



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

Technische Universität Dresden  
Fakultät Umweltwissenschaften  
Geowissenschaften  
Institut für Geographie

MASTERARBEIT

## **KOBALTBERGBAU UND BLAUFARBENINDUSTRIE IM SÄCHSISCHEN ERZGEBIRGE**

an den Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden  
Museum für Mineralogie und Geologie  
Sektion Mineralogie

Eingereicht von: Jörg Förster  
Matrikelnummer: 3889739  
Abgabedatum: 25.09.2018

**Erstgutachter**  
**PD Dr. Michael Zech**

**Zweitgutachter**  
**Prof. Dr. Klaus Thalheim**

Lehrstuhl für Landschaftslehre und Geoökologie  
Institut für Geographie  
Technische Universität Dresden

Senckenberg Naturhistorische Sammlungen  
Dresden  
Museum für Mineralogie und Geologie  
Sektion Mineralogie  
Königsbrücker Landstraße 159  
01109 Dresden

# I INHALTSVERZEICHNIS

I	Inhaltsverzeichnis .....	ii
II	Abkürzungsverzeichnis .....	vi
III	Abbildungsverzeichnis .....	vii
IV	Tabellenverzeichnis .....	x
1	Zusammenfassung .....	1
2	Einleitung .....	2
3	Stand der Forschung und Zielstellung .....	3
4	Untersuchungsgebiet Erzgebirge.....	5
4.1	Räumliche Abgrenzung.....	5
4.2	Physisch-Geographischer Überblick .....	6
4.2.1	Morphologie und Relief.....	6
4.2.2	Böden.....	6
4.2.3	Klima und Vegetation .....	7
4.3	Geologische Entwicklung.....	7
4.4	Lagerstättengeneese im Erzgebirge .....	8
4.4.1	Prävariszische Vererzung.....	9
4.4.2	Variszische Vererzung.....	9
4.4.3	Postvariszische Vererzung .....	9
4.5	Hydrothermale Kobalterzlagerstätten im Erzgebirge.....	11
4.6	Historie und Periodisierung des sächsischen Kobaltbergbaus .....	12
5	Das Element Cobalt: Historie, Bedeutung und Lagerstätten.....	14
5.1	Das Element Cobalt und die heutige Bedeutung.....	14
5.2	Global Bedeutende Kobaltlagerstätten .....	16
5.3	Begriff und Historie.....	18
6	Methoden .....	19
6.1	Unterteilung des Untersuchungsgebietes .....	19

---

6.2	Begriffe, Einheiten und Namen im sächsischen Bergbau .....	19
6.3	Recherchen zum Kobaltbergbau .....	22
6.4	Labormethoden .....	24
6.4.1	Röntgendiffraktometrie XRD .....	25
6.4.2	Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)...	26
7	Zusammensetzung der Kobalterze und Chemismus .....	28
7.1	Literaturauswertung.....	28
7.2	Laboruntersuchungen der Proben des MMG.....	33
7.2.1	Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie .....	33
7.2.2	Ergebnisse der REM-EDX-Untersuchungen .....	34
7.3	Zusammenfassung.....	38
8	Kobaltbergbau im Westerzgebirge .....	39
8.1	Schneeberg .....	39
8.1.1	Beschreibung des Reviers .....	39
8.1.2	Ergebnisse der Recherche zur Kobalterzförderung.....	40
8.1.2.1	Ergebnisse für die erste Bergbauperiode .....	40
8.1.2.2	Ergebnisse für die zweite Bergbauperiode.....	42
8.1.3	Kobaltförderung einzelner Gruben.....	44
8.2	Johanngeorgenstadt .....	48
8.2.1	Beschreibung des Reviers .....	48
8.2.2	Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung.....	49
8.2.3	Kobaltförderung einzelner Gruben.....	50
9	Kobaltbergbau im Mittelerzgebirge .....	52
9.1	Annaberg .....	52
9.1.1	Beschreibung des Reviers .....	52
9.1.2	Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung.....	53
9.1.3	Kobaltförderung einzelner Gruben.....	54
9.2	Marienberg .....	59

---

9.2.1	Beschreibung des Reviers.....	59
9.2.2	Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung.....	60
9.2.3	Kobaltförderung einzelner Gruben.....	60
9.3	Weitere Orte mit Kobalterzbergbau.....	61
10	Kobalterzverarbeitung und Blaufarbenindustrie.....	64
10.1	Bedeutung der Blaufarben .....	64
10.2	Geschichte der Blaufarben .....	64
10.3	Historische Kobalterzverarbeitung.....	65
10.4	Die Sächsischen Blaufarbenwerke.....	67
10.4.1	Das Blaufarbenwerk in Niederpfannenstiel.....	69
10.4.2	Kurfürstliches Doppelblaufarbenwerk in Oberschlema .....	70
10.4.3	Schindlerswerk in Albernau .....	70
10.4.4	Die Blaufarbenwerke zu Sehma und Zschopenthal.....	70
10.4.5	Blaufarbenwerk in Jugel .....	71
10.5	Kobaltbergbau und Blaufarbenindustrie außerhalb Sachsens.....	71
10.5.1	Die Kobaltindustrie im böhmischen Teil des Erzgebirges.....	71
10.5.2	Schwarzwald .....	72
10.5.3	Weitere Gebiete mit Kobaltindustrie .....	73
10.5.4	Norwegischer Kobaltbergbau in Skutterud .....	74
10.6	Das sächsische Blaufarbenwesen im Kontext von Wissenschaft und Technik.....	75
10.7	Die Bedeutung der Blaufarbenindustrie für das Glasmacher- und Keramikhandwerk.....	76
11	Diskussion und Zusammenfassung.....	78
12	Fazit & Ausblick.....	84
13	Quellenverzeichnis.....	85
13.1	Internetquellen.....	89
13.2	Bergarchiv Freiberg .....	89
14	Anlagen .....	91
14.1	Sammlungsproben aus Schneeberg .....	91

14.2	Sammlungsproben aus Annaberg.....	96
14.3	Sammlungsproben aus Johanngeorgenstadt.....	97
14.4	Sammlungsproben aus Marienberg.....	98
14.5	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3236-1A, Annaberg.....	99
14.6	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3803-1A, Schneeberg.....	100
14.7	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3805-1A, Schneeberg.....	101
14.8	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3809-1A, Schneeberg.....	102
14.9	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3812-1A, Schneeberg.....	103
14.10	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3795-1A, Schneeberg.....	104
14.11	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3390-1A, Marienberg.....	105
14.12	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3421-1A, Marienberg.....	106
14.13	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 3422-1A, Marienberg.....	107
14.14	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 12555-1A, Johanngeorgenstadt.....	108
14.15	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 12555-2A, Johanngeorgenstadt.....	109
14.16	Röntgendiffraktogramm Probe Min Sa 17997-1A, Johanngeorgenstadt.....	110
14.17	Ergebnis REM-EDX-Analyse, Probe Min 3803 Sa, Schneeberg.....	111
14.18	Ergebnis REM-EDX-Analyse, Probe Min 3809 Sa, Schneeberg.....	113
14.19	Ergebnis REM-EDX-Analyse, Probe Min 3812 Sa, Schneeberg.....	115
14.20	Ergebnis REM-EDX-Analyse, Probe Min 3421 Sa, Marienberg.....	117
14.21	Mapping Analyse Min 3812 Sa, Schneeberg.....	119
14.22	Kobaltförderung in Schneeberg 1620 – 1682.....	121
14.23	Liste Kobaltminerale nach IMA (Stand März 2018).....	122
14.24	Karte 1: Schneeberg – Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung.....	124
14.25	Karte 2: Annaberg – Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung.....	125
14.26	Karte 3: Johanngeorgenstadt – Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung.....	126
	Selbständigkeitserklärung.....	127
	Danksagung.....	128

## II ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BiCoNiAg(U)-Formation.....	Bismut-Cobalt-Nickel-Silber-(Uran)-Formation
BSE.....	back-scattered electrons (Rückstreuelektronen)
EDX.....	energiedispersive Röntgenspektroskopie
GÜK.....	Geologische Übersichtskarte Deutschlands
ICDD.....	International Centre for Diffraction Data
IMA.....	International Mineralogical Association
MKR.....	Mischkristallreihe
MMG.....	Museum für Mineralogie und Geologie Dresden
PDF.....	Powder Diffraction File
REM.....	Rasterelektronenmikroskopie
SE.....	Sekundärelektronenbild
SLUB.....	Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
SNSD.....	Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden
TU BAF.....	Technische Universität Bergakademie Freiberg

