

**Antragsunterlagen für das wasserrechtliche
Planfeststellungsverfahren gemäß § 68 WHG zur
Erweiterung des Granitsteinbruchs
Gehrenberg der RÖHRIGgranit® GmbH**

Kapitel XIII
Geologisches Gutachten

Antragsteller:



RÖHRIGgranit® GmbH
Werkstraße Röhrig 1
64646 Heppenheim

Bearbeitet von:



Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner
Ingenieurgesellschaft mbH
Charlottenburger Allee 39
52068 Aachen
Dipl.-Ing. M. Buschmann
Dr. M. Schmitz, M. Sc.

Projekt-Nr.: 1604501

August 2020

Geologisches Gutachten über die Zusammensetzung und das Gefüge der Granitoide des Steinbruchs Röhrig (Heppenheim/Sonderbach) unter Einbeziehung der Fläche für das Erweiterungsvorhaben in südlicher Richtung

Prof. Dr. Gernold Zulauf
Institut für Geowissenschaften
Goethe-Universität Frankfurt a.M.

Zusammenfassung: Aus dem südlich von Heppenheim/Sonderbach gelegenen Steinbruch Röhrig sowie dem südlich angrenzenden, für eine Erweiterung vorgesehenen Areal wurden 5 Proben des Weschnitz-Plutons entnommen und mittels Polarisationsmikroskop, Röntgendiffraktometer, Röntgenfluoreszenz und Computertomograph hinsichtlich Stoffbestand und Gefüge untersucht. Die Gesteine sämtlicher Proben zeigen eine ähnliche mineralogische Zusammensetzung bestehend aus Plagioklas (Andesin), Kalifeldspat, Quarz, Hornblende und Biotit. Akzessorisch beteiligen sich Hellglimmer, Chlorit, Albit, Calcit, Apatit, Titanit, Ilmenit und Zirkon. Anhand dieses Mineralbestandes lassen sich die Gesteine als Quarzmonzodiorite klassifizieren. Eine äußerst homogene und ähnliche Zusammensetzung der untersuchten Proben ergeben auch die geochemischen und computertomographischen Analysen. Die gefügekundlichen Daten belegen, dass das magmatische Gestein nach seiner Platznahme im tiefen Krustenstockwerk (ca. 17 km) bei hohen Temperaturen schwach deformiert wurde, wobei die Feldspäte, Biotite und auch Quarz eine schwache Formregelung erfuhren. Die Längsachse der Minerale verläuft im Steinbruch und auch südlich davon subvertikal. Anschließend kam es zu einer moderaten grünschieferfaziellen metamorphen Überprägung, wobei primäre magmatische Minerale wie Plagioklas und Biotit zum Teil in sekundäre Minerale wie Hellglimmer, Chlorit und Calcit umgewandelt wurden. Dabei und auch später kam es untergeordnet zur Rissbildung, die vor allem Feldspat, Titanit und Quarz betrifft. Eine Verheilung dieser Risse zeigen nicht nur die mikroskopischen, sondern auch die computertomographischen Analysen an. Offene Risse und spröde Störungen kommen trotz der Nähe zum Oberrheingraben nur sehr untergeordnet im Untersuchungsgebiet vor. Auch fehlen in den untersuchten Proben jegliche Anzeichen für die Anwesenheit von gesundheitsgefährdenden Komponenten wie radioaktive Minerale oder andere toxische Phasen (z.B. Asbest). Dies gilt sowohl für den gegenwärtigen Steinbruch als auch für das südlich angrenzende Erweiterungsareal. In beiden Fällen handelt es sich um hochwertige kristalline Gesteine, die sich aufgrund ihrer Homogenität und Festigkeit von den meisten Gesteinen der näheren und weiteren Umgebung deutlich abheben und somit in sehr vielfältiger Weise zum Einsatz kommen können.

1. Vorbemerkung

Die untersuchten Proben stammen aus dem südlich von Heppenheim/Sonderbach gelegenen Steinbruch der Fa. Röhrig Granit GmbH. Das dort anstehende magmatische Gestein gehört zum Weschnitz-Pluton, der den größten zusammenhängenden Intrusionskomplex im Bergsträßer Odenwald darstellt. Der Weschnitz-Pluton ist im frühen Karbon, vor ca. 345 Millionen Jahren, in ca. 17 km Tiefe in einen kristallinen Rahmen intrudiert und hat – wie K-Ar-Datierungen von Hornblenden anzeigen – erst bei ca. 330 Millionen Jahren die 500°C-Isotherme unterschritten. Das intrudierte Magma konnte somit in großer Tiefe sehr langsam abkühlen, so dass sich ein innig verzahntes kristallines Gesteinsgefüge entwickelte. Am Aufbau des Weschnitz-Plutons beteiligen sich Granodiorit, Tonalit, Monzodiorit und untergeordnet Quarz-Diorit. Aus dem Steinbruch Röhrig wurde bisher in der

Literatur vor allem Quarzmonzodiorit beschrieben, der gelegentlich Enklaven von dunklerem Quarzdiorit aufweist. Neben diesen Gesteinen findet man im Steinbruch zudem frühe mafische Gänge, deren Zusammensetzung nicht bekannt ist. Sie zeigen bereits makroskopisch Hinweise auf Deformation bei hohen Temperaturen. Zudem treten postkinematische Lamprophyrgänge auf. Bereits im Aufschluss lässt sich in einigen Bereichen feststellen, dass die Minerale des Quarzmonzodiorits, vor allem die Feldspäte, eine Kornformregelung aufweisen. Die daraus resultierende schwache Foliation steht steil bis subvertikal. Das gleiche gilt für die Enklaven aus Quarzdiorit. Obwohl der Steinbruch Röhrig nur 3,2 km von der östlichen Randverwerfung des Oberrheingrabens entfernt ist, stößt man im Steinbruch nur gelegentlich auf Störungen, die überwiegend steil verlaufen und abschiebenden bis blattverschiebenden Charakter aufweisen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden insgesamt 5 Gesteinsproben analysiert. Die Proben wurden während einer gemeinsamen Befahrung des Steinbruchs am 22. August 2018 zusammen mit dem Steinbruchbesitzer und dem technischen Leiter ausgewählt und entnommen. Die Lokalitäten dieser Proben sind in einer großmaßstäbigen Karte eingetragen, die uns vom Besitzer freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde (Abb. 1). Die Proben 1 bis 3 stammen aus kürzlich abgeteufte Bohrungen, während Proben 4 und 5 aus dem zentralen Teil des Steinbruchs entnommen wurden. Die Bohrungen dienen zur Erkundung des südlich an den Steinbruch angrenzenden Areals, das in Zukunft zur Erweiterung des Steinbruchs dienen soll.

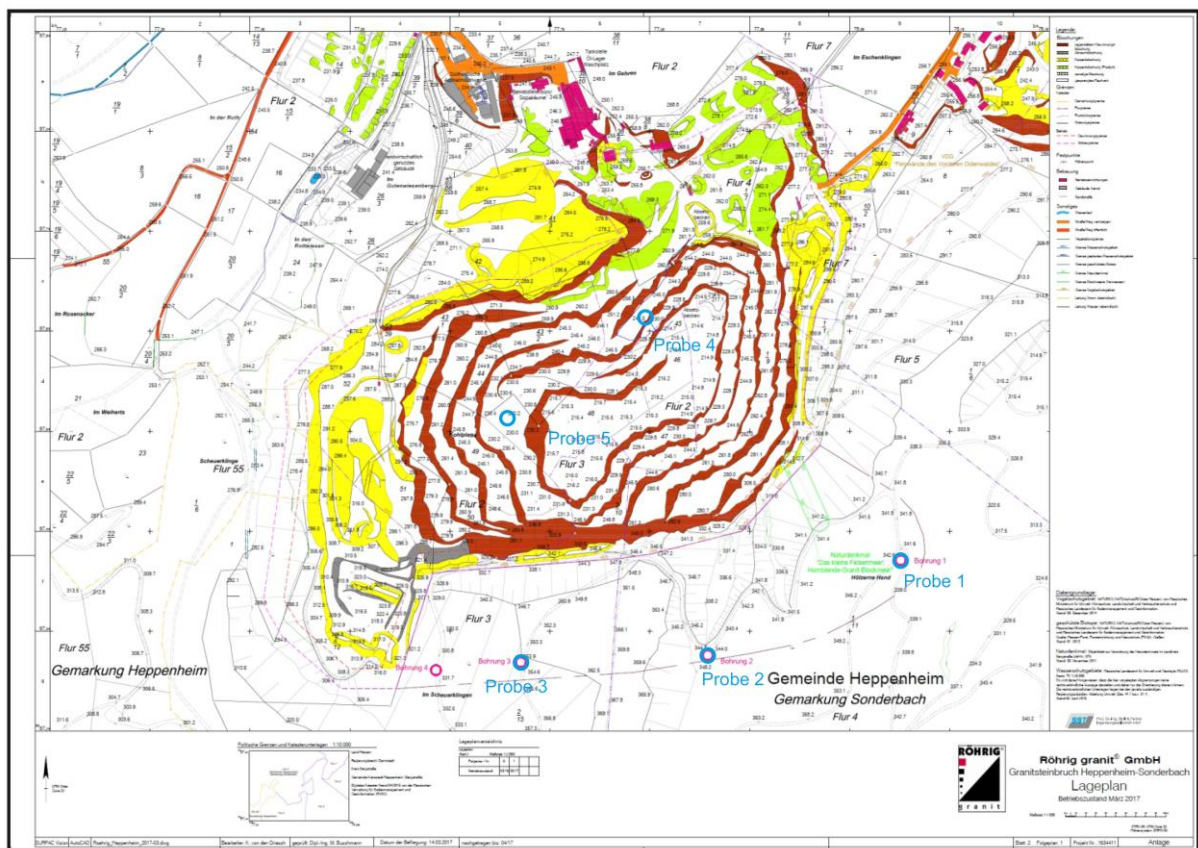


Abb. 1. Lokalität der untersuchten Proben aus dem Steinbruch Röhrig (Proben 4 und 5) sowie aus den südlich vom Steinbruch abgeteufte Bohrungen (Proben 1-3).

