



Petrographische und aufbereitungstechnische Untersuchungen an Talk-Magnesiten der Lagerstätte Gemerská Poloma

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science

Verfasser: Philipp Wiederhold

**Vorgelegt an der Montanuniversität Leoben, Masterstudiengang Angewandte
Geowissenschaften**

Begutachtet durch:

Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Walter Prochaska

Wien, 08. Mai 2012

DANKSAGUNG

Ich möchte an dieser Stelle einigen Menschen danken, die mich unterstützt und inspiriert und damit zur Entstehung dieser Arbeit einen entscheidenden Beitrag geleistet haben.

Herrn Prof. Prochaska verdanke ich die Auseinandersetzung mit dem Thema der Aufbereitung des Rohstoffs der Lagerstätte Gemerská Poloma und den Gedanken bzw. die Möglichkeit einer magnetischen Grobaufbereitung dessen. Zusätzlich muss ich für seine Ratschläge, Ideen, sein bereitwillig geteiltes Wissen, aber vor allem für seine unsägliche Geduld danken.

Herrn Dr. Kolb verdanke ich das Material und die anfängliche Führung durch vor allem aufbereitungstechnische Fragen. Ohne ihn wären mir so manche offensichtlichen Dinge nicht ersichtlich geworden und auch ihm sei für sein geteiltes Wissen und seine Geduld gedankt.

Meinen Eltern und meiner Freundin Veronika danke ich für die Unterstützung, den Glauben an mich und die Fertigstellung dieser Arbeit.

Danke, dass ich mein Schaffen und meine Interessen mit euch teilen konnte und somit diese Arbeit nach langem hin und her fertig stellen konnte.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, Philipp Wiederhold, geboren am 18.12.1980 in Wien, dass ich die Grundsätze wissenschaftlichen Arbeitens nach bestem Wissen und Gewissen eingehalten habe und die vorliegende Masterarbeit von mir selbstständig verfasst wurde.

Zur Erstellung wurden von mir keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Wien, am 08. Mai 2012

Philipp Wiederhold, Matrikelnummer 0001755

KURZFASSUNG

Da die Talk-Magnesit Lagerstätte Gemerská Poloma zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit keinen oberflächlichen Ausbiss zeigte, standen zur Analyse des Materials lediglich Bohrkernkerne zur Verfügung. Es erwies sich, dass der begehrte Rohstoff Talk Einschlüsse von Pyritkristallen im μm - bis mm-Bereich aufweist, welche bei Aufmahlung des Talkes den Weißgrad und somit den Wert des Endproduktes deutlich herabsenken können.

Vor diesem Hintergrund war es Ziel der Arbeit, mittels magnetischer Trennung den Talk von Pyrit, bzw. umliegendem Karbonat (Magnesit, Dolomit) und stellenweise auftretendem Quarz, zu trennen. Kern der Arbeit bildet eine magnetische Versuchsreihe eines Mischproduktes der o.a. Lagerstätte, welche am Frantz-Magnetscheider untersucht wurde, wobei Magnesit vor Talk eine höhere Magnetisierbarkeit aufwies, Pyrit und Quarz stellten sich als unmagnetisch heraus. Zusätzlich wurden mit gebrochenem Material Bandmagnetscheiderversuche unternommen, dabei konnte Magnesit gut von Talk getrennt werden, Pyrit jedoch nicht deutlich von Talk. Sämtliches zur Verfügung stehendes Material wurde mittels Mikroskopie, Atomabsorption und Elektronenstrahlmikrosonde analysiert und die Ergebnisse in Tabellen und Diagrammen dargestellt. Offensichtlich handelt es bei der Lagerstätte um eine hydrothermale Bildung, welche in mehreren Phasen aus karbonatischem Ausgangsgestein entstanden ist.

ABSTRACT

At the date of publication of this diploma thesis, the talc-magnesite deposit of Gemerská Poloma showed no outcrop at the surface, therefore only core samples were available for analysis. It revealed that the coveted raw material talc holds enclaves of pyrite crystals in the range of μm to mm. These pyrites derogate the degree of whiteness if they are grounded with the talc and consequently it reduces the value of the whole product.

Against this background it was the intention of this thesis to separate the pyrites as well as carbonates and rarely appearing quartz from talc by magnetic separation. The quintessence of the paper are magnetic experimental series of a mixed product of the above mentioned deposit, which was analyzed at the Frantz magnetic separator. As a result, magnesite showed a higher magnetizability whereas pyrite and quartz proved to be non-magnetic. Tests with fractured material at a magnetic belt separator were additionally made, thereby magnesite was easily separated from talc contrary to the separation of pyrite from talc.

The whole raw material of the deposit was analyzed by microscopy, atomic absorption and electron beam micro probe. The results were clearly represented in charts and diagrams. Obviously the deposit is a hydrothermal formation, which arose in several stages from carbonated parent rock material.

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	I
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	II
KURZFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
1 EINLEITUNG	1
1.1 AUSGANGSLAGE	4
1.2 FORSCHUNGSFRAGE UND ZIELSETZUNG	5
1.3 AUFBAU UND STRUKTUR DER ARBEIT	5
2 GEOGRAPHISCHE LAGE	7
3 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK	8
4 METHODIK	11
4.1 PROBENAHME	11
4.2 MAGNETSCHEIDUNG	12
4.2.1 DAS LABORGERÄT FRANTZ ISODYNAMIC MAGNETIC SEPERATOR	15
4.2.2 BANDMAGNETSCHEIDUNG	16
4.3 ATOMABSORPTIONSSPEKTROMETRIE	16
4.4 SCHWEFEL/KOHLLENSTOFFANALYSE	17
4.5 WEIßGRADMESSUNG	17
4.6 ELEKTRONENSTRAHLMIKROANALYSE	18
5 GEOCHEMIE UND PETROGRAPHIE	19
5.1 PETROGRAPHIE	19
5.2 WEIßGRADMESSUNG	25
5.3 ATOMABSORPTION	26
5.4 ELEKTRONENSTRAHLMIKROANALYSE	30
6 MAGNETIK	38
6.1 BANDSCHEIDER	38
6.2 FRANTZ SCHEIDER	40
6.3 PYRIT/PYRRHOTIN VERSUCHE	46
7 FAZIT	48
7.1 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	48
7.2 AUSBLICK	51
LITERATURVERZEICHNIS	52
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	54
TABELLENVERZEICHNIS	55

1 EINLEITUNG

Die Produktion von Talk und Magnesit hat in den letzten Jahrzehnten weltweit zugenommen. Vor dem Hintergrund rasant steigender Rohstoffpreise und dem stetigen Rohstoffhunger aufsteigender Staaten wie China oder Indien, ist es vor allem für Europa wichtig, neue Lagerstätten zu suchen und zu erschließen. Diese Arbeit befasst sich mit dem Material einer neu entdeckten Talklagerstätte in den Westkarpaten der Slowakei. Um die nachfolgenden Kapitel besser zu verstehen, bzw. Begriffsverwechslungen auszuschließen, werden im Folgenden einige verwendete Termini näher beschrieben.

Talk

Talk, oder „Talkum“ wie es industriell aufbereitet heißt, ist ein Magnesium-Silikat-Hydrat und gehört in die Gruppe der Schichtsilikate, genauer zu den Mineralen der Dreischichtsilikate, da ein Wechsel von Tetraeder-Oktaeder-Tetraeder-Schichten vorliegt. Die außen liegenden Siliciumlagen sind hydrophob, die innen liegende Magnesiumlage jedoch hydrophil.¹

Es besitzt folgende chemische Zusammensetzung:

SiO₂ 63,35 Massenprozent

MgO 31,90 Massenprozent

H₂O 4,75 Massenprozent

Strukturformel: $Mg_3[(OH)_2 | Si_4O_{10}]$

Talk bildet meist blättrige, schuppige, Perlmutt-glänzende, durchsichtige bis undurchsichtige, farblose, weiße bis graugrüne, gelbliche oder rötliche Massen. Eine idiomorphe Ausbildung, also die Ausbildung einer Eigengestalt, ist selten. Talk ist Referenzmineral für die Mohs'sche Härte 1, seine Dichte liegt zwischen 2,7 g/cm³ und 2,8 g/cm³. In manchen Fällen kann das Mg²⁺ durch Fe²⁺ (Minnesotait) oder durch Ni²⁺ (Willemseit) ersetzt werden. Aufgrund der geringen Gehalte von Eisen und Nickel in den, im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Talken der Lagerstätte Gemerská Poloma, kann davon ausgegangen werden, dass das Mg²⁺ nicht, oder nur sehr geringfügig substituiert wurde (vgl. Kapitel 4).

Talk besitzt eine vollkommene Spaltbarkeit, einen unebenen, splittigen Bruch und eine weiße Strichfarbe.²

¹ Gruner, J. W., 1934: Zeitschrift für Kristallographie (1934), 88, p.412-419, The crystal structures of talc and pyrophyllite, München: Oldenbourg Leipzig; Frankfurt, M.: Akad. Verl.-Ges.

² Schumann, W., 2009: Steine- und Mineralienführer, München, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, p.84

Die Genese von Talk fußt auf der Umwandlung Mg-reicher Gesteine durch die Einwirkung hydrothermalen, SiO₂-reicher Lösungen. Im Wesentlichen unterscheidet man zwei unterschiedliche Ausgangsgesteine:

- Hydrothermale Einwirkung auf sedimentäre Dolomit- oder Magnesitgesteine an der Grenze zu Intrusiven, bildet meist reine, linsenförmige Talkkörper. Wichtig ist ein offenes System zur Abfuhr von Ca und CO₂.
- Umwandlung ultrabasischer, magmatischer Gesteine wie Pyroxenite, Peridote, usw. So entstandene Talke tragen öfters eine Serpentinlinse im Kern. Erhöhte Spurengehalte von Ni und Cr sind in solchen Talken typisch.³

Magnesit

Bei Magnesit handelt es sich um ein farbloses, weißes, grau bis bräunliches Karbonat mit weißer Strichfarbe. Das trigonale Mineral hat die chemische Formel MgCO₃ und eine Mohs'sche Härte von 4 bis 4,5, eine vollkommene Spaltbarkeit, sowie spröden, muscheligen Bruch.

Gute Kristallausbildung ist eher selten, meist bildet es spätige bis feinkörnige, dichte Aggregate, Magnesit hat eine Dichte zwischen 2,9 g/m³ und 3,2 g/m³.⁴

Die Bildung von Magnesit ist an hydrothermale Lösungen (Metasomatose) oder Metamorphose gebunden, selten kann er auch in magmatischen Gesteinen vorkommen.

Grundsätzlich unterscheidet man drei verschiedene Typen von Magnesitlagerstätten anhand ihrer Genese:

- Typus Veitsch (Lokalität Steiermark), ein Spatmagnesit oder auch Pinolit genannt, ist an paläozoische, marine Karbonate gebunden. Dieser Magnesit bildet große Stöcke oder stratiforme Linsen. Im Laufe der Jahre haben sich zwei unterschiedliche Entstehungstheorien gebildet, welche einerseits eine epigenetische, hydrothermale Zufuhr des Mg, andererseits eine früh-diagenetische Bildung im marinen Milieu vertreten. Im Zuge dieser Arbeit soll diese Diskussion nicht weiter geführt werden.
- Gelmagnesit des Typs Kraubath (Lokalität Steiermark) kommt als Gänge, stockwerkartige, irreguläre oder deckenartige Körper in Ultramafiten wie Duniten oder Serpentiniten vor, die durch CO₂-reiche Lösungen verändert wurden. Dieser Typ ist schneeweiß und fast ausschließlich kryptokristallin (extrem kleine Korngröße im Mikrometerbereich).

³ Lorenz, W. & Gwosdz, W., 2005: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft 11; Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, p.95-112

⁴ Schumann, W., 2009: Steine- und Mineralienführer, München, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, p.148

- Der Typ Bela Stena ist ähnlich dem Typus Kraubath. Es handelt sich um einen weißen, kryptokristallinen Gelmagnesit, welcher in limnischen bzw. fluviatilen Sedimenten über Ultramafiten gebildet wurde.⁵

Produktion und Aufbereitung von Talk und Magnesit

Zwischen den Jahren 2005 und 2009 nahm die weltweite Produktion von Talk von 8.511.714 t auf 7.747.900 t um fast 9% ab. Österreich hatte bis 2008 eine stabile, jährliche Produktion von rund 150.000 t, 2009 wurden jedoch nur ca. 111.000 t produziert, ein Rückgang von rund 28%. Größter Produzent von Talk ist China mit rund 2.300.000 t pro Jahr, seit 2006 wird jedoch auch dort ein Rückgang von 24% (Stand 2009) verzeichnet. Eine Steigerung seiner Produktion mit ca. 20%, konnte Indien zwischen 2005 und 2009 aufweisen, Gesamtproduktion im Jahr 2009 belief sich auf über 1.000.000 t Talk.⁶

Talk wird hauptsächlich selektiv im Ober- wie auch im Untertagebergbau gewonnen. Das Material wird zerkleinert, gesiebt und gewaschen, je nach späterer Verwendung wird Trocken- aber auch Nassvermahlung mit anderen Veredelungsverfahren wie Flotation eingesetzt.⁷

Im Jahre 2009 betrug die weltweite Produktion von Magnesit 24.361.361 t pro Jahr. Eine Steigerung von fast 40% zum Jahr 2005. In Österreich wurden 544.716 t produziert, was einen Rückgang von ca. 35% zum Jahr 2008 bedeutete. Rund 60% der weltweiten Produktion stammen aus China, mit jeweils rund 8% bereits weit dahinter sind Russland und die Türkei mit rund 2.000.000 t pro Jahr.⁸

Für die technische Verwendbarkeit des Magnesit ist der Gehalt von Fe, Ca, Al und SiO₂ entscheidend. Da Mg und Fe einen ähnlichen Atomradius aufweisen, substituiert das Eisen des Öfteren das Magnesiumatom. Die Magnesite der Lagerstätte Gemerská Poloma wiesen in den Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen wurden, einen durchschnittlichen Gehalt von ca. 5,5% Fe auf.

Der Ca-Gehalt in Magnesit ist meist auf taubes, beigemengtes Dolomitgestein zurückzuführen, welches um den Magnesit oder in Drusenform vorliegt. Si begleitet Magnesit als Quarz, aber auch als Talk, Phlogobit, Sepiolit, Enstatit, Ton u.a., wodurch auch der Al-Gehalt beeinflusst wird, beide Elemente sind in Magnesiten unerwünscht.

⁵ Pohl, W.L., 2005: Mineralische und Energie-Rohstoffe, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

⁶ Weber, L., Zsak, G., Reichl, C., Schatz, M., 2011: Welt-Bergbau-Daten, Heft 26, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien

⁷ Lorenz, W. & Gwosdz, W., 2005: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft 11; Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, p.95-112

⁸ Weber, L., Zsak, G., Reichl, C., Schatz, M., 2011: Welt-Bergbau-Daten, Heft 26, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien

Für die Mg-Metallgewinnung, wird natürlicher Magnesit im Rohzustand verwendet, ansonsten wird er bei ca. 1600-2000°C zu MgO (Magnesia) kalziniert. Gelmagnesit eignet sich zur Herstellung von Magnesia besser als Spatmagnesit, wo meist andere Aufbereitungsschritte (wie HCl-Aufbereitung) vorgeschaltet werden müssen.⁹

Verwendung von Talk und Magnesit

Durch seine besonderen chemischen und physikalischen Eigenschaften (wie z.B. Adsorptionsverhalten oder Hydrophobie) findet Talk vor allem als qualitativer Füllstoff Verwendung. Ein hoher Weißgrad ist in der Farbenindustrie von Nöten, wo Talk eine gewisse Elastizität und Öladsorptionsfähigkeit verleiht. Talkmehle sind in der Kosmetikindustrie wichtiger Bestandteil von Körperpudern. In der Kunststoffindustrie bietet Talk als Füllstoff eine größere Steifigkeit und Zugfestigkeit, sowie bessere Wärmeleitfähigkeit und Isolationsverhalten. Weitere wichtige Verwendungsbereiche als Füllstoff sind die Papierindustrie, Keramikindustrie, Gummiindustrie, Pharmaindustrie, Asphaltverarbeitung und Natursteinindustrie. Außerdem wird Talk als Dünge- und Nahrungsmittelzusatz, in der Leder- und Textilherstellung, sowie als Füll- bzw. Trägerstoff bei Insektiziden benutzt.¹⁰

Ca. 75% des hergestellten Magnesia wird aufgrund seiner hohen Temperaturbeständigkeit in der Stahlindustrie als basischer Ofenbaustein verwendet. Andere Verwendungen findet Magnesia als Bodenzementmassen, Isolierplatten, Zusätze zu Tierfutter, Mineraldünger und als Füllstoff für die Papier- und Plastikindustrie. Zusätzlich setzt man es auch zur Umweltsanierung ein, z.B. zur Wasserreinigung, Entschwefelung von Verbrennungsgasen und bei der Sanierung von geschädigten Waldböden.¹¹

1.1 Ausgangslage

Die Firma ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GesmbH (Leoben, Steiermark) wurde mit der aufbereitungstechnischen Analyse der Talke der Lagerstätte von Gemerská Poloma (siehe Kapitel 2) betraut.

Da sich der Lagerstättenkörper in beträchtlicher Teufe befindet und an der Oberfläche nicht ausbeißt, standen zum Zeitpunkt des Arbeitsbeginns lediglich Bohrkerne zur weiteren Untersuchung des Rohstoffes zur Verfügung.

⁹ Pohl, W.L., 2005: Mineralische und Energie-Rohstoffe, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

¹⁰ Lorenz, W. & Gwosdz, W., 2005: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft 11; Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, p.95-112

¹¹ Pohl, W.L., 2005: Mineralische und Energie-Rohstoffe, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass die z.T. hochweißen Talke des Öfteren akzessorisch, z.T. gut auskristallisierten Pyrit in der Talkmatrix enthalten, welcher zu Kristallanhäufungen im cm^3 -Bereich neigt. Da aufgemahlener Pyrit eine dunkelgraue Färbung hat, können bereits geringe Mengen von Pyrit, den für Talk wichtigen Weißgrad herabsetzen.

Bei gebrochenem Material mit einer Korngröße zwischen 50 und 30 μm sind diese Pyritanhäufungen mit freiem Auge schwer zu erkennen, da die Pyritkristalle nicht das Bruchverhalten des Talkes beeinflussen und somit in der Masse eingeschlossen bleiben können. Auch ein Test mit einer optischen Sortieranlage im Wolframit-Bergbau Mittersill (Salzburg) konnte nicht den gewünschten Sortiereffekt erzielen. Somit wurde nach einer anderen Lösung für eine nassfreie Grobsortierung gesucht, welche nach Möglichkeit eine Aufbereitungsapparatur geringer Größe benötigt und somit auch untertage eingesetzt werden könne. Außerdem fehlten zu Beginn der Arbeit jegliche petrologische bzw. chemische Untersuchungen über den Rohstoff und sein Umgebungsgestein der slowakischen Lagerstätte.

1.2 Forschungsfrage und Zielsetzung

Aufgrund der unterschiedlichen Magnetisierbarkeit der Gesteine und Mineralien, welche in den Bohrkernen der Lagerstätte Gemerská Poloma zutage gefördert wurden, stellte sich die Frage, ob eine magnetische Grobaufbereitung des gewonnenen Rohstoffes in Frage kommen würde. Dazu wurden Versuche mit ausgewählten Proben mit dem Frantz Scheider bzw. einem Bandmagnetscheider durchgeführt.

Zusätzlich sollte der Rohstoff durch genaue chemische, wie petrologische Analysen untersucht werden um aus den daraus gewonnen Daten Rückschlüsse auf die magnetischen Eigenschaften der unterschiedlichen Mineralien und Gesteine ziehen zu können.

Die aufbereitungstechnischen Erkenntnisse sollten in angemessenen Schaudiagrammen ausgewertet werden um auch eventuell großtechnische Voraussagen tätigen zu können.

1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Der Verfasser untersuchte das Material (hauptsächlich Talk, Magnesit und Dolomit) der Bohrkern aus der Lagerstätte Gemerská Poloma, wobei liegendes bzw. hangendes Gestein bereits vorzeitig aussortiert wurde und für die Arbeit nicht zur Verfügung stand.

Folgende Abbildung soll den Aufbau der Arbeit schnell und übersichtlich darstellen:

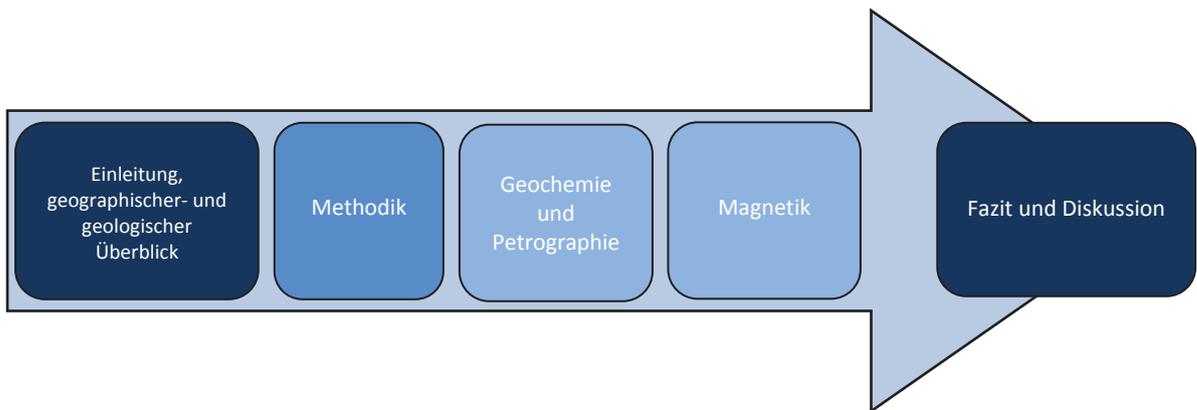


Abbildung 1: Verlauf und Aufbau der Arbeit

Zuerst werden in Kapitel 2 und 3 ein Überblick über die geographische Lage der Lagerstätte in der Slowakei und die vorherrschende Geologie dargelegt.

Anschließend beschäftigt sich Kapitel 4 mit der angewandten Methodik. In diesem Kapitel werden die technischen Geräte beschrieben, bzw. die Probennahme und Präparation der einzelnen Proben dargelegt.

Die Analysen und gesammelten Daten bzw. Erkenntnisse werden grob in die zwei Kapitel 5 und 6 unterteilt. Kapitel 5 bespricht die Geochemie und Petrographie und behandelt die Unterkapitel Petrographie, Weißgradmessung, Atomabsorption und Elektronenstrahlmikroanalyse, während sich Kapitel 6 der Magnetik widmet. Dieses Kapitel teilt sich wiederum in Bandscheider, Frantz Scheider und Pyrit/Pyrrhotin-Versuche, wobei auch hier Auswertungen und aufbereitungstechnische Diagramme enthalten sind.

Ein abschließendes Fazit bzw. eine Diskussion schließt die Arbeit ab und gibt gleichzeitig einen Ausblick auf die weitere Herangehensweise derartiger Fragestellungen und die Aufbereitung solchen Lagerstättenmaterials.

