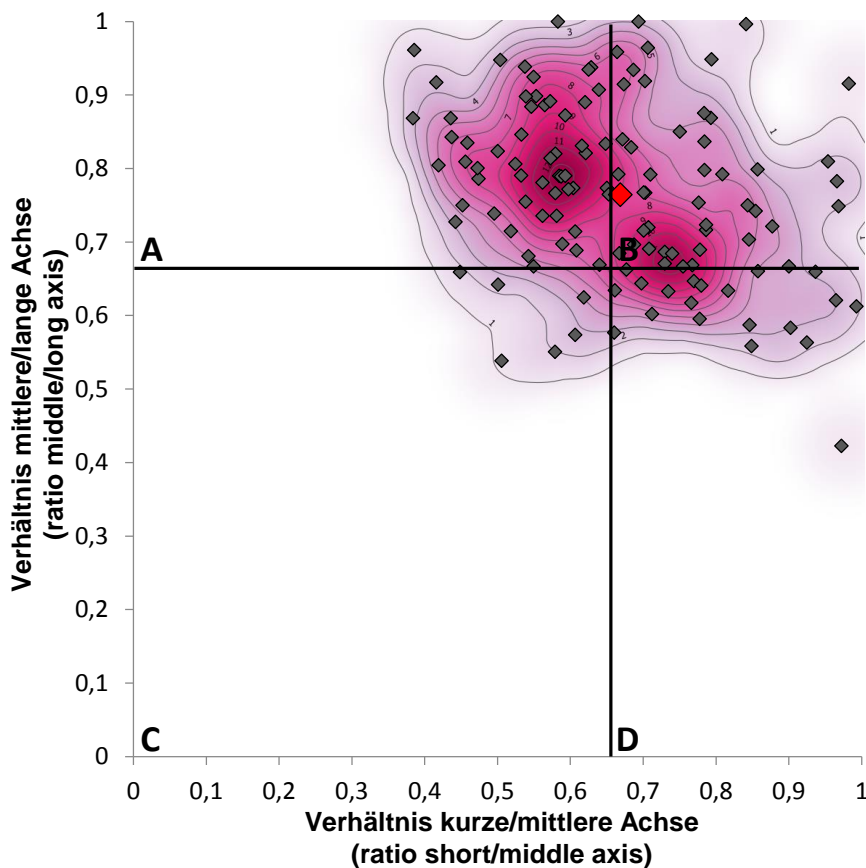
Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,3	15,0	18,8	26,8	8,5	0,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,3	3,5	10,5	11,8	4,0	0,3
Gesamt	0,5	18,5	29,3	38,5	12,5	0,8



Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 63 – 200 µm (L 661-4-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,76$ (Standard-Abweichung: $0,13$), $C/B = 0,71$ (Standard-Abweichung: $0,16$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

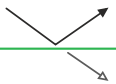
Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 200 – 630 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,0	1,0	7,5	12,5	28,5	19,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	0,0	1,5	10,5	10,5	3,5	5,0
Gesamt	0,0	2,5	18,0	23,0	32,0	24,5



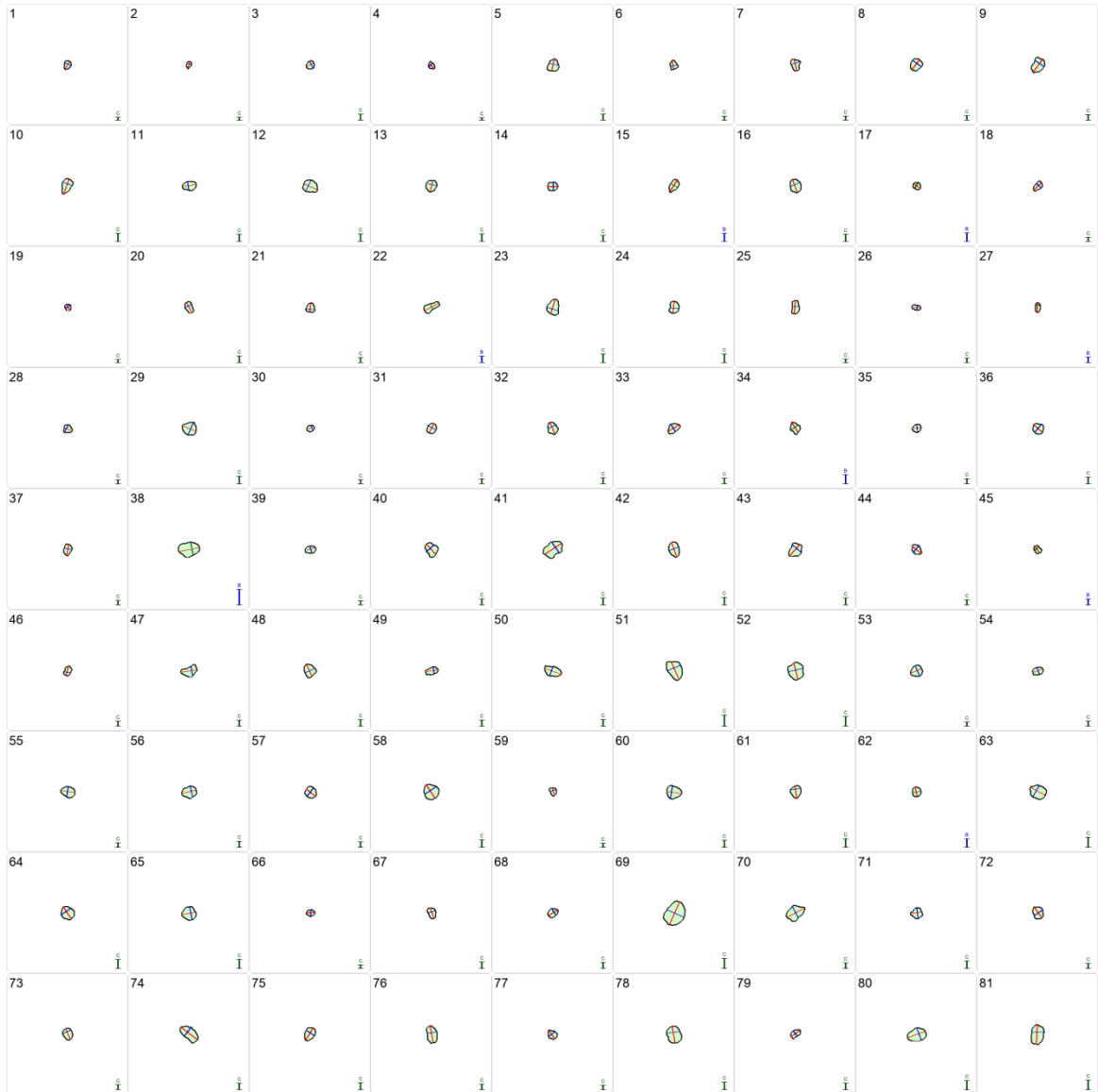
Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-4-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,76$ (Standard-Abweichung: $0,12$), $C/B = 0,67$ (Standard-Abweichung: $0,15$)).

Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

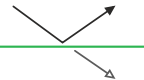


Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 200 – 630 µm

Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform

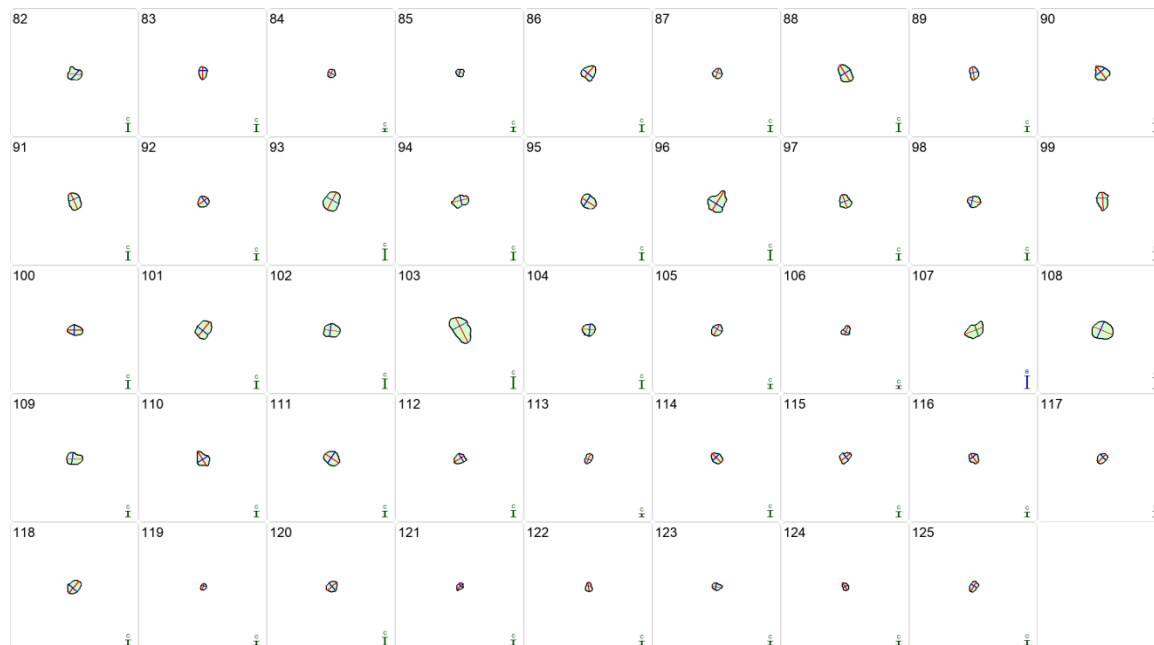


Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**



Probe WB03, 12,7 – 12,8 m, Fraktion 200 – 630 μm

Fortsetzung: Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fein- bis Mittelsand

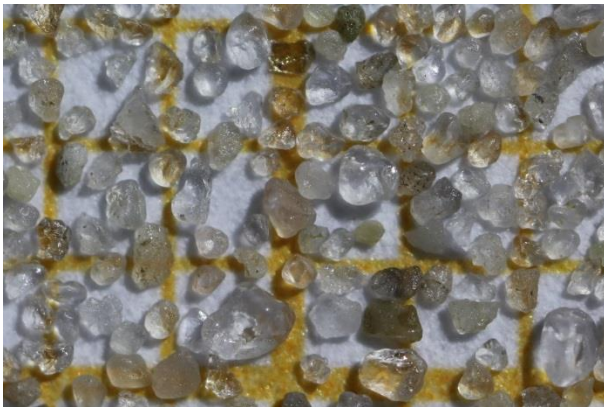
Mikroskopische Untersuchungen der Sand- und Kiesfraktion