Hinsichtlich Farbe und Korngröße unterscheiden sich die untersuchten Proben nur geringfügig (Abb. 2). Lediglich Probe 2 aus Bohrung 2 fällt etwas aus dem Rahmen. Bis auf geringfügige Variationen im Anteil der dunklen (mafischen) Minerale sind die untersuchten Proben makroskopisch in ihrer Zusammensetzung relativ homogen.



Abb. 2. Photographien der untersuchten Proben. Man beachte die etwas abweichende Farbe von Probe 2.

2. Methodik

Die Proben wurden zunächst petrologisch und mikrogefügekundlich mittels Polarisationsmikroskop untersucht. Dazu wurden zuvor von jeder Probe Gesteinsdünnschliffe angefertigt. Zudem wurde der Mineralbestand

röntgendiffraktometrisch (RDA) bestimmt. Die quantitativen RDA-Werte wurden verwendet, um das Gestein mit Hilfe des Streckeisen-Diagramms zu klassifizieren.

Die computertomographischen Analysen (CT) dienten dazu, (1) den Grad der Homogenität der Proben zu bestimmen, (2) die wesentlichen Minerale (oder Mineralgruppen), die sich in ihrer Dichte unterscheiden, zu quantifizieren, (3) eine mögliche Kornformregelung der Feldspäte, Quarze und Glimmer aufzuzeigen und (4) mögliche Risse im Gestein nachzuweisen.

Die Gesteinschemie wurde durch Röntgenfluoreszenz-Analysen (RFA) bestimmt. Hierzu dienten sowohl Schmelz- als auch Pulvertabletten. Mittels Schmelztabletten wurden ermittelt: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃, Cl, F, LOI (Sauerstoffindex), As, Ba, Bi, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Hf, La, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn und Zr. Anhand von Pulverpresslingen wurden ermittelt: Ag, Ba, Cd, Ce, Cs, I, In, La, Nd, Sb, Sm, Sn und Te. Anhand der geochemischen Daten wurde ein normativer Mineralbestand berechnet.

3. Ergebnisse

3.1. Mikroskopische Analysen

Die mikroskopische Analyse belegt, dass die untersuchten Proben hinsichtlich Mineralbestand und Gefüge sehr ähnlich sind. In sämtlichen Proben lassen sich die folgenden Minerale unterscheiden: Plagioklas, Kalifeldspat, Quarz, Hornblende und Biotit. Akzessorisch treten Titanit, Ilmenit, Zirkon, Apatit, Chlorit, Hellglimmer und Calcit hinzu.

Die bis zu 8 mm großen *Plagioklase* stellen in der Mehrzahl Andesine dar. Sie nehmen das größte Volumen der Gesteine ein und zeigen teilweise intensive Alteration in Form von Serizitisierung, selten auch Saussuritisierung (Abb. 3c,d,g,h). Die teils selektive Alteration der Plagioklase, mit Schwerpunkt im Kern, deutet darauf hin, dass eine primäre magmatische chemische Zonierung mit anorthitreichem Kern und anorthitarmem Rand vorhanden ist. Diese Zonierung äußert sich gelegentlich auch in frischen Plagioklasen anhand ihrer Auslöschung. Deformation von Plagioklas ist belegt durch Druckzwillinge und zeigt sich gelegentlich auch in Form von Rissen oder leicht verbogenen Zwillinglamellen (Abb. 3b,h). Die Mikrorisse scheinen jedoch in der Mehrzahl verheilt zu sein. In einem Fall konnte Neubildung von Chlorit in einem ehemals offenen Riss beobachtet werden (Bohrung 1). In Bereichen mit intensiver retrograder Überprägung liegen sehr geringe Mengen von neu gebildeten Albiten mit Einfachverzwillingung vor. Sie sind klar im Erscheinungsbild und frei von Alteration. Die polysynthetischen Zwillinge in den Andesinen entstanden sowohl nach dem Albit- als auch nach dem Periklin-Gesetz (z.B. Abb. 3a).

Quarz wird bis zu 7 mm groß und zeigt gelegentlich entmischte Rutilnadeln (vor allem Bohrung 5). Stark lobate bzw. suturierte Korngrenzen und eine schachbrettartige Auslöschung (Abb. 3a,e), hervorgerufen durch prismen- und basisparallele Subkörner, zeugen von hochtemperierter Deformation (T > 650°C). Bei geringeren Temperaturen entstanden zahlreiche verheilte Risse, die mit Fluideinschlüssen dekoriert sind (Abb. 3d,f). Häufig beobachtet man mehrere Rissgenerationen. Am Kontakt zu Hornblende wird Quarz gelegentlich von sehr kleinen Calcitkristallen verdrängt. Eine hochtemperierte diffusionskontrollierte Deformation der Gesteine wird auch durch die teils intensiv suturierten Grenzflächen zwischen Kalifeldspat und Quarz sowie zwischen Quarz und Plagioklas belegt (s. folgende Abschnitte).

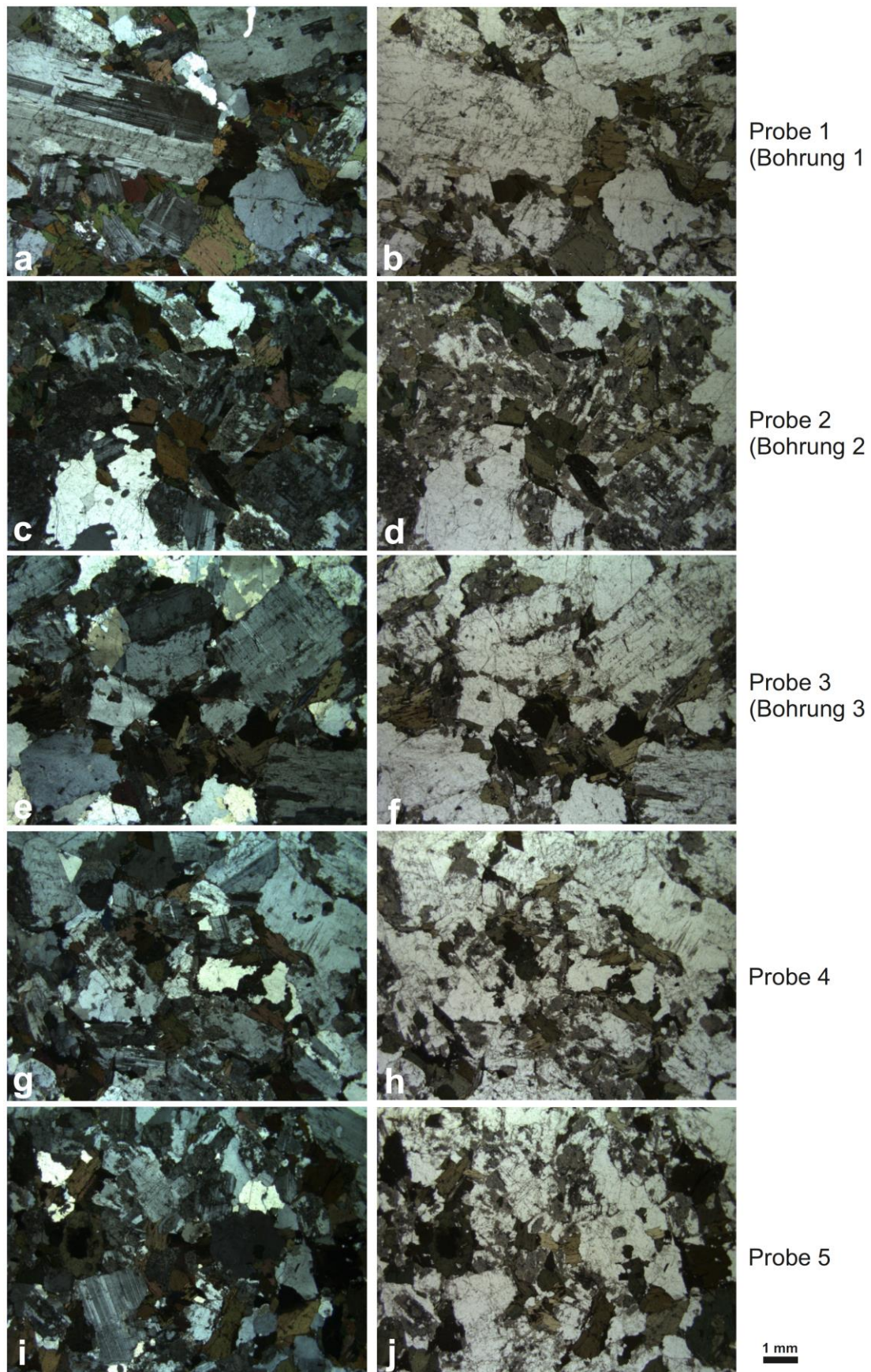


Abb. 3. Mikroskopische Aufnahmen der untersuchten Proben 1-5. Die in der linken Spalte abgebildeten Mikrofotos wurden mit gekreuzten, die in der rechten Spalte abgebildeten Mikrofotos wurden mit parallelen Polarisatoren aufgenommen.