2 GEOGRAPHISCHE LAGE

Die slowakische Talklagerstätte von Gemerská Poloma liegt im Verwaltungsbereich von Rožňava, welcher sich wiederum im Verwaltungsgebiet Košický kraj befindet, dessen Hauptstadt Košice ist. Die Lagerstätte liegt ca. 50 km westlich von Košice und ca. 10 km nördlich der Bezirksstadt Rožňava, wie in der Abbildung 2 zu erkennen ist. Diesen Teil des Landes nennt man das slowakische Erzgebirge.

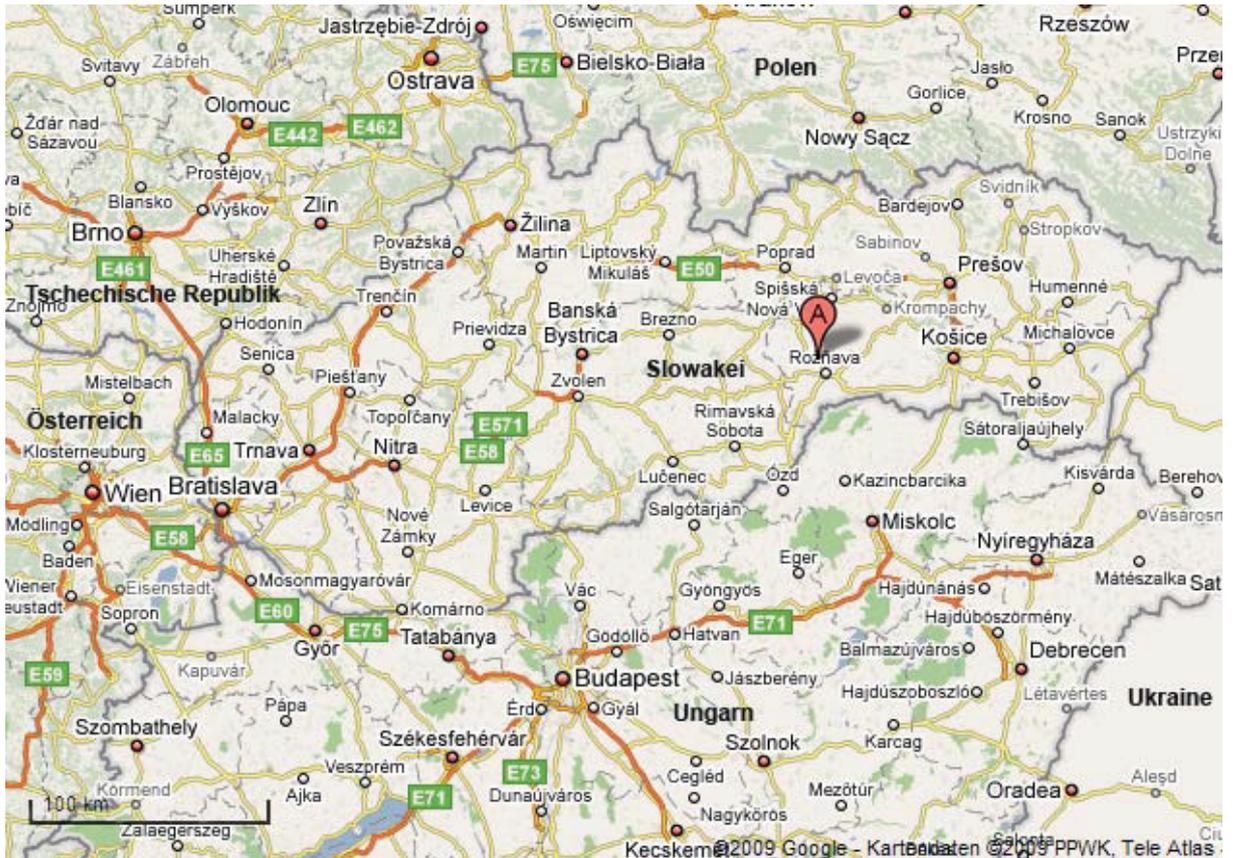


Abbildung 2: Geographische Lage von Gemerská Poloma, Bild von Google Maps, verändert von Philipp Wiederhold 2009.

3 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die Lagerstätte Gemerská Poloma liegt in den Westkarpaten, die sich größtenteils auf dem Staatsgebiet der Slowakei befinden, sich allerdings auch auf Gebiete Österreichs, Polens, Ungarns und Tschechiens verteilen. Die Grenze zu den Ostkarpaten verläuft entlang der Bardejov-Michalovce Linie. Das nördliche Karpatenvorland ist durch die Nordeuropäische Plattform definiert und liegt auf dem Basement der variszischen Böhmisches Masse und der polnischen Plattform. Die momentane Struktur der Westkarpaten wurde während der spät jurassischen-paläogenen Subduktion und Kollision von Apulia/Adria Krustenfragmenten mit der nordeuropäischen Plattform gebildet. Weite Teile der Westkarpaten sind mit paläogenen Sedimenten und vulkanischen Gesteinen des pannonischen back-arc Systems überlagert.¹²

Die Westkarpaten werden in zwei Zonen gegliedert, in die Äußeren und die Inneren Westkarpaten. Manche Autoren führen mit der Einheit der Zentralwestkarpaten, die zwischen den Äußeren und Inneren liegt, eine weitere Untergliederung der Westkarpaten ein (e.g. Mahel, 1986; Kozur und Mock, 1996, 1997). In diesem Text soll aufgrund der Bedeutung dieser, der Begriff Zentralwestkarpaten verwendet werden. Diese sind im Norden durch die Klippenzone, konkret eine Weiterführung der alpidischen Klippenzone, mit den äußeren Westkarpaten getrennt, die der alpidischen Flyschzone entsprechen. Im Süden verläuft die Grenze zwischen Inneren und Zentralwestkarpaten entlang der Hurbanovo-Diósjenő Linie im Westen und der Roznava Linie im Osten.

Wie in Abbildung 3 ersichtlich (roter Kreis) befindet sich die Lagerstätte Gemerská Poloma in der Einheit des Gemicums in den zentralen Westkarpaten. Seismische Untersuchungen zeigen, dass diese Einheit relativ dünn ist und dem Veporicum aufliegt und viele Analogien zum Unterostalpin der Alpen aufweist.¹³ Sie besteht aus frühpaläozoischen bis karbonen Metasedimenten und Metavulkaniten, in die gelegentlich permische Granite intrudierten. Je nach Autor werden eine unterschiedliche Anzahl an Decken innerhalb des Gemicums unterschieden, meistens wird jedoch zwischen der Einheit des Nord-Gemicums und des Süd-Gemicums differenziert. Größte Einheit des südlichen Gemicums bildet die Volovec-Gruppe, in der drei Formationen zusammen gefasst werden. Die unterste Betliar Formation mit schwarzen Phylliten und Peliten, die Basis der mittleren Smolník Formation bilden

¹² Grecula P., Hovorka D., Putis M., 1997: Geological Evolution of the Western Carpathians. Geocomplex Bratislava.

¹³ Tomek C., 1993: Deep crustal structure beneath the central and inner Carpathians of Czechoslovakia. *Geology*, 21, p.535-538.

wobei er in der Richtung der Lagerachse Ost-West in die Tiefe gerichtet ist. Im Gebiet von Dlha Dolina (Westen der Lagerstätte, ca. 3 km nördlich von Gemerská Poloma) befindet er sich in der Tiefe von 213,9 m, in der östlichen Neclova-Gemeinde bereits in einer Tiefe von 552 m. Aus den tektonischen Zonen sind die Brüche der Richtungen Nordost – Südwest, Nordwest-Südost, sowie Ost-West und Nord-Süd sehr bedeutungsvoll.¹⁵

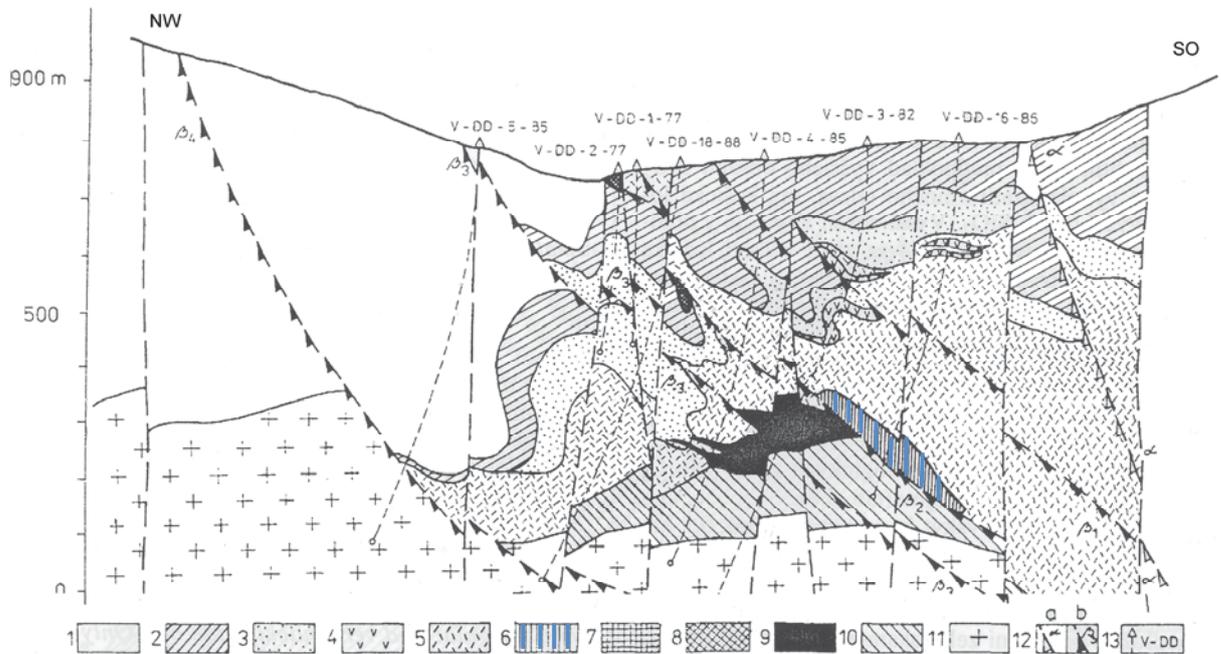


Abbildung 4: Geologisches Profil durch die Lokalität Gemerská Poloma. 1 – Metapsammite mit Einschiebungen von Phyllit, 2 – Ryolithische Metapyroklastika, 3 – Dacite und Trachyte, 4 – Metabasalte, 5 – laminierte Phyllite, 6 – steatitische Magnesite, Dolomite, 7 – Skarn, Episkarn, Metasomite, 8 – Greisen, 9 – albitisierte Granite und quarzreiche Albite, 10 – Li-F-Granite, 11 – Granit, 12a – Überschiebung (alt), 12b – Überschiebung (jung), 13 – Bohrloch (Grecula P., et al., 1995, verändert von Philipp Wiederhold 2009).

¹⁵ Grecula P., et al., 1995: Mineral Deposits of the Slovak Ore Mountains Volume 1. Geocomplex Bratislava.

4 METHODIK

In diesem Kapitel werden die verwendeten Methoden und Geräte, mit denen die Proben der Lagerstätte Gemerská Poloma untersucht wurden, vorgestellt und erklärt.

4.1 Probenahme

Die Proben der Lagerstätte Gemerská Poloma wurden der Firma ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GesmbH für aufbereitungstechnische Versuche übergeben. Sie bestanden ausschließlich aus Bohrkernmaterial, da zu diesem Zeitpunkt die Lagerstätte selber noch nicht aufgeschlossen war. Die Proben wurden im Vorfeld bereits gebrochen und in mehrere Fraktionen bzw. Mineralphasen unterteilt.

Die verwendeten Probenmengen mit der Bezeichnung „Nicht fraktioniert <5 mm“, „Schwerekonzentrat Pyrit“, „3062/09+10, Teilprobe 5/20 >10 mm“, „3062, Handklaubung weiß mit Pyrit“, „Handklaubung Magnesit“, „3062 Handklaubung weiß/Pyrit“, „3062, Handklaubung weiß/schwarz (Talk mit Graphit)“ sowie „3062, Handklaubung 3 Phasen (Dolomit, Magnesit, Talk)“ entstammen dem gleichlautendem Bestand der Firma ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GesmbH. Es wurde versucht die Proben sowie ihre weitere Verwendung in den Abbildungen 5 und 6 zu verdeutlichen. Die Mengen „Nicht fraktioniert <5 mm“ und „3062/09+10, Teilprobe 5/20 >10 mm“ wurden aufgrund ihrer ursprünglichen, natürlichen Zusammensetzung für die magnetischen Untersuchungen, bzw. chemischen Analysen herangezogen.

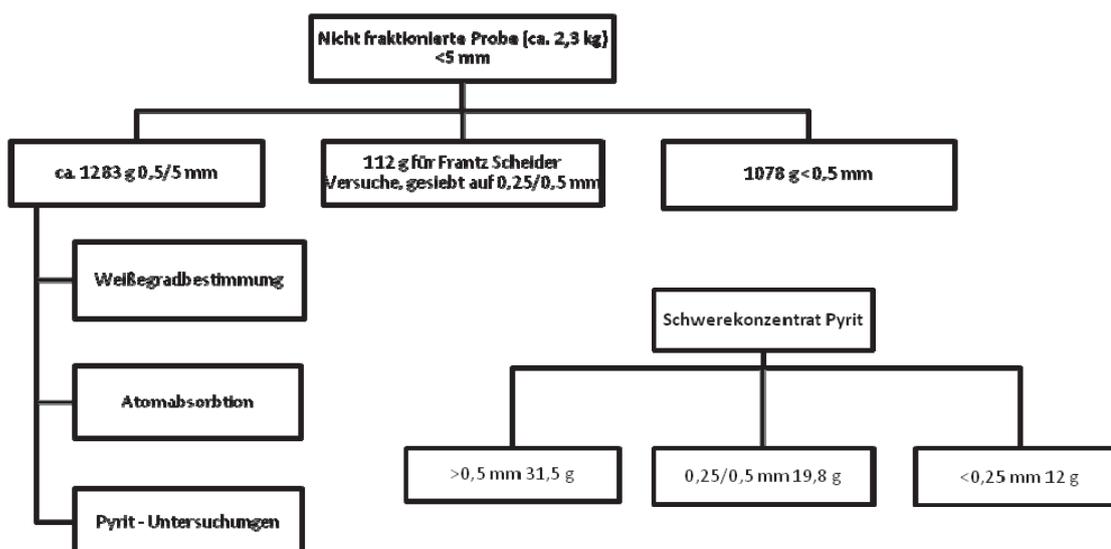


Abbildung 5: „Nicht fraktionierte Probe <5 mm“ und „Schwerekonzentrat Pyrit“.

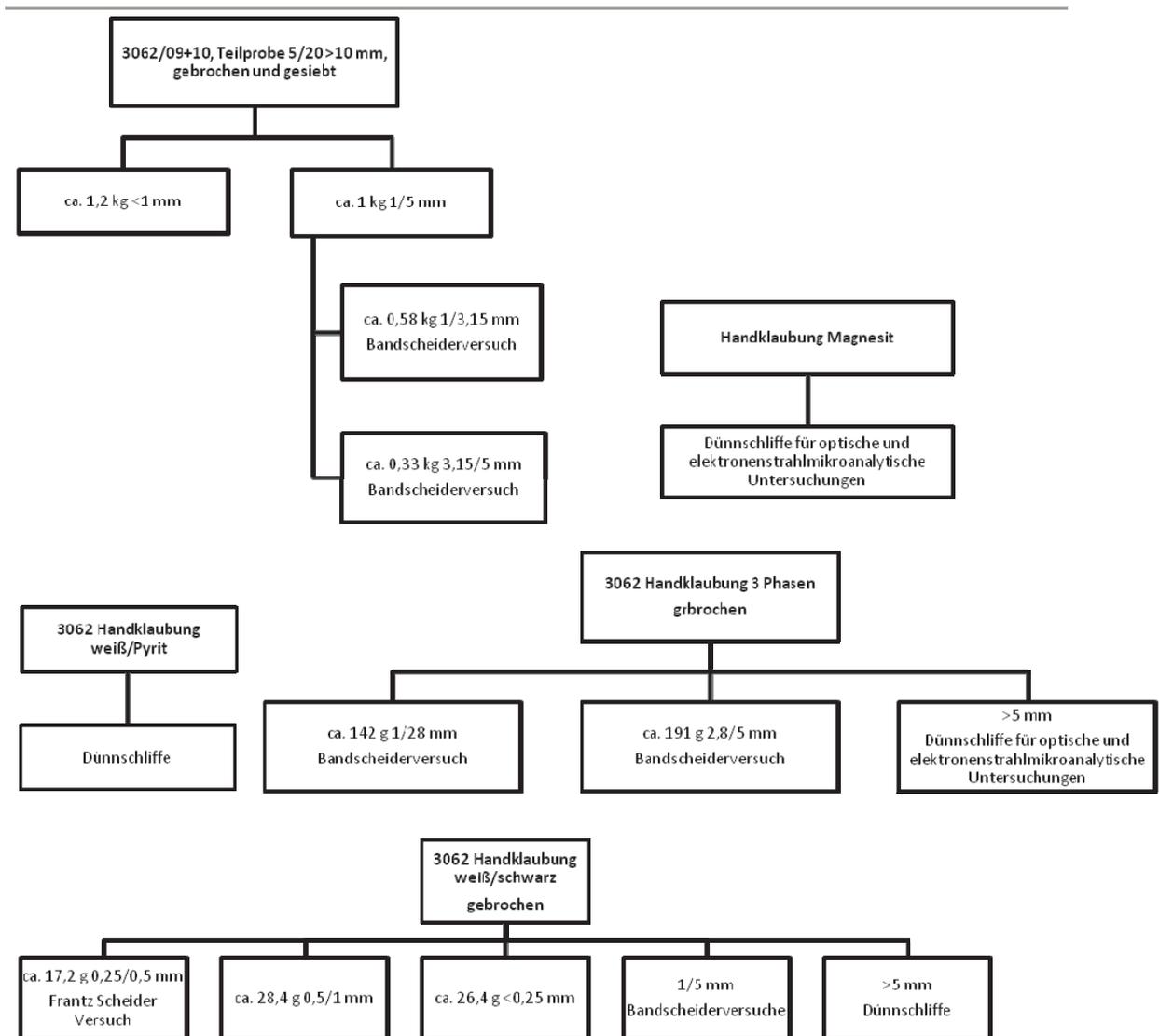


Abbildung 6: „3062/09+10, Teilprobe 5/20 >10 mm“, „3062, Handklaubung weiß mit Pyrit“, „Handklaubung Magnesit“, „3062 Handklaubung weiß/Pyrit“, „3062, Handklaubung weiß/schwarz (Talk mit Graphit)“ sowie „3062, Handklaubung 3 Phasen (Dolomit, Magnesit, Talk)“

4.2 Magnetscheidung

Eine Magnetscheidung setzt voraus, dass sich die zu trennenden Bestandteile des Aufgabegutes hinsichtlich ihrer Suszeptibilität unterscheiden, das ist das Verhältnis der Intensität der Magnetisierung zur magnetischen Feldstärke.¹⁶ So wirken unterschiedliche Kräfte im Magnetfeld auf die Bestandteile und sie haben unterschiedliche Bewegungsbahnen im Prozess.

Meist wird die Massensuszeptibilität, also die Suszeptibilität pro Dichte verwendet, welche die Einheit m^3/kg hat. Sie wird im folgenden Text durch das Symbol \times definiert. Die SI-Einheit für

¹⁶ Engelhardt, W., Füchtbauer, H., Müller, G.: Methoden der Sediment-Untersuchung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1964.

die magnetische Flussdichte oder die Induktion ist Tesla [T], zum Vergleich, das Magnetfeld der Erde beträgt am Äquator $3,1 \cdot 10^{-5}$ T.

Die Suszeptibilität ist definiert als ($\chi = \mu_r - 1$), wobei μ_r die Permeabilitätszahl darstellt, eine Materialgröße die bei vielen Stoffen nicht von der Strom- bzw. Feldstärke abhängt. Beide Größen spiegeln das Verhalten von Stoffen im Magnetfeld wieder und sind so entscheidend für die Magnetscheidung.

Stoffe, deren μ_r etwas größer als 1 bzw. deren χ größer als 0 ist, nennt man paramagnetisch. Sind diese Kennziffern wesentlich größer als 1 oder 0 spricht man von ferromagnetischen Stoffen. In beiden Fällen wird im Stoff die magnetische Flussdichte in Bezug auf das Vakuum erhöht. Wird diese verringert und es ergeben sich Ziffern von $\mu_r < 1$ bzw. $\chi < 0$, spricht man von diamagnetischen Stoffen.¹⁷

Einteilung der Stoffe nach magnetischen Eigenschaften

Starkmagnetische Minerale ($\chi > 35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$)

Sind auf Scheidern mit relativ schwachen Feldern (ca. 120 kA/m bzw. 0,15 T) verarbeitbar, zu diesen Stoffen zählen Magnetit, Titanomagnetit, Franklinit und Pyrrhotin.

Mittelmagnetische Minerale ($35 > \chi > 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$)

Zur Verarbeitung dieser Stoffe werden Scheider mit Magnetfeldern von etwa 250 bis 500 kA/m bzw. 0,3 bis 0,6 T benötigt. In diese Kategorie fallen Mineralien mit einem gewissen Anteil an Restmagnetit, wie sie in Oxidationszonen von Eisenlagerstätten vorkommen.

Schwachmagnetische Minerale ($7,5 > \chi > 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$)

Sie werden auf Starkfeldscheidern abgetrennt, mit Feldstärken von 0,5 bis 2 MA/m bzw. 0,6 bis 2,5 T. Diese Gruppe an Mineralen ist groß und enthält neben Oxiden von Eisen, Mangan, Titan und Wolfram auch die Fe-hältigen Silikate wie Granat, Olivin, Biptit, Pyroxene, Amphibole u.a.

Nichtmagnetische Minerale ($\chi < 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$)

Diese Minerale lassen sich nach derzeitigem Stand der Technik auf Magnetscheidern nicht trennen. Diese Gruppe ist ebenfalls umfangreich und enthält Erzminerale wie Scheelit, Galenit, Molybdänit u.a. sowie Nichterzminerale wie Quarz, Feldspäte, Kalk u.a.¹⁸

¹⁷ Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe, Band 2: Sortierprozesse., 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996.

¹⁸ Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe, Band 2: Sortierprozesse., 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996.