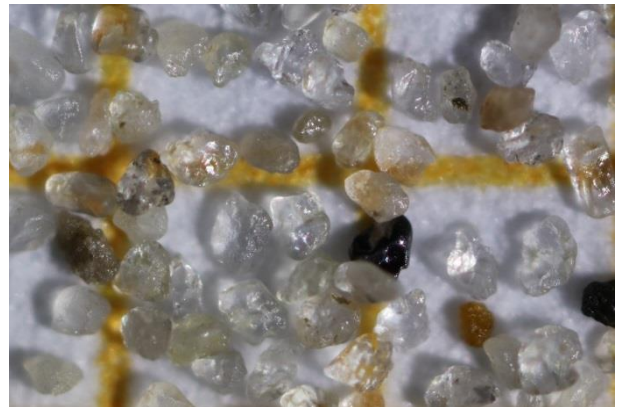
Fraktion > 2000 µm: **Kies**



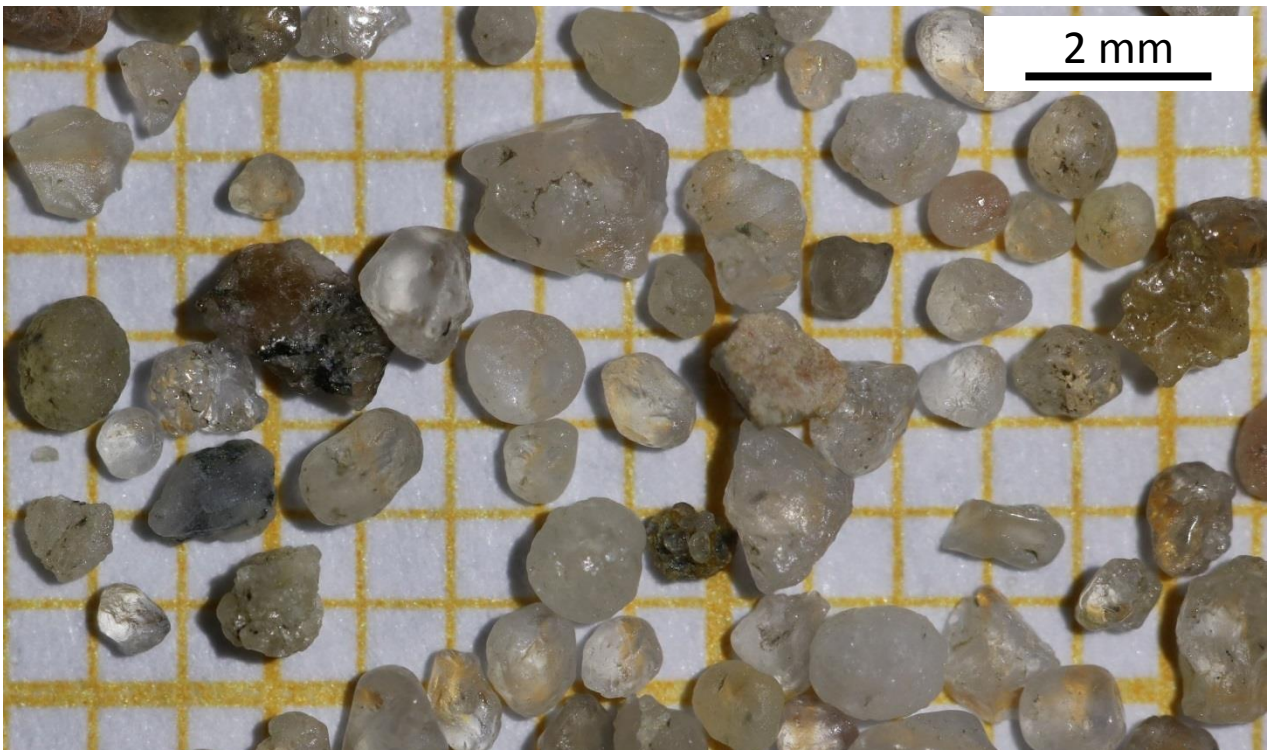
Fraktion 630 – 2000 µm: **Grobsand**



Fraktion 200 – 630 µm: **Mittelsand**



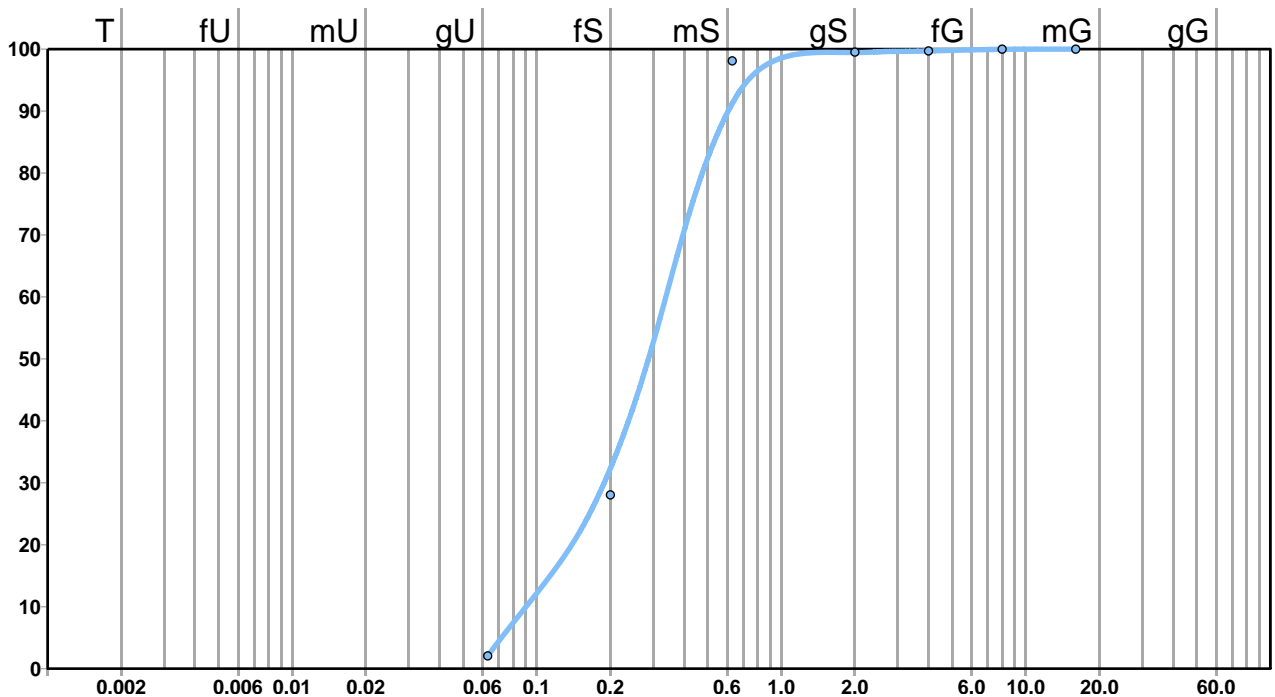
Fraktion 63 – 200 µm: **Feinsand**



Fraktion > 2000 µm: **Detailaufnahme Grobsand**

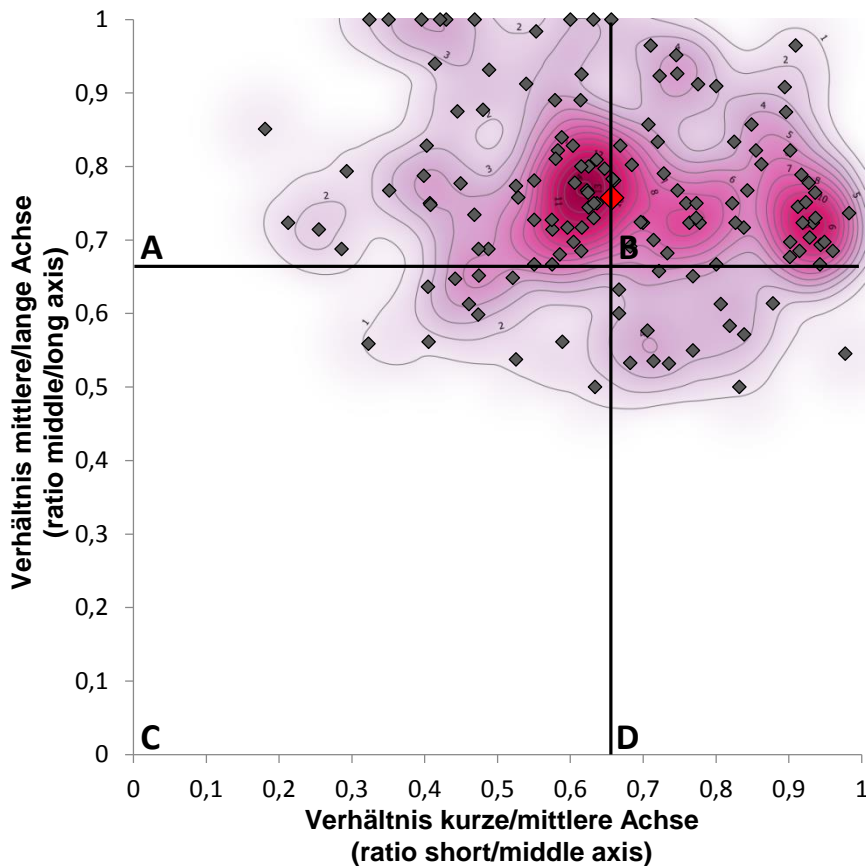
Probe WB06, 22,4 – 22,7 m**Korngrößenanalyse und Körnungslinie**

Korngröße	Fraktion	Anteil in Gew.-%		Summe in %
> 2000 µm	Kies und Steine	0,5	0,5	100,0