Kalifeldspat tritt sowohl als idiomorphe als auch als xenomorphe Phase auf und zeigt gelegentlich Karlsbader Zwillinge. Er besitzt Einschlüsse von Quarz, Hornblende und Plagioklas (Abb. 3a,b). Deformation von Kalifeldspat äußert sich in Form von straininduzierter Myrmekitbildung (Neubildung von Plagioklas und Quarz auf Kosten von Kalifeldspat), Gitterverbiegung sowie durch verheilte Risse, die meist mit Fluideinschlüssen dekoriert sind (Abb. 3b). Auffällig sind suturierte Phasengrenzen, vor allem zu Quarz und Plagioklas, die auf hochtemperierte Gitterdiffusion hinweisen (Abb. 3i). Untergeordnet treten auch suturierte Korngrenzen im Kalifeldspat selbst auf. Perthitische Entmischung ist sehr selten und betrifft nur solche Kristalle, die intensiver Deformation (Verbiegung) ausgesetzt waren.

Grüne *Hornblenden* werden bis zu 2 mm groß und treten häufig als verzwillingte, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle auf. Als Einschlüsse in den Hornblenden findet man Biotit und fein verteilte, sehr kleine leistenförmige Minerale, bei denen es sich um Apatit handelt.

Die *Biotite* werden bis zu 2 mm groß. Ihre sehr gut ausgeprägten Spaltflächen sind häufig mit opaker Phase (vermutlich Ilmenit) dekoriert. Randlich wird Biotit stellenweise zu grünem Chlorit umgewandelt. Zudem findet man lokal Verdrängung von Biotit durch Hellglimmer. Dieser wächst jedoch nicht am Rand der Biotite, sondern erstreckt sich über Teile des gesamten Kristalles, die parallel zu den Spaltflächen verlaufen. Liegen Zirkone als Einschlüsse im Biotit vor, so zeigen sie pleochroitische Höfe. Geringe Deformation von Biotit äußert sich durch selten auftretende Verbiegung oder Knickung.

Die bis zu 1 mm großen *Titanite* liegen in der Mehrzahl als idiomorphe Kristalle vor. Gelegentlich beobachtet man Einschlüsse aus Opakphase, bei der es sich vermutlich um Ilmenit handelt. Deformation der Titanite äußert sich in Form von intrakristallinen Rissen. Aufgrund des spröden Charakters der Titanite sind diese auf die Kristalle beschränkt.

Die bis zu 0.2 mm großen *Zirkone* treten meist idiomorph auf. In manchen Fällen zeigen sie einen ererbten Kern. Zirkone findet man als Einschlüsse vor allem im Biotit und in Hornblende.

Apatit bildet sehr kleine Leisten, die meist in Hornblende oder auch in Biotit eingeschlossen sind.

Hellglimmer liegt ausschließlich als Sekundärprodukt vor. Man findet ihn zum einen als Neubildung, die Biotit pseudomorph verdrängt. Die Korngröße dieser Hellglimmer ist ähnlich der des Biotits. Zum anderen verdrängt Hellglimmer in Form von sehr kleinem Serizit die anorthitreichen Partien der Plagioklase.

Auch *Calcit* tritt ausschließlich als Sekundärphase auf, die im Zuge der Alteration von Plagioklas gebildet wurde. Man findet Calcit am Rand von Plagioklas oder Titanit. Selten tritt er auch innerhalb von Plagioklas oder Hornblende auf. Sämtliche der beobachteten Calcite sind nicht verzwillingt.

Schließlich wurde grüner *Chlorit* ebenfalls als Sekundärphase gebildet, die Biotit randlich oder komplett verdrängt.

3.2. Röntgendiffraktometrische Analysen

Die röntgendiffraktometrischen Analysen liefern quantitative Daten der wesentlichen Minerale (Tabelle 1). Analog zur mikroskopischen Auswertung nimmt der mit RDA ermittelte Plagioklas den größten Anteil des Gesteinsvolumens ein. Sein Gehalt schwankt zwischen 51,0% und 56,6%. Der Anorthitgehalt der Plagioklase (An) kann anhand der RDA-Daten auf ca. 35% bestimmt werden. Es bestätigen sich hierdurch die mittels Mikroskop identifizierten Andesine. Bei der An-Gehalt-Bestimmung ist in einigen der RDA-Profile jedoch auch die Anwesenheit von An-armen bis An-freien

Plagioklasen (Albite) erkennbar, allerdings nicht quantifizierbar. Ein bestimmter Teil hiervon kann aus einer alterationsbedingten Albitisierung der Andesine hervorgegangen sein. Diese Annahme wird durch die mikroskopische Auswertung bestätigt. Die Quarz-Gehalte schwanken zwischen 6,5% und 11,4%. Mit ähnlichen Anteilen liegen die restlichen gesteinsbildenden Minerale vor. Auch hier schwanken die Werte geringfügig bis moderat: Kalifeldspat (8,8% - 14,7%), Biotit (9,4% - 19,6%) und Hornblende (7,0% - 11,5%). Akzessorischer Chlorit konnte in sämtlichen Proben nachgewiesen werden. Der Gehalt schwankt zwischen 0,6% und 1,3%. Andere akzessorische Minerale wie Hellglimmer, Apatit, Calcit liegen unterhalb der Nachweisgrenze der RDA.

	Biotit	Hornblende	Chlorit	Quarz	Kalifeldspat	Plagioklas (An = ca. 35%)
	Gew% (relativ)	Gew% (relativ)	Gew% (relativ)	Gew% (relativ)	Gew% (relativ)	Gew% (relativ)
Probe 1 (Bohrung 1)	9.4	11.5	2.6	7.0	12.9	56.6
Probe 2 (Bohrung 2)	15.9	8.9	1.1	9.8	8.8	55.6
Probe 3 (Bohrung 3)	19.6	7.0	0.4	11.4	10.7	51.0
Probe 4	14.2	8.5	0.9	6.5	14.7	55.1
Probe 5	14.4	11.0	0.4	7.8	10.7	55.7

Tabelle 1. Ergebnisse der röntgendiffraktometrischen Analysen

Anhand der mittels RDA quantifizierten Anteile von Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas kann der Typ bzw. Name des Gesteins in der Klassifizierung nach Streckeisen bestimmt werden. Danach stellen sämtliche der untersuchten Proben Quarzmonzodiorite dar (Abb. 4).

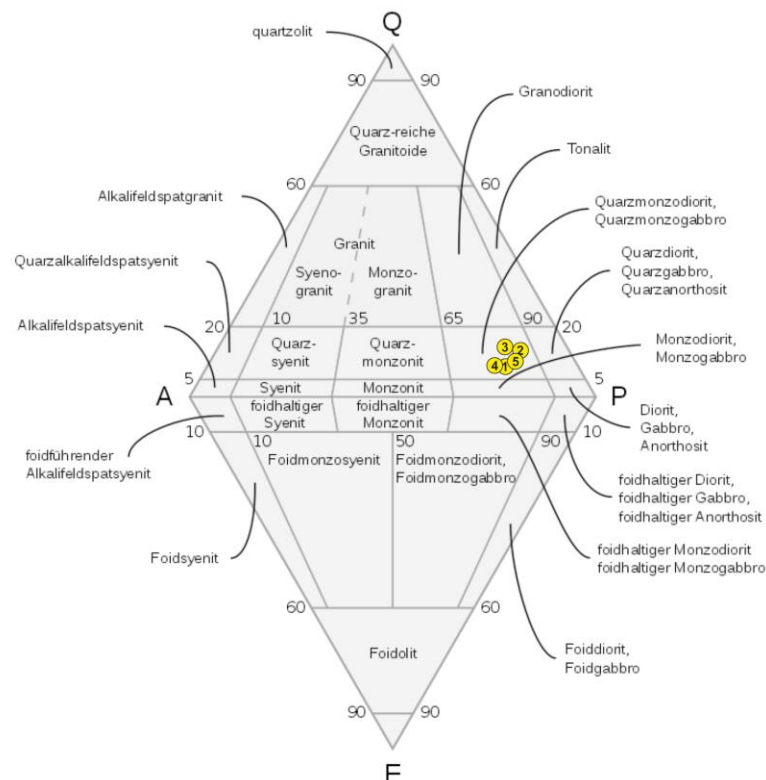


Abb. 4. QAPF-Doppeldreieck zur Klassifizierung der plutonischen Gesteine (nach Streckeisen). Mafische Minerale (hier Hornblende und Biotit) werden nicht berücksichtigt.

Q = Quarz, A = Alkalifeldspat, P = Plagioklas, F = Feldspatvertreter.

Die eingetragenen gelben Punkte stellen die untersuchten Proben 1-5 dar.

3.3. Geochemische Analysen

Die mittels RFA ermittelten geochemischen Daten machen deutlich, dass die untersuchten Proben stofflich ausgesprochen ähnlich sind (Tabelle 2).