Mineral	Suszeptibilität x in $10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$
Oxide	
Chromit (Mg, Fe), $(\text{Cr, Al, Fe})_2\text{O}_4$	65 bis 1575
Goethit $\alpha\text{-FeOOH}$	250 bis 2500
Hämatit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	550 bis 3800
Ilmenit FeTiO_3	1300 bis 5000
Magnetit Fe_3O_4	1800000 bis 12800000
Quarz SiO_2	-6
Rutil TiO_2	-4 bis 25
Sulfide	
Arsenopyrit FeAsS	6 bis 100
Chalkopyrit CuFeS_2	1600 bis 4000
Markasit FeS_2	10 bis 50
Pyrit FeS_2	1 bis 13
Pyrrhotin (FeS)	40000 bis 60000
Karbonate	
Calcit CaCO_3	-45
Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	5 bis 80
Magnesit MgCO_3	-6 bis 60
Rhodochrosit MnCO_3	1300 bis 1400
Siderit FeCO_3	400 bis 1900
Phosphate, Sulfate	
Apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F, Cl})$	-3 bis 10
Baryt BaSO_4	-4 bis 10
Silikate	
Amphibole	80 bis 2000
Glimmer	10 bis 1000
Granate	140 bis 3000
Olivine	40 bis 1300
Ortho-Pyroxene	40 bis 900
Klino-Pyroxene	80 bis 800

Tabelle 1: Masse-bezogene Suszeptibilität von Mineralien (nach Schubert, 1996, verändert von Philipp Wiederhold).

In Tabelle 1 sind die Suszeptibilitäten einiger wichtiger Minerale zusammen gefasst. Auch wenn bei manchen Mineralen keine Schwankungsbereiche angegeben sind, können diese auftreten. Dies hat mehrere Gründe, zum einen sind nur die Suszeptibilitäten von diamagnetischen und paramagnetischen Mineralien nicht von der Feldstärke abhängig, zum anderen können magnetische Anisotropien auftreten. Vor allem können sich bei natürlichen Mineralen Veränderungen der stöchiometrischen Zusammensetzung sowie isomorphe Substitution, wie auch feinste Verwachsungen, stark auf die magnetischen Eigenschaften auswirken. Vor allem das Verhältnis von zwei- zu dreiwertigen Fe- und Mn-Ionen kann sich entscheidend auf die Massensuszeptibilität auswirken.¹⁹

4.2.1 Das Laborgerät Frantz isodynamic magnetic separator

Dieser Laborscheider besteht im Wesentlichen aus einem Elektromagneten, dessen Polschuhe so geformt sind, dass zwischen ihnen ein langer offener Zwischenraum besteht, über dessen gesamte Länge das magnetische Feld gleich ist. In diesem Luftspalt befindet sich eine Schiene aus unmagnetischem Material, die in Vibration von regelbarer Amplitude versetzt werden kann. Die Schiene inklusive dem Magnetsystem kann in Quer- und Längsrichtung geneigt werden und der jeweilige Winkel abgelesen werden. Die Korngrößenklasse 0,5 bis 1mm soll am Besten geeignet sein, wobei ein wiederholtes Aufgeben den Trenneffekt wesentlich verbessern kann. Ferromagnetische Bestandteile sollten vor dem Versuch mittels Handmagneten entfernt werden. Bei hohen Suszeptibilitäten empfiehlt sich eine Seitenneigung von 20° und eine Vorwärtsneigung von 30°, bei geringeren Suszeptibilitäten werden kleinere Steigungen verwendet.²⁰

Aus Stromstärke und Seitenneigung errechnet sich beim Frantz-Magnetscheider die Massensuszeptibilität wie folgt:²¹

$$\chi = (2\sin(\gamma) / I^2) \cdot 10^{-5}$$

Wobei (γ) = Winkel der Seitenneigung (°)

I = Stromstärke (A)

¹⁹ Engelhardt, W., Füchtbauer, H., Müller, G.: Methoden der Sediment-Untersuchung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1964

²⁰ Engelhardt, W., Füchtbauer, H., Müller, G.: Methoden der Sediment-Untersuchung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1964

²¹ Hess, H. H.: Notes on operation of FRANTZ isodynamic magnetic separator. – Werbeschrift für FRANTZ isodynamic magnetic separator. – New York 1956.

4.2.2 Bandmagnetscheidung

Bandscheider arbeiten meist mit Dauermagneten, diese zeichnen sich durch ein starkes, permanentes Feld aus. Sie befinden sich nach einmaliger Magnetisierung in der Nähe des Punktes der Remanenz, also jener Flussdichte die zu anfangs induziert wurde.

Die meisten Trennungsmethoden mit Permanentmagneten gehören zu den Querstromtrennungen, das heißt, dass ein magnetisches Feld quer zur Förderrichtung wirkt. Die magnetische Trennung setzt voraus, dass das Magnetfeld im Wirkungsbereich stärker ist als andere Kräfte, wie z.B. Reibung, Schwerkraft oder Widerstandskraft, sowie deren Summe.

Die Magnetscheidung setzt ein inhomogenes Feld voraus, die Feldlinien verlaufen also nicht parallel, da so das Aufgabegut auch einer translatorischen Kraft unterworfen ist.²²

Mit den Proben der Lagerstätte Gemerská Poloma wurden auf einem Labor Bandscheider (L/P 10-30) mit einem Seltene-Erden Dauermagneten der Firma International Prozess System Inc. Versuche unternommen. Bei diesem Modell wird über eine 6 cm breite Vibrorinne die Probe auf das Förderband aufgebracht, welches schließlich über den Magneten fährt. Je nach der Suszeptibilität wird die Aufgabe mal mehr, mal weniger abgelenkt und fällt in einen von drei Aufgabebehältern, welche für unmagnetisches, mittelmagnetisches und magnetisches Gut stehen.

Nur über die Geschwindigkeit des Bandes und über die Einstellung der Trennklappen der Behälter, lässt sich die Trennung des Aufgabegutes regeln.

Bei allen Versuchen wurde der Antrieb der Vibrorinne in Stellung 5 verwendet.

4.3 Atomabsorptionsspektrometrie

Bei den Untersuchungen der Proben aus der Lagerstätte Gemerská Poloma wurde das Gerät „Atomic Absorption Spectrophotometer 3030“ der Firma Perkin-Elmer verwendet.

Der Aufbau des Gerätes ist vereinfacht in Abbildung 7 dargestellt.

Eine Lichtquelle emittiert Licht verschiedener Wellenlängen mit einer bestimmten Intensität, typisch für das zu untersuchende Element. Im Strahlengang befindet sich eine Atomisierungseinheit, in der die Bestandteile einer zu untersuchenden Probe atomisiert, d. h. in einzelne, anregbare Atome überführt werden. Die Atomisierung der Elemente erfolgt durch eine Gasflamme, in die die zu analysierende Lösung zerstäubt wird.

Nach Schwächung des Lichtstrahls in der Atomwolke (Absorption) wird seine Intensität nach der Atomisierungseinheit gemessen und mit der Intensität des ungeschwächten Lichtes verglichen. Es wird detektiert, wie viel des eingestrahltten Lichtes einer bestimmten

²² Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe, Band 2: Sortierprozesse., 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996.

Wellenlänge durch das zu messende Element absorbiert wurde. Mit steigender Konzentration des Analyten in der Probe steigt die Schwächung des eingestrahlt Lichtes proportional.²³

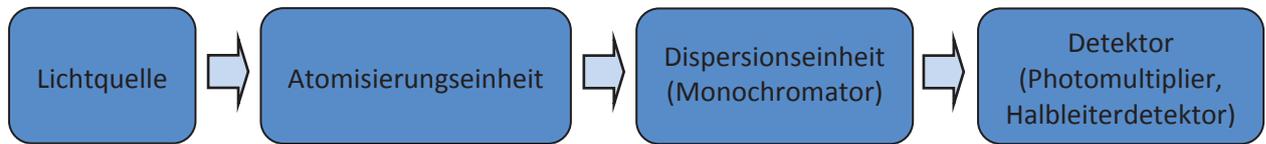


Abbildung 7: Vereinfachter Aufbau des Atomic Absorption Spectrophotometer 3030.

4.4 Schwefel/Kohlenstoffanalyse

Die magnetische Reihe, die am Frantz Scheider erzeugt wurde, und eine Mischprobe, wurden mit einem Schwefel/Kohlenstoffanalysator der Firma LECO Instrumente GmbH untersucht. Das Gerät verbrennt dabei die zuvor exakt eingewogene Probe bei ca. 1400° C, die Verbrennungsgase werden mit Hilfe eines Gaschromatographen untersucht und der jeweilige Gehalt an CO₂ und Schwefel ermittelt.

Die sieben Produkte der Frantz Scheider Trennung, wobei das letzte unmagnetische ebenfalls analysiert wurde, sowie eine Mischprobe, wogen gesamt nur ca. 2,4 g, da jede Probe fast genau nur 0,1 g zu wiegen hatte. Die Mischprobe entstammte von ca. 50 g aufgemahlene Materials aus der Probe 3062/09+10.

4.5 Weißgradmessung

Die Weißgradmessung wurde mit dem Spektrophotometer „Elrepho der Serie 3000“ der Firma datacolor Inc. durchgeführt. Hier wird die Schwächung des eingestrahlt Lichtes gemessen, also jener Anteil, der nicht durch Anregung verbraucht wird. Bei diesem Gerät wird das Normlicht D₆₅ mit einer Farbtemperatur von 6500 K verwendet, erzeugt durch eine Xenonhochdrucklampe mit Spezialfilter. Der bei diesem Licht und Geometrie gemessene Remissionsgrad (Reflexion des eingestrahlt Lichtes) wird mit tabellierten Strahlungsfunktionswerten multipliziert. Die Produkte werden aufsummiert und ergeben dann die Farbwerte X, Y und Z. Als Farbwertanteile bezeichnet man die Anteile an X bzw. Y an (X+Y+Z), so ist $x = X/(X+Y+Z)$. In der zweidimensionalen Normfarbtafel sind als Koordinaten x und y aufgetragen, z ergibt sich rechnerisch aus $x+y+z=1$. Der Farbwert Y ist ein Maß für die Helligkeit, so wäre (Y=0) Schwarz und (Y=100) absolutes Weiß.²⁴

²³ Skoog, Douglas, A., Leary, J., J., 1996: Instrumentelle Analytik, Springer-Lehrbuch Verlag, Berlin.

²⁴ Profos, P., Pfeifer, T., 1994: Handbuch der industriellen Messtechnik, Oldenbourg Verlag, München; p.993

4.6 Elektronenstrahlmikroanalyse

Die Proben der Lagerstätte Gemerská Poloma wurden mit dem Gerät „Jeol JXA 8200“ der Firma Catech GPS untersucht.

Eine Mikrosonde basiert auf der wellenlängendispersiven Analyse, der von der Probe aufgrund von Beschuss mit einem Elektronenstrahl emittierten charakteristischen Röntgenstrahlung. Auf diese Weise sind Elemente ab Ordnungszahl 4 (Beryllium) detektierbar. Die relative Nachweisgrenze beträgt bei Elementen 0,01 Gew.%, was einer absoluten Nachweisgrenze von 10^{-14} bis 10^{-15} g entspricht. Die Breite des Elektronenstrahls beträgt 1 μm .

Gegenüber energiedispersiven Systemen (EDS), die häufig an Elektronenmikroskopen zu finden sind, ist die Nachweisempfindlichkeit mit einer wellenlängendispersiven Analyse eine Größenordnung besser, bei gleichzeitig höherer spektraler Auflösung des Röntgenspektrums.²⁵

²⁵ Eggert, F., 2005: Standardfreie Elektronenstrahl-Mikroanalyse, Books on Demand GmbH, Norderstedt.

5 GEOCHEMIE UND PETROGRAPHIE

5.1 Petrographie

Die vorliegenden, bereits vorsortierten und gebrochenen Proben der Lagerstätte Gemerská Poloma, bestanden hauptsächlich aus Karbonaten und Talk.

Die Karbonate stellten sich zumeist als Magnesit und Dolomit dar. Beide haben einen spätigen Kristallhabituts, wobei der Magnesit eine gräuliche Färbung aufweist und der Dolomit zumeist vollkommen weiß erscheint. Da es sich bei dem Material um Bohrkerne handelt, wurden keine Verwitterungserscheinungen festgestellt, ebenso kamen die Karbonate nicht in Drusenform vor.

Der untersuchte Talk bildete meist kompakte, leicht blättrige Aggregate mit weißer Farbe, siehe Abbildung 8.



Abbildung 8: Weißer Talk, Handstück ca. 20x10 cm.



Abbildung 9: Talk mit Graphit, Handstück ca. 7x5 cm.

Des Öfteren wird der Talk durch Graphitbänder grau gefärbt, siehe Abbildung 9, daneben treten akzessorisch noch Variation von grünlichem Talk (mit erhöhtem Chloritanteil) und rosa Talk auf.



Abbildung 10: Talk mit Pyrit, Handstück ca. 10x5 cm.

An den Talk gebunden sind Ansammlungen von idiomorph ausgebildeten Pyritkristallen, die in pentagondodekaedrischer Form vorliegen und in Größe vom μm - bis zum mehrere mm-Bereich reichen, siehe Abbildung 10. Im Karbonat konnte kein Pyrit festgestellt werden.

Zusätzlich konnten vereinzelt Quarzkner bis cm-Bereich ausgemacht werden, welche z.T. Kristalle im mm-Bereich aufweisen und farblos sind. Grüner Chlorit, der anscheinend als Nebengestein auftritt und zu grünlichem Talk übergehen kann, wurde ebenfalls geringfügig angetroffen.

Auf den Dünnschliffbildern der Abbildung 11 ist deutlich die Auflösung des Karbonates und die dadurch ermöglichte Neubildung des Talkes zu sehen. Das Karbonat erscheint farblos und weist eine hohe Doppelbrechung auf, bei gekreuzten Polarisatoren wirken sie aufgrund des sehr hohen Brechungsindex grau bis schwach bunt. Talk bildet faserige, schuppige bis dicht verfilzte Massen, z.T. auch radialstrahlige Aggregate mit eher schmutzigem Weiß. Bei gekreuzten Polarisatoren bewirkt der hohe Brechungsindex, sowie die unterschiedliche Lage der Kristalle viele verschiedene, hell erscheinende Farben.

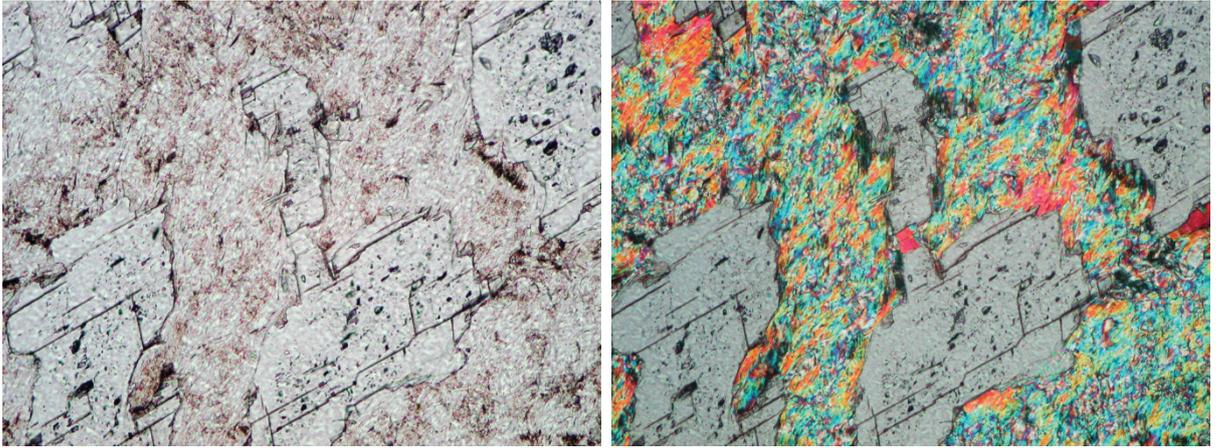


Abbildung 11: Links ohne, rechts mit gekreuzten Polarisatoren. 40-fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 3,5 mm. Aufgelöstes Karbonat (rechtes Bild in grau), umgeben von Talk.

Bei wesentlich höherer Vergrößerung wird das „Annagen“ hydrothormaler Lösungen am Karbonat noch deutlicher, siehe Abbildung 12.

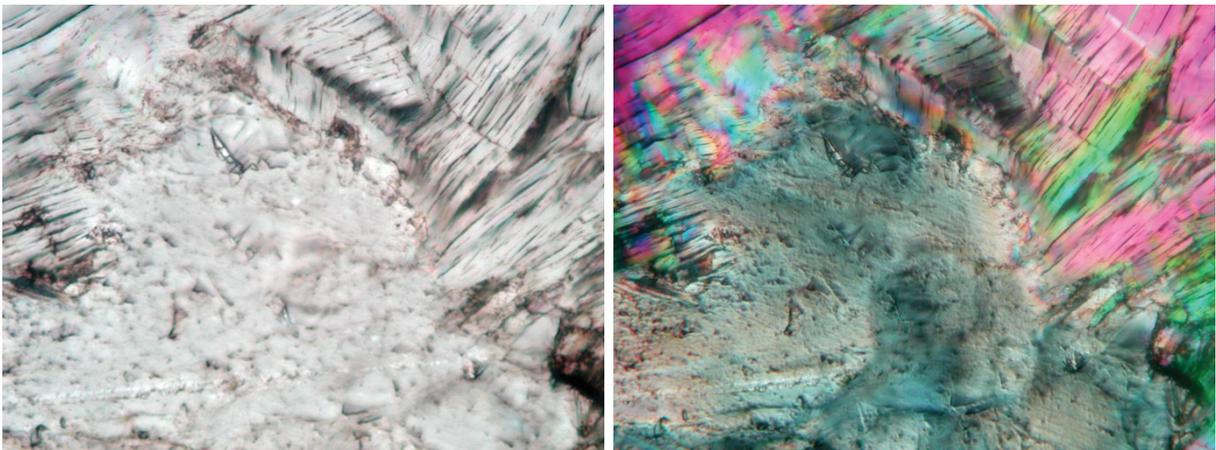


Abbildung 12: Links ohne, rechts mit gekreuzten Polarisatoren. 120-fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 1,17 mm. Aufgelöstes Karbonat (rechtes Bild in grau), umgeben von Talk.

Der makroskopisch im Talk gebändert wirkende Graphit, erscheint im Mikroskop ebenfalls gebändert, bei höherer Vergrößerung folgt seine Verteilung augenscheinlich keinen klaren Grenzen und wirkt sein Auftreten eher wolkig, wie in Abbildung 13 zu sehen ist. Graphit ist opak, was bedeutet, dass er sowohl im Hellbild, als auch bei gekreuzten Polarisatoren lichtundurchlässig ist.

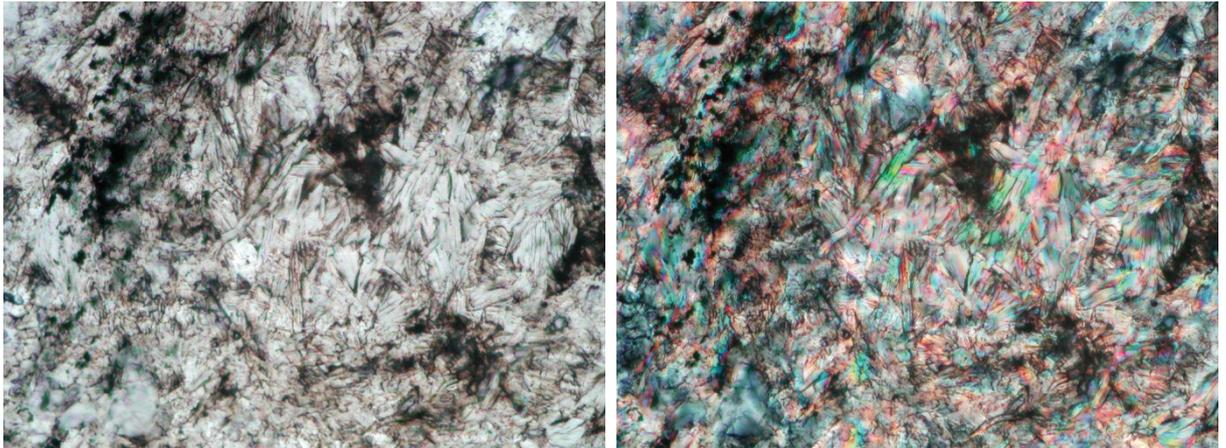


Abbildung 13: Links ohne, rechts mit gekreuzten Polarisatoren. 100-fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 1,4 mm. Talk (rechtes Bild farbig) mit wolkig verteiltem Graphit (schwarz).

Der Pyrit ist, wie Abbildung 14 zeigt, an den Talk gebunden und wurde im Zuge der Untersuchungen auch nur dort angetroffen.

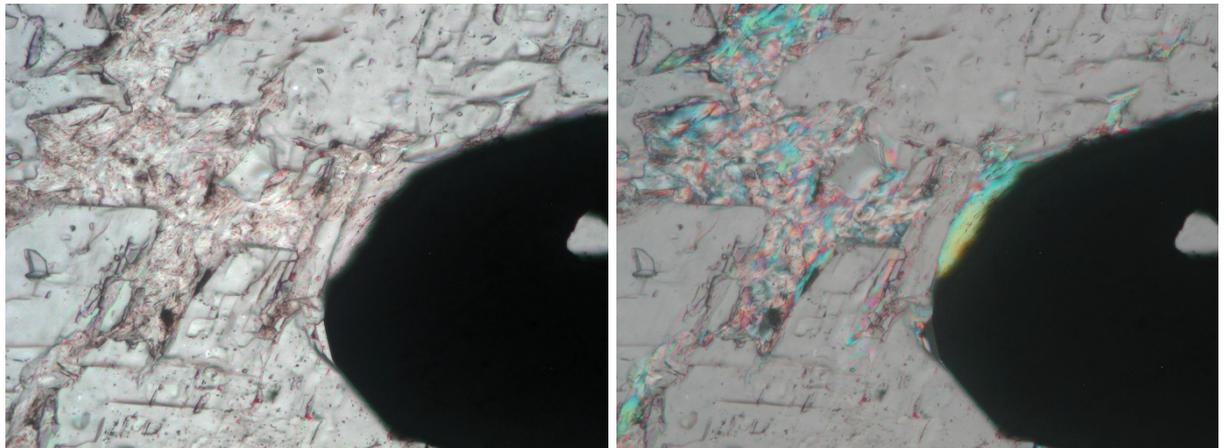


Abbildung 14: Links ohne, rechts mit gekreuzten Polarisatoren. 100-fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 1,4 mm. Karbonat grau, Pyrit schwarz (opak), umgeben von einem Talkhäutchen.

Im Talk waren selten gut ausgebildete Apatitkristalle anzutreffen, wie Abbildung 15 zeigt. Diese sind farblos, besitzen aber eine niedrige Doppelbrechung bei gleichzeitig hohem Relief. Schön zu erkennen ist der kurzsäulige Habitus, ebenso wie der sechseckige Umriß im Basisschnitt.