### III ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Übersicht über die Geologie des Erzgebirges .....	5
Abb. 2: Kobalterzförderung von 1950 - 2011 in Tonnen .....	14
Abb. 3: Prozentuale Verteilung der Hauptnutzung von Kobalterzeugnissen in 2011 .....	15
Abb. 4: Die bedeutendsten Kobaltminen in der Gegenwart .....	16
Abb. 5: Globale Verteilung der Kobaltförderung in 2011 .....	17
Abb. 6: Unterteilung des Erzgebirges .....	19
Abb. 7: Einteilung der Erzgänge nach dem Streichen .....	20
Abb. 8: Das Co-Ni-Fe-Verhältnis im Skutterudit für die 19 Schneeberger Erzproben .....	30
Abb. 9: Zusammensetzung von Kobalt-, Nickel- und Eisenarseniden im System Co - Fe - Ni .....	31
Abb. 10: Skutterudit-Proben von TÖLLE (1964) im Dreiecksdiagramm von RÖSLER & LANGE (1975) .....	32
Abb. 11: Skutterudit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3803 Sa, SNSD, MMG .....	34
Abb. 12: Probe Min 3803 Sa, Messpunkte 1 / 2 im Dreiecksdiagramm .....	34
Abb. 13: Skutterudit auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3809 Sa, SNSD, MMG .....	35
Abb. 14: Probe Min 3809 Sa, Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm .....	35
Abb. 15: Skutterudit mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3812 Sa, SNSD, MMG .....	36
Abb. 16: Probe Min 3812 Sa, Klassifikation der Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm .....	36
Abb. 17: Skutterudit, Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3421 Sa, SNSD, MMG .....	37
Abb. 18: Probe Min 3421 Sa, Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm .....	37
Abb. 19: Revier Schneeberg .....	40
Abb. 20: Entwicklung der Kobaltförderung zwischen 1620 - 1641 mit Anzahl der Zechen. ....	41
Abb. 21: Entwicklung der Kobaltförderung zwischen 1642 - 1682 mit dazugehörigen Zechen .....	41
Abb. 22: Jahresfördersummen an Kobalterzen (in Zentner) in Schneeberg .....	42
Abb. 23: Entwicklung der Kobalterzförderung in Schneeberg .....	43
Abb. 24: Lage von Gruben mit nachgewiesenem Kobaltbergbau in Johanngeorgenstadt .....	48
Abb. 25: Entwicklung der Kobaltförderung in Johanngeorgenstadt 1731 C - 1750 L .....	49
Abb. 26: Lage von Gruben mit nachgewiesenem Kobaltbergbau .....	52
Abb. 27: Jahresfördersummen Kobalterze in Annaberg .....	53
Abb. 28: Markus Röhling Fundgrube, Kobalterzförderung 1727 - 1849 .....	55
Abb. 29: St. Andreas Fundgrube, Kobalterzförderung 1701 - 1849 .....	56
Abb. 30: Revier Marienberg mit ausgewählten Gruben mit Kobaltbergbau oder Kobaltvorkommen .....	59
Abb. 31: Verfahrensschema der Kobalterzaufbereitung und Blaufarbenherstellung .....	66
Abb. 32: Lage der Blaufarbenwerke .....	68

Abb. 33: Blaufarbenwerke in Mitteleuropa.....	74
Abb. 34: Reviere mit historischen Kobaltlagerstätten im West- und Mittelerzgebirge .....	78
Abb. 35: Klassifikation der Skutterudit-Proben von TÖLLE (1964) und der REM-EDX-Analysen an Sammlungsobjekten der SNSD, MMG im Dreiecksdiagramm nach RÖSLER & LANGE (1975) .....	80
Abb. 36: Gesamtdarstellung aller Reviere mit Kobalterzförderung .....	81
Abb. 37: Erythrin XX mit Quarz. Schneeberg, SachsenInv.-Nr. Min 3590 Sa, SNSD, MMG.....	91
Abb. 38: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3594 Sa, SNSD, MMG. ....	91
Abb. 39: Erythrin XX mit Arseniosiderit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3603 Sa, SNSD, MMG. ....	91
Abb. 40: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3618 Sa, SNSD, MMG.. ....	91
Abb. 41: Erythrin auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3621 Sa, SNSD, MMG. ....	92
Abb. 42: Erythrin auf Quarz XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3632 Sa, SNSD, MMG. ....	92
Abb. 43: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3637 Sa, SNSD, MMG. ....	92
Abb. 44: Skutterudit XX mit Proustit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3786 Sa, SNSD, MMG.....	92
Abb. 45: Rammelsbergit XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3795 Sa, SNSD, MMG. ....	93
Abb. 46: Skutterudit XX mit Calcit XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3803 Sa, SNSD, MMG. ....	93
Abb. 47: Skutterudit mit Clinosafflorit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3805 Sa, SNSD, MMG.....	93
Abb. 48: Skutterudit mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3808 Sa, SNSD, MMG.....	93
Abb. 49: Skutterudit auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3809 Sa, SNSD, MMG.....	94
Abb. 50: Skutterudit und Safflorit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3812 Sa, SNSD, MMG.....	94
Abb. 51: Skutterudit XX mit Calcit XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3813 Sa, SNSD, MMG. ....	94
Abb. 52: Skutterudit XX mit Erythrin. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3814 Sa, SNSD, MMG. ....	94
Abb. 53: Skutterudit XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3818 Sa, SNSD, MMG.....	95
Abb. 54: Skutterudit. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr: Min 3823 Sa, SNSD, MMG.....	96
Abb. 55: Skutterudit XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 12034 Sa, SNSD, MMG.....	95
Abb. 56: Erythrin XX mit Quarz XX. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 14279 Sa, SNSD, MMG.....	95
Abb. 57: Erythrin XX mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 14812 Sa, SNSD, MMG.....	95
Abb. 58: Skutterudit in Quarz. Annaberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3227 Sa, SNSD, MMG. ....	96
Abb. 59: Skutterudit in Quarz. Annaberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3228 Sa, SNSD, MMG. ....	96
Abb. 60: Skutterudit XX. Annaberg, Sachsen. Inv.-Nr.: Min 3229 Sa, SNSD, MMG.....	96
Abb. 61: Rammelsbergit. Annaberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3236 Sa, SNSD, MMG.....	96
Abb. 62: Skutterudit XX mit Erythrin. Annaberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 9438 Sa, SNSD, MMG.....	96
Abb. 63: Skutterudit in Dolomit. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Inv.-Nr. Min 4377 Sa, SNSD, MMG.....	97
Abb. 64: Skutterudit. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Inv.-Nr. Min 4378 Sa, SNSD, MMG.....	97
Abb. 65: Skutterudit. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Inv.-Nr. Min 12555 Sa, SNSD, MMG.....	97
Abb. 66: Skutterudit XX mit Erythrin. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Inv.-Nr. Min 17997 Sa, SNSD, MMG. .	97

---

Abb. 67: Skutterudit XX mit Erythrin und Quarz XX, Johangeorgenstadt, Sachsen. Inv.-Nr. Min 22727 Sa, SNSD, MMG.....	97
Abb. 68: Erythrin. Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3369 Sa, SNSD, MMG.....	98
Abb. 69: Nickelskutterudit XX mit Baryt. Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3390 Sa, SNSD, MMG. ....	98
Abb. 70: Nickelskutterudit XX mit Baryt (Rückseite). Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3390 Sa, SNSD, MMG.....	98
Abb. 71: Skutterudit XX. Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3421 Sa, SNSD, MMG.....	98
Abb. 72: Nickelskutterudit XX mit Proustit XX. Marienberg, Sachsen. Inv.-Nr. Min 3422 Sa, SNSD, MMG....	98

## IV TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Abhängigkeit der Bodenbildung vom Ausgangsgestein .....	6
Tab. 2: Vererzungsepochen im Erzgebirge .....	8
Tab. 3: Gliederungsansätze der erzgebirgischen Ganglagerstätten.....	10
Tab. 4: Ausgewählte Kobaltminerale im Erzgebirge.....	12
Tab. 5: Die Eigenschaften des Elements Cobalt .....	14
Tab. 6: Quartalsbezeichnungen im sächsischen Erzbergbau.....	21
Tab. 7: Akten am Bergarchiv Freiberg mit Angaben zur Kobaltförderung in den sächsischen Bergamtsrevieren .....	22
Tab. 8: Auflistung der Sammlungsproben mit Fundort, Sammlungsnummer und Bezeichnung.....	24
Tab. 9: Parameter Röntgendiffraktometrie (XRD).....	25
Tab. 10: Sammlungsproben für XRD-Analyse.....	26
Tab. 11: REM-EDX-Analyse, Parameter der Aufnahmegeräte .....	26
Tab. 12: Probenliste der Kobalterze für die REM-EDX-Untersuchungen .....	27
Tab. 13: Zusammenstellung chemisch ermittelter Analysenwerte. Angabe in Masse-% .....	29
Tab. 14: Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie .....	33
Tab. 15: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3803 Sa.....	34
Tab. 16: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3809 Sa.....	35
Tab. 17: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3812 Sa.....	36
Tab. 18: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3421 Sa.....	37
Tab. 19: Gegenüberstellung der Ergebnisse XRD und REM-EDX.....	38
Tab. 20: Fördermengen an Co-, Ni- und Bi-Erzen Schneeberger Kobaltfeld 1883-1897.....	43
Tab. 21: Schneeberger Gruben mit einer Fördermenge > 1.000 Zentner zwischen 1642 - 1682 .....	44
Tab. 22: Grubenkonsolidationen in Schneeberg nach 1857 .....	45
Tab. 23: Übersicht über die einzelnen Kobaltgruben und deren Fördermengen mit Angabe des Jahres vom Beginn der Förderung bis Ende der Förderung .....	46
Tab. 24: Tabellarische Zusammenstellung wichtiger Kobaltfundgruben im Schneeberger Revier.....	47
Tab. 25: Kobaltförderung einzelner Gruben im Revier Johannegeorgenstadt in den Zeiträumen 1731 - 1750 und 1769 - 1771.....	50
Tab. 26: Die Kobaltproduktion von Annaberg 1701 bis 1850 .....	53
Tab. 27: Übersicht der drei ertragreichsten Gruben mit Fördermengen an Kobalterz in Zentner und umgerechnet in Tonnen. Beginn und Ende der Förderung. ....	54
Tab. 28: Auswahl der ertragreichsten Kobaltfundgruben am Schreckenberg .....	56