630 – 2000 µm	Grobsand	1,4	97,5	99,5
200 – 630 µm	Mittelsand	70,1		98,1
63 – 200 µm	Feinsand	26,0		28,1
< 63 µm	Ton- und Schluff	2,1	2,1	2,1

**Mittelsand, fs, gs**

Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 63 – 200 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

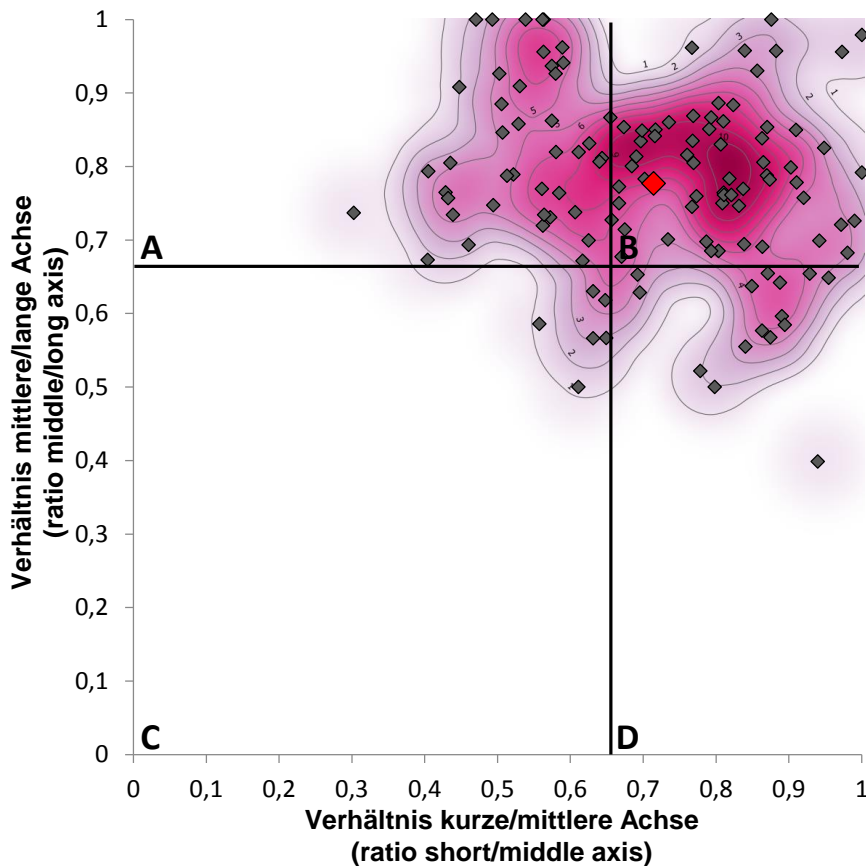
Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	1,2	8,2	16,0	23,2	10,0	2,5
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	1,5	3,0	13,0	14,5	6,7	0,2
Gesamt	2,7	11,2	28,9	37,7	16,7	2,7



Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 63 – 200 µm (L 661-5-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,76$ (Standard-Abweichung: $0,12$), $C/B = 0,66$ (Standard-Abweichung: $0,19$)). Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

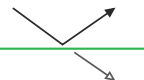
Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 200 – 630 µm**Bestimmung von Kornform und Rundungsgrad in den Sand- und Kiesfraktionen**

Rundungsgrad (%)	0	1	2	3	4	5
	(sehr eckig/ very angular)	(eckig/ subangular)	(weniger eckig/ subangular)	(angerundet/ subrounded)	(gerundet/ rounded)	(gut gerundet/ well-rounded)
Hohe Kugeligkeit (high sphericity)	0,5	10,0	15,0	24,5	19,5	8,0
Geringe Kugeligkeit (low sphericity)	1,0	3,0	5,5	3,5	7,0	2,5
Gesamt	1,5	13,0	20,5	28,0	26,5	10,5



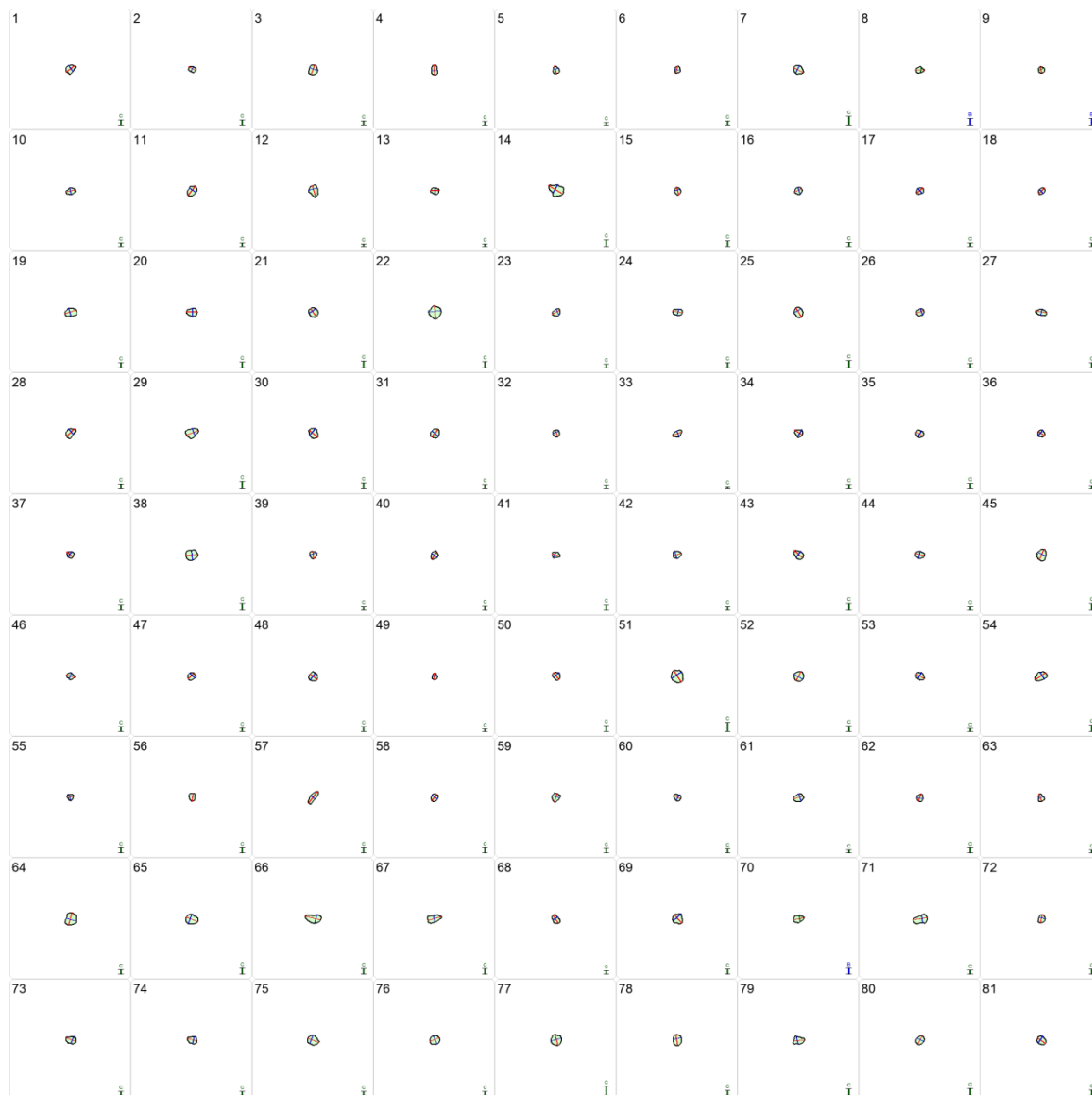
Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 200 – 630 µm (L 661-5-20): Zuordnung von Sedimentkörnern der Probe in Kornformen anhand morphometrischer Messungen entlang dreier Achsen (Mittelwert (rot): $B/A = 0,78$ (Standard-Abweichung: $0,12$), $C/B = 0,71$ (Standard-Abweichung: $0,16$)).

Ausgewertet wurde eine Unterprobe. Die Kerndichtenschätzung wurde mit den folgenden Parametern durchgeführt: Radius = 0,1, Pixelbreite = 0,0001, Pixelhöhe = 0,0001.