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6
SiO ₂ _SI	%	60.09	61.35	62.70	61.77	60.90	50.88
TiO ₂ _SI	%	0.95	0.87	0.83	0.79	0.90	1.31
Al ₂ O ₃ _SI	%	16.92	17.22	16.54	17.18	16.93	17.83
Fe ₂ O ₃ _SI	%	5.33	4.85	4.81	4.67	5.28	8.44
MnO_SI	%	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.14
MgO_SI	%	2.85	2.50	2.51	2.46	2.80	5.60
CaO_SI	%	5.06	5.20	4.81	4.98	5.02	7.81
Na ₂ O_SI	%	3.54	3.67	3.50	3.63	3.52	3.89
K ₂ O_SI	%	3.09	2.78	2.88	2.97	3.08	2.08
P ₂ O ₅ _SI	%	0.27	0.24	0.24	0.23	0.26	0.31
(SO ₃)_SI	%	0.03	0.02	<0.01	0.02	0.03	0.05
(Cl)_SI	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
(F)_SI	%	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.09
LOI_SI	%	1.43	0.90	0.73	0.85	0.85	1.32
Sum_RF	%	99.67	99.66	99.70	99.68	99.68	99.76
(As)_SI	mg/kg	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Ba_SI	mg/kg	1279	1129	1191	1336	1344	638
Bi_SI	mg/kg	<7	<6	<6	<6	<6	<7
Ce_SI	mg/kg	74	90	89	87	62	76
Co_SI	mg/kg	12	9	14	9	11	25
Cr_SI	mg/kg	53	38	42	42	42	114
Cs_SI	mg/kg	<71	<71	<70	<71	<70	<71
Cu_SI	mg/kg	16	16	14	20	17	38
Ga_SI	mg/kg	25	26	24	25	24	26
Hf_SI	mg/kg	<18	<18	<18	<18	<18	<19
La_SI	mg/kg	<43	<43	49	<43	<43	<43
Mo_SI	mg/kg	<7	<7	<7	<7	<7	<7
Nb_SI	mg/kg	13	13	11	10	12	12
Nd_SI	mg/kg	<40	<39	<39	40	45	<40
Ni_SI	mg/kg	71	24	24	17	17	64
Pb_SI	mg/kg	27	23	24	27	25	25
Rb_SI	mg/kg	107	96	95	92	102	103
Sb_SI	mg/kg	<97	<95	<96	<95	<95	<96
Sc_SI	mg/kg	<25	<25	<25	<25	<25	<26
Sm_SI	mg/kg	<44	<44	<43	<44	<44	<47
Sn_SI	mg/kg	<38	<38	<38	<38	<38	<38
Sr_SI	mg/kg	698	731	711	756	709	572
Ta_SI	mg/kg	<12	<11	<11	<11	<11	<12
Th_SI	mg/kg	12	16	15	11	10	16
U_SI	mg/kg	<10	<10	<9	<9	<9	<10
V_SI	mg/kg	104	94	86	85	96	201
W_SI	mg/kg	<12	<11	<11	<11	<11	<12
Y_SI	mg/kg	21	20	17	16	19	28
Zn_SI	mg/kg	81	75	73	75	80	104
Zr_SI	mg/kg	213	199	200	205	210	146
Ag_E5	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5
Ba_E5	mg/kg	1257.1	1143.9	1198.2	1344.7	1335.9	630.9
Cd_E5	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Ce_E5	mg/kg	87.1	84.0	85.6	68.9	76.7	74.3
Cs_E5	mg/kg	5.0	4.6	4.4	4.4	4.5	4.8
I_E5	mg/kg	<0.5	<0.5	0.5	0.5	0.8	<0.5
In_E5	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
La_E5	mg/kg	36.1	36.6	42.9	29.2	32.2	24.7
Nd_E5	mg/kg	45.3	40.2	38.9	38.9	41.1	40.3
Sb_E5	mg/kg	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm_E5	mg/kg	7.4	6.6	4.5	5.6	5.1	7.4
Sn_E5	mg/kg	1.8	2.0	1.7	1.4	1.9	2.1
Te_E5	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5

Tabelle 2. Mittels Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelte geochemische Werte der untersuchten Proben.

So schwankt der SiO₂-Gehalt lediglich zwischen 60,09% und 62,70%. Der Al₂O₃-Gehalt variiert von 16,54% bis 17,22%. Auch bei CaO (4,81% - 5,06%), Na₂O (3,50% - 3,67%) und K₂O (2,78% - 3,09%) liegen keine großen Abweichungen vor. Ähnliches gilt für MnO, MgO, Fe₂O₃ und P₂O₅ (Tabelle 2). Die mittels RFA gemessenen Anteile an Spurenelemente zeigen für einen Quarzmonzodiorit gewöhnliche Werte. Die U-Gehalte sämtlicher Proben liegen ohne Ausnahme unterhalb von 10 mg/kg.

Anhand der RFA-Daten lässt sich ein normativer Mineralbestand berechnen, der jedoch ausschließlich ‚trockene‘ Minerale (d.h. solche ohne OH-Gruppen) beinhaltet (Tabelle 3).

	Bohrung 1	Bohrung 2	Bohrung 3	Probe 4	Probe 5
Normative Minerale	Gew%	Gew%	Gew%	Gew%	Gew%
Quarz	11.86	13.79	16.40	14.04	12.84
Plagioklas	50.44	52.75	49.96	51.85	50.38
Kalifeldspat	19.28	17.37	17.96	18.64	19.29
Diopsid	2.05	1.85	1.41	1.47	1.85
Hypersthen	9.56	8.43	8.71	8.49	9.56
Rutil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ilmenit	1.80	1.65	1.58	1.50	1.71
Magnetit	2.32	2.12	2.09	2.03	2.29
Apatit	0.65	0.58	0.58	0.55	0.63
Zirkon	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Chromit	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Titanit	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Halit	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Fluorite	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
Na ₂ SO ₄	0.05	0.04	0.02	0.04	0.05
Calcite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.14	98.72	98.85	98.75	98.74

Tabelle 3. Normativer Mineralbestand der untersuchten Proben, berechnet anhand der in Tabelle 2 gelisteten geochemischen Daten. Man beachte, dass die in rot dargestellten Pyroxene in den Proben nicht vorkommen. Diopsid und Hypersthen stehen stellvertretend für die in den Proben vorhandenen mafischen, OH-haltigen Minerale Hornblende und Biotit.

Aus diesem Grunde treten Minerale wie Biotit und Hornblende, die nachweislich in den untersuchten Proben vorkommen, im normativen Mineralbestand nicht auf. Für sie stehen stellvertretend die nicht vorhandenen Pyroxene Diopsid und Hypersthen. Weder Diopsid noch Hypersthen enthält das im Biotit vorhandene Kalium. Letzteres wird als Kalifeldspat verrechnet, was die im Vergleich zu den mittels RDA ermittelten Gehalten deutlich höheren normativen Kalifeldspat-Werte erklärt. Realistisch hingegen sind die normativen Plagioklas-Anteile. Sie schwanken zwischen 50,0% und 52,8%. Diese Schwankung ist ähnlich als jene der RDA-Werte (51,0% - 56,6%). Die etwas höhere Schwankung des Plagioklas-Gehaltes bei den RDA-Werten kann durch die unterschiedlich starke Alteration bedingt sein. Die normativen Quarz- und Kalifeldspat-Gehalte liegen oberhalb der RDA-Werte. Der Titan-Gehalt der Proben

floss normativ ausschließlich in das Mineral Ilmenit ein, wohingegen Titanit unberücksichtigt blieb. Auch hier entspricht der normative Mineralanteil nicht den wahren Gegebenheiten, da Titanit nach den Dünnschliffauswertungen in allen Proben die vorherrschende Titanphase ist. Die normativen Gehalte an Apatit (ca. 0,6%) und Zirkon (0,04%) können als robust angesehen werden.

3.4. Computertomographische Analysen

Die computertomographischen Analysen (CT) der untersuchten Proben zeigen das Gefüge und die Komponenten jeder einzelnen Probe in 3 Dimensionen. Mit Ausnahme von Probe 3, die eine fast vertikal verlaufende diskrete planare Struktur aus dunkleren, dichten (im CT helleren) Mineralen enthält (Abb. 5 und 8), sind sämtliche Proben als relativ homogen anzusprechen.

Die erstellten CT-Modelle lassen die Unterscheidung von insgesamt 5 Phasen zu, die in ihrer Dichte variieren. Sie erscheinen in den CT-Modellen in unterschiedlichen Grautönen (C1-C5 in Abb. 5). Eine Korrelation zwischen diesen CT-Phasen und den Mineralen der Proben ist bedingt möglich. So sind die Schwerminerale mit ihrer ausgesprochen hohen Dichte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit allesamt im CT-Modell als C5 ausgewiesen. Die mittels CT erfassten Volumenanteile für C5 schwanken zwischen 2% und 4% (Tabelle 4).

	C1	C2	C3	C4	C5
	Vol%	Vol%	Vol%	Vol%	Vol%
Probe 1	8	27	52	11	3
Probe 2	7	26	53	11	3
Probe 3	5	23	55	13	4
Probe 4	4	24	57	14	2
Probe 5	5	26	54	14	2

Tabelle 4. Computertomographisch ermittelte Phasen mit unterschiedlicher Dichte. Die Dichte von C1 ist am niedrigsten, die Dichte von C5 ist am höchsten. Mögliche Korrelationen sind: C1 + C2 = Quarz + Kalifeldspat + Biotit, C3 = Andesin + Hellglimmer, C4 = Hornblende, C5 = Schwerminerale.