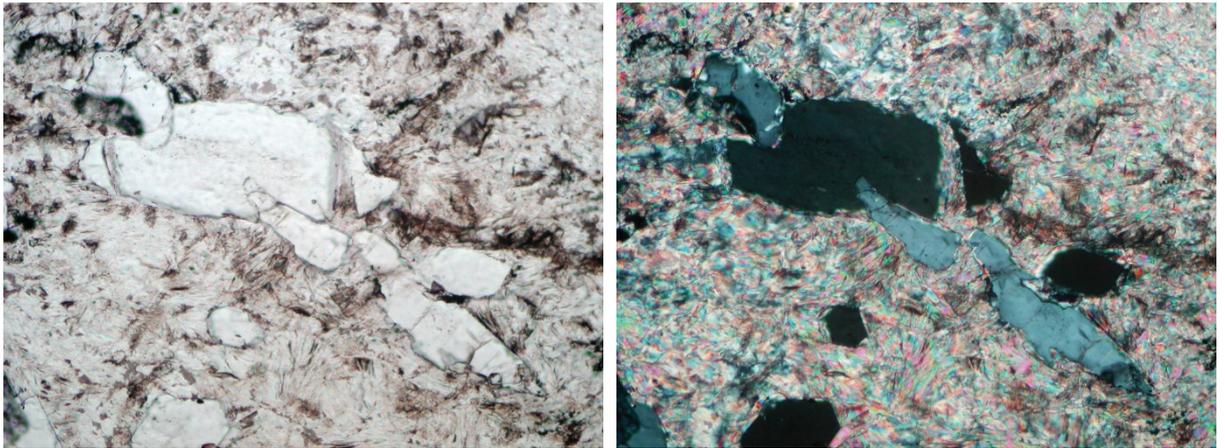


Abbildung 15: Links ohne, rechts mit gekreuzten Polarisatoren. 40-fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 3,5 mm. Apatit weiß bzw. grau, Graphit schwarz (opak), umgeben von Talk.

Im Folgenden wird die magnetische Reihe vorgestellt, von welcher Körnerpräparate hergestellt wurden, um diese ebenfalls unter dem Mikroskop zu untersuchen (siehe Kapitel 5.2).

Alle Dünnschliffbilder werden mit gekreuzten Polarisatoren dargestellt, um die Mineralunterschiede zu verdeutlichen. Abbildung 16 zeigt das Sortierergebnis bei 0,25 A (Probe 2V) auf der linken Seite. Deutlich ist zu erkennen, dass die Minerale fast ausschließlich aus Karbonaten bestehen, zu erkennen an der hohen Doppelbrechung und der sichtbaren Spaltbarkeit. Einige Karbonatkörner zeigen an den Rändern Verwachsungen mit Talk (bunte Farben). Das rechte Bild zeigt der Ergebnis bei 0,5 A (Probe 3 V) und wieder bestehen die Körner zum Großteil aus Karbonat. Es zeigte sich jedoch, dass der Talkanteil, ob einzelne Körner oder Verwachsungen mit Karbonat, bereits auf ca. 15% ansteigt (Körner mit bunter Farbe).

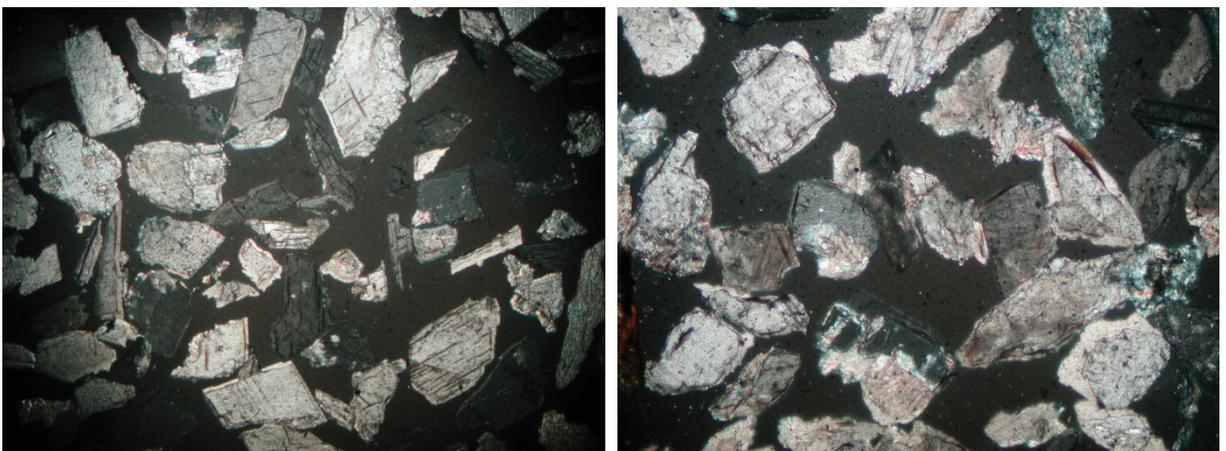


Abbildung 16: Links Körnerpräparat des Versuches bei 0,25 A (Probe 2 V), 10 fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 14 mm, rechts Körnerpräparat des Versuches bei 0,5 A (Probe 3 V), 16 fache Vergrößerung, Bildausschnittlänge: 8,75 mm.

Abbildung 17 stellt das Trennergebnis des Frantz-Magnetscheiders bei 0,75 A (4 V) dar. Das linke Bild zeigt, dass das Körnerpräparat zum Großteil aus Talk besteht, jedoch immer noch aus 20-25% Karbonat, als einzelne Körner oder als Verwachsungen mit Talk vorliegend. Das rechte Bild, ebenfalls aus dem Versuch bei 0,75 A, zeigt links eine Verwachsung Talk mit Karbonat, sowie ein großes Karbonatkorn im oberen Bereich (dunkelgrau, Spaltbarkeit).

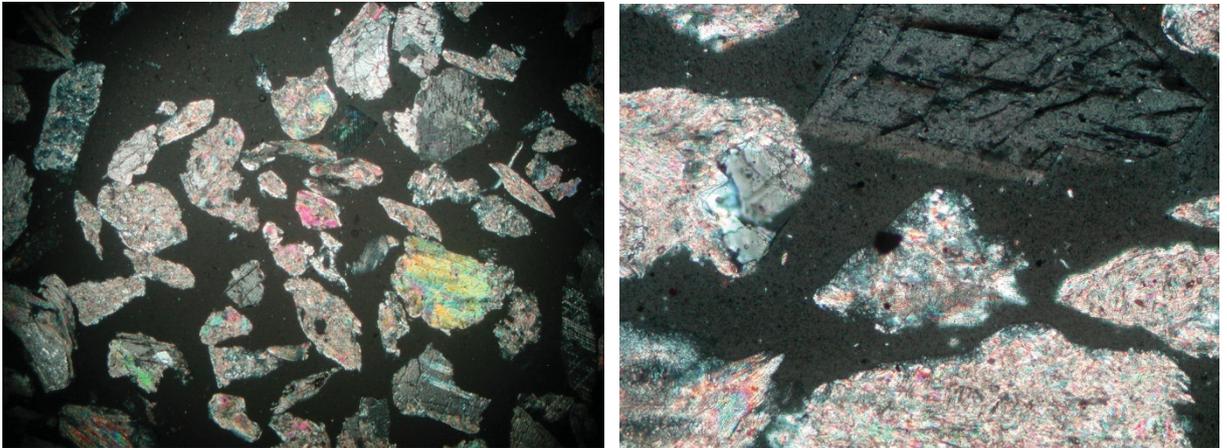


Abbildung 17: Links Körnerpräparat des Versuches bei 0,75 A (Probe 4 V), 10 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 14 mm, rechts Körnerpräparat des Versuches bei 0,75 A (Probe 4 V), 40 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 3,5 mm.

Abbildung 18 zeigt die Körnerpräparate der Trennergebnisse bei 1 A (Probe 5 V) links und bei 1,25 A (Probe 6 V) rechts. Bei 1 A besteht das Präparat hauptsächlich aus Talk, geringfügig wurde Karbonat angetroffen, sowie Pyrit. Das Bild zeigt in der Mitte Talk mit Pyrit verwachsen (Pyrit schwarz). Das rechte Bild des Versuchs bei 1,25 A macht deutlich, dass die Probe aus Talk besteht, 2% Pyrit konnten in diesem Schliff ausgezählt werden.

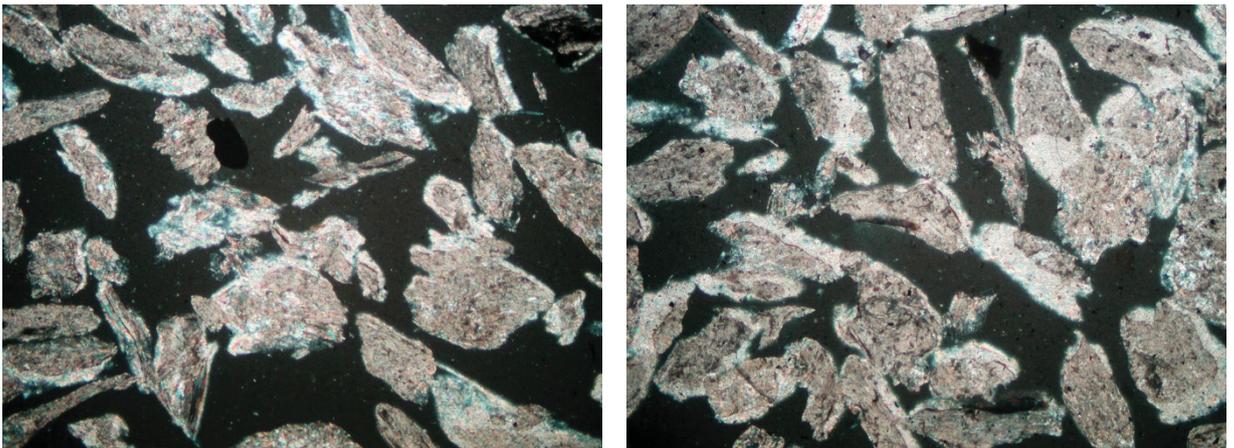


Abbildung 18: Links Körnerpräparat des Versuches bei 1 A (Probe 5 V), 16 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 8,75 mm, rechts Körnerpräparat des Versuches bei 1,25 A (Probe 6 V), 16 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 8,75 mm.

Das Trennergebnis bei 1,5 A (Probe 7 V), Abbildung 19 linkes Bild, besteht aus Talk, akzessorisch konnten bereits Verwachsungen mit Quarz erkannt werden. Das rechte Bild von Abbildung 19 zeigt den unmagnetischen Anteil der magnetischen Reihe, welche am Frantz-Scheider gezogen wurde. Nach Auszählung des Präparates besteht dieses aus ca. 20% Pyrit, 40% Quarz, 10% Karbonat und 30% Talk. Akzessorisch konnten Apatitkristalle festgestellt werden. Die Quarze sind xenomorph (also nicht in kristallin ausgeprägter Form), vereinzelt lassen Aggregate von kleinen Quarzkristallansammlungen auf Quarzit-Reste hinweisen. Die Quarze zeigen z.T. undolöse Auslöschung, was auf eine plastische Verformung und somit auf eine Verzerrung des Atomgitters hinweist.

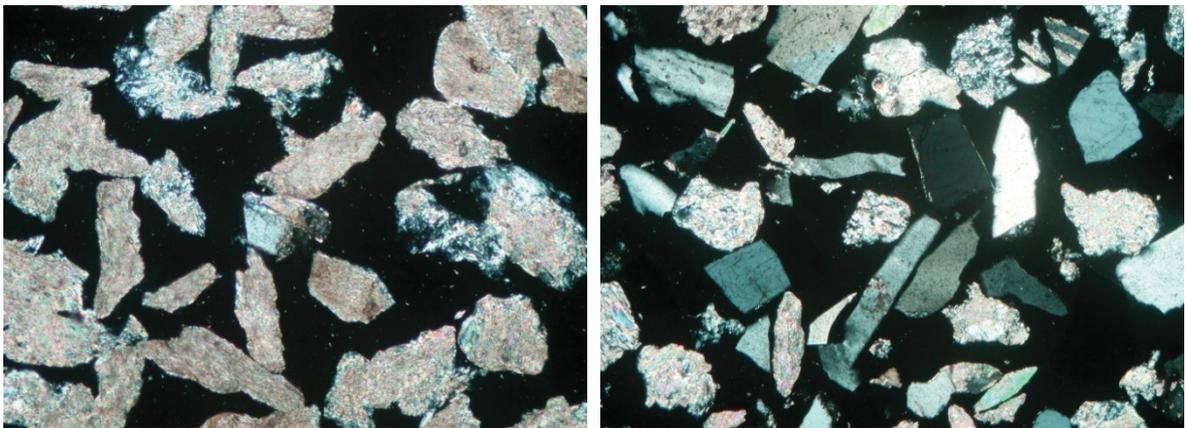


Abbildung 19: Links Körnerpräparat des Versuches bei 1,5 A (Probe 7 V), 16 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 8,75 mm, rechts Körnerpräparat des unmagnetischen Restes (Probe UN), 10 fache Vergrößerung, Bildausschnittslänge: 14 mm.

5.2 Weißgradmessung

Hauptsächlich wurde die am Frantz Scheider gezogene magnetische Reihe einer Weißgradmessung unterzogen. Für das Ergebnis des Versuches mit 1,5 A war für die Weißgradmessung zu wenig Material vorhanden, sodass dieser nicht durchgeführt werden konnte. Zusätzlich wurde noch ein Mischprodukt und reiner Talk der Lagerstätte Gemerská Poloma analysiert. Die Ergebnisse ergeben sich z.T. aus Mittelwerten mehrerer Versuche.

Probe/ Stromstärke [A]	X	Y	Z	x	y	Rem 457 [%]	Gelbwert
2V/0,25 A	75,01	79,08	79,55	03213	03384	74,51	7,82
3V/0,5 A	78,82	83,22	86,92	0,3166	0,3343	81,24	3,21
4V/0,75 A	77,33	81,58	86,42	0,3152	0,3325	80,63	1,61
5V/1 A	78,20	82,58	88,54	0,3137	0,3312	82,55	0,01
6V/1,25 A	79,84	84,23	90,44	0,3137	0,3310	84,31	-0,05
Mischprodukt	70,29	74,11	78,63	0,3152	0,3323	73,32	1,49
Talk	91,43	96,58	102,62	0,3146	0,3323	95,76	1,08

Tabelle 2: Ergebnisse der Weißgradmessung.

5.3 Atomabsorption

Mittels Atomabsorptionsspektroskopie wurden sowohl die auf dem Frantz Scheider gewonnene magnetische Reihe (Tabelle 3), als auch handgeklaubte Proben aus der Sammlung der Firma ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GesmbH untersucht. Die magnetische Reihe unterteilte sich aufgrund unterschiedlicher Magnetisierbarkeit in sieben Klassen (siehe Kapitel 5.2). Die Tabellen und Diagramme zeigen die Ergebnisse. Die Untersuchungen mit dem LECO Gerät lieferten den CO₂ und Schwefel Gehalt und flossen hier ebenfalls in die Auswertung mit ein.

Die verwendete Stromstärke wird in Ampere [A] angegeben, das x steht wiederum für die Massenssuszeptibilität, die Suszeptibilität pro Dichte (siehe Kapitel 3.2). Die angegebenen Zahlen beziehen sich auf Massenprozent oder ppm (parts per million).

Stromstärke [A]/x [m ³ /kg]	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al₂O₃ [%]
0,25 / 4,45·10 ⁻⁵	39,7821	1,1467	5,8500	0,3050	0,5537
0,5 / 1,11·10 ⁻⁵	35,4104	5,6895	3,8693	0,2171	0,9662
0,75 / 4,95·10 ⁻⁶	28,1031	9,3383	1,4479	0,0549	1,0059
1 / 2,78·10 ⁻⁶	31,0106	0,6057	1,0030	0,0057	0,3365
1,25 / 1,78·10 ⁻⁶	30,8618	0,3117	0,9398	0,0032	0,2478
1,5 / 1,24·10 ⁻⁶	30,3693	0,8484	1,5291	0,0029	0,2852
> 1,5 / 1,24·10 ⁻⁶	6,6476	8,1003	6,1770	0,0055	0,3742

Stromstärke [A]/x [m ³ /kg]	Ni [ppm]	Co [ppm]	CO₂ [%]	S [%]
0,25 / 4,45·10 ⁻⁵	12,4193	9,9354	45,9472	0,0227
0,5 / 1,11·10 ⁻⁵	14,9701	17,4651	39,8032	0,0559
0,75 / 4,95·10 ⁻⁶	22,5000	17,5000	14,7292	0,1077
1 / 2,78·10 ⁻⁶	17,3182	12,3701	1,0051	0,0808
1,25 / 1,78·10 ⁻⁶	19,8020	14,8515	0,3470	0,1753
1,5 / 1,24·10 ⁻⁶	24,7525	59,4059	0,6896	1,6198
> 1,5 / 1,24·10 ⁻⁶	30,6604	174,5283	3,1422	9,7785

Tabelle 3: Elementverteilung der magnetischen Reihe.

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die Elementverteilung der magnetischen Reihe in Diagrammen dargestellt. Bei einer Stromstärke von 0,25 A wird fast ausschließlich Magnesit gezogen, zu erkennen am geringen CaO Gehalt und einem Eisengehalt um 5,8%, der auch bei anderen Untersuchungen für den Magnesit typisch war. Es scheint als würde der Dolomit Gehalt mit CaO zunehmen, bis es schließlich bei 0,75 A zu einem Sprung kommt, ab hier wird fast ausschließlich Talk gezogen, da sowohl der Eisengehalt, als auch der CaO Gehalt vernachlässigbar klein sind. Das Ziehen des Talkes dürfte bei 1,5 A abgeschlossen sein, alles

was darüber magnetisch unterteilt werden kann oder unmagnetisch ist, dürfte eine Mischung aus Pyrit, Apatit, Quarz, Dolomit und Resten von Talk sein.

Elementverteilung

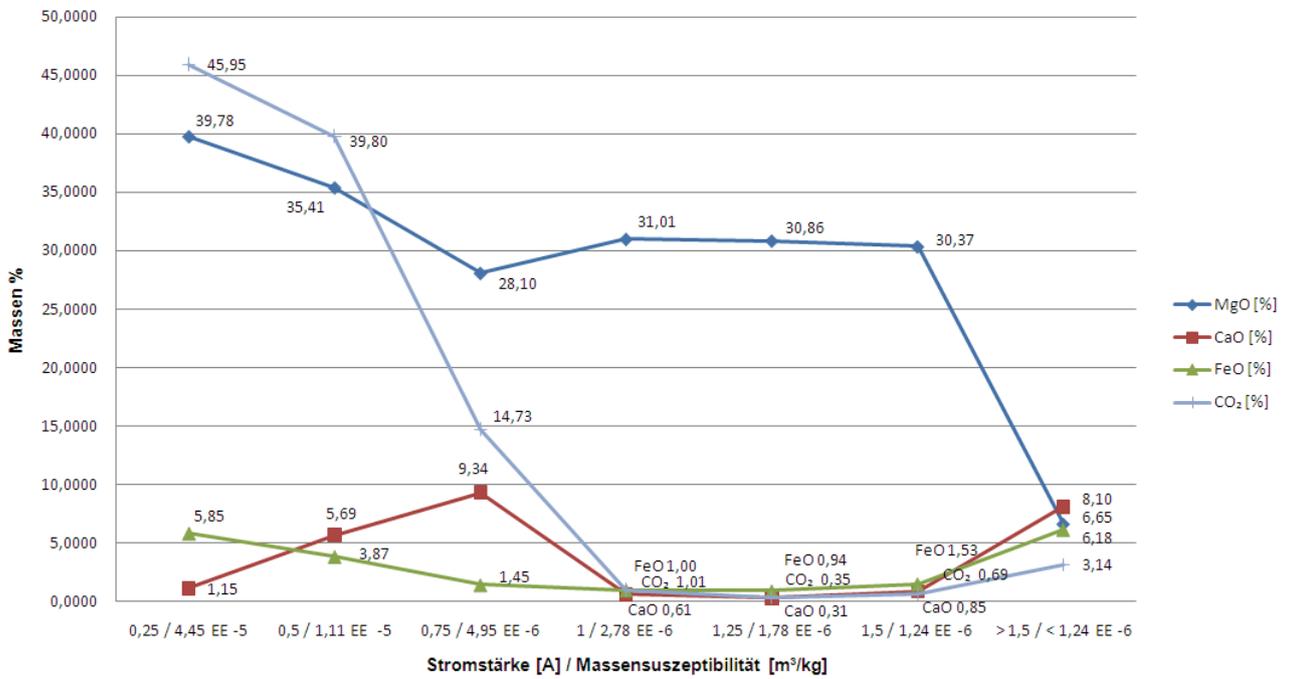


Abbildung 20: Elementverteilung der magnetischen Reihe, MgO, CaO, FeO, CO₂.

Elementverteilung

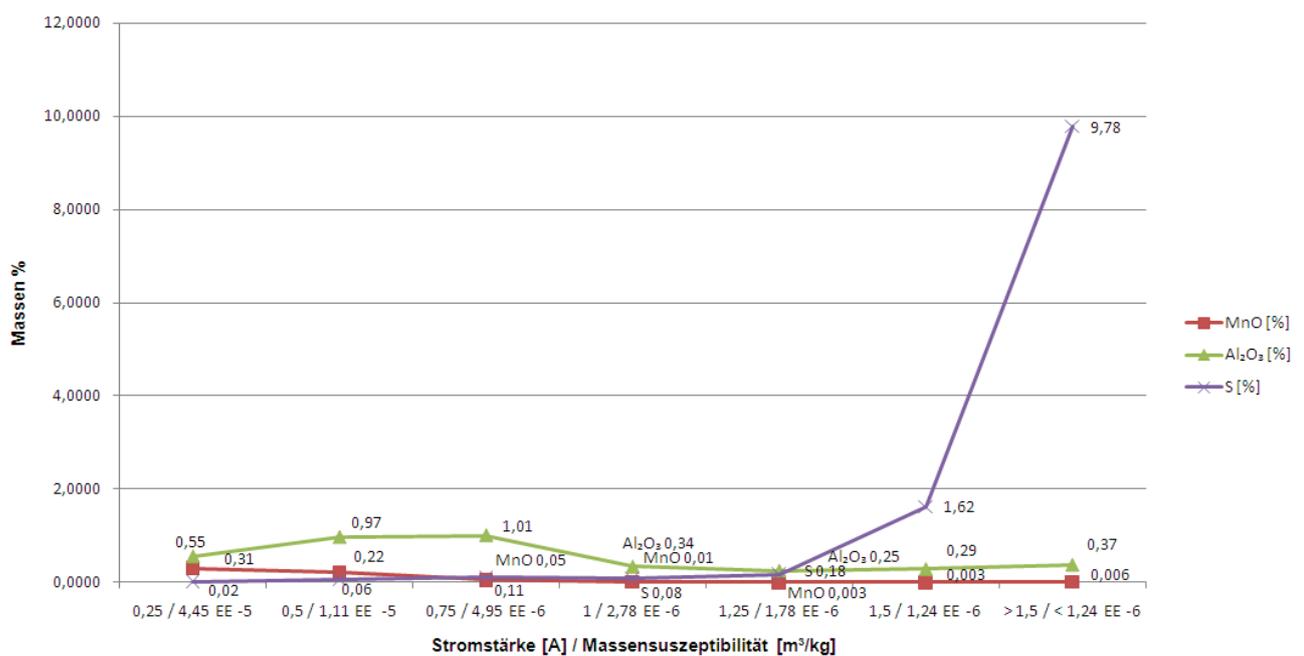


Abbildung 21: Elementverteilung der magnetischen Reihe, MnO, Al₂O₃, S.