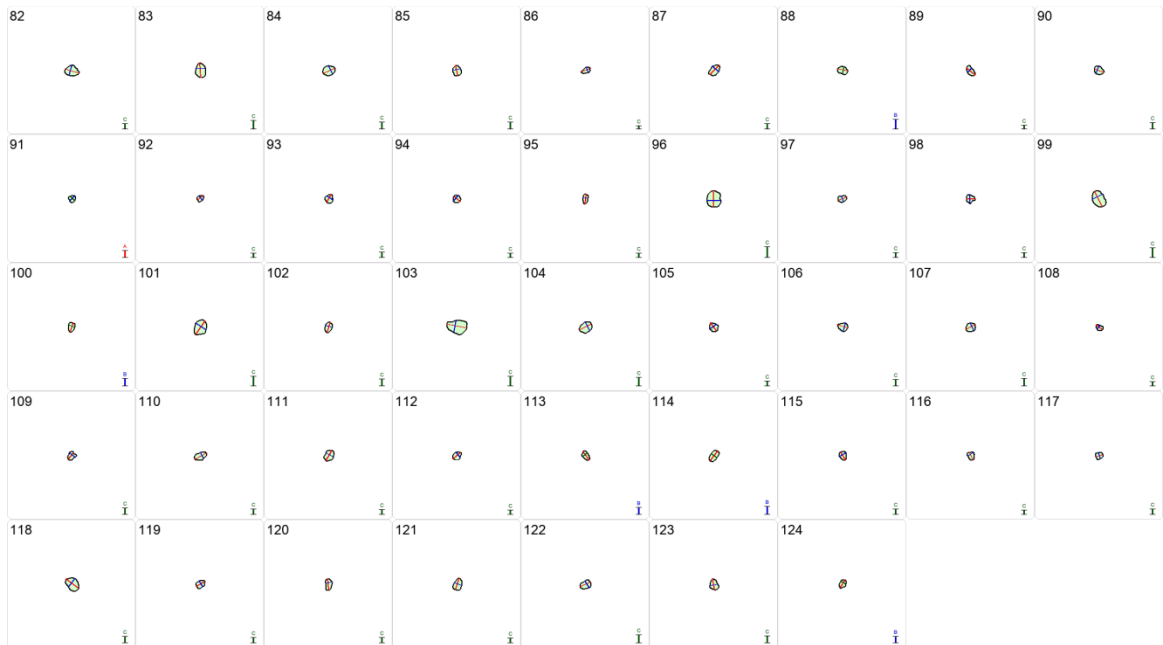


Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 200 – 630 µm

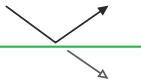
Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform



Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**

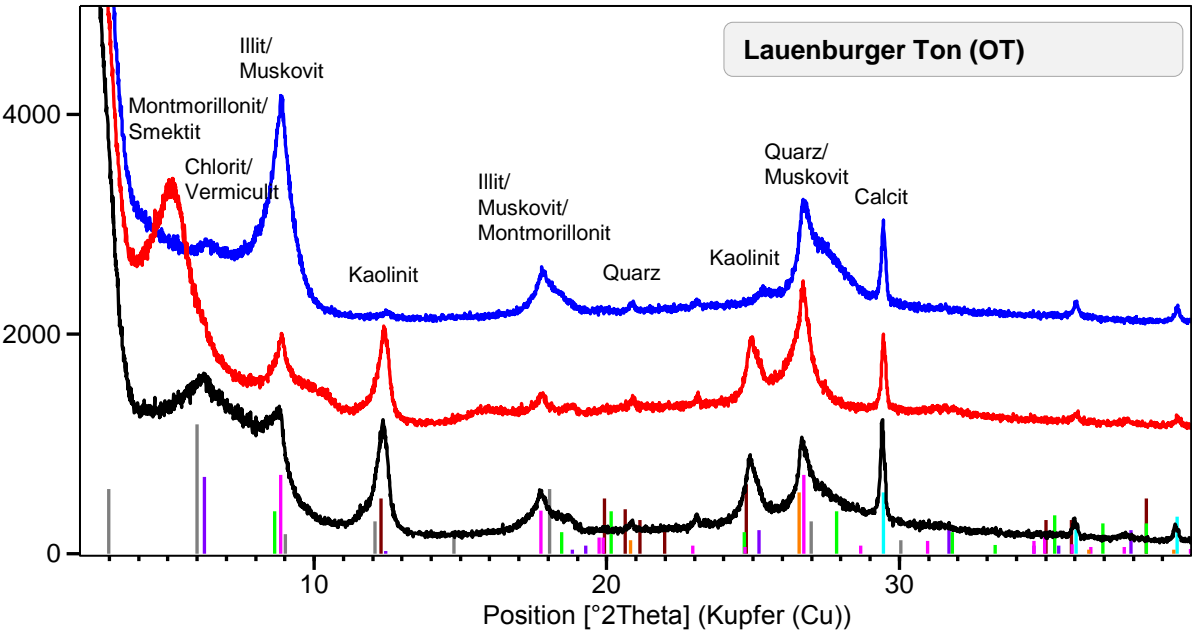
Probe WB06, 22,4 – 22,7 m, Fraktion 200 – 630 μm **Fortsetzung: Ausgezählte Partikel zur Bestimmung der Kornform**

Farbliche Darstellung der Achsen: A-Achse = **rot**, B-Achse = **blau**, C-Achse = **grün**



Röntgendiffraktometrische Untersuchungen von Probe B 3, 35,5 m

Impulse



P661-7-20, < 2 µm,
lufttrocken



P661-7-20, < 2 µm,
Glycol-behandelt



P661-7-20, < 2 µm,
520°C-behandelt



Quarz (SiO₂)



Calcit (CaCO₃)