Diese Werte passen sehr gut zu den Summen der Gehalte an normativen Schwermineralen (Tabelle 3). Die als C3 ausgewiesene CT-Phase sollte mit 11% - 14% Hornblende darstellen, die sich laut RDA-Daten mit 9,0% - 13,7% am Mineralbestand beteiligt. Auch Phase C3 lässt sich sehr gut korrelieren. Sie umfasst die Andesine sowie eingeschlossene Serizite, die 52% - 57% am Gesamtvolumen ausmachen. Mittels RDA wurden für Andesine 51,0% - 56,6% ermittelt. Schwierig ist die Korrelation der CT-Phasen C1 und C2. Es handelt sich hierbei um die leichtesten Phasen, die vor allem Kalifeldspat und Quarz beinhalten sollten. Eine direkte Korrelation mit diesen Mineralen lässt sich jedoch nicht durchführen. Die Werte unterscheiden sich zu sehr. Jedoch sollte bedacht werden, dass die mit mehr als 8% beteiligten Biotite vom CT wegen ihrer Form (dünne Blättchen) häufig nicht erfasst wurden und somit vermutlich zu den leichten Mineralen wie Quarz und Alkalifeldspat hinzuaddiert wurden. C1 + C2 zusammen ergibt in der Regel ein Volumen von ca. 30%. Die Gesamtheit von Quarz + Kalifeldspat + Biotit ergibt Werte zwischen 29% und 42%.

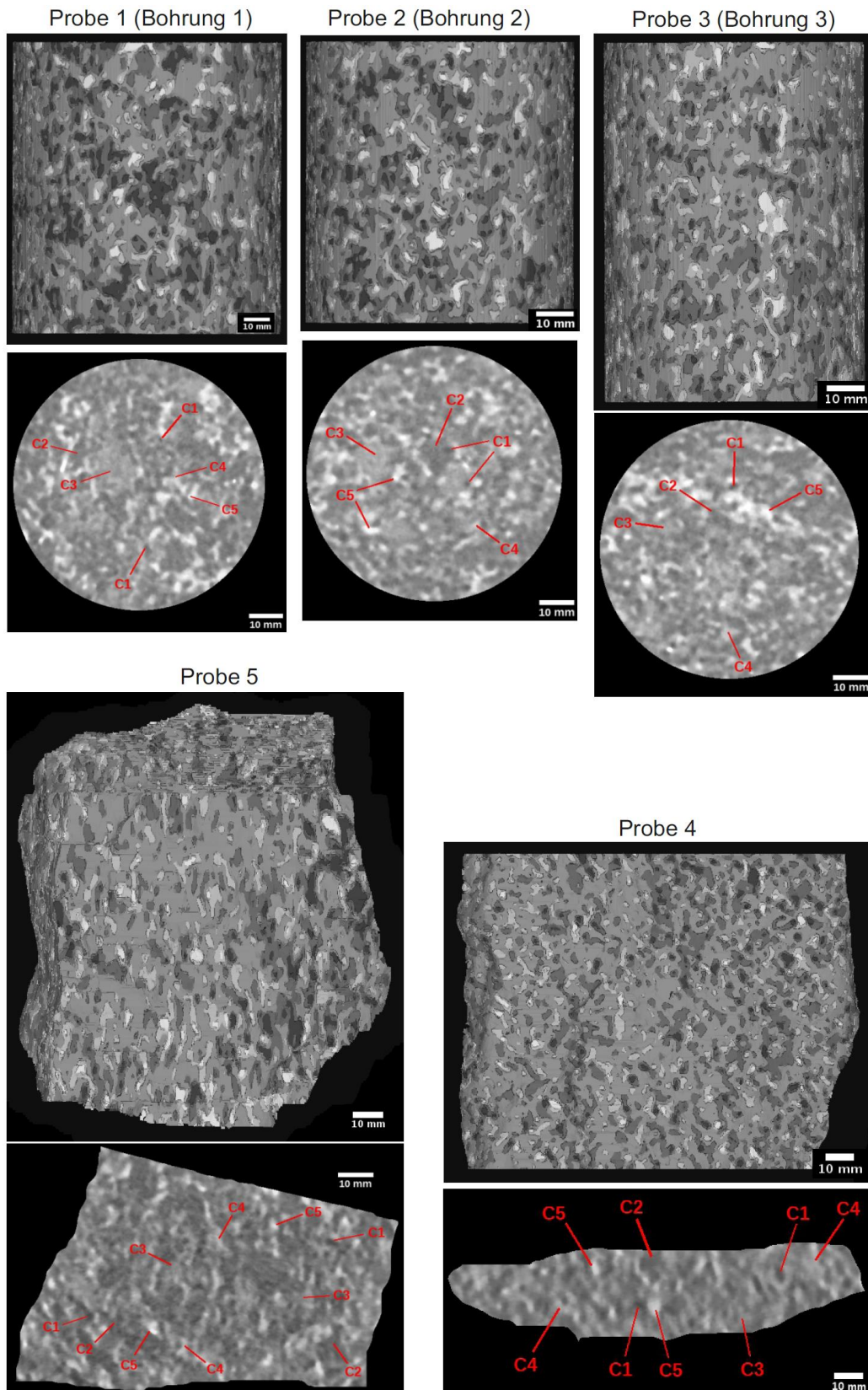


Abb. 5. Computertomographische Längs- und Querschnitte durch die untersuchten Bohrkern- bzw. Gesteinsproben. Es wurden insgesamt 5 unterschiedlich dichte Phasen separiert (C1 – C5). Die dunkelste Phase (C1) ist am leichtesten. Es sollte sich dabei um Quarz und Teile des Kalifeldspates handeln. Die hellste Phase (C5) ist am dichtesten. Hierbei handelt es sich um Schwerminerale wie Titanit, Ilmenit, Zirkon.

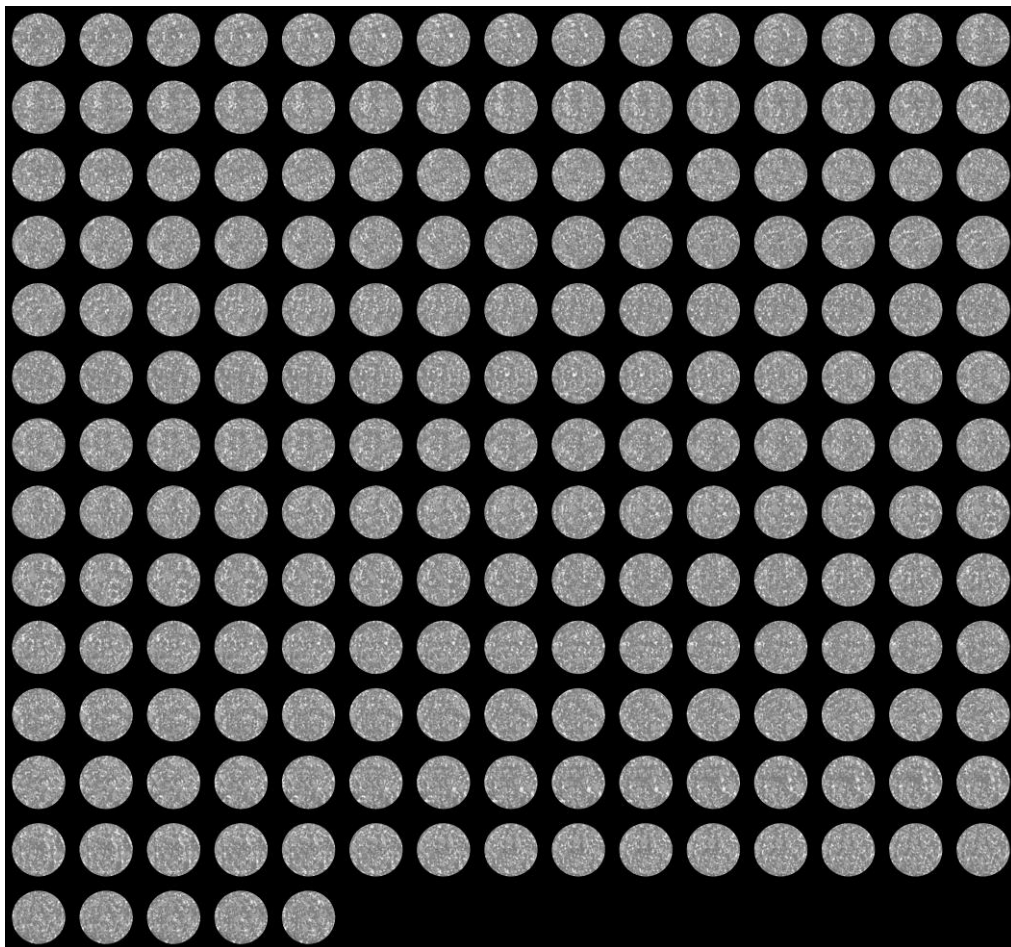
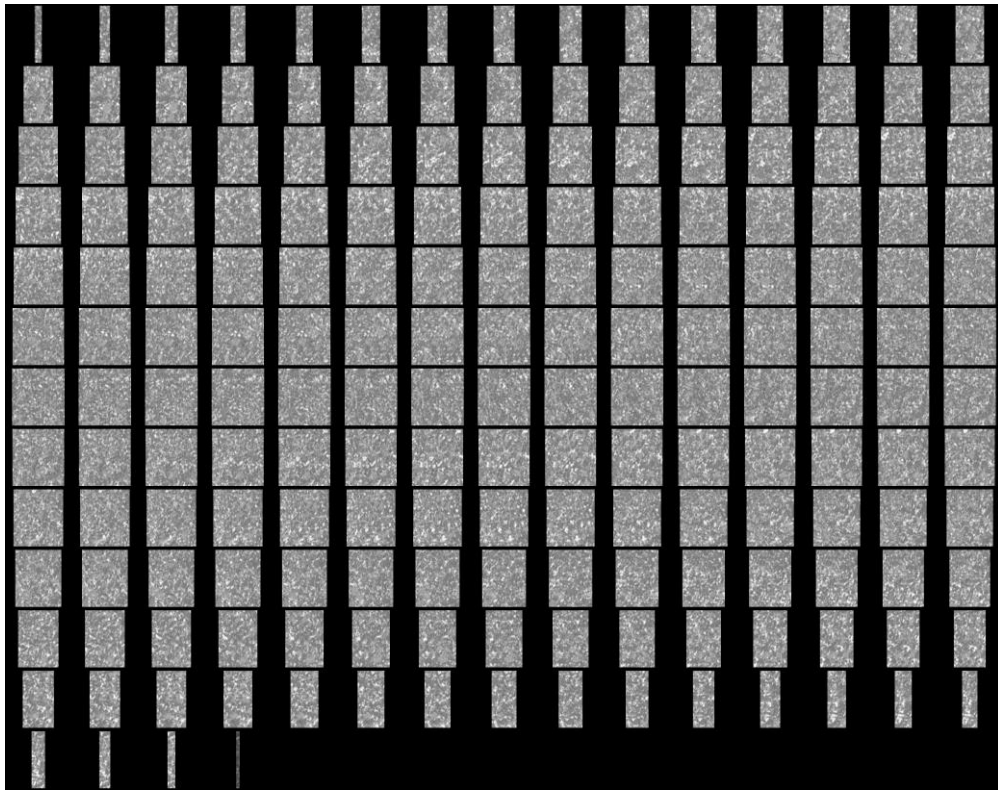