---

Tab. 29: Gruben am Schottenberg mit Kobalterzförderung > 100 Zentner .....	57
Tab. 30: Gegenüberstellung der überlieferten Kobalterzförderungen .....	60
Tab. 31: Fundgruben mit Kobaltförderung im Teilgebiet Marienberg.....	60
Tab. 32: Fundgruben mit möglichen Vorkommen an Kobalterzen ohne Angaben zu Fördermengen .....	61
Tab. 33: Kobaltförderung im Revier Geyer mit Namen der Gruben und Fördermenge in Zentner.....	62
Tab. 34: Kobalterzförderung im historischen Bergamtsrevier Oberwiesenthal .....	62
Tab. 35: Kobalterzförderung in Scheibenberg.....	63
Tab. 36: Summarischer Extrakt was auf den 1750 - 1754 an Kobalt geschmolzen und an Kobaltprodukten (Glas, Farbe und Eschel) produziert wurde .....	69
Tab. 37: Handel mit böhmischen Kobalterzeugnissen .....	73
Tab. 38: Nachgewiesene Reviere des Kobaltbergbaus im West- und Mittelerzgebirge .....	82
Tab. 39: Bezahlung der Kobalterze in Abhängigkeit ihrer Güte .....	82
Tab. 40: Fördermengen an Kobalterzen in Schneeberg 1620 - 1682 .....	121

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Erzgebirge blickt auf eine über 800-jährige Bergbaugeschichte zurück. Im Laufe der Jahrhunderte entwickelte sich eine dicht besiedelte und stark anthropogen überprägte Kulturlandschaft. Häufig ist in diesem Kontext vom Silber-, Zinn- oder Uranbergbau die Rede. Der Kobaltbergbau und die Verarbeitung von Kobalterzen sind in Vergessenheit geraten. Bereits vor ca. 50 Jahre hat SIEBER (1969) angemerkt, dass dieser einst bedeutungsvolle Wirtschaftszweig lange vergessen ist. In der Literatur sind mannigfaltige Werke zur Bergbaugeschichte, Geologie oder Lagerstättenkunde des Erzgebirges verfügbar. Ein modernes und integratives Werk, das alle Facetten des Kobaltbergbaus im sächsischen Erzgebirge betrachtet, sucht man vergeblich.

Das Element Cobalt rückt als Technologiemetall wieder zunehmend in den Mittelpunkt der Öffentlichkeit. Kobalterze gelten als selten und werden nur in wenigen Lagerstätten weltweit gefördert. Im Erzgebirge gelten die Kobaltlagerstätten als erschöpft. Zur Ausscheidung von Kobalterzen kam es hier in hydrothermalen Ganglagerstätten, deren Genese ausschließlich der postvariszischen Vererzungsepoche innerhalb der BiCoNiAg(U)-Formation zuzuschreiben ist. Aufgrund geologisch-tektonischer Voraussetzungen finden sich diese historischen Abbaugelände ausschließlich im West- und Mittelerzgebirge, die zugleich die Untersuchungsgebiete in dieser Arbeit darstellen. Namentliche Zentren des Kobaltbergbaus können an erster Stelle mit Schneeberg und an zweiter Stelle mit Annaberg identifiziert werden. Ziel ist es anhand von Recherchen am Sächsischen Staatsarchiv an der Außenstelle Bergarchiv Freiberg weitere Lagerstätten zu benennen und hinsichtlich der Menge und des Zeitraums des Kobaltbergbaus zu quantifizieren.

Das wichtigste Kobalterz im Erzgebirge ist Skutterudit. Es tritt mit unterschiedlichen Anteilen an Cobalt, Nickel und Eisen auf. Dieses Erz wird anhand von Sammlungsproben der mineralogischen Sammlung des MMG mit XRD und REM-EDX, sowie zusätzlichen Literaturlauswertungen eingehend analysiert.

Mit den mineralogischen Kenntnissen werden Zusammenhänge bei der Verarbeitung von Kobalterzen in den Blaufarbenwerken erklärt. Es wird aufgezeigt werden, dass es neben der Nähe zu den Kobaltlagerstätten weitere relevante standortgeographische Voraussetzungen zur Ansiedlung gab. Die Blaufarbenwerke produzierten Safflor und Smalte. Während andere Blaufarbenwerke in und außerhalb Deutschlands nur auf eine kurze Geschichte zurückblicken können, vermochten es die sächsischen Werke bis zum Beginn des 20. Jhd. marktbeherrschend zu bleiben. Dabei werden die Ursachen und die gegenseitige Beeinflussung mit Forschung und Wissenschaft dargestellt. Ein Blick über die Grenzen Sachsens hinaus, den überregionalen Handel und der Transfer von Wissen und Technik betreffend, können als Anregung für weiterführende Recherchen dienen.

## 2 EINLEITUNG

Der Bergbau war eine maßgebliche Grundlage für die explosionsartige Industrialisierung Deutschlands während der zweiten Hälfte des 19. Jhd. Nicht nur, dass durch den Bergbau der enorme industrielle Bedarf an Rohstoffen, wie z.B. Kohle, Eisen und anderen Metallen, gedeckt werden konnte. Auch die Wechselwirkung mit Forschung und Wissenschaft trug zu neuen Innovationen und zum Fortschritt bei. Die Zentren des Maschinenbaus entwickelten sich in unmittelbarer Nähe zu den Bergbaugebieten. In Sachsen entwickelten sich vor allem Chemnitz und Zwickau im Erzgebirge während des 19. Jhd. zu Standorten des Maschinenbaus heraus. Ein in Sachsen weit verbreitetes Zitat ist in diesem Zusammenhang:

*„In Chemnitz wird das Geld erarbeitet, in Leipzig wird es vermehrt und in Dresden wird es ausgegeben.“ (Autor / Herkunft unbekannt)*

Das Erzgebirge entwickelte sich im Laufe der Jahrhunderte von einem einst unbesiedelten, kaum durchdringbaren Waldgebiet zu einem dicht besiedelten Raum in Deutschland. Dabei waren bei weitem nicht nur Silber, Eisen, Steinkohle und im 20. Jhd. Uran Ziele des Bergbaus im Erzgebirge. Ein oft unbekanntes Kapitel der sächsischen Wirtschaft und Bergbaugeschichte ist der erzgebirgische Kobalterzbergbau und dessen Verarbeitung zu Blaufarben. Dabei war der Siegeszug dieses Wirtschaftszweiges so nicht abzusehen. Getreu dem Motto:

*„Was die Bergleute nicht kennen, werfen sie auf die Halde!“ (WÄCHTLER 2002)*

Dies war der Ausgangszustand im 16. Jhd. Erst spät erkannten die Sachsen das ökonomische Potential dieses Metalls und kämpften anschließend jahrhundertlang verbissen um die Wahrung des Monopols. Auch dank der Reserven an Cobalt konnten die Bergleute im Erzgebirge in Lohn und Brot bleiben, zu einer Zeit als die Silberlagerstätten im Erzgebirge vielfach erschöpft waren. Der Kobaltbergbau und die kobaltverarbeitenden Werke, namentlich die Blaufarbenwerke, bildeten vom 17. bis zum Ende des 19. Jhd. eine unzertrennbare und eng verknüpfte Einheit. Die Geschichte des Kobaltbergbaus geriet im 20. Jahrhundert zunehmend in Vergessenheit.

*„Herstellung und Verwendung dieser einst so gesuchten Metallfarben sind schon lange vergessen. Es ist bereits schwierig, der Geschichte der Werke [...] nachzuspüren.“ (SIEBER 1969)*

Vor diesem Hintergrund verdient die Aufarbeitung des Kobaltbergbaus eine besondere Würdigung.

### 3 STAND DER FORSCHUNG UND ZIELSTELLUNG

Über die Anfänge des sächsischen Kobaltbergbaus, der Verarbeitung von Kobalterzen und der Blaufarbenindustrie gibt es nur wenige Informationen. Diese sind von wenigen Chronisten überliefert. Eine Ursache ist, dass der Kobaltbergbau lange Zeit im Schatten des Silberbergbaus stand und diesem metallischen Rohstoff erst spät Beachtung geschenkt wurde. Mitten in der Anfangsgeschichte des Kobaltbergbaus brachte der Dreißigjährige Krieg den Bergbau im Erzgebirge fast vollständig zum Erliegen. Noch während der abebbenden Kriegswirren rissen wenige weitsichtige, aber kaufkräftige Handelsleute die Förderung der Kobalterze, die Verarbeitung und den Handel an sich. Nahezu die gesamte Wertschöpfungskette befand sich fortan in einer Hand und unterlag strikter Geheimhaltung. Der freie Handel mit Kobalterzen und -produkten wurde untersagt und unter Strafe gestellt. Es bildete sich de facto ein Monopol der sächsischen Blaufarbenindustrie heraus, das bis in das 19. Jhd. Bestand hatte. Blaufarbenwerke außerhalb Sachsens verfügten aus verschiedenen Gründen nicht über die Möglichkeit, ebenfalls die ganze Palette an hochwertigen Produkten zu erzeugen. Im 20. Jhd. geriet dieser einst wichtige Wirtschaftsbereich des sächsischen Montanwesens unter sich schnell ändernden politischen Umständen zunehmend in Vergessenheit.

Daraus resultiert der Umstand, dass keine modernen Forschungen zum sächsischen Kobaltbergbau samt Blaufarbenindustrie existieren. Es liegen fachlich und zeitlich voneinander unabhängige Arbeiten vor, die auf unterschiedlichen Erkenntnisgewinn gerichtet sind und mit divergierenden wissenschaftlichen Fragestellungen einhergehen.

Die naturwissenschaftlichen Fachgebiete der Geologie, Lagerstättenkunde oder Mineralogie befassten sich eingehend mit der Genese, der räumlichen Verteilung und den Mineralparagenesen von BiCoNiAg(U)-Erzlagerstätten. Dabei bildet die Bergbaugeschichte einen Schnittpunkt zu den historischen und kulturwissenschaftlichen Fachbereichen, die das Blaufarbenwesen oft nur im Kontext der Keramik- und Porzellangeschichte tangiert.