Montmorillonit/Smektit



Vermiculit



Illit



Muskovit

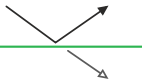


Kaolinit

Tonminerale

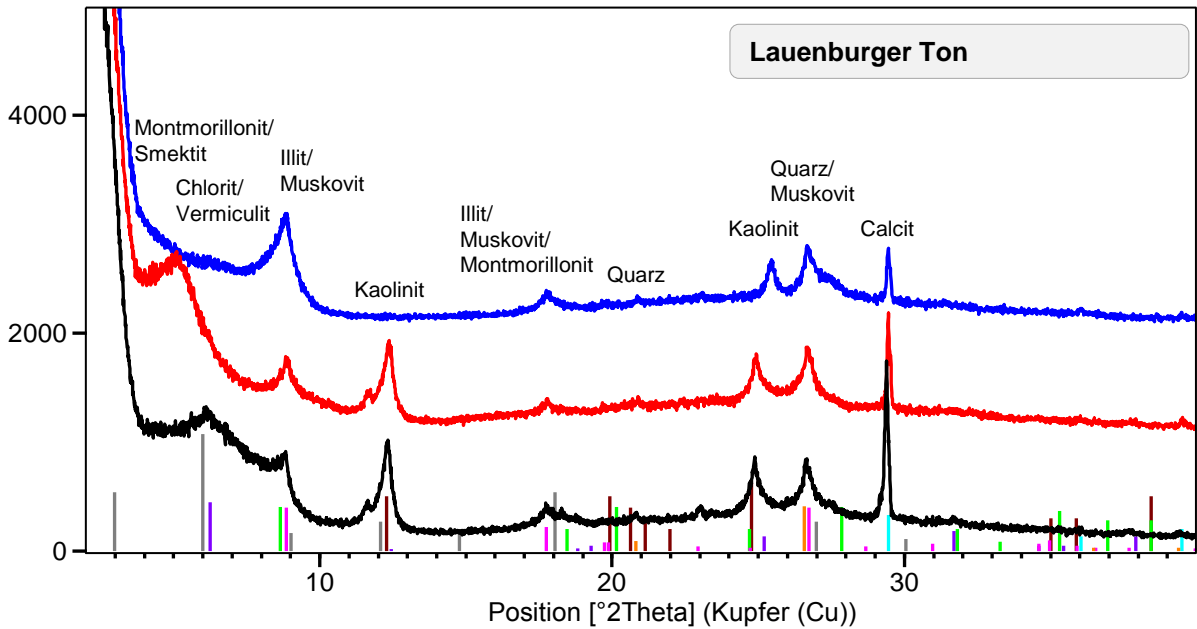
Mineral- und Tonmineralzusammensetzung

	Smektit	Illit	Kaolinit	Vermiculit	Chlorit	Calcit
Einheit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	45 – 47	23 – 25	16 – 18	< 2	2 – 4	8 - 10



Röntgendiffraktometrische Untersuchungen von Probe WB 01, 17,4 m

Impulse



P661-10-20, < 2 µm,
lufttrocken



P661-10-20, < 2 µm,
Glycol-behandelt



P661-10-20, < 2 µm,
520°C-behandelt



Quarz (SiO₂)



Calcit (CaCO₃)