Abb. 6. CT-Schnitte parallel (oben) und senkrecht (unten) zur Bohrkernachse der Bohrung 1 (Probe 1)

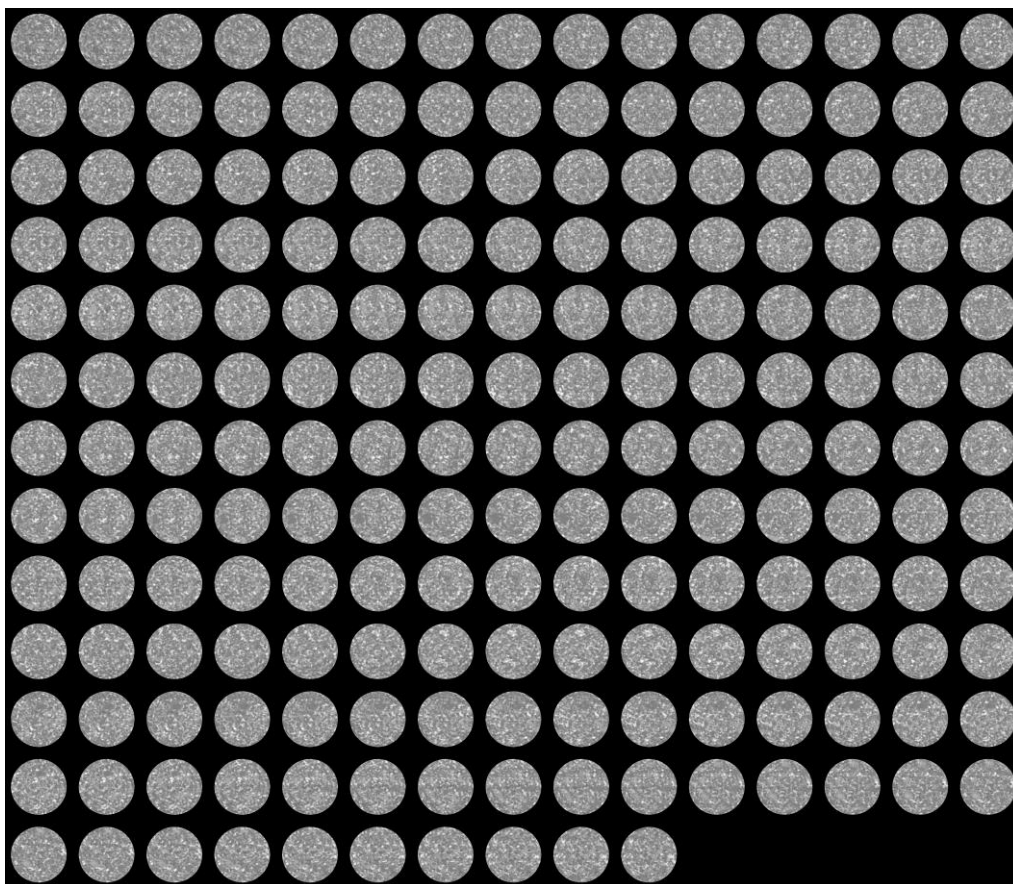
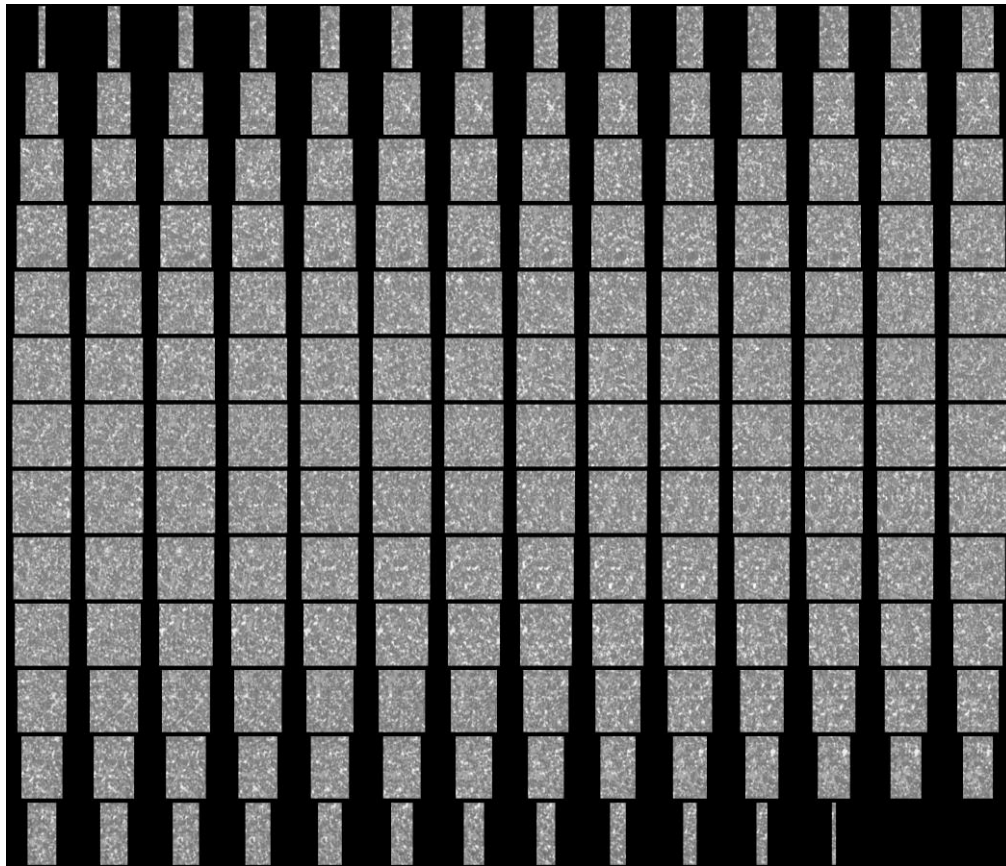


Abb. 7. CT-Schnitte parallel (oben) und senkrecht (unten) zur Bohrkernachse der Bohrung 2 (Probe 2)