Eine Forschungsarbeit, die alle angeführten Themen unter einem Blickwinkel betrachtet, ist bisher nicht verfügbar. Die Masterarbeit soll dem Anspruch eines Desiderates in der Forschung zum historischen Kobalterzbergbau und der damit verflochtenen Blaufarbenindustrie gerecht werden. Die gesamte Komplexität der Thematik ist bisher noch nicht zusammenfassend betrachtet worden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Zielstellungen verfolgt:

- Die Genese der Kobaltlagerstätten im Erzgebirge und die räumliche Verbreitung dieser Lagerstätten sollen untersucht werden.

- Analysen zu den in diesen Lagerstätten abgebauten Kobalterzen sollen die mineralogische Zusammensetzung des wichtigsten Erzes, dem Skutterudit, behandeln.
- Die historischen Lagerstätten werden mittels Literatur- und Archivarbeit hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Kobaltbergbau bestimmt.
- Dabei werden die Fördermengen der Kobaltlagerstätten quantitativ bestimmt und deren Bedeutung eingeschätzt.
- Die Relevanz der kobaltverarbeitenden Blaufarbenindustrie für die Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung im Vorindustriellen Zeitalter wird herausgearbeitet.
- Es soll die Bedeutung des Kobaltbergbaus für andere Wirtschafts- und Industriezweige abgeschätzt werden.
- Darüber hinaus wird aufgezeigt, wie sich die Blaufarbenwerke trotz der Erfindung günstigerer chemischer Farben bis ins 20. Jhd. am Markt behaupten konnten.
- Nicht unbeachtet bleiben tagesaktuelle Fragen, wie die Frage nach der heutigen Relevanz des Elements Cobalt.

## 4 UNTERSUCHUNGSGEBIET ERZGEBIRGE

### 4.1 RÄUMLICHE ABGRENZUNG

Das Erzgebirge ist ein in Richtung WSW-ENE streichendes Mittelgebirge. Es handelt sich um eine südseitig herausgehobene Pultscholle, die markant zum böhmischen Becken hin steil abfällt, während sie Richtung Norden in einer 30-40 km breiten Abdachung in das sächsische Hügelland überleitet (MANNSFELD & SYRBE 2008). Das Erzgebirge besitzt auch Anteile auf tschechischer Seite, wo es Krušné Hory genannt wird. Bei der räumlichen Abgrenzung des Erzgebirges kann zwischen der geologischen und kulturhistorischen Abgrenzung unterschieden werden.

Die geologische Abgrenzung erfolgt nach SEBASTIAN (2013) entlang von geologischen Störungen. Dies ist einmal die Mittelsächsische Störung im Nordosten und zum anderen im Süden der Erzgebirgsabbruch zum Egergraben. Im westlichen Bereich bildet der Eibenstocker Granitmassiv entlang Eibenstock und Kirchberg die Grenze des Erzgebirges (Abb. 1).

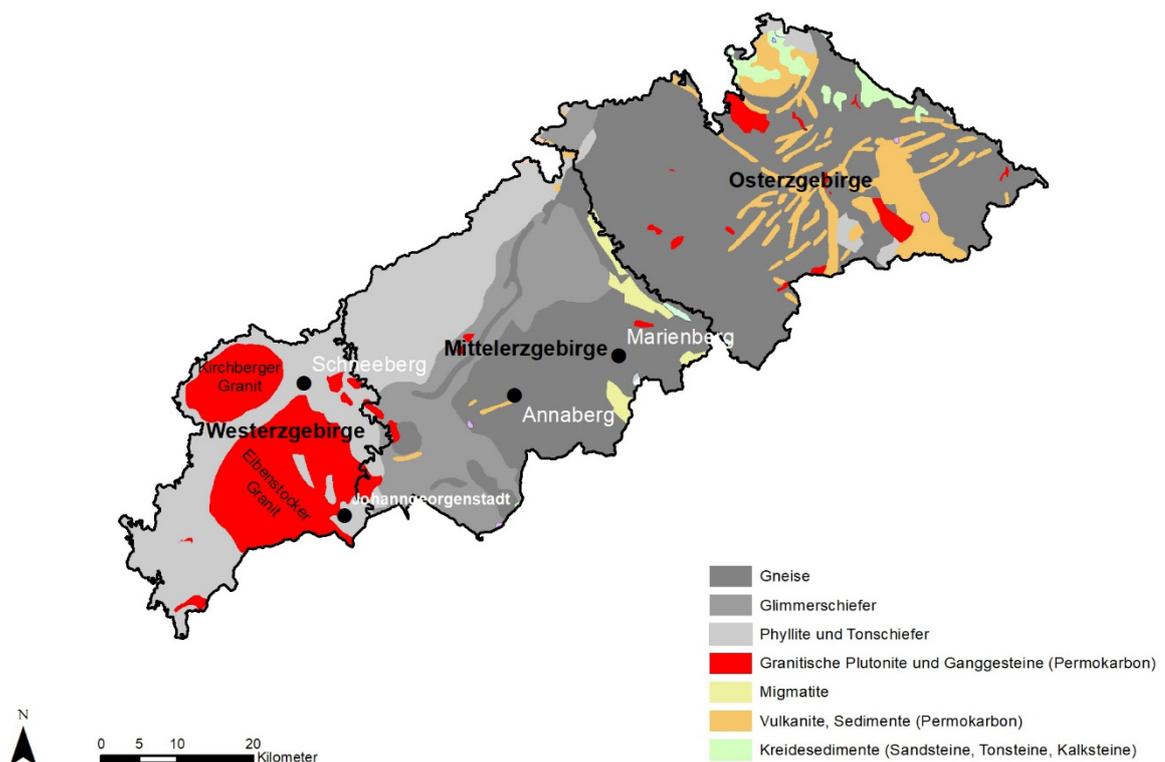


Abb. 1: Übersicht über die Geologie des Erzgebirges (Darstellung nach SEBASTIAN 2013, GÜK200)

Umgeben wird das Erzgebirge in weiten Teilen von Schiefergebirgen. Dazu zählen im Westen die Vogtländische Mulde des Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirges, die Lösnitz-Zwönitzer-Zone, das Frankenberger Zwischengebirge im Nordwesten, das Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirge im Norden sowie das Elbtalschiefergebirge im Nordosten (SEBASTIAN 2013).

## 4.2 PHYSISCH-GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK

### 4.2.1 Morphologie und Relief

Das Relief des Erzgebirges erscheint als eine tief zertalte Hochfläche. Die gegenwärtige topographische Situation bildete sich heraus, indem in der geologisch jüngsten Zeit die der Nordabdachung folgenden Flußläufe (z.B. Freiburger und Zwickauer Mulde, Zschopau u.a.) ihre Täler weiter einschnitten (BAUMANN et al. 2000). Die höchsten Erhebungen des Erzgebirges mit dem Klínovec (Keilberg, 1243 m) auf der tschechischen Seite und dem Fichtelberg (1214 m) auf deutscher Seite, befinden sich auf der Kammlinie des Erzgebirges im Süden (RÖDER et al. 2008). Der Südrand des Erzgebirges markiert einen imposanten Steilabfall hin zum böhmischen Becken. Dem gegenüber steht die etwa 30 – 40 km reichende Abdachung nach Norden, die allmählich in das sächsische Hügelland überleitet. Im Bereich dieser Abdachung ist der Gebirgscharakter mehr durch die tiefe Zertalung als durch markante Erhebungen gegeben (RÖDER et al. 2008).

### 4.2.2 Böden

Die Böden des Erzgebirges zeigen eine deutliche Ost-West-Differenzierung. Im Westerzgebirge finden sich die höchsten Anteile an nährstoffarmen Böden und Moorflächen. Deren Anteil geht in Richtung Osterzgebirge zurück, wobei der Anteil nährstoffreicher Böden zunimmt (RÖDER et al. 2008).

Während der Elster-Eiszeit ist das Inlandeis bis auf etwa 400 m Höhe am nördlichen Erzgebirgsrand vorgedrungen (SEBASTIAN 2013). Die heutigen charakteristischen Böden des Erzgebirges bildeten sich auf Gesteinsverwitterungsdecken, die nach RÖDER et al. (2008) Bildungen der Weichselkaltzeit darstellen. Im Erzgebirgsvorland kam es zur Bildung von Lössdecken, als Folge der während der Weichselkaltzeit angewehten Staubablagerungen im Periglazial (SEBASTIAN 2013). Nach RÖDER et al. (2008) besteht eine Abhängigkeit vom Ausgangsgestein und den Gesteinsverwitterungsdecken, welche die Entwicklung der Bodentypen beeinflussen (Tab. 1).

<b>Boden</b>	<b>Bildung</b>
Podsole	- auf Verwitterungsdecken nährstoffarmer Gesteine (Sandstein, Quarzporphyre, quarzreiche Schiefer, Granite)
Braunerde-Podsole	- auf Verwitterungsdecken von Glimmerschiefern - in oberen Lagen auch auf Tonschiefer und Orthogneisen
Braunerden	- auf Paragneisen und Basaltdecken bis in die oberen Lagen
Pseudogleye	- in Muldenlagen der Hochflächen - auf Tonschieferdecken bei geringer Hangneigung - auf Lössderivaten in unteren Lagen
Ranker	- auf stark erodierten Flächen

Tab. 1: Abhängigkeit der Bodenbildung vom Ausgangsgestein (nach RÖDER et al. 2008)

### 4.2.3 Klima und Vegetation

Das Erzgebirge liegt im Übergangsbereich zwischen atlantischem und kontinentalem Klima. Aufgrund der westlichen Luftströmungen ist im Erzgebirge eine West-Ost Zonierung festzustellen. Das Westerzgebirge ist stärker maritim geprägt und das Osterzgebirge vermehrt kontinental beeinflusst. Darüber hinaus ist eine ausgeprägte Höhendifferenzierung bei den Temperaturen und Niederschlägen charakteristisch (RÖDER et al. 2008).