Abbildung 21 zeigt, dass MnO in den vorliegenden Mineralien eher untergeordnet vorkommt und dann an den Magnesit gebunden ist, da sich am Anfang der Reihe ein leicht erhöhter Wert zeigt. Chloritisches Nebengestein oder damit verunreinigter Talk dürfte bei niedrigen Feldstärken gezogen werden, da sich die gering erhöhten Al₂O₃ Werte am Anfang der magnetischen Reihe zeigen. Der Schwefelgehalt bleibt bis zuletzt niedrig, da er fast ausschließlich an Pyrit gebunden ist und dieser gering paramagnetisch ist.

Für die Elementuntersuchung der einzelnen Minerale wurden jeweils drei charakteristische Proben ausgewählt.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Trw 1	32,8873	0,0582	0,7783	0,0022	0,1919	21,7707	7,2569
Trw2	30,8110	0,5600	0,7650	0,0025	0,1925	21,8341	7,2780
Trw3	31,0469	0,0476	0,7728	0,0019	0,2130	17,1569	12,2549

Tabelle 4: Reiner, weißer Talk.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Tgg 1	32,2163	0,0525	1,0578	0,0063	0,2966	24,5339	12,2669
Tgg 2	31,2830	1,1462	1,0544	0,0090	0,5440	22,3436	7,4479
Tgg 3	36,9926	1,0018	1,9564	0,0464	0,6882	27,6382	17,5879

Tabelle 5: Talk mit grünlich, gelben Verfärbungen.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Tc 1	29,9521	0,7664	3,2330	0,0162	13,3775	29,3960	29,3960
Tc 2	32,5081	0,1409	3,7270	0,0103	17,3142	45,1647	63,7620
Tc 3	25,6990	1,5156	4,1828	0,0194	11,8063	30,5556	44,4444

Tabelle 6: Chloritscher Talk mit Übergang zu Chlorit.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Tgra 1	31,4434	0,5922	0,9495	0,0044	0,7494	24,1896	12,0948
Tgra 2	31,3763	0,4789	1,0384	0,0088	0,6281	22,0049	12,2249
Tgra 3	32,5163	0,2845	1,0090	0,0093	0,6582	19,9104	7,4664

Tabelle 7: Graphithältiger, dunkler Talk.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Tro 1	33,8241	0,0182	1,0041	0,0048	0,4223	23,2883	9,3153
Tro 2	32,7726	0,0807	1,1577	0,0045	0,5517	21,0280	11,6822
Tro 3	31,0875	0,0844	1,0401	0,0042	0,3002	21,5517	10,7759

Tabelle 8: Rosa Talk.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Kd 1	41,2215	2,2966	5,9510	0,3365	0,2367	10,0251	12,5313
Kd 2	39,4683	4,9989	5,7844	0,3080	0,2446	22,4104	14,9402
Kd 3	44,2507	0,7099	5,3837	0,3052	0,2852	14,8515	12,3762

Tabelle 9: Dunkles, grau/schwarzes Karbonat (Magnesit).

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Kg 1	38,5544	3,8785	5,6585	0,2816	0,2353	17,0982	12,2130
Kg 2	42,8199	0,6110	5,7727	0,2847	0,2114	16,5250	11,8024
Kg 3	43,4065	0,7318	5,4173	0,2968	0,1563	14,5985	12,1655

Tabelle 10: Graues Karbonat (Magnesit).

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Kw 1	42,2305	3,5703	4,4643	0,2693	0,1404	7,4331	14,8662
Kw 2	22,3255	26,4563	2,1822	0,1706	0,0140	32,1782	24,7525
Kw 3	17,5800	9,8325	1,7214	0,1294	0,0643	17,0233	12,1595

Tabelle 11: Weißes Karbonat (Magnesit, Dolomit).

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Py 1	0,6431	0,0315	59,3257	0,0023	0,0095	122,6226	883,3834
Py 2	0,4457	0,0345	ü	0,0013	0,0092	131,9648	1175,4643
Py 3	0,6480	0,1879	61,1121	0,0016	0,0138	139,2281	1240,8403

Tabelle 12: Pyrit, ü=dieser Wert war ungültig.

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Kk 1	27,7899	21,0709	2,5369	0,1807	0,0400	21,2465	18,8857
Kk 2	31,0417	18,0804	3,0514	0,2230	0,0835	19,6560	19,6560
Kk 3	27,8553	19,9171	2,5708	0,1893	0,0656	19,8511	14,8883

Tabelle 13: Rhomboedrische Karbonatkristalle (Dolomit).

	MgO [%]	CaO [%]	FeO [%]	MnO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Ni [ppm]	Co [ppm]
Un 1	34,2178	2,2990	3,1569	0,1061	0,4382	16,9164	33,8328
Un 2	34,9270	2,3166	3,0925	0,1061	0,4563	12,4502	29,8805
Un 3	31,9037	2,2317	3,0154	0,1049	0,3908	17,4477	32,4028

Tabelle 14: Aufgemahlene Mischprodukt.

5.4 Elektronenstrahlmikroanalyse

Für die Untersuchung an der Mikrosonde wurden ausgewählte Stücke aus der Probensammlung der Firma ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GesmbH herangezogen. Besonderes Augenmerk wurde auf Proben mit sehr hohem Anteil an Graphit gelegt, sodass sie bereits im Handstück als grau-schwarz zu charakterisieren waren. Ebenfalls untersucht wurde der Übergang von Talk zu Karbonat, ebenso wie grünlich gefärbter Talk mit grobem Pyrit.

In Tabelle 15, ist eine quantitative Analyse der Karbonate dargestellt. Sie zeigt, dass der Magnesit einen höheren Anteil an Eisen besitzt, etwas mehr als 5%, als der Dolomit, dessen Eisenanteil zwischen 2% und 5% liegt. Der Total-Wert kann einem gewissen Schwankungswert unterliegen und erreicht selten genau 100%, zu ungenaue Werte wurden aussortiert.

MgCO₃	CaCO₃	MnCO₃	FeCO₃	SrCO₃	Al₂O₃	SiO₂	Total
95,622	0,341	0,275	5,292	0,012	0,026	0,022	101,590
47,742	50,824	0,270	2,363	0,000	0,021	0,023	101,244
46,210	50,437	0,259	3,511	0,000	0,011	0,191	100,619
45,746	50,203	0,450	4,685	0,035	0,000	0,000	101,119
47,483	50,794	0,333	2,343	0,000	0,006	0,000	100,958
45,042	50,726	0,570	5,295	0,000	0,016	0,010	101,659
46,605	50,748	0,253	2,355	0,005	0,013	0,021	100,000
47,299	50,992	0,189	2,613	0,000	0,017	0,022	101,132
45,570	49,403	0,245	3,875	0,000	0,019	0,018	99,131
46,783	50,521	0,283	2,911	0,040	0,016	0,017	100,570
47,115	49,705	0,349	2,721	0,014	0,000	0,017	99,921
97,503	0,507	0,312	5,509	0,009	0,017	0,000	103,857
96,846	0,289	0,346	5,368	0,000	0,055	0,019	102,923

Tabelle 15: Quantitative Analyse von Karbonaten, in Massen %.

Die quantitative Pyrit Analyse, in Tabelle 16 dargestellt, zeigt, dass die Pyrite der Lagerstätte Gemerská Poloma äußerst rein sind, weisen keine nennenswerten Inhalte anderer Elemente außer Eisen und Schwefel auf.

As	Cu	Fe	Au	S	Ag	Pb	Ni	Co	Zn	Total
0,082	0,030	45,411	0,001	54,244	0,011	0,000	0,010	0,160	0,000	99,949
0,029	0,024	45,807	0,023	53,826	0,000	0,000	0,003	0,054	0,00	99,766
0,000	0,021	45,730	0,000	53,465	0,002	0,000	0,016	0,081	0,009	99,324
0,087	0,051	44,986	0,056	52,698	0,000	0,000	0,000	0,077	0,018	97,973
0,016	0,008	46,540	0,035	53,872	0,000	0,000	0,004	0,132	0,016	100,623
0,000	0,008	46,733	0,000	54,401	0,001	0,000	0,000	0,168	0,027	101,338
0,085	0,000	46,390	0,000	54,182	0,000	0,000	0,055	0,239	0,013	100,964
0,008	0,000	46,826	0,027	54,055	0,003	0,000	0,000	0,081	0,000	101,000

0,000	0,000	46,365	0,000	53,673	0,007	0,000	0,023	0,077	0,000	101,450
0,055	0,032	46,723	0,000	53,870	0,000	0,000	0,006	0,093	0,000	100,779
0,030	0,019	46,309	0,027	54,003	0,000	0,000	0,008	0,089	0,012	100,497
0,000	0,005	46,619	0,000	54,481	0,000	0,000	0,000	0,114	0,000	101,219
0,000	0,018	46,325	0,027	54,626	0,000	0,000	0,019	0,210	0,000	101,225
0,000	0,017	46,822	0,000	53,182	0,003	0,000	0,008	0,129	0,000	100,161
0,054	0,000	46,553	0,015	53,756	0,010	0,000	0,031	0,320	0,000	100,739
0,000	0,000	46,380	0,000	53,967	0,000	0,000	0,000	0,261	0,000	100,608
0,037	0,027	46,718	0,000	54,124	0,002	0,000	0,011	0,141	0,021	101,081
0,053	0,020	46,686	0,011	54,543	0,000	0,000	0,011	0,067	0,000	101,391
0,023	0,000	46,697	0,028	54,198	0,022	0,000	0,039	0,082	0,000	101,089
0,059	0,000	46,900	0,027	54,548	0,000	0,000	0,015	0,117	0,000	101,666

Tabelle 16: Quantitative Analyse von Pyriten, in Massen %.

Auf Abbildung 22 ist Dolomit, Magnesit und Talk zu sehen. Es hat den Anschein als wäre der Magnesit entlang der Kristallgrenzen (Spaltbarkeit) vom Dolomit ersetzt worden. Die helleren Bereiche im Magnesit zeigen einen erhöhten Eisengehalt an.

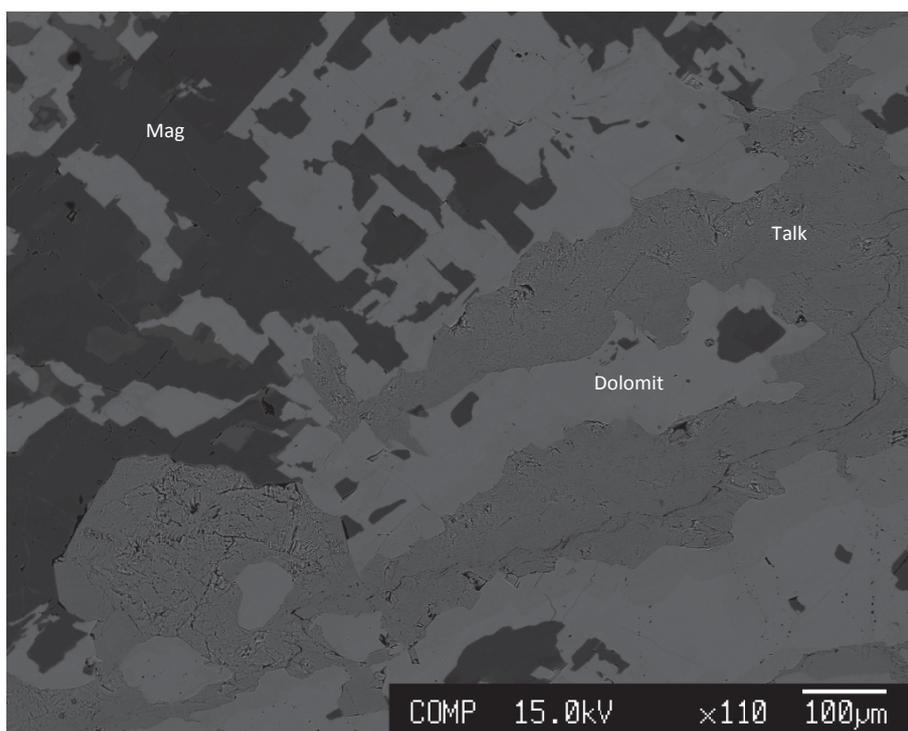


Abbildung 22: Dolomit (hell), Talk (grau) und Magnesit (Mag, dunkel).

In Abbildung 23 erkennt man Dolomit, welcher von Magnesit umgeben ist. Wieder kann man den unterschiedlichen Eisengehalt des Magnesits durch die hell/dunkel Schattierung erkennen. In einem Riss konnte Talk kristallisieren.

Abbildung 24 zeigt, wie sich der Magnesit gelöst hat und in Dolomit übergegangen ist, beide eingeschlossen im Talk.

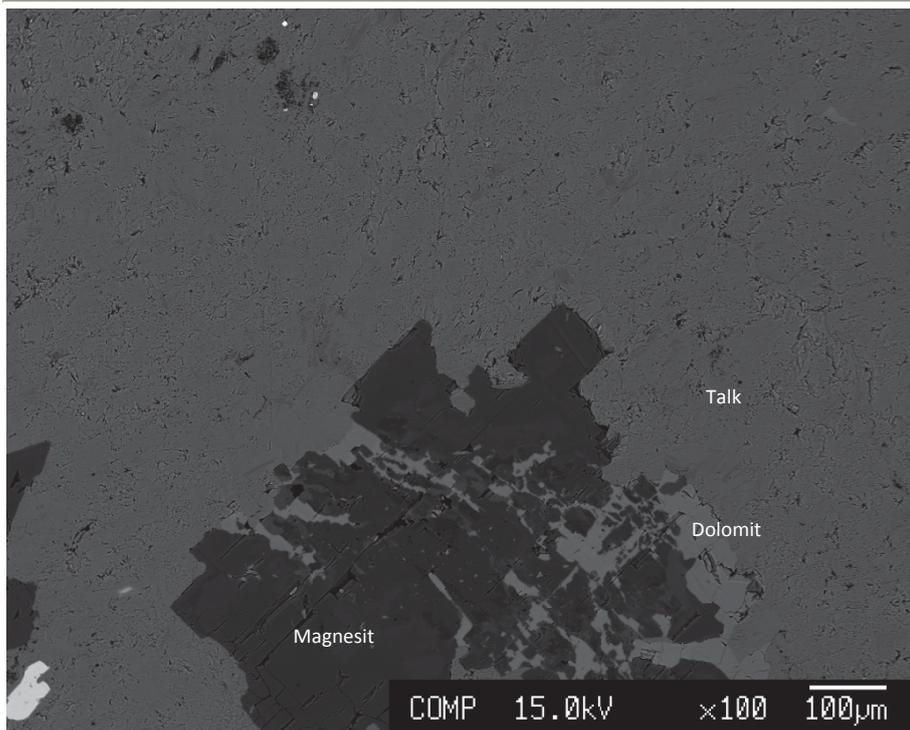


Abbildung 23: Gelöster Magnesit, Dolomit und darum Talk.

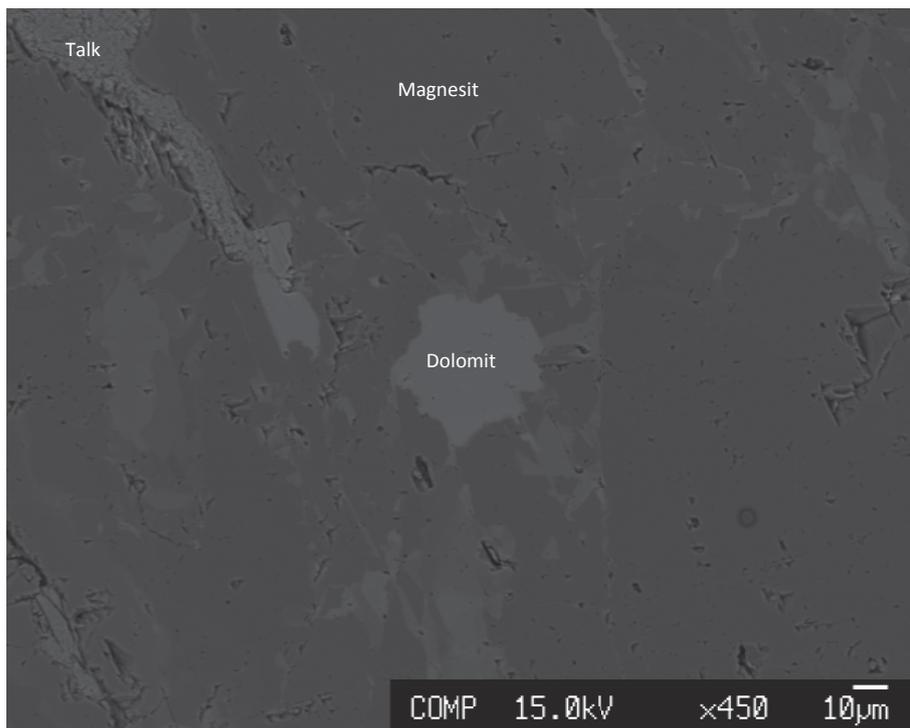


Abbildung 24: Dolomit umgeben von Magnesit und Talk.

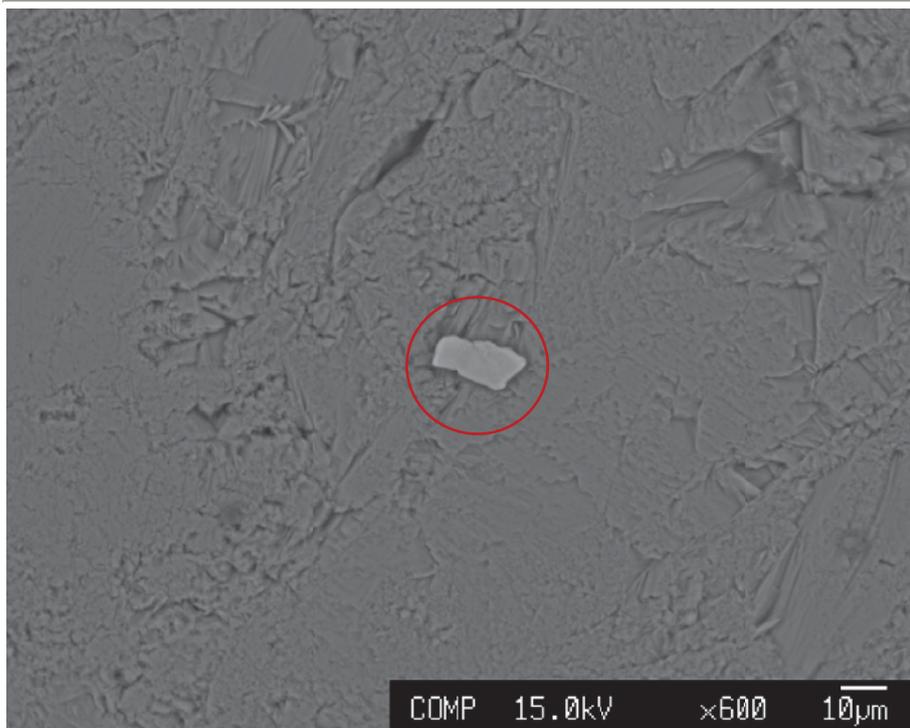


Abbildung 25: Chloritkorn (roter Kreis) umgeben von Talk.

Abbildung 25 zeigt ein, in der Talkmatrix selten vorkommendes, Chloritkorn, in diesem Fall nicht größer als $30 \times 10 \mu\text{m}$.

Abbildung 26 zeigt wieder Dolomit, Magnesit und Talk. Die helleren, größeren Körner stellten sich als das Phosphat Apatit [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl})$] heraus, der in einigen Partien der untersuchten Proben häufig war.

Das hell strahlende, kleine Korn ist Xenotim, ein Seltenes-Erden Phosphat welches Yttrium enthält. Es hat die chemische Formel YPO_4 und kristallisiert im tetragonalen Kristallsystem. Es bildet sich in Graniten oder Pegmatiten, das Yttrium kann durch Uran oder Thorium substituiert werden.²⁶

Erscheint ein Mineral für den Betrachter wesentlicher heller als das Umliegende, wird der Elektronenstrahl stärker reflektiert. Der Grund hierfür ist die höhere Dichte des angestrahlten Minerals, umso höher die Dichte, umso heller die Reflexion.

²⁶ Schorn S., et al., 06.01.2009: Mineralienatlas. MineralData. Xenotim.
<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Xenotim-%28Y%29> [Zugriff: 15.02.2012].

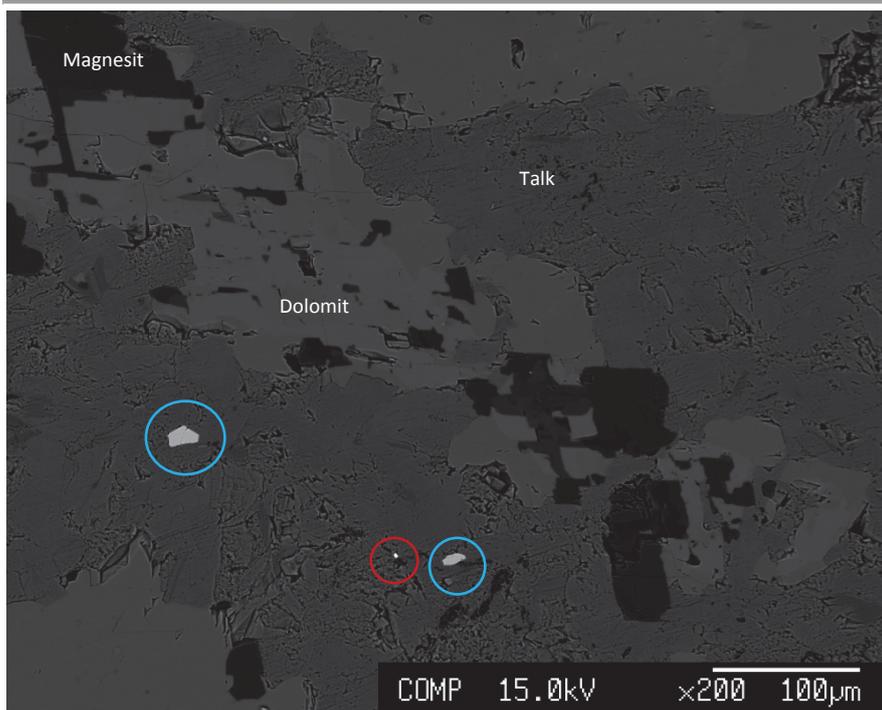


Abbildung 26: Dolomit, Magnesit und Talk. Apatit (blauer Kreis) und akzessorisch Xenotim (roter Kreis) sind hier ebenfalls zu erkennen.

Eine quantitative Analyse der in der Nähe von Apatiten befindlichen hellen Minerale ergab, dass es sich um zwei verschiedene Seltene-Erden Minerale handelt. Xenotim ist ein Phosphat welches hauptsächlich das Element Yttrium enthält, wogegen Monazit statt Yttrium Cerium einbaut (CePO_4), aber auch Lanthan, Neodym, Thorium oder Yttrium.²⁷ Tabelle 17 zeigt die genaue Zusammensetzung einiger dieser Minerale.