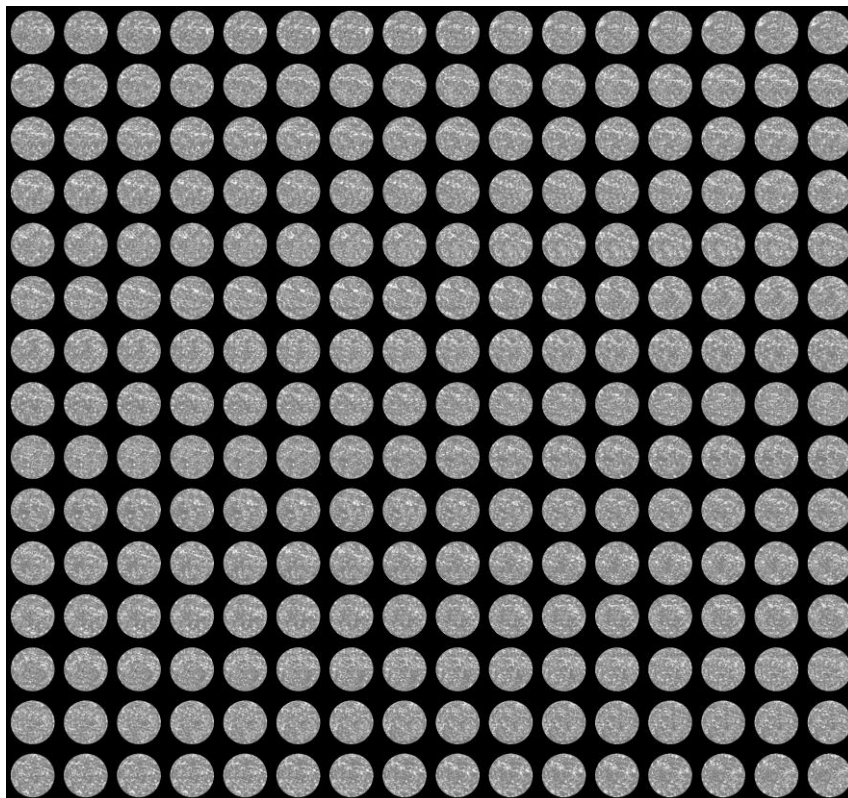
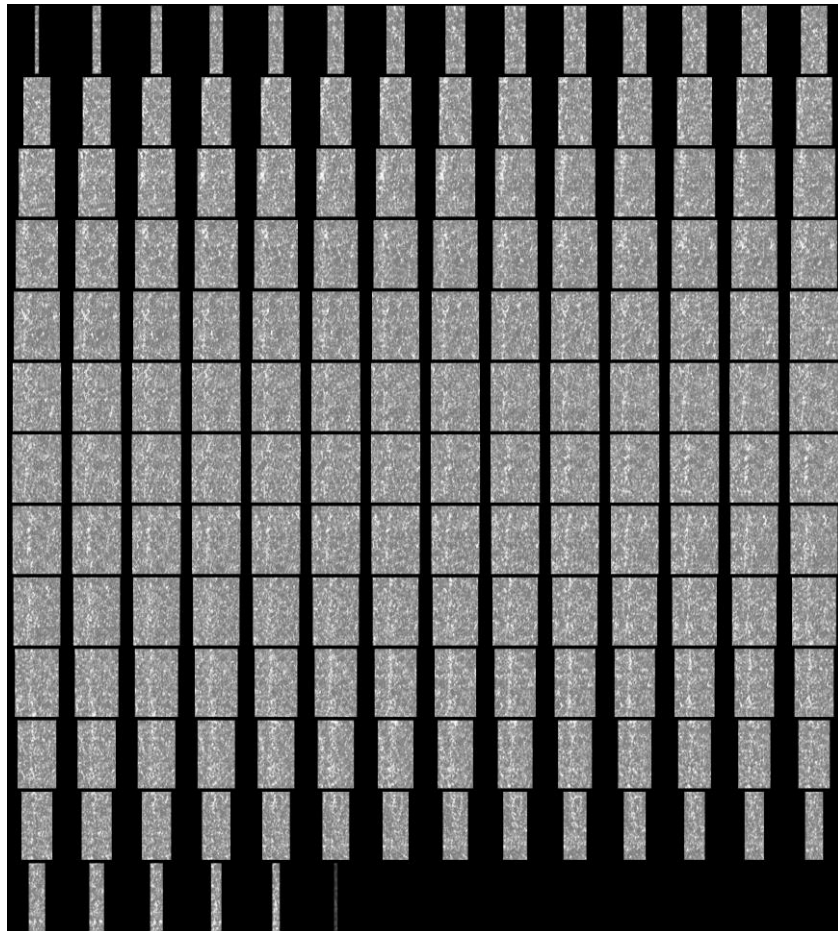


Abb. 8. CT-Schnitte parallel (oben) und senkrecht (unten) zur Bohrkernachse der Bohrung 3 (Probe 3)

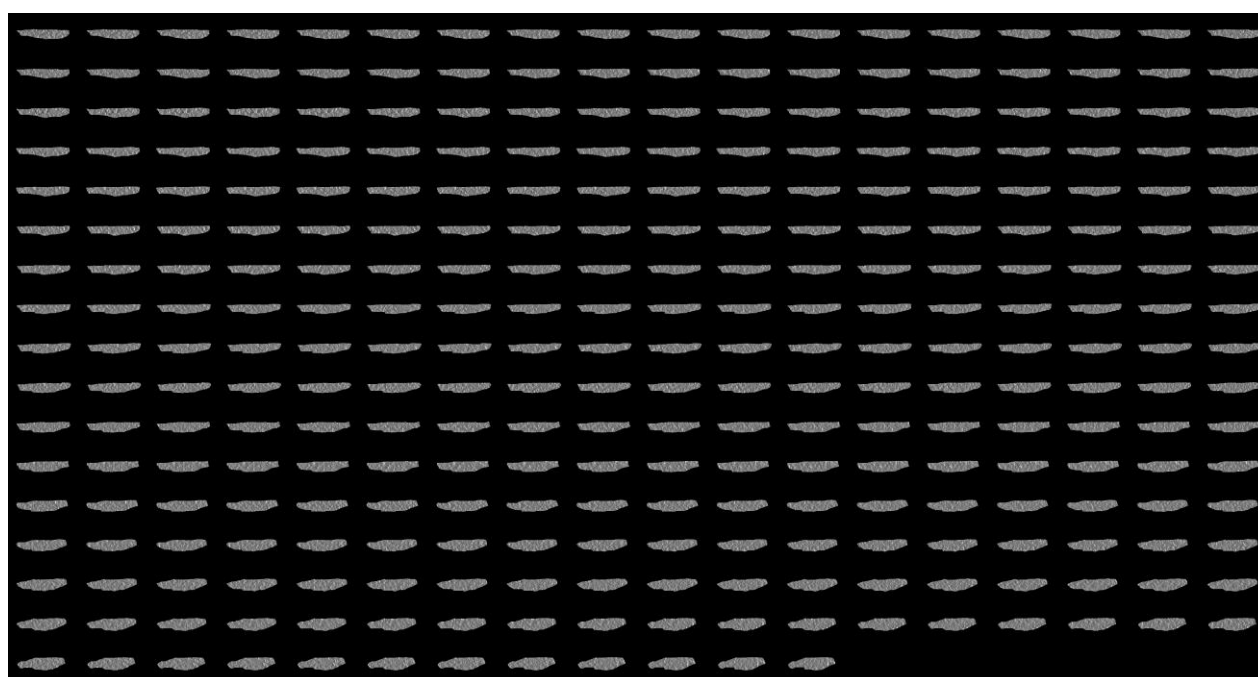
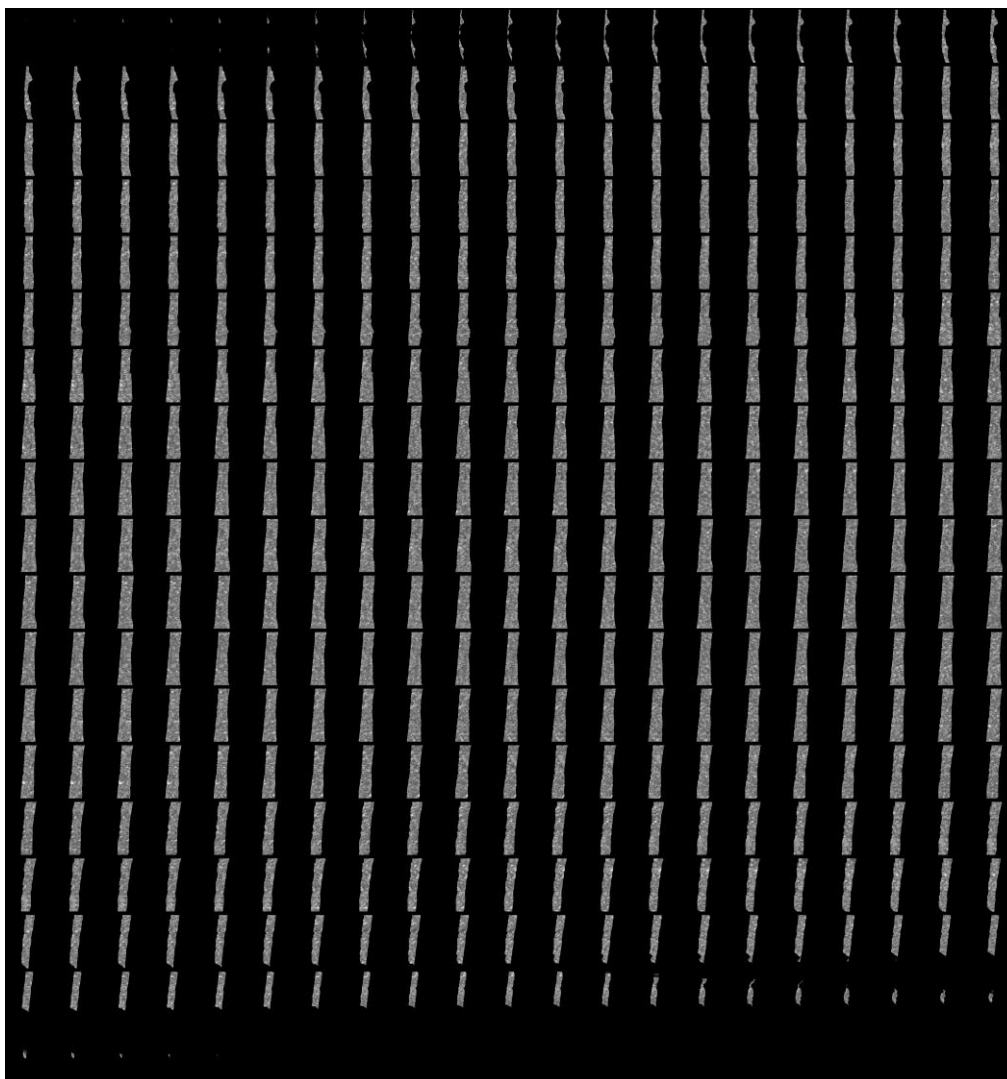


Abb. 9. CT-Schnitte in zwei senkrecht zueinander verlaufenden Richtungen der Probe 4