Die Vegetation des Erzgebirges hat sich in den letzten 800 Jahren stark gewandelt. Ehemals dominierten dichte Buchenwälder mit Fichten und Tannen und in den unteren Lagen mit Eichen (RÖDER et al. 2008). Der ursprüngliche Name des Erzgebirges war bis in das 16. Jahrhundert „Miriquidi“, was so viel wie „dunkler Wald“ oder „Waldgebirge“ bedeutet. Die ehemals natürliche Vegetation hat sich seither aufgrund anthropogener Prägung zu einem Wald-Offenland-Muster gewandelt. Dies lag an der zunehmenden Besiedlung des Waldgebietes ab dem 12. Jhd., die mit großflächigen Rodungen einherging.

## 4.3 GEOLOGISCHE ENTWICKLUNG

Die geologische Geschichte des Erzgebirges reicht bis in das Neoproterozoikum zurück. Während dieser Zeit fanden am Nordrand Gondwanas Gebirgsbildungsprozesse statt, zusammenfassend bezeichnet als Cadomische Orogenese. Die in dieser Zeit entstandenen Gesteine werden als Cadomisches Basement bezeichnet (LINNEMANN et al. 2010a). Es bildete zugleich das Fundament für die spätere variszische Orogenese (SEBASTIAN 2013)

Im weiteren zeitlichen Verlauf des Altpaläozoikums wanderte Gondwana weiter nordwärts, wobei es weiterhin dem Zerfall unterworfen war. Durch Krustendehnung bildeten sich dünne subduzierbare und nicht subduzierbare Krustenteile. Aufgrund von im frühen Ordovizium (480 Ma) einsetzender Rifting-Prozesse kam es zur Bildung des Mikrokontinents Avalonia und zur Öffnung des Rheischen Ozeans (LINNEMANN et al. 2010b).

Während der kaledonischen Orogenese kam es zur Vereinigung der Mikrokontinent Avalonia mit den Kontinenten Laurentia, Siberia und Baltica zu Laurussia. Die Entstehung von Laurussia fand im Ordovizium bis Silur statt (ca. 480 – 420 Ma). Für das Erzgebirge bedeutend sind dabei die ordovizischen Plutonite und Vulkanite mit granitischer Zusammensetzung. Nach SEBASTIAN (2013) wurde die variszische Orogenese durch die Schließung des Rheischen Ozeans und der Kollision erster äußerer Schelfbereiche des Südkontinents Gondwana mit dem Nordkontinent Laurussia während des Devons (ca. 400 Ma) eingeleitet.

Durch Einsetzen eines erneuten Rifting kam es zur Separation von Laurussia und Gondwana mit der Bildung des Ozeans Tethys (SEBASTIAN 2013). Während des Spätkarbons nahm die Kollisionstektonik ab und die variszische Gebirgsbildung fand ihr Ende (KRONER & ROMER 2010). Reste der variszischen Gebirgsbildung sind die für das Erzgebirge typischen Gneise, Phyllite und Glimmerschiefer. Darüber hinaus nennt SEBASTIAN (2013) auch die Granite und Rhyolite als Zeugen der variszischen Orogenese. Beispiele dafür sind die granitischen Plutone im Westerzgebirge bei Eibenstock und Kirchberg. Die Bildung dieser Granite ist nach (SEBASTIAN 2013) auf die Anatexis kontinentaler Kruste während der variszischen Kollision zurückzuführen.

Prinzipiell stellen nach SEBASTIAN (2013) metamorphe Gesteine den größten Anteil am Erzgebirge dar, wovon oberflächlich ungefähr 75 % anstehen und 2/3 hiervon Gneise sind. Die Verteilung über das Erzgebirge ist dabei nicht einheitlich. Im Osterzgebirge ist deren Anteil wesentlich höher, während im Westerzgebirge der Anteil an Glimmerschiefern und Phylliten deutlich höher ist.

Lagerstättenkundlich von Bedeutung ist, dass die vielfach im Osterzgebirge verbreiteten Rotgneise erzarm sind, während die im Westerzgebirge typischen Graugneise von KRONER & ROMER (2010) als erzreich beschrieben werden.

#### 4.4 LAGERSTÄTTENGENESE IM ERZGEBIRGE

Zur Klassifikation von Lagerstätten haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Herangehensweisen entwickelt. SEBASTIAN (2013) begründet dies damit, dass sich die Geologie erst vergleichsweise spät, nach der Gründung der Bergakademie Freiberg 1765, zu einem eigenen Wissenschaftszweig entwickelt hat und zuvor ein Bestandteil der Bergbaukunde war. So wurden Lagerstätten zu Agricolas Zeiten im 16. Jhd. zunächst rein beschreibend klassifiziert, jede Lagerstätte für sich. Daneben entwickelte sich die regionale Gliederung der Lagerstätten, ungeachtet der Erze und Genese, bei der einzelne Lagerstädtendistrikte unterschieden wurden (z.B. Freiberg, Marienberg usw.). Darüber hinaus gibt es eine genetische, strukturelle und eine Gliederung anhand des Zielrohstoffs. Zu Erzausscheidungen kam es im Erzgebirge nach BAUMANN et al. (2000) während der prävariszischen, der variszischen und der postvariszischen Epoche (Tab. 2).

<b>Vererzungsepoche</b>	<b>Von - Bis</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Mineralisation Kobalterze</b>
prävariszisch	Oberproterozoikum – Ordovizium	1000 – 443 Ma	Nein
variszisch	Ordovizium – Perm	485 – 252 Ma	Nein
postvariszisch	Mesozoikum – Känozoikum	252 – 66 Ma	Ja

Tab. 2: Vererzungsepochen im Erzgebirge (nach BAUMANN et al. 2000)

#### 4.4.1 Prävariszische Vererzung

Bei dieser Lagerstättengenese handelt es sich nach SEBASTIAN (2013) um stratiforme bzw. schichtgebundene Vererzungen. Sie gehören zu den ältesten Erzlagerstätten im Erzgebirge. BAUMANN et al. (2000) unterscheiden innerhalb dieser schichtgebundenen Vererzungen strukturell und genetisch die Bildungstypen konkordante Erzlager, Skarne und Felsitvererzungen. Während dieser Vererzungsepoche kam es zu keinen Ausscheidungen von kobalthaltigen Erzen.

#### 4.4.2 Variszische Vererzung

Die Lagerstättentypen der variszischen Vererzungsepoche sind nach BAUMANN et al. (2000) sowie SEBASTIAN (2013) als strukturgebunden bzw. stratiform zu bezeichnen. Wesentlichen Einfluss auf deren Bildung hatte die Reaktivierung älterer tektonischer Bruchstrukturen. Charakteristisch für diese Epoche war ein bevorzugt saurer Magmatismus (BAUMANN et al. 2000).

#### 4.4.3 Postvariszische Vererzung

Die postvariszischen Erzlagerstätten des Erzgebirges sind im Kontext hydrothermalen Ausscheidungen zu sehen. Diese hydrothermalen Gangerzlagerstätten gehören nach SEBASTIAN (2013) zu den markantesten und typischsten Lagerstättenbildungen des Erzgebirges. Bei Hydrothermaliten hat sich die Mineralbildung im Temperaturbereich von unter 400 °C vollzogen. Für die Entstehung der Hydrothermalite gibt es nach KUSCHKA (1997) drei verschiedene Bildungsweisen:

1. **Metasomatose** von Kalksteinen (Stoffaustausch bei Einwirkung der Hydrotherme)
2. **Imprägnation hydrothermalen Sulfide** in tektonisch und chemisch beanspruchtes Gestein
3. **Mineralabscheidung in offenen Spalten** (Spaltenmineralisation)

Für die Genese der Kobalterzlagerstätten im Erzgebirge war die Spaltenmineralisation die primäre Kraft. Voraussetzung zur Genese der Gangvererzungen ist nach SEBASTIAN (2013) deren Kopplung an ein tektonisches Regime mit intensiver Dehnungskomponente. Die entstandenen Spalten und Klüfte wurden von mineralischem Material gefüllt, bis zur Bildung von Gangkreuzen. Es kann sich dabei um monomineralisches (eine Mineralart) oder um polymineralisches Material (Vergesellschaftung mehrerer Mineralarten) handeln, die auch als Mineralassoziation bezeichnet werden. Die Mineralisationen der hydrothermalen Gangerzlagerstätten sind dabei vor allem an Störungszonen überregionalen Ausmaßes gebunden und gehen folglich über einzelne Lagerstättendistrikte hinaus (SEBASTIAN 2013).

Zur Ausscheidung von hydrothermalen Mineralparagenesen kommt es nach KUSCHKA (1997) unter sich allmählich und ungleichmäßig verändernden Stabilitätsbeziehungen hinsichtlich der pH-, Eh-,

Druck-, Temperatur- und Konzentrationsverhältnissen. Die einzelnen Mineralien können sich dabei gleichzeitig, übergreifend oder auch nacheinander ausbilden. In diesem Zusammenhang werden die „Schwebenden“ aufgrund ihrer Verletzung und Kohlenstoffführung von BAUMANN et al. (2000) als wichtiger erzkontrollierender Faktor beschrieben.

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Ausrichtungen der Erzgänge (Streichrichtung), in Abhängigkeit vom jeweils zur Bildungszeit vorherrschenden Spannungsregime. Daraus lassen sich unterschiedliche Alter der Erzgänge ableiten, in denen es zu unterschiedlichen Mineralisationen kam. So sind beispielsweise im Lagerstättendistrikt Annaberg die Erzbildungen der BiCoNiAg(U)-Formation speziell an NW-SE streichende Gänge gebunden, während es in den W-E streichenden Gängen zur hydrothermalen Ausscheidung von z.B. Kupfer-, Wolfram- und Zinnerzen kam. Erneute tektonische Spannungen zu späteren Zeitpunkten führten oft zur Remobilisierung der Erzausscheidungen, so dass es auch im Annaberger Revier in den NE-SW streichenden Gängen zu einer kombinierten Ausscheidung verschiedener Erze kam.