	CaO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	
1	0,4536	47,7200	21,8400	0,5979	0,0000	0,0000	0,4225	
2	0,2967	28,3600	22,0300	0,6950	0,0000	0,2962	0,0000	
3	0,2374	0,0000	0,0000	40,8800	5,2300	6,1400	1,1800	
4	0,1729	0,0097	0,0172	41,0900	4,0900	4,6300	1,3100	
5	0,1511	0,0000	0,0000	42,1700	3,4200	3,4900	0,9534	
	Er ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Nd ₂ O ₃	Total		
1	0,0000	0,0000	1,5100	28,8900	0,0000	101,4340		Monazit
2	0,0000	5,1500	2,0700	29,7500	6,5300	95,1780		Monazit
3	5,1100	0,0000	3,9100	35,0000	0,0000	97,6875		Xenotim
4	4,1300	0,0000	3,1300	34,7100	0,7653	94,0552		Xenotim
5	4,7800	0,0000	2,2500	34,4000	0,2373	91,8519		Xenotim

Tabelle 17: Quantitative Analyse von Seltenen-Erden Mineralen, Masse %.

²⁷ Kühnle, J., 1999-2007: Wissen-im-Netz. Mineralien-Lexikon. Monazit. <http://www.wissen-im-netz.info/mineral/lex/abc/m/monazit.htm> [Zugriff: 15.02.2012].

Abbildung 27 zeigt einen relativ großen Xenotim neben einem Apatitkorn. Eine quantitative Analyse einiger Apatit Körner, Tabelle 18, ergab, dass diese fast Seltene-Erden frei sind.

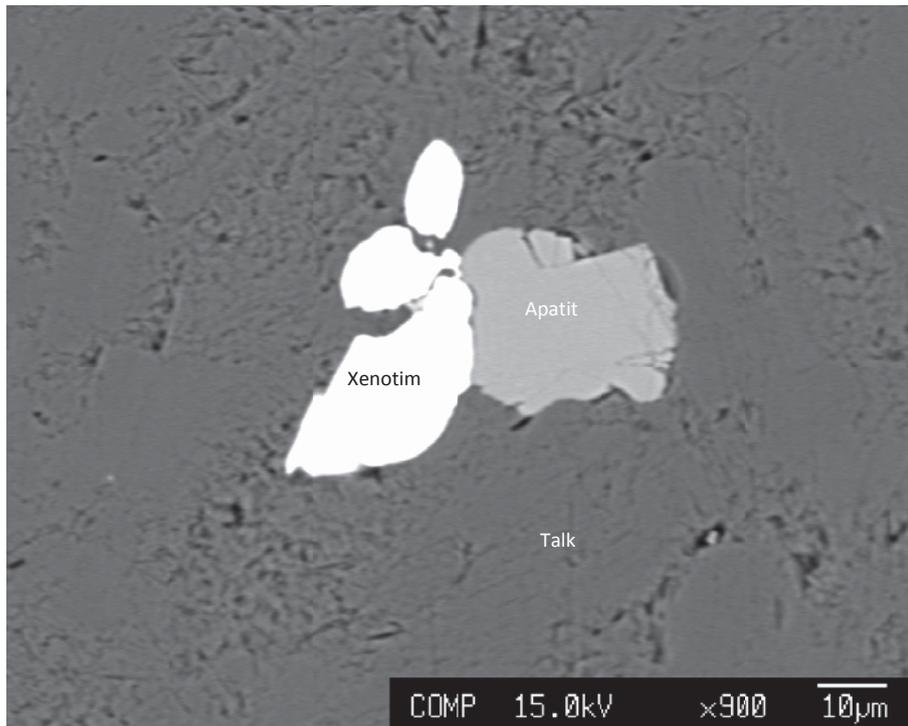


Abbildung 27: Xenotim neben Apatit, darum Talk.

	P ₂ O ₅	CaO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃
1	43,2700	56,9500	0,2221	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	43,0000	56,6300	0,2849	0,1077	0,1046	0,1027	0,0000
3	43,0000	56,6300	0,2221	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	43,2700	56,9500	0,2849	0,1077	0,1046	0,1027	0,0000
5	43,1350	56,7900	0,2535	0,0538	0,0523	0,0514	0,0000

	Lu ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Total
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0093	100,4513
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0759	0,0000	100,3057
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	100,3058
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0759	0,0093	100,4514
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0380	0,0047	100,3786

Tabelle 18: Quantitative Analyse einiger Apatite, Masse %.

Akzessorisch wurde in nur zwei Dünnschliffen ein Mineral mit einer sehr hohen Dichte gefunden (extrem helle Reflexion), dass sich nach genauerer Analyse als Uraninit (Abbildung 28) herausstellte, ein Uranoxid mit der chemischen Formel UO₂. Das kubische Mineral, das auch als Uranpecherz bekannt ist, hat eine hohe Dichte und schwarze Farbe. Es ist an saure

Gesteine gebunden, kommt in Graniten, Pegmatiten und Sandsteinen vor. Bei erhöhter Anreicherung ist es ein wichtiges Uran-Erz.²⁸

Der Uraninit ist in der Talkmatrix eingebettet und dürfte an Graphitbänder gebunden sein, da organisches Material des Öfteren als Fänger von Uranmineral dient. Der geringe Bleianteil im EDS Diagramm in Abbildung 29 kann als radioaktives Zerfallsprodukt gedeutet werden. Die helleren Partien um das eigentliche Uraninit Korn in Abbildung 30 enthalten Zink, das sich um das Mineral angereichert hat.

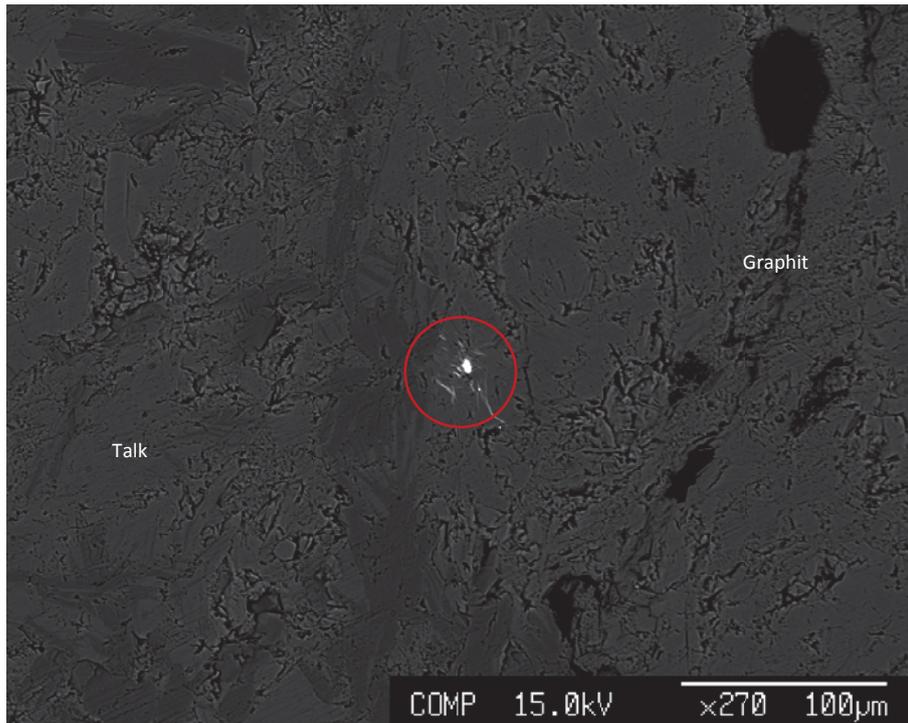


Abbildung 28: Uraninit Korn (roter Kreis) in Talk, schwarz Graphit.

²⁸ Schumann, W., 2009: Steine- und Mineralienführer, München, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, p.150

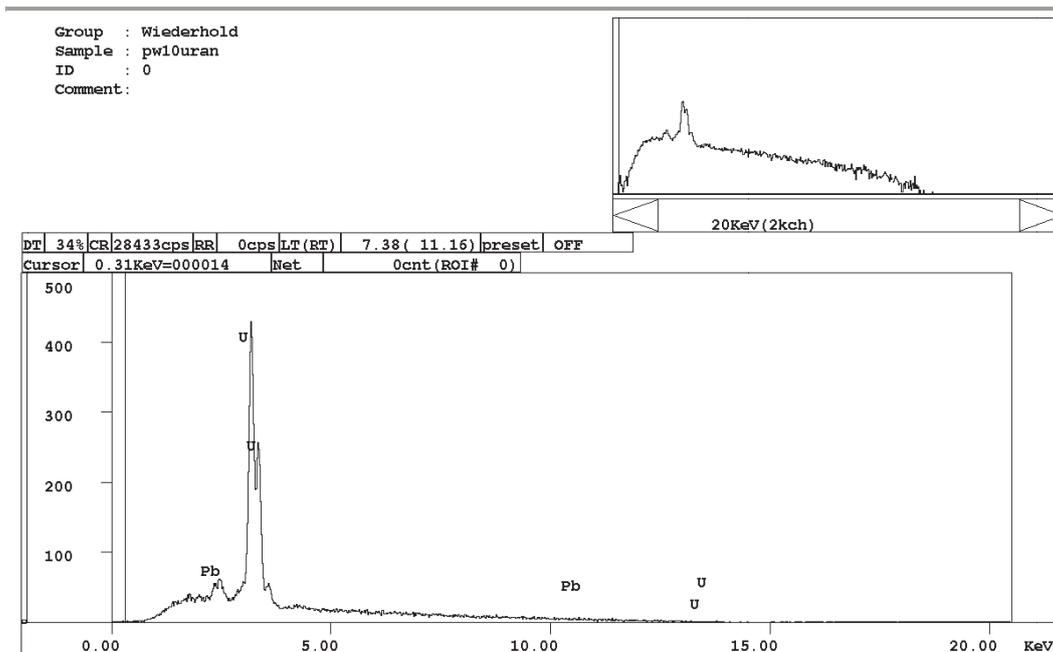


Abbildung 29: Das Diagramm der energiespersiven Spektroskopie zeigt den deutlichen Uran Peak, sowie das Zerfallsprodukt Blei.

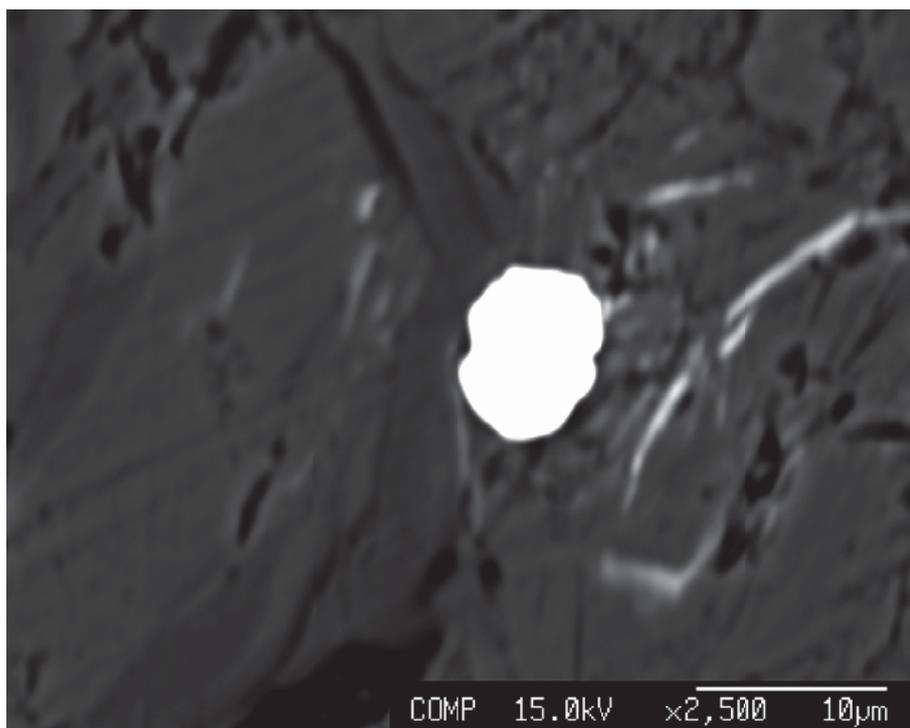


Abbildung 30: Uraninit Korn (hell) mit Partien von Zink darum, in Talk.

6 MAGNETIK

6.1 Bandscheider

Für die Bandscheiderversuche wurde das Versuchsgerät High Force Magnetic Separator der Firma International Process System Inc. verwendet. An diesem Gerät kann man die Bandgeschwindigkeit, die Vibrationen der Aufgaberinne, sowie zwei Trennklappen einstellen. Die Trennklappen teilen das vom Band kommende Material in eine unmagnetische, mittelmagnetische und magnetische Fraktion auf, den Winkel dieser Klappen kann man verstellen. Bei allen Versuchen wurde die Vibrorinnenstärke 5 verwendet.

Es wurden zwei verschiedene Proben in zwei unterschiedlichen Kornklassen verwendet.

Die Probe **3062/09+10** bestand aus demselben Material, welches auch für die Frantz Scheider Versuche herangezogen wurde und dürfte eine allgemeine Mineralzusammensetzung darstellen.

Die Kornklasse 1 – 3,15mm erzielte bei einer Bandeneinstellung von 120 und einer Klappenjustierung von 1:0 und 2:4 das beste Trennergebnis, es ist in der Tabelle 19 dargestellt und in Tabelle 20 ausgewertet.

3062/09+10		
Klasse 1/3,15	Masse [g]	Massenprozent [%]
Unmagnetisch	316	54,54
Mittel magnetisch	170,6	29,44
Magnetisch	92,8	16,02
Summe	579,4	100

Tabelle 19: Bandscheiderversuch der Probe 3062/09+10, Kornklasse 1 – 3,15mm.

3062/09+10	Unmagnetisch	Mittel magnetisch	Magnetisch
Klasse 1/3,15	%	%	%
Quarz	1,75	-	-
Pyrit	1,59	-	-
Karbonat	18,49	98,59	100
dunkler Talk	3,30	0,49	-
Talk	74,87	0,92	-
Summe	100	100	100

Tabelle 20: Mineralzusammensetzung des Versuches 3062/09+10, Kornklasse 1 – 3,15mm, in Massenprozent.

Die Kornklasse 3,15 – 5mm erzielte bei einer Bandeneinstellung von 145 und einer Klappenjustierung von 1:2,8 und 2:4, das beste Ergebnis, dargestellt in Tabelle 21, sowie die Mineralauszählung in Tabelle 22.

3062/09+10		
Klasse 3,15/5	Masse [g]	Massenprozent [%]
Unmagnetisch	186,5	55,69
Mittel magnetisch	148,4	44,31
Magnetisch	0	0
Summe	334,9	100

Tabelle 21: Bandscheiderversuch der Probe 3062/09+10, Kornklasse 3,15 – 5mm.

3062/09+10	Unmagnetisch	Mittel magnetisch
Klasse 3,15/5	%	%
Quarz	2,95	-
Pyrit	0,80	-
Karbonat	23,84	100
dunkler Talk	-	-
Talk	72,41	-
Summe	100	100

Tabelle 22: Mineralzusammensetzung des Versuches 3062/09+10, Kornklasse 3,15 - 5mm.

Die Probe „**3 Phasen**“ bestand aus einer Handklaubung von dunklem und hellem Karbonat, sowie Talk. Wieder wurden zwei Kornklassen untersucht, 1 – 2,8mm und 2,8 – 5mm.

Die Kornklasse 1 – 2,8mm erzielte bei einer Bandeneinstellung von 125 und einer Klappenjustierung von 1:1,8 und 2:4, das beste Ergebnis, dargestellt in Tabelle 23, sowie die Mineralauszählung in Tabelle 24.

3 Phasen		
Klasse 1/2,8	Masse [g]	Massenprozent [%]
Unmagnetisch	35,9	18,75
Mittel magnetisch	99,93	52,21
Magnetisch	55,6	29,04
Summe	191,43	100

Tabelle 23: Bandscheiderversuch der Probe „3 Phasen“, Kornklasse 1 – 2,8mm.

3 Phasen Klasse 1/2,8	Unmagnetisch %	Mittel magnetisch %	Magnetisch %
Quarz	18,49	-	-
Pyrit	0,56	-	-
Karbonat	43,98	100	100
dunkler Talk	-	-	-
Talk	36,97	-	-
Summe	100	100	100

Tabelle 24: Mineralzusammensetzung des Versuches „3 Phasen“, Kornklasse 1 – 2,8mm.

Die Kornklasse 2,8 – 5mm erzielte bei einer Bandeinstellung von 140 und einer Klappenjustierung von 1: 3,8 und 2: 4, das beste Ergebnis, dargestellt in Tabelle 25, sowie die Mineralauszählung in Tabelle 26.

3 Phasen Klasse 2,8/5	Masse [g]	Massenprozent [%]
Unmagnetisch	38,1	26,87
Mittel magnetisch	103,7	73,13
Magnetisch	0	0
Summe	141,8	100

Tabelle 25: Bandscheiderversuch der Probe „3 Phasen“, Kornklasse 2,8 – 5mm.

3 Phasen Klasse 2,8/5	Unmagnetisch %	Mittel magnetisch %
Quarz	3,68	-
Pyrit	-	-
Karbonat	64,47	100
dunkler Talk	-	-
Talk	31,85	-
Summe	100	100

Tabelle 26: Mineralzusammensetzung des Versuches „3 Phasen“, Kornklasse 2,8 – 5mm.

6.2 Frantz Scheider

Aus dem Material der Lagerstätte Gemerská Poloma wurde eine Mischprobe für die Untersuchung verwendet, die bereits vorher auf eine Korngröße von <5mm gesiebt wurde. Für die Verwendung mit dem Frantz Scheider wurde diese Fraktion weiter abgeseibt und eine Kornfraktion zwischen 0,25 und 0,5mm verwendet.

Es zeigte sich, dass bei dem Material eine Vorwärtsneigung von 10° und eine Seitenneigung von 8° am Geeignetsten waren. Insgesamt wurden 111,91g des Mischproduktes verwendet

und nach zwei Durchgängen jeweils der unmagnetische Teil bei höherer Stromstärke wieder untersucht, wie die Abbildung 31 zeigt.

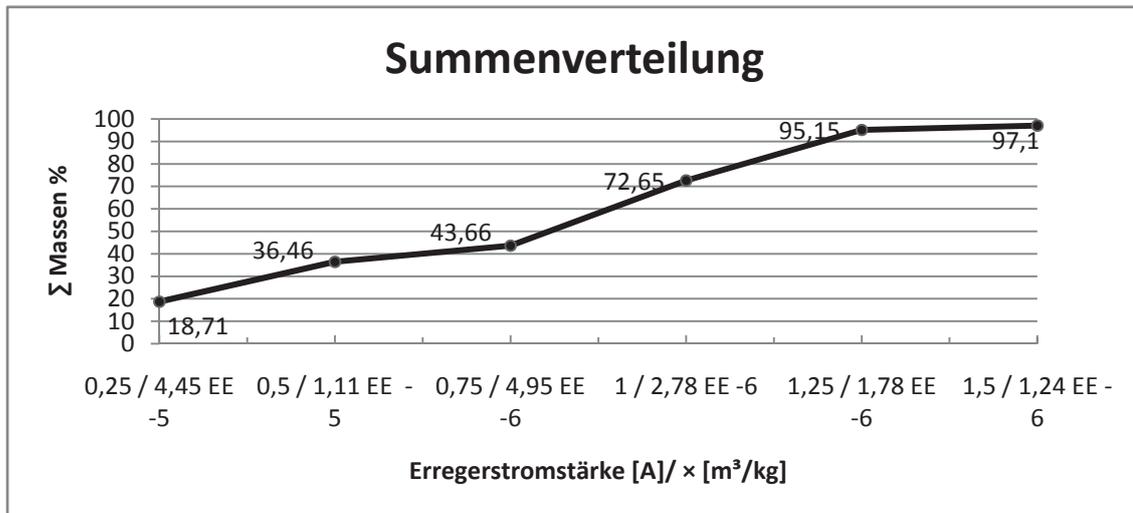


Abbildung 31: Summenverteilung der magnetischen Fraktionierung über die Erregerstromstärke.

Das Ergebnis der chemischen Analyse der magnetischen Reihe wird im Kapitel Atomabsorption (4.1) behandelt.

Die Gehalte an FeO, MgO, CaO und CO₂ werden in den Abbildungen 33 bis 36 in Henry Reinhardt Schaubildern dargestellt. Diese eignen sich um Aussagen über das in stofflicher Hinsicht mögliche Trennergebnis einer Magnetscheidung zu machen. Dabei werden die einzelnen Teilmengen in Bezug auf ihre stoffliche Zusammensetzung zuvor analysiert (in diesem Fall durch Atomabsorption).

Die Massenanteile (m_i) der Suszeptibilitätsklassen und die Analysewerte von einem in jeder Klasse ermittelten Gehalt (g_{ii}) bilden den Basisdatensatz für ein Henry Reinhardt Schaubild. Zuerst wird der Stoffinhalt berechnet ($I_{ii} = m_i \cdot g_{ii}$), dann werden die Klassenanteile und Stoffinhalte Schritt für Schritt zu Summenanteilen zusammen gefasst. Der Quotient aus der Teilsumme der Inhalte zur Teilsumme der Masseanteile bis zu einer bestimmten Suszeptibilitätsklasse i , ergibt den mittleren Gehalt des Trennproduktes. Das Verhältnis des Ergänzungsproduktes auf den Gesamthalt zur Ergänzungs- und Gesamtmasse gibt den Gehalt im Komplementärprodukt an. Die Werte der schrittweisen Summation je Klasse und der Gehaltsbestimmung der Trennprodukte der Produkttrennung werden ebenfalls in dem Diagramm festgehalten, Summenkurven 1 und 2.

Der Stoffgehalt ist der Quotient aus den summierten Stoffinhalten zu den summierten Klassenanteilen.

Durch die Summenkurven kann man die Information des jeweiligen mittleren Stoffgehaltes eines jeden Produktes heraus lesen.

Die Flächen jedes Balkens im Henry Reinhardt Schaubild, die sich aus Massenanteil und Gehalt je Fraktion zusammen setzen, ergeben den Inhalt der betrachteten Phase. Die Summe aller Flächen ergibt den Gesamtinhalt der Phase in der Aufgabe. Diese Balken werden von der Grundkurve ausgeglichen, aus ihr kann man für jede beliebige Masseunterteilung der Aufgabe, der mittlere Gehalt der Teilmassen durch Flächenausgleich ermittelt werden.²⁹

Die Henry Reinhardt Schaubilder veranschaulichen bei einem bestimmten Masseanteil, den Gehalt des jeweiligen Elementes im Konzentrat, also maximal, abzulesen an der Summenkurve 1, sowie den Gehalt im Bergegut, also minimal, an der Summenkurve 2 ersichtlich. Prinzipiell könnte man den Grenzgehalt des jeweiligen Elementes nun auf der Grundkurve ablesen.