Montmorillonit/Smektit



Vermiculit



Illit



Muskovit

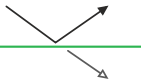


Kaolinit

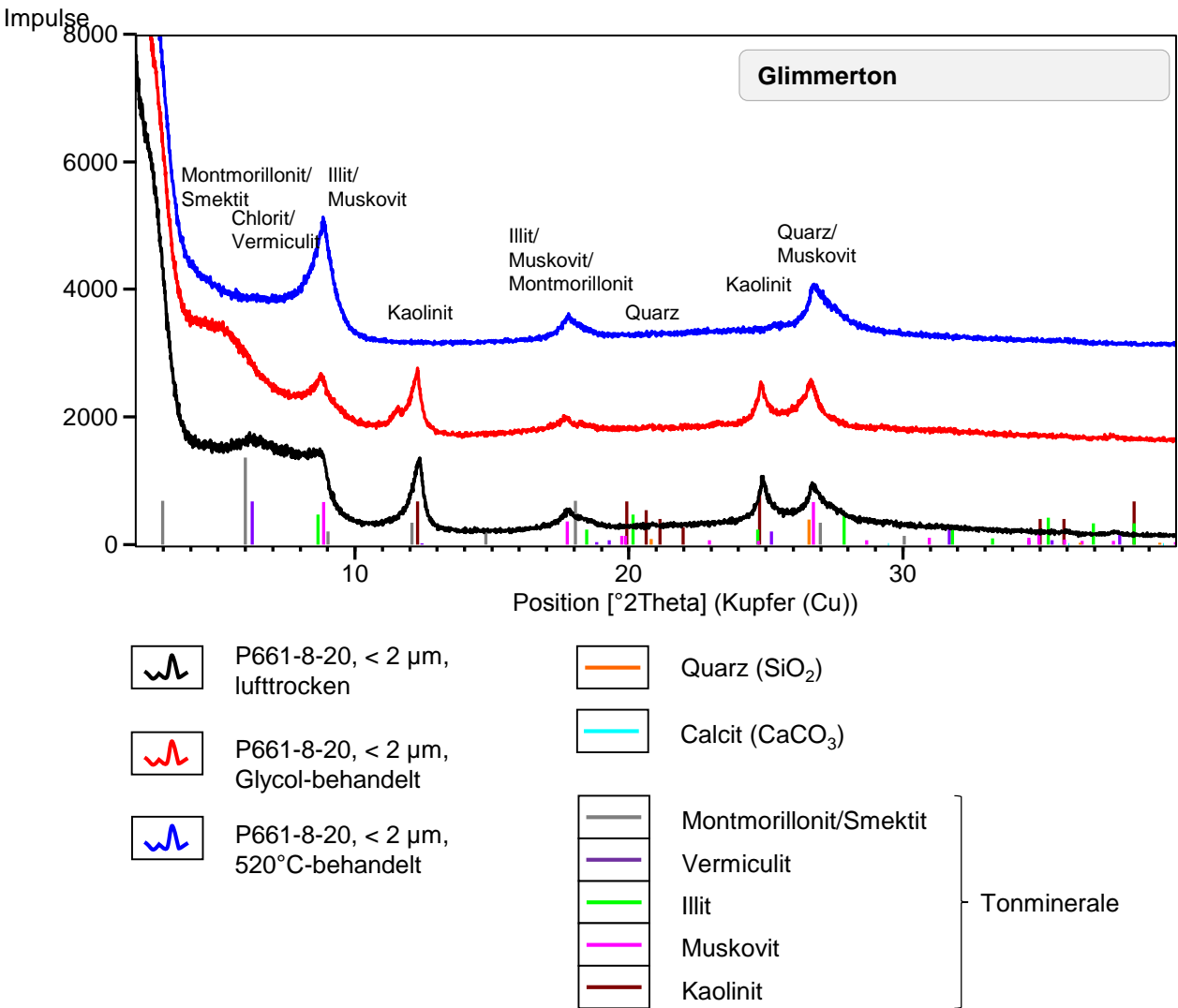
Tonminerale

Mineral- und Tonmineralzusammensetzung

	Smektit	Illit	Kaolinit	Vermiculit	Chlorit	Calcit
Einheit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	31 – 33	24 – 26	21 – 23	< 2	2 – 4	16 -18

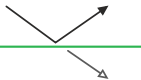


Röntgendiffraktometrische Untersuchungen von Probe WB 04, 15,25 m

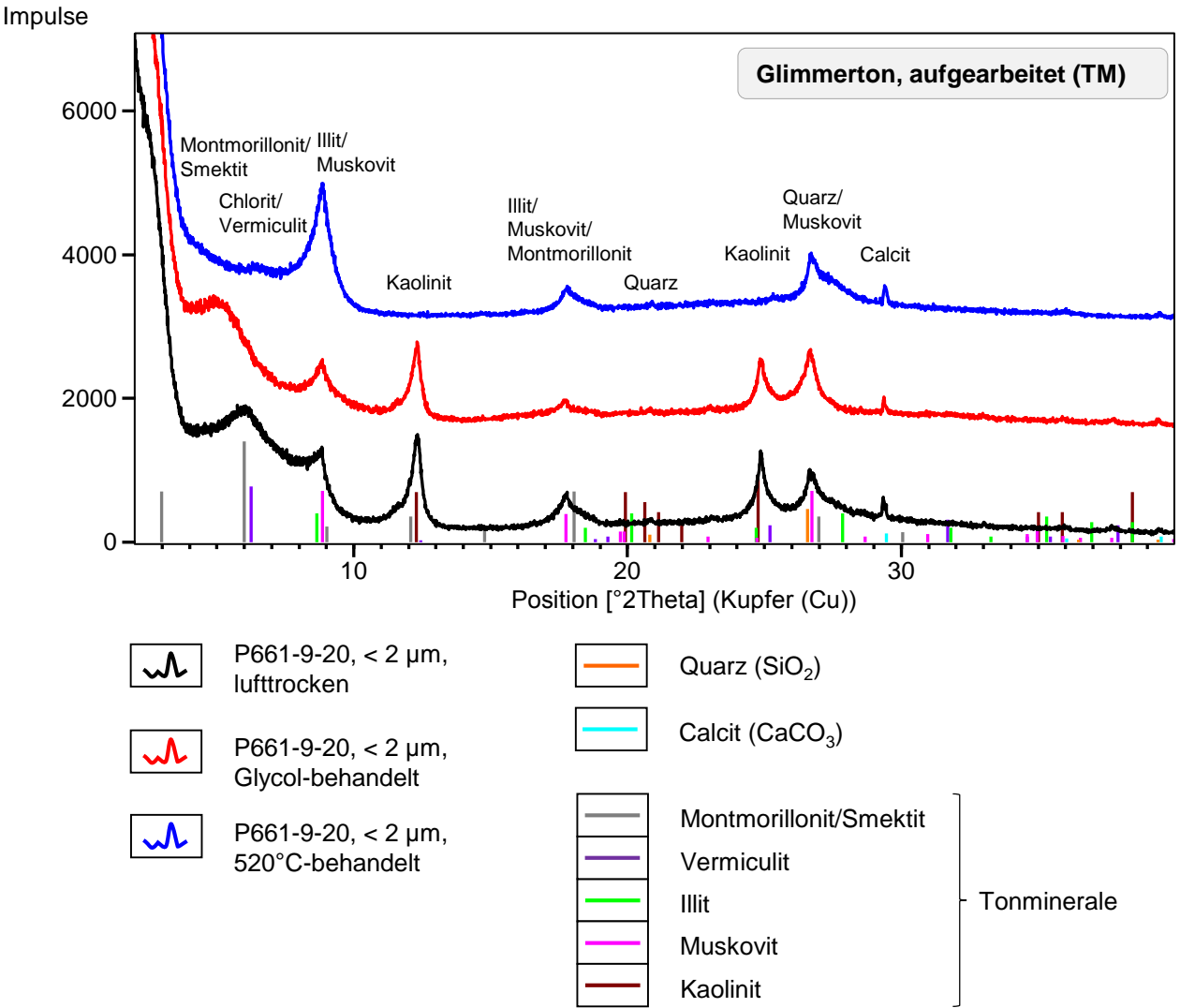


Mineral- und Tonmineralzusammensetzung

	Smektit	Illit	Kaolinit	Vermiculit	Chlorit	Calcit
Einheit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	20 – 22	43 – 45	32 – 34	< 2	< 2	< 1



Röntgendiffraktometrische Untersuchungen von Probe WB 06, 24,3 m



Mineral- und Tonmineralzusammensetzung

	Smektit	Illit	Kaolinit	Vermiculit	Chlorit	Calcit
Einheit	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	25 – 27	35 – 37	30 – 32	-	2 – 4	3 - 5