In der Forschungsgeschichte des erzgebirgischen Bergbaus entwickelten sich, abhängig vom Kenntnisstand zur Montangeologie und Lagerstättenbildung, unterschiedliche Gliederungsansätze der Gangmineralisationen (BAUMANN et al. 2000). Die heute geläufigen Gliederungskonzepte stammen von Baumann und Kuschka, die in Tab. 3 zusammengefasst sind:

Formation (nach BAUMANN)			Folgenreihe (nach KUSCHKA)		Erze (Auswahl)	
<b>Fe-Mn</b>		Postvariszischer Mineralisationszyklus (Trias – Kreide, Tertiär)	qlmmn	Quarz-Limonit-Mangan-Folgenreihe	Fe, Mn, Si	
			flbaq sfkru	Fluorit-Baryt-Quarz-Folgenreihe	F – Ba – Si Fe, Mn, Si	
<b>BiCoNiAg(U)</b>			<b>qas</b>	<b>Quarz-Arsenide-Folgenreihe</b>	<b>Co</b> – Ni – Fe, Hg, Ge	
			krsfas	Karbonate-Sulfide-Sulfarsenide-Folgenreihe	Ag	
<b>fba</b>	Fluor-Baryt			bafI	Baryt-Fluorit-Folgenreihe	Ba, F, Cu, Zn, Pb
<b>eba</b>	Eisen-Baryt		hmba	Hämatit-Baryt-Folgenreihe	Si, Ba, Fe	
<b>(flq)</b>		Variszischer Mineralisationszyklus (Oberkarbon – Perm)	flq	Quarz-Fluorit-Folgenreihe	F, Si	
<b>eb</b>	Edle Braunspat			krsfsb	Karbonate-Sulfide-Sulfantimonide-Folgenreihe	Sb, Ag, Ca
<b>uqk</b>	Uran-Quarz-Karbonat			qhm qu	Quarz-Hämatit-Folgenreihe Quarz-Uranerz-Calcit-Folgenreihe	U, Fe, Se
<b>kb</b>	kiesig-blendig			qsf	Quarz-Sulfid-Folgenreihe	Fe – Zn – Pb, As, Cu, SN
<b>Sn-W</b>	Kassiterit			qks/w		Mo, Sn – W, Li, As, Bi

Tab. 3: Gliederungsansätze der erzgebirgischen Ganglagerstätten (nach SEBASTIAN 2013, BAUMANN et al. 2000, KUSCHKA 1997)

Aus Tab. 3 geht hervor, dass die Hydrothermalite der einzelnen Bildungsepochen über unterschiedliche chemische Zusammensetzungen verfügen. Die hydrothermalen Gangvererzungen verfügen über variierende Mineralvergesellschaftungen. Für diese Arbeit ist insbesondere die Tatsache relevant, dass die Ausscheidung der Kobalterze ausschließlich während des postvariszischen Mineralisationszyklus erfolgte, im Rahmen der BiCoNiAg(U)-Formation. Kobalterze mineralisierten dabei nicht allein aus, sondern immer in Verbindung mit Nickel und Eisen.

#### 4.5 HYDROTHERMALE KOBALTERZLAGERSTÄTTEN IM ERZGEBIRGE

Die Entstehung der Kobalterzlagerstätten im Erzgebirge ist auf die Bildung postvariszischer Hydrothermallagerstätten im Rahmen der BiCoNiAg(U)-Formation zurückzuführen (BAUMANN et al. 2000). 2010 konnte dank neuartiger U-Pb-Datierungen durch KRONER & ROMER (2010) nachgewiesen werden, dass die Genese der Ganglagerstätten im Erzgebirge nicht an die Granite gebunden ist. Es wurde nachgewiesen, dass keine zeitliche Beziehung zu den variszischen Graniten besteht und die Bildung der Ganglagerstätten völlig unabhängig ablief. Diese waren bevorzugt an überregionale tektonische Ereignisse gebunden, die sich im Zeitraum vom Perm bis Känozoikum abspielten. Während dieser Epochen kam es im Rahmen der alpidischen Orogenese, der Atlantiköffnung und der Anlage der norddeutschen Senke zur wiederholten Dehnung der mitteleuropäischen Kruste (SEBASTIAN 2013). KRONER & ROMER (2010) bestimmten folgende Epochen, in denen es gehäuft zu einer hydrothermalen Mineralisation und Erzbildung kam:

- Vor 280 – 270 Ma (Perm).
- Während des Trias und Jura, insbesondere zwischen 230 – 170 Ma.

In die zuletzt genannte Phase zwischen 230 – 170 Ma ist die Genese der BiCoNiAg(U)-Formation im Erzgebirge zu klassifizieren. Dort ist die Genese der hydrothermalen Lagerstätten an großräumig verlaufende Störungssystem gebunden, u.a. die Lößnitz-Zwönitzer-Zwischenmulde. Diese verläuft als erzgebirgisch (SW – NE) bis flacherzgebirgisch (WSW – ENE) streichende Synklinale in den überwiegend phyllitischen Gesteinen der Erzgebirgsnordrandzone. Bei Schneeberg-Schlema wird sie von der in Richtung NW-SE verlaufenden Gera-Jáchymov-Tiefenstörungszone gekreuzt. Die markante tektonische Grenze liegt als „Roter Kamm“ aufgeschlossen am Zechenplatz in Oberschlema (HERRMANN 2005). Besonders im Bereich von Gangkreuzen oder Ancharungsbereichen kommt es zu besonders großen Mächtigkeiten der Ganglagerstätten.

Die häufigsten Kobaltminerale im sächsischen Erzgebirge (Tab. 4) sind Skutterudit und Safflorit. Bei diesen Erzen handelt es sich um silbrig aussehende Minerale, die aber kein Silber enthalten. Abgebaut wird vor allem Skutterudit, das im Schneeberger Revier sehr häufig auftrat. Viele der Kobalterze treten aufgrund der BiCoNiAg(U)-Paragenese vergesellschaftet mit Nickel-, Wismut- und

Uranerzen auf. Erythrin ist hingegen nicht abbauwürdig, sondern ein Zeigermineral, dass auf angrenzende Kobaltvorkommen hinweist. Cobaltin ist im Erzgebirge ein sehr seltenes Kobalterz.

Internationale Mineralbezeichnung (IMA)	Deutsche Bezeichnung	Umgangssprachliche Bezeichnung	Chemische Formel
<b>Arsenidisch bzw. Sulfarsenidisch</b>			
Safflorite	Safflorit	Arsenikkobalt	CoAs <sub>2</sub>
Skutterudite	Skutterudit	Speiskobalt	CoAs <sub>3</sub>
Cobaltite	Cobaltin	Kobaltglanz	CoAsS
<b>Oxidisch</b>			
Erythrite	Erythrin	Kobaltblüte	Co <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O

Tab. 4: Ausgewählte Kobaltminerale im Erzgebirge (nach STRUNZ & NICKEL 2001, www.mindat.org)

#### 4.6 HISTORIE UND PERIODISIERUNG DES SÄCHSISCHEN KOBALTBERGBAUS

Die Bergbauhistorie Sachsens blickt auf über 800 Jahre Vergangenheit zurück und lässt sich nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) in vier Epochen einteilen. Der Kobaltbergbau im Erzgebirge ist wesentlich jünger und soll in diesem Kontext zeitlich eingeordnet werden.

Der Silberfund um 1168 im heutigen Freiberg leitete den Beginn des Bergbaus und die erste Bergbauperiode im Erzgebirge ein. Kobalterze fanden noch keine Verwendung und wurden auf den Halden entsorgt. Nach MELTZER (1684) war allerdings die Verwendung des kalzinierten Cobalts bereits im 15. Jhd., u.a. bei den Venezianern, unter dem Begriff Safflor bekannt. HORSCHIK (1979) betont, dass neben sächsischen Sagen auch Chroniken und wissenschaftliche Werke des 16. Jhd. über Venezianer berichten, die bereits im Mittelalter das Erzgebirge auf der Suche nach Metallen und Edelsteinen durchstreiften. HORSCHIK (1979) behauptet, dass auf diesem Weg auch Wismutslacken nach Venedig gelangt sind, was den Handel mit Safflor begründete.

Der Beginn der zweiten Bergbauperiode lässt sich in etwa zur Mitte des 15. Jahrhunderts datieren. Die Einführung neuer Techniken im Bereich der Förderung, Entwässerung und Aufbereitung führte zu einer Produktivitätssteigerung mit Intensivierung des Bergbaus. Neue Bergreviere und Bergstädte entwickelten sich, z.B. Schneeberg, Annaberg und Marienberg. Erste Ansätze von Wissenschaft und Forschung hielten Einzug. Georgius Agricola beschrieb und klassifizierte erstmals Lagerstätten im Erzgebirge. Chronisten überlieferten erste Aufzeichnungen über die Kobaltförderung einzelner Gruben. Bereits im 16. Jhd. blühte der Kobalterzhandel mit holländischen Kaufleuten. Schneeberg und Annaberg entwickelten sich im 17. und 18. Jhd. zu Zentren des Kobaltbergbaus, für die Kobalterze von da an das Hauptabbauprodukt darstellte.