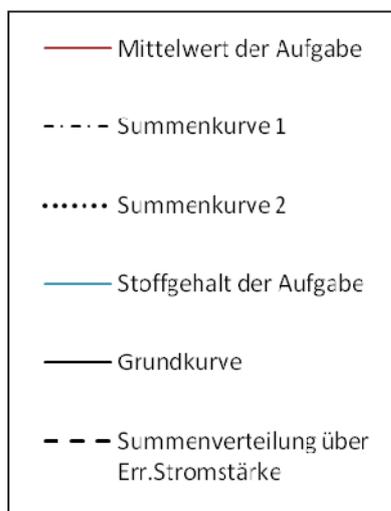


Abbildung 32: Legende der Henry Reinhardt Schaubilder

²⁹ Eder, T., 1961: Probleme der Trennschärfe; Nr. 4; Nr. 3 Gesetze der Korntrennung; Nr. 12 Nutzen der Tromp'schen Kurve; Nr. 8 Streckung der Tromp'schen Kurve; Aufbereitungstechnik 2.

Mayer, F., W., 1967: Allgemeine Grundlagen der T-Kurven; 2. Teil: Kritik der Kennwerte der T-Kurven, Aufbereitungstechnik, Nr. 8 und 12.

Mayer, F., W., 1968: Allgemeine Grundlagen der T-Kurven; 3. Teil: Der neue Trennschärfekennwert in Form der Momentensumme der Fehlgutfläche des T-Kurvendiagramms, Aufbereitungstechnik, Nr. 1.

Pethö, S., 1976: Übergangsfunktionen und Kennwerte aufbereitungstechnischer Trennvorgänge, Glückauf Forschungshefte 37, Nr. 5.

Pethö, S., 1979: Trenngrenzen aufbereitungstechnischer Trennungen und ihre Berechnungen, Glückauf Forschungshefte 40, Nr. 5.

Magnesium Erregerstromstärke [A]/Suszeptibilität [m ³ /kg]	Grundkurve			Summenkurve 1			Summenkurve 2		
	Masseanteile (m _i) [%]	g _{MgO, i} [%]	Stoffinhalt (I _i) [% %]	Σ Masse [%]	Σ I _i [% %]	Gehalt (g _{ii}) [%]	100- Σ Masse [%]	Gesamtinhalt - Σ Inhalt [% %]	Gehalt [%]
0,25 / 4,45 EE -5	18,71	39,7821	744,32	18,71	744,32	39,78	81,29	2502,76	30,78
0,5 / 1,11 EE -5	17,75	35,4104	628,53	36,46	1372,85	37,65	63,54	1874,23	29,5
0,75 / 4,95 EE -6	7,2	28,1031	202,34	43,66	1575,19	36,08	56,34	1671,89	29,68
1 / 2,78 EE -6	28,99	31,0106	899	72,65	2474,19	34,06	27,35	772,89	26,43
1,25 / 1,78 EE -6	22,5	30,8618	694,39	95,15	3168,58	33,3	4,85	78,5	16,19
1,5 / 1,24 EE -6	1,95	30,3693	59,22	97,1	3227,8	33,24	2,9	19,28	6,65
> 1,5 / < 1,24 EE -6	2,9	6,6476	19,28	100	3247,08	32,47	-	-	-

Stoffgehalt der Aufgabe: 32,47

Tabelle 27: MgO Auswertungstafel für das Henry Reinhardt Schaubild.

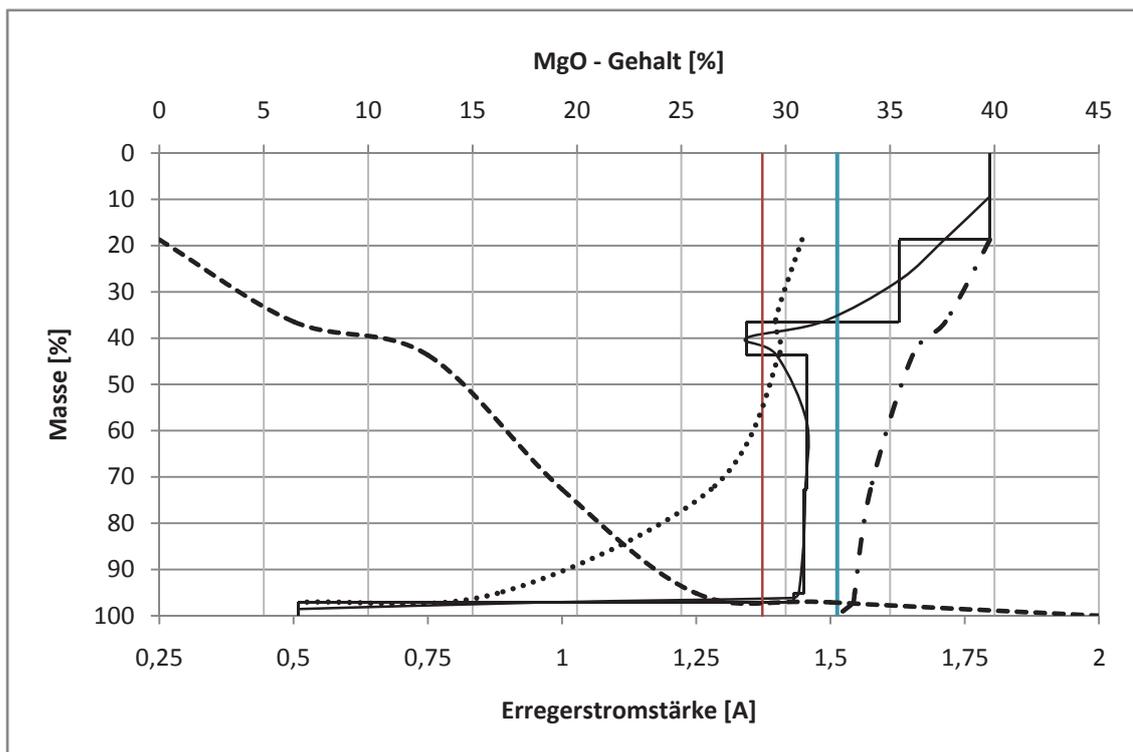


Abbildung 33: Henry Reinhardt Schaubild für den MgO-Gehalt.

Calcium Erregerstromstärke [A]/Suszeptibilität [m ³ /kg]	Grundkurve			Summenkurve 1			Summenkurve 2		
	Masseanteile (m _i) [%]	$g_{CaO,i}$ [%]	Stoffinhalt (l _i) [% %]	Σ Masse [%]	Σl_i [% %]	Gehalt (g _i) [%]	100- Σ Masse [%]	Gesamtinhalt - Σ Inhalt [% %]	Gehalt [%]
0,25 / 4,45 EE -5	18,71	1,1467	21,45	18,71	21,45	1,15	81,29	217,94	2,68
0,5 / 1,11 EE -5	17,75	5,6895	100,99	36,46	122,44	3,36	63,54	116,95	1,84
0,75 / 4,95 EE -6	7,2	9,3383	67,24	43,66	189,68	4,34	56,34	49,71	0,88
1 / 2,78 EE -6	28,99	0,6057	17,56	72,65	207,24	2,85	27,35	32,15	1,18
1,25 / 1,78 EE -6	22,5	0,3117	7,01	95,15	214,25	2,25	4,85	25,14	4,98
1,5 / 1,24 EE -6	1,95	0,8484	1,65	97,1	215,9	2,22	2,9	23,49	8,1
> 1,5 / < 1,24 EE -6	2,9	8,1003	23,49	100	239,39	2,39	-	-	-

Stoffgehalt der
Aufgabe: 2,39

Tabelle 28: CaO Auswertungstafel für das Henry Reinhardt Schaubild.

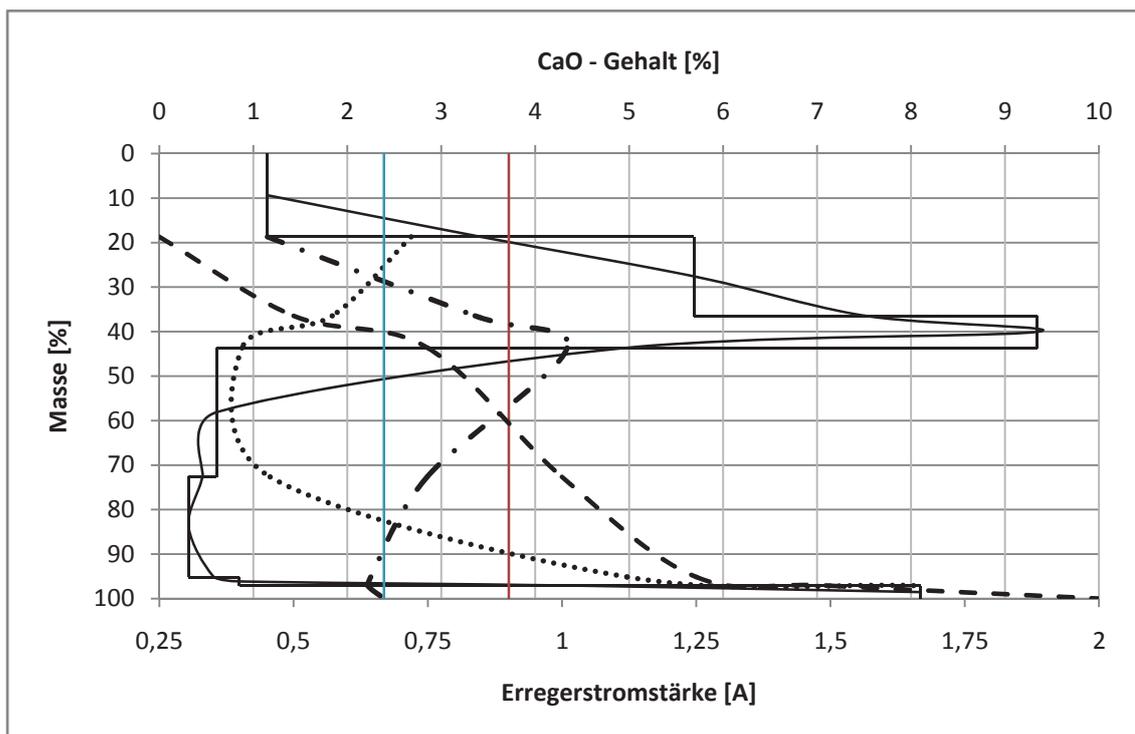


Abbildung 34: Henry Reinhardt Schaubild für den CaO-Gehalt.

Eisen Erregerstromstärke [A]/Suszeptibilität [m ³ /kg]	Grundkurve			Summenkurve 1			Summenkurve 2		
	Masseanteile (m _i) [%]	$g_{FeO,i}$ [%]	Stoffinhalt (l _i) [% %]	Σ Masse [%]	Σ l _i [% %]	Gehalt (g _{ii}) [%]	100- Σ Masse [%]	Gesamtinhalt - Σ Inhalt [% %]	Gehalt [%]
0,25 / 4,45 EE -5	18,71	5,8500	109,45	18,71	109,45	5,85	81,29	150,22	1,85
0,5 / 1,11 EE -5	17,75	3,8693	68,68	36,46	178,13	4,89	63,54	81,54	1,28
0,75 / 4,95 EE -6	7,2	1,4479	10,42	43,66	188,55	4,32	56,34	71,12	1,26
1 / 2,78 EE -6	28,99	1,0030	29,08	72,65	217,63	3	27,35	42,04	1,54
1,25 / 1,78 EE -6	22,5	0,9398	21,15	95,15	238,78	2,51	4,85	20,89	4,31
1,5 / 1,24 EE -6	1,95	1,5291	2,98	97,1	241,76	2,49	2,9	17,91	6,18
> 1,5 / < 1,24 EE -6	2,9	6,1770	17,91	100	259,67	2,6	-	-	-

Stoffgehalt der
Aufgabe: 2,6

Tabelle 29: FeO Auswertungstafel für das Henry Reinhardt Schaubild.

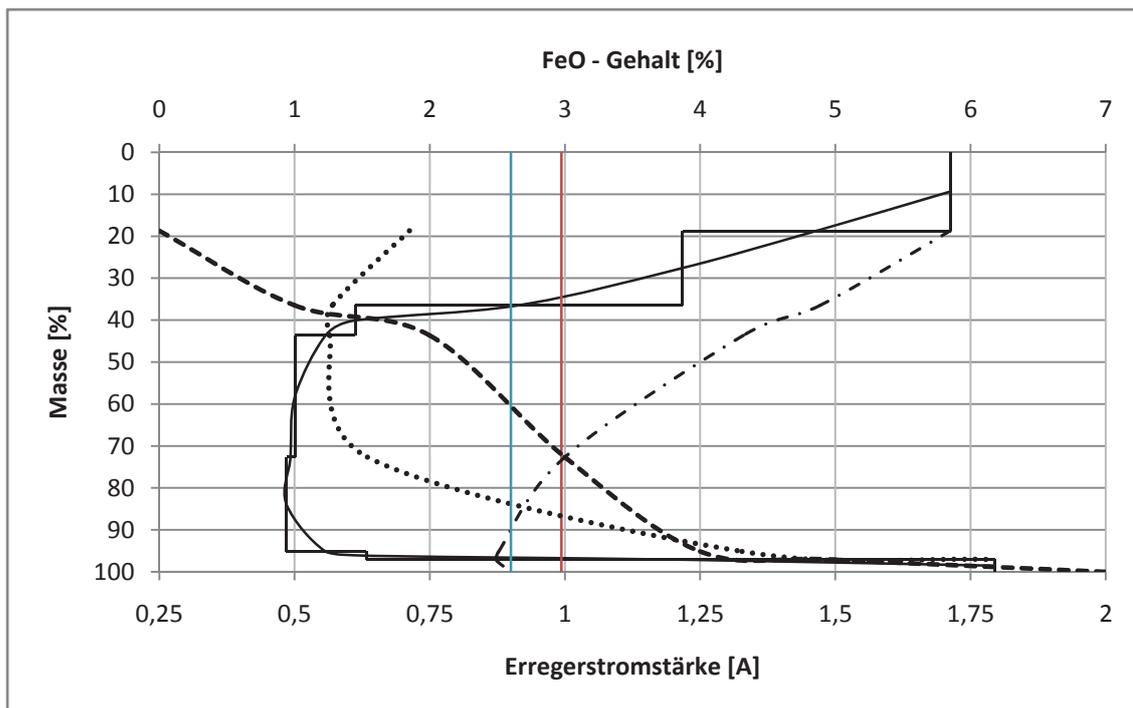
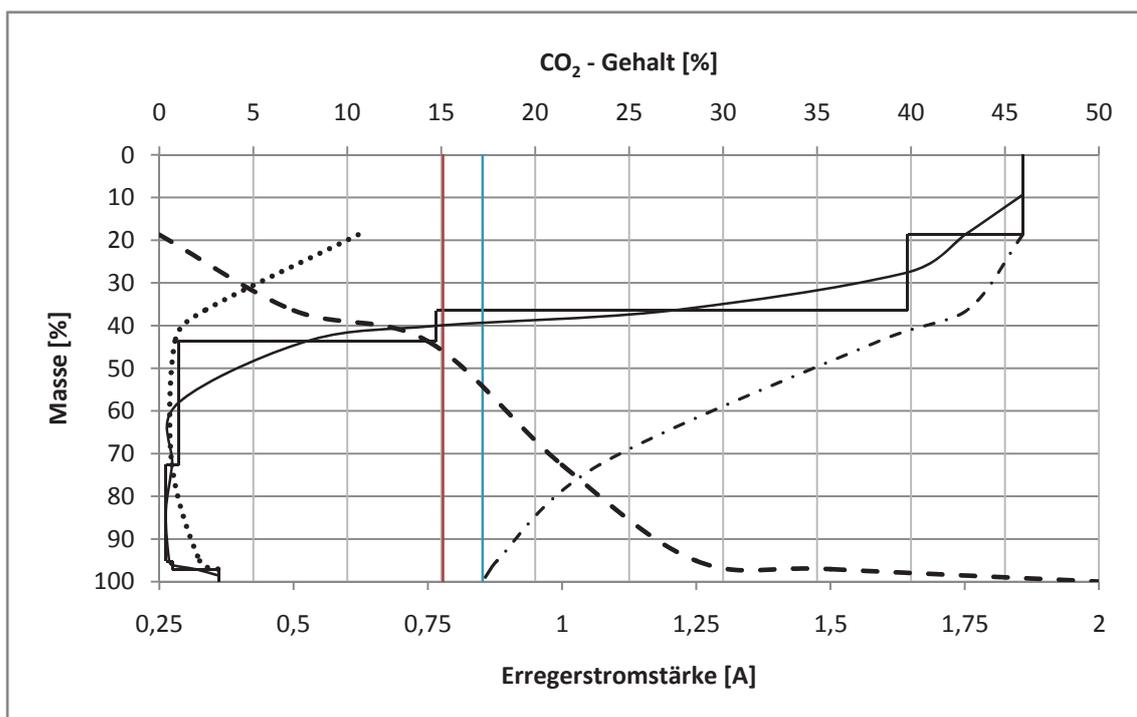


Abbildung 35: Henry Reinhardt Schaubild für den FeO-Gehalt.

Kohlendioxid	Grundkurve			Summenkurve 1			Summenkurve 2		
Erregerstromstärke [A]/Suszeptibilität [m ³ /kg]	Masseanteile (m _i) [%]	g _{CO₂} [%]	Stoffinhalt (I _i) [% %]	Σ Masse [%]	Σ I _i [% %]	Gehalt (g _{ii}) [%]	100- Σ Masse [%]	Gesamtinhalt - Σ Inhalt [% %]	Gehalt [%]
0,25 / 4,45 EE -5	18,71	45,9472	859,67	18,71	859,67	45,95	81,29	859,96	10,58
0,5 / 1,11 EE -5	17,75	39,8032	706,51	36,46	1566,18	42,96	63,54	153,45	2,42
0,75 / 4,95 EE -6	7,2	14,7292	106,05	43,66	1672,23	38,3	56,34	47,4	0,84
1 / 2,78 EE -6	28,99	1,0051	29,14	72,65	1701,37	23,42	27,35	18,26	0,67
1,25 / 1,78 EE -6	22,5	0,3470	7,81	95,15	1709,18	17,96	4,85	10,45	2,15
1,5 / 1,24 EE -6	1,95	0,6896	1,34	97,1	1710,52	17,62	2,9	9,11	3,14
> 1,5 / < 1,24 EE -6	2,9	3,1422	9,11	100	1719,63	17,2	0	0	

Stoffgehalt der Aufgabe: 17,2

Tabelle 30: CO₂ Auswertungstafel für das Henry Reinhardt Schaubild.Abbildung 36: Henry Reinhardt Schaubild für den CO₂-Gehalt.

6.3 Pyrit/Pyrrhotin Versuche

Pyrit besitzt die chemische Formel FeS₂, sein Kristallsystem ist das Kubische. Er ist messingfarben, die Strichfarbe grünlich-schwarz und paramagnetisch, das heißt, dass er sich in einem Magnetfeld zwar ausrichtet und in das Feld hineingezogen werden kann, Pyrit jedoch aufgrund seiner geringen Suszeptibilität ein unmagnetisches Verhalten zeigt. Laut Literatur

wandelt er sich bei 570° C in Pyrrhotin um, ein monoklines Mineral. Sein Strich ist grauschwarz und die chemische Formel Fe_{1-x}S . Der größte Unterschied zwischen Pyrrhotin und Pyrit ist jedoch, dass Ersterer ferromagnetisch ist, was bedeutet, dass wenn ihm einmal eine Magnetisierung widerfuhr, er diese auch beibehält.³⁰

Aufgrund der Reinheit der Pyrite der Lagerstätte Gemerská Poloma, hat der Verfasser versucht, mit Pyriten der Probe „Schwerekonzentrat Pyrit“, die gebrochen und auf die Kornfraktion 0,25/0,5 mm gesiebt wurden, die ungefähre Umwandlungstemperatur dieser Pyrite zu Pyrrhotin zu ermitteln. Dazu wurden sie unterschiedlichen Temperaturen für 30 Minuten ausgesetzt und danach im Frantz Magnetscheider beprobt. Das Ergebnis der Versuche zeigt die Abbildung 37.

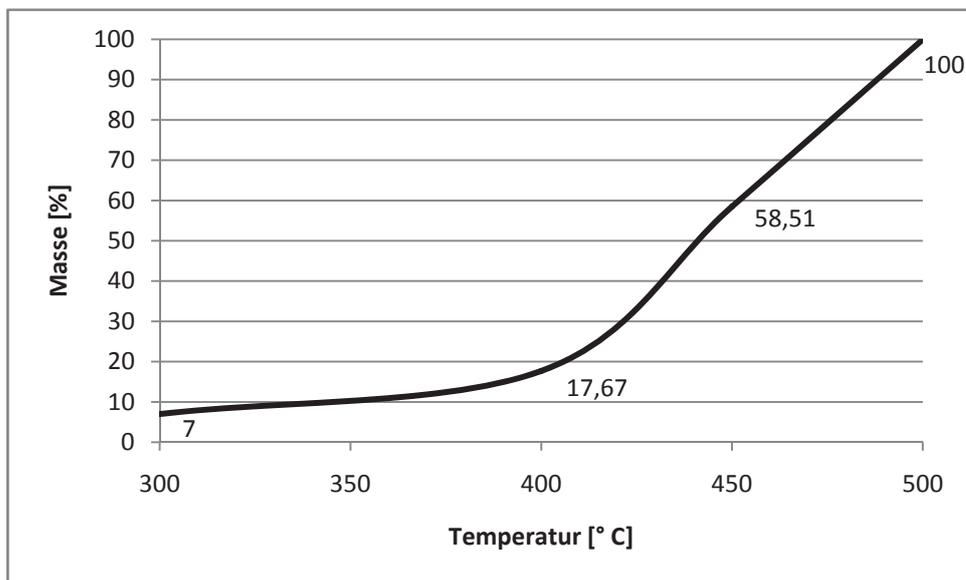


Abbildung 37: Pyrit/Pyrrhotin Umwandlung nach einer Temperatur Behandlung.

Die Versuche ergaben, dass bei 500° C der Pyrit vollständig in Pyrrhotin umgewandelt und vollkommen ferromagnetisch war, somit auch nach Abschalten des Frantz Scheiders auf den Polschuhen haftete.

³⁰ Schorn S., et al., 06.01.2009 (b): Mineralienatlas. MineralData. Pyrrhotin.
<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Pyrrhotin/Pyrit> [Zugriff: 11.11.2009].

7 FAZIT

7.1 Diskussion der Ergebnisse

Geochemie und Petrographie

Ein großes Problem für die Nutzbarkeit der Talke der Lagerstätte Gemerská Poloma, ist der fein verteilte Pyrit im Talk. Da bereits geringe Mengen des Schwefelkieses den Weißgrad des Talkes herab setzen, ist es in diesem Fall eindeutig als wertminderndes Mineral im Lagerstättenkörper anzusehen. Die petrographische Betrachtung zeigt, dass der Pyrit im Talk vorkommt und als einziges Schwefelmineral gebildet wurde. Da das Lagerstättenmaterial bereits vorgebrochen vorgelegen hat, kann nicht ausgesagt werden, ob das Pyritvorkommen an bestimmte Regionen innerhalb des Talkkörpers gebunden ist.