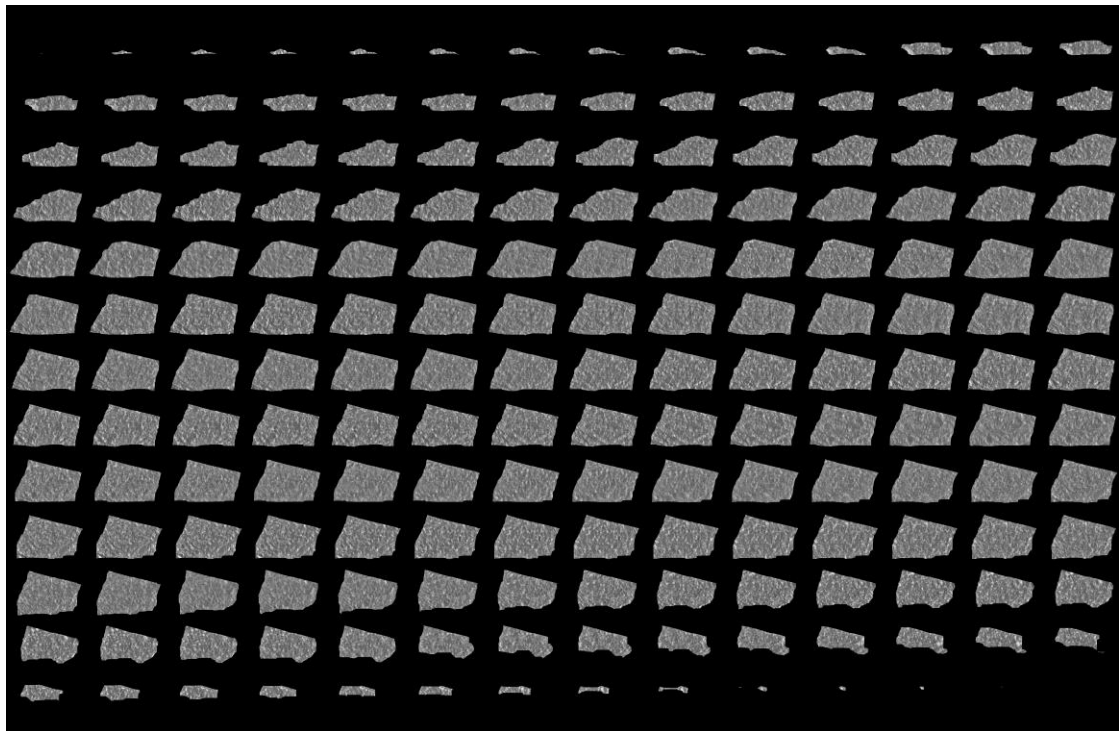
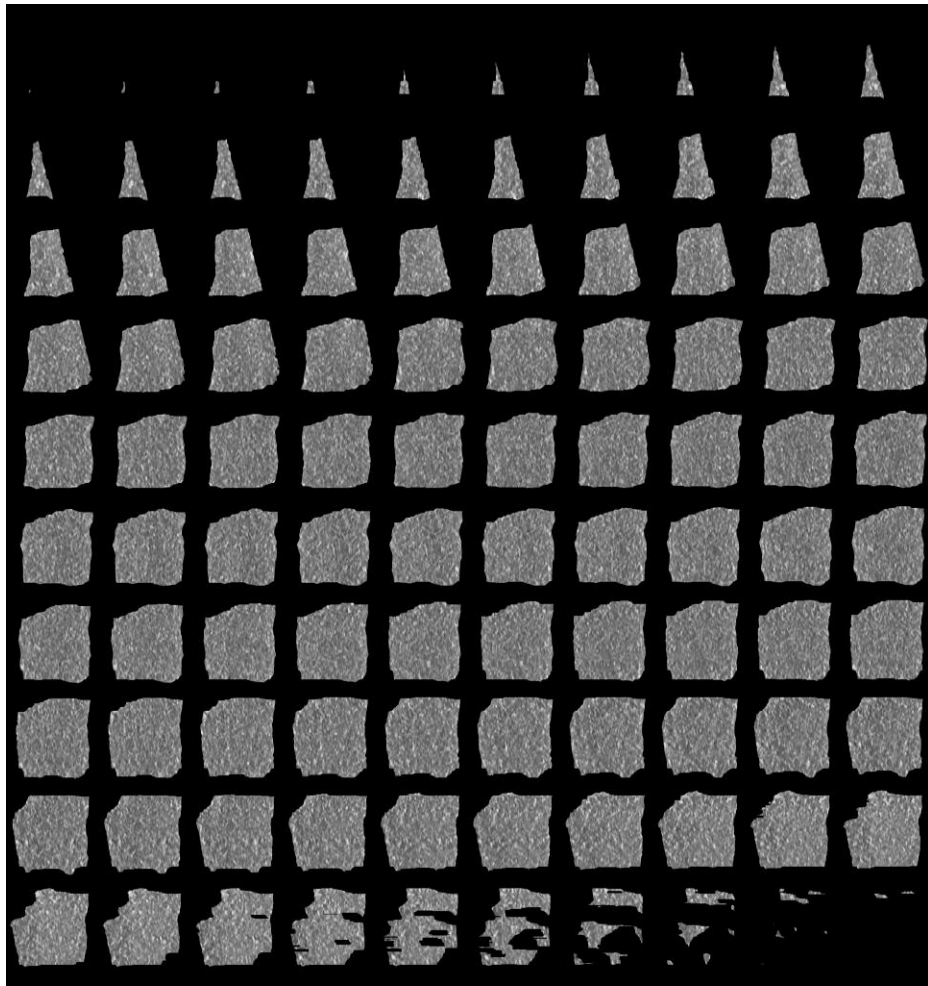


Abb. 10. CT-Schnitte in zwei senkrecht zueinander verlaufenden Richtungen der Probe 5

Betrachtet man die Teilgefüge der unterschiedlichen Phasen C1 – C5, so fällt zum Teil eine deutliche Kornformregelung auf. Dies betrifft die Bohrkerne (Proben 1-3) und Probe 4 nur moderat, die Probe 5 jedoch in besonderem Maße. Probe 5 zeigt deutlich, dass nicht nur die hellen Phasen (mafische Minerale, vor allem Hornblende), sondern auch die dunklen und mittelgrauen Phasen (Plagioklas, Kalifeldpat, Quarz) eine signifikante Kornformregelung aufweisen (Abb. 5 und 10). In den Bohrkernen verläuft die lange Achse der eingeregelter Mineraler subvertikal. In nicht bestimmen, da die Proben nicht orientiert entnommen wurden. Jedoch kann auch in diesen Fällen davon ausgegangen werden, dass die Hauptstreckungsrichtung subvertikal verläuft, da diese Richtung auch im Steinbruch anhand von eingeregelter Feldspäten und quarzdioritischen Enklaven beobachtet werden kann. Nicht nur die Feldspattafeln, sondern auch die quarzdioritischen Enklaven sind so eingeregelt, dass ihre lange Achse subvertikal verläuft. Betrachtet man hingegen die Querschnitte (Horizontalschnitte) der Bohrkerner, so erkennt man keinerlei Einregelung der Minerale. Es entsteht so der Eindruck, dass eine prolater (konstriktionale) Verformungsgeometrie (Stängelgefüge) dominiert.

Die Dünnschliffuntersuchungen haben zahlreiche trans- und intragranulare Risse nachweisen können, die vor allem Quarz, Feldspat und Titanit betreffen. Sollten diese Risse offen und somit mechanisch sowie hydraulisch wirksam sein, hätten Sie in den CT-Modellen als solche, d.h. als schwarzgraue diskrete planare Domänen, erscheinen müssen. Keines der CT-Modelle jedoch bildet solche Domänen ab.

4. Schlussfolgerung

Die oben beschriebenen Ergebnisse unserer methodisch sehr vielfältigen und umfangreichen Untersuchungen belegen, dass die analysierten Gesteine insgesamt als sehr homogen und hochwertig eingestuft werden können. Dies betrifft sowohl die Gesteine der jetzigen Lagerstätte, die von der Firma *Röhrig granit* gewonnen, aufbereitet und veredelt werden, als auch die südlich angrenzenden Gesteine der geplanten Erweiterungsfläche. Bei sämtlichen Proben handelt es sich um Quarzmonzodiorite, deren hohe Qualität hinsichtlich Gefüge, Zusammensetzung und mechanischer Festigkeit ein Alleinstellungsmerkmal darstellt. Von den in Deutschland vorhandenen Plutonen ist der Weschnitzpluton mit seinen granitoiden Gesteinen in dieser grobkristallinen Struktur und intensiven Farbgebung einzigartig. Dasselbe gilt für die in dieser Studie untersuchten Quarzmonzodiorite, die vor dem Hintergrund ihrer besonderen Merkmale in vielfältiger Weise zum Einsatz kommen können, wie z.B. Straßenbau, Sichtbeton, Transportbeton, Putze, Tapeten, Keramik, Kunststoffe, Verbundwerkstoffe, Farben und Lacke, Dekoration, Kinderknete, Aquaristik und Terraristik.

Schließlich bleibt festzuhalten, dass durch die in diesem Gutachten dargelegten Ergebnisse die seitherige, beständige und ausgezeichnete Qualität der Gesteine auch in der nach Süden hin geplanten Erweiterungsfläche nachgewiesen wird, was bestehenden langfristigen Lieferverpflichtungen der Firma *Röhrig granit* sicherlich entgegenkommen wird.

Frankfurt a.M., 18. Dezember 2018

Prof. Dr. G. Zulauf