Der Beginn der dritten Bergbauperiode ist auf die Mitte des 18. Jhd. zu datieren. Die Bergbaureviere erlebten im 18. Jhd. nochmals einen Aufschwung. Der Aufschwung und die Konkurrenzfähigkeit des sächsischen Bergbaus sind auch ein Ergebnis der stetig an Bedeutung gewinnenden Wissenschaft und Forschung, die 1789 in der Gründung der Bergakademie Freiberg ihren Höhepunkt fand. Kobaltbergbau und dessen Weiterverarbeitung in den Blaufarbenwerken war im 18. und 19. Jhd. ein wichtiges Standbein des sächsischen Montanwesens. Zur Mitte des 19. Jhd. erschöpften sich die Kobaltlagerstätten zunehmend, Kobalterze wurden zusätzlich importiert. Die sächsische Blaufarbenindustrie samt Kobaltbergbau verlor in der Folgezeit an Bedeutung.

Während der vierten Bergbauperiode wurden nach 1945 nahezu fast alle hinterbliebenen Denkmäler des Kobaltbergbaus und der Blaufarbenindustrie beseitigt, wie z.B. die Ruinen des ehemals königlichen Blaufarbenwerks in Oberschlema.

## 5 DAS ELEMENT COBALT: HISTORIE, BEDEUTUNG UND LAGERSTÄTTEN

### 5.1 DAS ELEMENT COBALT UND DIE HEUTIGE BEDEUTUNG

Cobalt gehört im Periodensystem der Elemente zur 8. Nebengruppe, der Eisen-Platin-Gruppe. Cobalt wird zusammen mit Nickel und Eisen zu den Eisenmetallen gezählt, die untereinander chemisch sehr ähnlich sind (LATSCHA & MUTZ 2011). Stand März 2018 waren weltweit gemäß der International Mineralogical Association (IMA) insgesamt 67 kobalthaltige Mineralien bekannt (Anlage 14.23, PASERO 2018). Tab. 5 gibt einen Überblick über ausgewählte chemische Eigenschaften des Elements Cobalt.

Cobalt (Lat. cobaltum)	
<b>Elementsymbol</b>	Co
<b>Ordnungszahl</b>	27
<b>Atommasse</b>	58,9332 u
<b>Elektronenkonfiguration</b>	$3d^7 4s^2$
<b>Schmelzpunkt</b>	1493 °C
<b>Siedepunkt</b>	3100 °C
<b>Dichte</b>	$8,9 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$
<b>Atomradius</b>	152 pm
<b>Dichte bei 25 °C</b>	8800 kg / m <sup>3</sup>
<b>Härte nach Mohs</b>	5.0
<b>Magnetismus</b>	ferromagnetisch

Tab. 5: Die Eigenschaften des Elements Cobalt (nach LATSCHA & MUTZ 2011, GRAY 2013, ROBERTS & GUNN 2015)

Cobalt hat ein ähnliches Erscheinungsbild wie Nickel und wird häufig, ähnlich wie benachbarte Elemente im Periodensystem, als Bestandteil für Stahllegierungen verwendet. Kobaltstahl wird u.a. für Bohraufsätze und Fräsen verwendet, er zählt zu den härtesten und festesten Legierungen (GRAY

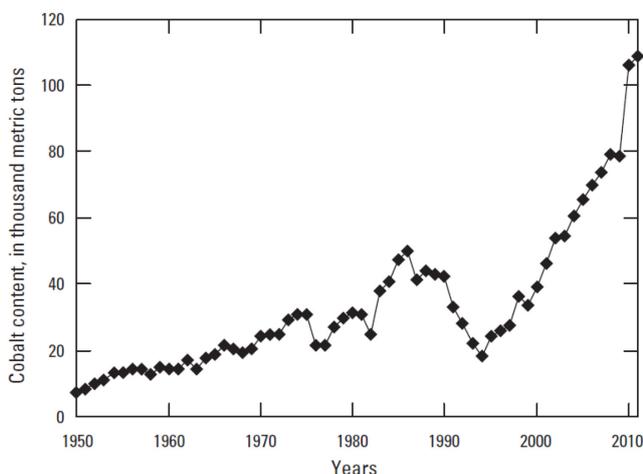


Abb. 2: Kobalterzförderung von 1950 - 2011 in Tonnen (Quelle: SLACK et al. 2017)

2013). Die Nachfrage nach Cobalt ist nach dem 2. Weltkrieg enorm gestiegen. Dies liegt vor allem an der Verwendung als Legierungsbestandteil in Flugzeugtriebwerken und in Gasturbinen. In den vergangenen drei Jahrzehnten hat die Nachfrage nach Cobalt weiter zugenommen (Abb. 2). Die Einsatzgebiete liegen speziell im Hochtechnologiesektor, z.B. in Katalysatoren und in wiederaufladbaren Akkumulatoren für PKWs (ROBERTS & GUNN 2014).

Im Jahr 2010 fanden allein ca. 20% des weltweit abgebauten Cobalts (ca. 88.000 t) Verwendung für Lithium-Ionen-Akkus in Mobilfunktelefonen (6.100 t) und Laptops (11.700 t) (HAGELÜKEN 2014). Eine signifikante Zunahme der Nachfrage nach Cobalt ist in der Einführung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu sehen. Darüber hinaus finden Kobaltlegierungen Einsatz im Bereich von Umwelttechnologien, wie z.B. Photovoltaikanlagen und Windturbinen. Anwendungsgebiete von Cobalt liegen laut HAGELÜKEN (2014) in den Bereichen Medizintechnik (Bestrahlung), Superlegierungen, Magnete, Hartlegierungen, Glas, Keramik und Pigmente, Batterien, Katalysatoren, Elektronik, Werkstoffprüfung und Sterilisation vor, die sich prozentual entsprechend Abb. 3 verteilen.

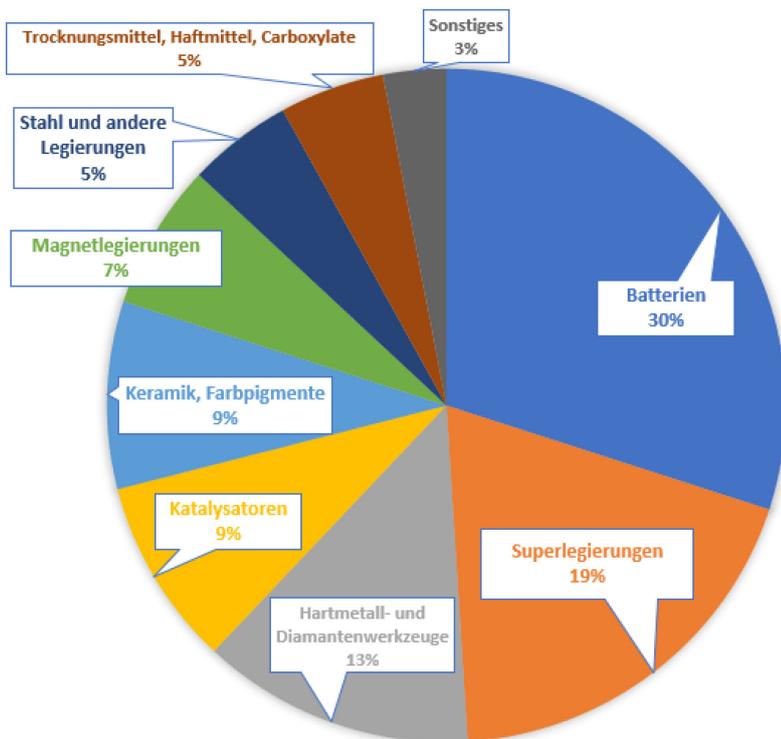


Abb. 3: Prozentuale Verteilung der Hauptnutzung von Kobalterzeugnissen in 2011 (Darstellung nach SLACK et al. 2017)

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete des Cobalts als liegt in der Verwendung als Legierungsmetall für Superlegierungen. Laut HAWKINS (2001) finden jährlich 9500 t verfeinertes Cobalt dafür Verwendung. Cobalt wird dabei zumeist nickelhaltigen Legierungen zugegeben, um die Eigenschaften im Hochtemperaturbereich zu verbessern. Durch die Zugabe von Cobalt werden insbesondere die chemischen Eigenschaften anderer Legierungskomponenten (z.B. Aluminium, Titan, Kohlenstoff) optimiert. Dabei wird die Verarbeitbarkeit bei hohen Temperaturen verbessert und es

können höhere Schmelzpunkte erzielt werden. Neben der hohen Temperatur- und Abnutzungsbeständigkeit überzeugen Kobaltlegierungen durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit über lange Zeiträume. Daher finden sich weitere Anwendungsgebiete im Bereich von Automobilkonstruktionen, Ölbohrplattformen, medizinischen Produkten, Luft- und Raumfahrt u.a. (HAWKINS 2001).

Cobalt gilt heute als kritisches Metall aufgrund der weltweiten Verteilung der Lagerstätten in wenigen Staaten und dem hohen Bedarf an Cobalt bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus für die Elektromobilität (LIPS 2017, INTERNATIONAL COBALT CORP. 2018).

Unrühmliche Bekanntheit erlangte das radioaktive Cobalt-Isotop  $^{60}\text{Co}$  in den 1950er Jahren als Bestandteil des Fallouts überirdischer Atombombentests (GRAY 2013).

## 5.2 GLOBAL BEDEUTENDE KOBALTLAGERSTÄTTEN

Kobalterze sind vergleichsweise rar und werden häufig als Beiprodukt zum Nickel- und Kupferbergbau gewonnen. Kobalt kommt in hydrothermalen, sedimentogenen und in magmatogenen Lagerstätten vor. Die wichtigsten Kobaltlagerstätten sind in Abb. 4 dargestellt.