Sowohl makro- als auch mikroskopisch ist zu erkennen, dass der Übergang zwischen Karbonat und Talk fließend ist, sodass davon ausgegangen werden kann, dass hydrothermale Lösungen für die Bildung des Talkes verantwortlich sind. Da bei der Analyse mittels Mikrosonde Seltene Erden Minerale wie Monazit im Talk gefunden wurden, ebenso wie Uraninit, liegt es nahe, dass die Lösungen Kontakt mit dem unter der Lagerstätte liegendem Granit hatten. Aufgrund des fehlenden Serpentinits oder anderer ultramafischer Gesteine, sowie des geringen Gehalts an Nickel und Cobalt im Talk bzw. den Pyriten, können ultramafische Gesteine als Ausgangsgestein ausgeschlossen werden. Somit ist die Lagerstätte Gemerská Poloma mit ähnlichen, in der Grauwackenzone der österreichischen Alpen (z.B. Lassing, Steiermark) liegenden zu vergleichen.

Die in den Talken ebenfalls gefunden Graphitbänder treten selten auf, trotzdem sind solche „verschmutzten“ Lagerstättenteile ebenfalls, aufgrund der Graufärbung, von geringerem Wert. Ob das Graphit mittels hydrothermalen Lösung in den Talk gelangte, oder bereits im Ausgangsgestein vorhanden war, konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

Die mit Hilfe der Atomabsorption untersuchte magnetische Reihe des Mischproduktes am Frantz Scheider weist zu Anfang erhöhte Werte von Magnesium und Kohlendioxid auf, mit gleichzeitig geringem Kalzium Gehalt, was darauf deutet, dass es sich hauptsächlich um Magnesit handelt, der mit einem Eisengehalt zwischen 5% und 8% eine relativ hohe Suszeptibilität aufweist. Es hat den Anschein, dass zwischen 0,75 und 1 A das meiste Karbonat gezogen wurde, denn der weiterhin hohe Magnesiumanteil mit gleichzeitig niedrigem Kohlendioxidwert weist auf Talk hin. Im unmagnetischen Restanteil, über 1,5 A, ist kaum mehr Magnesium enthalten. Die erhöhten Schwefel, Eisen und Kalzium Werte weisen auf Pyrit und

unmagnetischen reinen Dolomit hin. Dieses Ergebnis spiegelt im Großen und Ganzen auch die Begutachtung der Körnerpräparate der magnetischen Reihe wieder. Da bei der Atomabsorption Si nicht gemessen werden kann, fällt der hohe Anteil an Quarz im unmagnetischen Rest, der im Körnerpräparat zu sehen ist, bei der chemischen Analyse nicht auf. Petrologische Untersuchungen haben gezeigt, dass der Quarz eher in Form von Knauern und Gängen im Talk vorkommt und nicht fein verteilt ist. Unter dem Mikroskop zeigte der Quarz z.T. undolöse Auslöschung, sowie Anzeichen quarzitischer Struktur, ob es sich dabei um ein Merkmal bei der Bildung des Quarzes handelt oder um Reste des Ausgangsgestein, konnte im Zuge dieser Arbeit nicht eindeutig geklärt werden.

Die chemische Analyse mittels Atomabsorption hat ergeben, dass der Magnesit der Lagerstätte Gemerská Poloma rund 6% FeO aufweist, im Gegensatz zum ebenfalls vorhandenen Dolomit, welcher einen Wert von rund 2% hat. Dieser Unterschied dürfte auch die Suszeptibilität der beiden Minerale beeinflussen, da der Magnesit bei Versuchen eine relativ hohe magnetische Empfindlichkeit gegenüber dem Dolomit aufweist. Die chemischen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Material wenig Mangan und Aluminium enthält, lediglich der stellenweise vorkommende Chlorit erhöht den Aluminium Wert ein wenig. Sowohl Karbonat, Talk, als auch die Pyrite weisen kaum Spuren von Nickel oder Kobalt auf, ebenfalls ein Indiz dafür, dass es sich nicht um eine Lagerstätte basaltischen Ursprungs handelt.

Die Elektronenstrahlmikroanalyse hat ergeben, dass der Magnesit meist von Dolomit umgeben und in ihm eingeschlossen ist, ein Zeichen dafür, dass sich wahrscheinlich zwei Lösungsereignisse zugetragen haben. Zuerst wurde der Magnesit gelöst und in Dolomit umgewandelt und dieser nachher, durch ein SiO₂ reiches Fluid, in Talk. Im Talk wurden etliche Apatite gefunden, sowie die Seltenen Erden Phosphate Xenotim mit Yttrium und Monazit mit Cerium. Beide Seltene Erden Minerale kommen nicht häufig vor, können aber in einigen Partien durchaus öfters auftreten, bleiben aber im µm – Bereich und akzessorisch im gesamten Mineral. Aufgrund eines Überschusses an Phosphat sind die Apatite vollkommen rein an Seltenen Erden, auch sie können durchaus öfters auftreten, an einigen Stellen im Talk ebenso oft wie Pyrit. Sowohl Apatit, als auch die Seltenen Erden Minerale, lassen, wie bereits erwähnt, Rückschlüsse auf eine Lösungsfracht aus dem Granitstock schließen.

Äußerst selten wurde Uraninit im Gestein entdeckt, der sich in der Nähe von Graphit finden lässt. Die gefunden Körner sind im unteren µm Bereich. Als Erklärung für das Auftauchen dieses Minerals gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder das Uraninit wurde ebenfalls aus dem Granit mit Lösungen in die Höhe transportiert, oder er war bereits zuvor an das organische

Material des Ausgangsgesteins gebunden. Näheres könnten nur weitere Untersuchungen und eine Altersdatierung liefern. Allerdings konnte um ein Uraninit Korn eine Zink Korona entdeckt werden, ein Element, das durchaus in Graniten häufig vorkommen kann.

Die Weißgradmessung zeigt, dass der Talk der Lagerstätte Gemerská Poloma einen sehr hohen Weißgrad (Y-Wert) aufweist, wenn er pyritfrei ist. Die magnetische Reihe des Frantz-Scheider Versuches weist im Laufe der Steigerung der Stromstärke, eine leichte Erhöhung des Weißgrades bei gleichzeitiger Verringerung des Gelbwertes auf. Der hohe Gelbwert zu Beginn des Versuches dürfte am hohen Gehalt des Magnesits liegen, der zu Beginn gezogen wird. Abschließend zeigt auch dieser Versuch, dass bereits geringe Mengen Pyrit, den Weißgrad des Talk beträchtlich senken können.

Magnetik

Bei den magnetischen Untersuchungen, hat sich sowohl am Frantz Scheider als auch am Bandscheider gut gezeigt, dass sich das Karbonat vom Talk trennen lässt.

Beide Proben des Bandscheiderversuches beweisen, dass die kleineren Kornfraktionen, 1 – 2,8mm und 1 – 3,15mm wesentlich besser für den Versuch geeignet waren.

Es ist darauf hinzuweisen, dass bei der Probe 3062/09+10 in der Kornfraktion 1 – 3,15mm, fast 45,5% des Materials auf die mittel-magnetische und magnetische Fraktion fielen und diese nur aus Karbonat bestanden. Bei der größeren Kornfraktion, 3,15 – 5mm waren immer noch 44% des Materials in der mittel-magnetischen Fraktion und ausschließlich Karbonat. Jedoch war der Anteil des Karbonats im unmagnetischen Teil ebenfalls mit fast 24% relativ hoch.

Bei der „3 Phasen“ Probe war der Anteil des Karbonats in der Kornklasse 1 – 2,8mm des unmagnetischen Teils mit 44% sehr hoch, jedoch konnten 81% des Materials auf die mittel-magnetische und magnetische Seite gezogen werden und diese bestand nur aus Karbonat.

Vor allem die Bandscheiderversuche zeigen deutlich, dass das Karbonat, und hier der graue Magnesit, sich ausgezeichnet vom Talk trennen lassen. Mit dem verwendeten Versuch-Bandscheider können Pyrit bzw. Quarz jedoch nicht von Talk getrennt werden. Um hier ein schärferes Trennergebnis zu erzielen, wäre ein Dauermagnet mit stärkerem Magnetfeld von Nöten.

Der Pyrit/Pyrrhotin-Versuch veranschaulicht, dass bereits bei unter 500°C der gesamte, sehr reine Pyrit in den ferromagnetischen Pyrrhotin umgewandelt wurde. Zieht man dieses Ergebnis nun heran und vergleicht es mit den Bandscheiderversuchen niedriger Korngröße, ließe sich daraus schließen, dass bei einer Erhitzung des Materials auf ca. 500°C, der Pyrit mittels Bandmagnetscheidung vollständig von Talk getrennt werden könnte.

7.2 Ausblick

Die in dieser Arbeit dargestellten, magnetischen Versuche liefern, vor allem in Bezug auf die Trennung von Pyrit von Talk, ein ungenaues Ergebnis. Die Aufbereitung des Lagerstättenmaterials auf rein magnetischer Basis scheint unrealistisch. Trotzdem wurde gezeigt, dass vor allem in der groben, trockenen Vorsortierung nach einer geeigneten Brechung des Rohstoffes, die Magnetscheidung durchaus Potential besitzt. Vor allem die Trennung des grauen Magnesit vom restlichen Lagerstättenmaterial funktionierte mittels Bandscheider ausgezeichnet. Als Hauptbestandteile würden demnach Dolomit, Pyrit, Quarz und Talk übrig bleiben. Eine Erhitzung des Materials auf 500°C, um eine Umwandlung von Pyrit in Pyrrhotin zu bewerkstelligen, scheint eine realistische Möglichkeit abzugeben den Pyrit von Talk zu trennen. Dieser könnte als ferromagnetisches Mineral mittels Magnetscheidung leicht vom Rest getrennt werden, allerdings konnte im Rahmen dieser Arbeit die Erhitzungsdauer des Pyrites bis zum Eintreten der Umwandlung, nicht festgestellt werden.

Um weitere Sortiermöglichkeiten ins Auge zu fassen, sollte man sich der Unterschiede der jeweiligen Mineralien gewahr werden. Pyrit hat gegenüber den anderen Hauptbestandteilen eine deutlich höhere Dichte. Zusätzlich besitzt er mit dem kubischen Kristallsystem eine kugelnaher Form. Dolomit, Magnesit und der xenomorphe Quarz bilden eher isometrische Körner aus, im Gegensatz zum tafeligen Talk.

Somit würde sich eine Dichtesortierung, als Option zur Flotation, ebenfalls anbieten. Ein Hydrozyklon oder eine trockene Schwimm-Sink-Sortierung könnten das gewünschte Trennergebnis liefern. Ebenfalls ins Auge zu fassen wäre eine Sortierung auf einem Herd. Aufgrund seiner blättrigen Struktur und seiner hydrophoben Eigenschaft, sollte sich der Talk ideal von anderen Bestandteilen des Aufgabegutes trennen lassen.

Zum Abschluss muss gesagt werden, dass der Rohstoff der Lagerstätte Gemerská Poloma, sowohl in chemischer, wie auch petrologischer und aufbereitungstechnischer Hinsicht, weiterer Untersuchungen auf jedenfall wert ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- Eder, T., 1961: Probleme der Trennschärfe; Nr. 4; Nr. 3 Gesetze der Korntrennung; Nr. 12 Nutzen der Tromp'schen Kurve; Nr. 8 Streckung der Tromp'schen Kurve; Aufbereitungstechnik 2.
- Eggert, F., 2005: Standardfreie Elektronenstrahl-Mikroanalyse, Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- Engelhardt, W., Füchtbauer, H., Müller, G., 1964: Methoden der Sediment-Untersuchung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Grecula P., Hovorka D., Putis M., 1997: Geological Evolution of the Western Carpathians. Geocomplex Bratislava.
- Grecula P., et al., 1995: Mineral Deposits of the Slovak Ore Mountains Volume 1. Geocomplex Bratislava.
- Gruner, J. W., 1934: Zeitschrift für Kristallographie (1934), 88, The crystal structures of talc and pyrophyllite, München: Oldenbourg Leipzig; Frankfurt, M.: Akad. Verl.-Ges., p.412-419
- Hess, H. H.: Notes on operation of FRANTZ isodynamic magnetic separator. – Werbeschrift für FRANTZ isodynamic magnetic separator. – New York 1956.
- Kozur H. & Mock R., 1996: New paleogeographic and tectonic interpretations in the Slovakian Carpathians and their implications for correlations with the Eastern Alps. Part 1: Central Western Carpathians. Mineralia Slov., 28, p.151-174.
- Kozur H. & Mock R., 1997: New paleogeographic and tectonic interpretations in the Slovakian Carpathians and their implications for correlations with the Eastern Alps. Part 2: Inner Western Carpathians. Mineralia Slov., 29, p.164-209.
- Kühnle, J., 1999-2007: Wissen-im-Netz. Mineralien-Lexikon. Monazit. <http://www.wissen-im-netz.info/mineral/lex/abc/m/monazit.htm> [Zugriff: 15.02.2012].
- Lorenz, W. & Gwosdz, W., 2005: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft 11; Teil 9: Magnesiumoxidreiche Rohstoffe; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, p.95-112
- Mahel M., 1986: Geological structure of Czechoslovak Carpathians. Part 1: Palealpine Units (in Slovak). Veda Publ., Bratislava, p.1-503.
- Mayer, F., W., 1967: Allgemeine Grundlagen der T-Kurven; 2. Teil: Kritik der Kennwerte der T-Kurven, Aufbereitungstechnik, Nr. 8 und 12.
- Mayer, F., W., 1968: Allgemeine Grundlagen der T-Kurven; 3. Teil: Der neue Trennschärfekennwert in Form der Momentensumme der Fehlgutfläche des T-Kurvendiagramms, Aufbereitungstechnik, Nr. 1.
- Pethö, S., 1976: Übergangsfunktionen und Kennwerte aufbereitungstechnischer Trennvorgänge, Glückauf Forschungshefte 37, Nr. 5.

- Pethö, S., 1979: Trenngrenzen aufbereitungstechnischer Trennungen und ihre Berechnungen, Glückauf Forschungshefte 40, Nr. 5.
- Pohl, W.L., 2005: Mineralische und Energie-Rohstoffe, 5. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Profos, P., Pfeifer, T., 1994: Handbuch der industriellen Messtechnik, Oldenbourg Verlag, München; p.993
- Schorn S., et al., 06.01.2009 (a): Mineralienatlas. MineralData. Pyrit. <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Pyrit> [Zugriff: 11.11.2009].
- Schorn S., et al., 06.01.2009 (b): Mineralienatlas. MineralData. Pyrrhotin. <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Pyrrhotin> [Zugriff: 11.11.2009].
- Schorn S., et al., 06.01.2009: Mineralienatlas. MineralData. Xenotim. <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Xenotim-%28Y%29> [Zugriff: 15.02.2012].
- Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe, Band 2: Sortierprozesse., 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996.
- Schumann, W., 2009: Steine- und Mineralienführer, München, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG
- Skoog, Douglas, A., Leary, J., J., 1996: Instrumentelle Analytik, Springer-Lehrbuch Verlag, Berlin
- Tomek C., 1993: Deep crustal structure beneath the central and inner Carpathians of Czechoslovakia. Geology, 21, p.535-538.
- Weber, L., Zsak, G., Reichl, C., Schatz, M., 2011: Welt-Bergbau-Daten, Heft 26, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: VERLAUF UND AUFBAU DER ARBEIT	6
ABBILDUNG 2: GEOGRAPHISCHE LAGE VON GEMERSKÁ POLOMA	7
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE TEKTONISCHE KARTE DER WESTKARPATEN	9
ABBILDUNG 4: GEOLOGISCHES PROFIL DURCH DIE LOKALITÄT GEMERSKÁ POLOMA	10
ABBILDUNG 5: „NICHT FRAKTIONIERTER PROBE <5 MM“ UND „SCHWEREKONZENTRAT PYRIT“	11
ABBILDUNG 6: VERWENDUNG DER PROBEN	12
ABBILDUNG 7: VEREINFACHTER AUFBAU DES ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER 3030.	17
ABBILDUNG 8: WEIßER TALK, HANDSTÜCK CA. 20x10 CM.	19
ABBILDUNG 9: TALK MIT GRAPHIT, HANDSTÜCK CA. 7x5 CM.	19
ABBILDUNG 10: TALK MIT PYRIT, HANDSTÜCK CA. 10x5 CM.....	20
ABBILDUNG 11: MIKROSKOP: AUFGELÖSTES KARBONAT (RECHTES BILD IN GRAU), UMGEBEN VON TALK.	21
ABBILDUNG 12: MIKROSKOP: AUFGELÖSTES KARBONAT (RECHTES BILD IN GRAU), UMGEBEN VON TALK.	21
ABBILDUNG 13: MIKROSKOP: TALK (RECHTES BILD FARBIG) MIT WOLKIG VERTEILTEM GRAPHIT (SCHWARZ).	22
ABBILDUNG 14: MIKROSKOP: KARBONAT GRAU, PYRIT SCHWARZ (OPAK), UMGEBEN VON EINEM TALKHÄUTCHEN.	22
ABBILDUNG 15: MIKROSKOP: APATIT WEIß BZW. GRAU, GRAPHIT SCHWARZ (OPAK), UMGEBEN VON TALK.....	23
ABBILDUNG 16: KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 0,25 A UND KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 0,5 A.....	23
ABBILDUNG 17: KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 0,75 A UND KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 0,75 A.....	24
ABBILDUNG 18: KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 1 A UND KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 1,25 A.	24
ABBILDUNG 19: KÖRNERPRÄPERAT DES VERSUCHES BEI 1,5 A UND KÖRNERPRÄPERAT DES UNMAGNETISCHEN RESTES.	25
ABBILDUNG 20: ELEMENTVERTEILUNG DER MAGNETISCHEN REIHE, MgO, CaO, FeO, CO ₂	27
ABBILDUNG 21: ELEMENTVERTEILUNG DER MAGNETISCHEN REIHE, MnO, Al ₂ O ₃ , S.	27
ABBILDUNG 22: DOLOMIT (HELL), TALK (GRAU) UND MAGNESIT (MAG, DUNKEL).	31
ABBILDUNG 23: GELÖSTER MAGNESIT, DOLOMIT UND DARUM TALK.....	32
ABBILDUNG 24: DOLOMIT UMGEBEN VON MAGNESIT UND TALK.	32
ABBILDUNG 25: CHLORITKORN (ROTER KREIS) UMGEBEN VON TALK.	33
ABBILDUNG 26: DOLOMIT, MAGNESIT UND TALK. APATIT UND AKZESSORISCH XENOTIM	34
ABBILDUNG 28: XENOTIM NEBEN APATIT, DARUM TALK.	35
ABBILDUNG 29: URANINIT KORN IN TALK, SCHWARZ GRAPHIT.	36
ABBILDUNG 30: DIAGRAMM DER ENERGIESIPERSIVEN SPEKTROSKOPIE, URAN PEAK, SOWIE ZERFALLSPRODUKT BLEI.	37
ABBILDUNG 31: URANINIT KORN (HELL) MIT PARTIEN VON ZINK DARUM, IN TALK.....	37
ABBILDUNG 32: SUMMENVERTEILUNG DER MAGNETISCHEN FRAKTIONIERUNG ÜBER DIE ERREGERSTROMSTÄRKE.	41
ABBILDUNG 33: LEGENDE DER HENRY REINHARDT SCHAUBILDER	42
ABBILDUNG 34: HENRY REINHARDT SCHAUBILD FÜR DEN MgO-GEHALT.	43
ABBILDUNG 35: HENRY REINHARDT SCHAUBILD FÜR DEN CaO-GEHALT.....	44
ABBILDUNG 36: HENRY REINHARDT SCHAUBILD FÜR DEN FeO-GEHALT.	45
ABBILDUNG 37: HENRY REINHARDT SCHAUBILD FÜR DEN CO ₂ -GEHALT.	46
ABBILDUNG 38: PYRIT/PYRRHOTIN UMWANDLUNG NACH EINER TEMPERATUR BEHANDLUNG.....	47

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: MASSE-BEZOGENE SUSZEPTIBILITÄT VON MINERALIEN.	14
TABELLE 2: ERGEBNISSE DER WEIßGRADMESSUNG.	25
TABELLE 3: ELEMENTVERTEILUNG DER MAGNETISCHEN REIHE.	26
TABELLE 4: REINER, WEIßER TALK.	28
TABELLE 5: TALK MIT GRÜNlich, GELBEN VERFÄRBUNGEN.	28
TABELLE 6: CHLORITSCHER TALK MIT ÜBERGANG ZU CHLORIT.	28
TABELLE 7: GRAPHITHÄLTIGER, DUNKLER TALK.	28
TABELLE 8: ROSA TALK.	28
TABELLE 9: DUNKLES, GRAU/SCHWARZES KARBONAT (MAGNESIT).	29
TABELLE 10: GRAUES KARBONAT (MAGNESIT).	29
TABELLE 11: WEIßES KARBONAT (MAGNESIT, DOLOMIT).	29
TABELLE 12: PYRIT, Ü=DIESER WERT WAR UNGÜLTIG.	29
TABELLE 13: RHOMBOEDRISCHE KARBONATKRISTALLE (DOLOMIT).	29
TABELLE 14: AUFGEMAHLENES MISCHPRODUKT.	29
TABELLE 15: QUANTITATIVE ANALYSE VON KARBONATEN, IN MASSEN %.	30
TABELLE 16: QUANTITATIVE ANALYSE VON PYRITEN, IN MASSEN %.	31
TABELLE 17: QUANTITATIVE ANALYSE VON SELTENEN-ERDEN MINERALEN, MASSE %.	34
TABELLE 19: QUANTITATIVE ANALYSE EINIGER APATITE, MASSE %.	35
TABELLE 20: BANDSCHEIDERVERSUCH DER PROBE 3062/09+10, KORNLASSE 1 – 3,15MM.	38
TABELLE 21: MINERALZUSAMMENSETZUNG DES VERSUCHES 3062/09+10, KORNLASSE 1 – 3,15MM.	38
TABELLE 22: BANDSCHEIDERVERSUCH DER PROBE 3062/09+10, KORNLASSE 3,15 – 5MM.	39
TABELLE 23: MINERALZUSAMMENSETZUNG DES VERSUCHES 3062/09+10, KORNLASSE 3,15 - 5MM.	39
TABELLE 24: BANDSCHEIDERVERSUCH DER PROBE „3 PHASEN“, KORNLASSE 1 – 2,8MM.	39
TABELLE 25: MINERALZUSAMMENSETZUNG DES VERSUCHES „3 PHASEN“, KORNLASSE 1 – 2,8MM.	40
TABELLE 26: BANDSCHEIDERVERSUCH DER PROBE „3 PHASEN“, KORNLASSE 2,8 – 5MM.	40
TABELLE 27: MINERALZUSAMMENSETZUNG DES VERSUCHES „3 PHASEN“, KORNLASSE 2,8 – 5MM.	40
TABELLE 28: MgO AUSWERTUNGSTAFEL FÜR DAS HENRY REINHARDT SCHAUBILD.	43
TABELLE 29: CaO AUSWERTUNGSTAFEL FÜR DAS HENRY REINHARDT SCHAUBILD.	44
TABELLE 30: FeO AUSWERTUNGSTAFEL FÜR DAS HENRY REINHARDT SCHAUBILD.	45
TABELLE 31: CO ₂ AUSWERTUNGSTAFEL FÜR DAS HENRY REINHARDT SCHAUBILD.	46