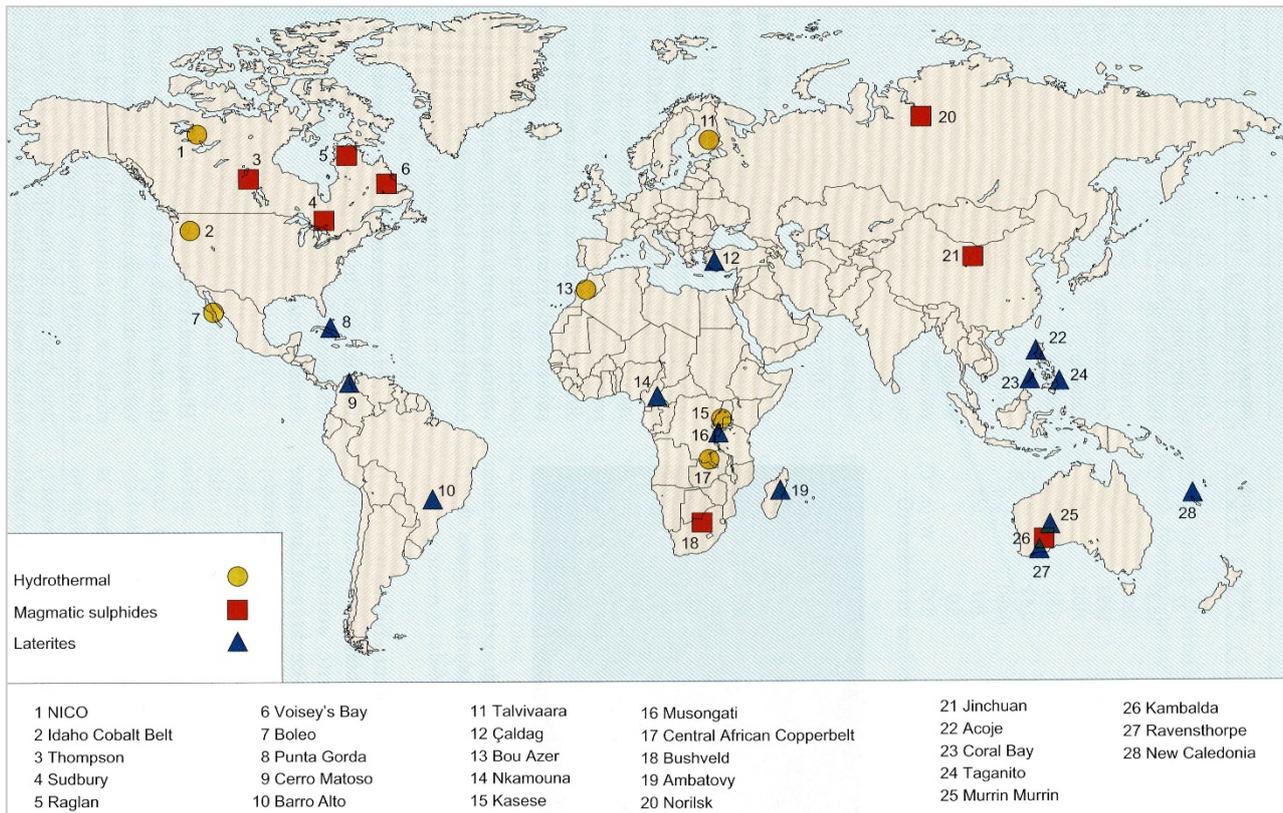


Abb. 4: Die bedeutendsten Kobaltminen in der Gegenwart (Quelle: ROBERTS & GUNN 2014)

Die Förderung der Kobalterze ist ungleichmäßig verteilt. Hauptproduzent ist die Demokratische Republik Kongo, die über die Hälfte der globalen Kobaltproduktion abdeckt (Abb. 5). Die Lagerstätte befindet sich im zentralafrikanischen Kupfergürtel von Katanga in der Demokratischen Republik Kongo sowie Sambia, es handelt sich um eine terrestrische Ausscheidungslagerstätten vom Red Bed Typ. Der zentralafrikanische Kupfergürtel erstreckt sich als über 100 km breiter und 700 km langer Bogen von Katanga, der südlichen Provinz des Kongo, bis an die Südgrenze von Sambia. Hier lagern etwa die Hälfte der globalen Reserven an Kobalt, wobei speziell die Kupferlagerstätten im Kongo hohe Gehalte an Kobalt aufweisen (NEUKIRCHEN & RIES 2014).

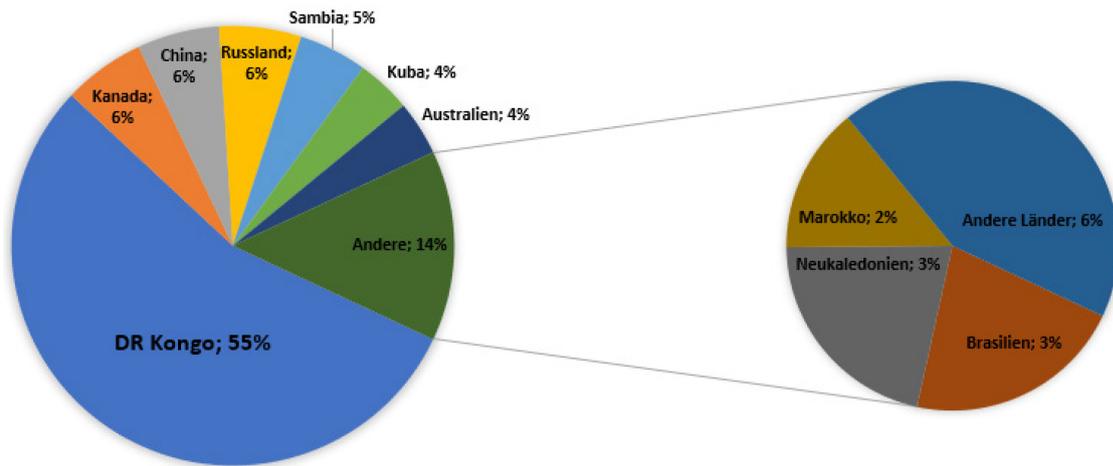


Abb. 5: Globale Verteilung der Kobaltförderung in 2011 (Darstellung nach SLACK et al. 2017)

Während Cobalt in anderen Lagerstätten vornehmlich als Nebenprodukt abgebaut wird, gilt Bou Azzer als eine Ausnahme davon, hier werden monometallische Kobalterze gewonnen (POHL 2005). Obwohl die jährliche Fördermenge an Cobalt in Bou Azzer gegenwärtig nur 2% der globalen Fördermenge an Kobalterzen beträgt, sollte diese Lagerstätte dennoch Erwähnung finden. Bou Azzer zählt zu den weltweit größten Kobalt-Nickel-Lagerstätten. Von 1933 an bis 1995 wurden im Revier Bou Azzer und den angrenzenden Revieren geschätzte 50.000 – 60.000 t Cobalt, 5.000 t Nickel, sowie andere Erze gefördert. Diese verfügten zudem über einen sehr hohen Kobaltgehalt (AIT HADDOUCH et al. 2006). Die Lagerstätte befindet sich im AntiAtlas in Südmarokko und gehört zu der besonderen geologischen Einheit El Graara, eine sattelförmige Aufwölbung, die sich über 50 km Länge in Ostsüdost-Richtung ausdehnt. Sie wird von Störungszonen geschnitten, in deren Kreuzungsbereich sich die hydrothermalen Erzgänge bildeten (FAVREAU & DIETRICH 2006).

Um die ausgebrachte Menge an Kobalterzen von Bou Azzer zu quantifizieren, bietet sich ein Vergleich mit der Fördermenge der Kobaltlagerstätte bei Cobalt, in Ontario, Kanada an. Nach OKRUSCH & MATTHES (2009) wurden in dieser Lagerstätte im Zeitraum 1903 bis 1973 ca. 20.000 t Kobalterze gefördert.

In Bezug auf den historischen sächsischen Kobalterzbergbau und die eng damit verknüpfte Blaufarbenindustrie sollte von den global bedeutenden Kobaltlagerstätten noch Neukaledonien erwähnt werden. Dort werden gegenwärtig ca. 3% der globalen Kobaltfördermenge ausgebracht. Seit der Entdeckung dieser Nickelerzlagerstätten mit bedeutenden Kobaltgehalten wurden nach NEUMANN (1904) zwischen 1875 - 1901 58.730 t Kobalterze nach Europa geliefert und weiterverarbeitet. Das hatte auch Konsequenzen für den sächsischen Kobalterzbergbau.

Für die Zukunft könnten die Kobaltgehalte in Manganknollen und anderen Meeressedimenten eine wirtschaftliche Bedeutung erhalten.

### 5.3 BEGRIFF UND HISTORIE

Erstmalig wurde das chemische Element Cobalt 1735 durch den schwedischen Chemiker Georg Brandt klassifiziert (HAMMER 2004). Demnach hat Brandt 1735 in den Schriften der Akademie von Uppsala Cobalt als Halbmetall bezeichnet, dass mit Wismut nichts gemeinsam hat und auch nicht damit legierbar ist. Brandt stellte auch fest, dass die blaufärbende Eigenschaft nicht auf Wismut, sondern auf Cobalt zurückgeht. Nach NEUMANN (1904) wies Brandt im Jahr 1742 die Existenz arsenfreier Kobalterze und seine magnetischen Eigenschaften nach. Dennoch hat sich die Feststellung Brandts nicht sofort durchgesetzt. NEUMANN (1904) betont, dass noch 1761 dem Cobalt neben dem Arsen auch die Bestandteile Kupfer, Eisen und „eine besondere Erde“ zugeschrieben wurden. Erst nachdem 1780 der schwedische Chemiker Torbern Olof Bergmann die Eigenschaften des Kobaltmetalls bestätigte, galt Brandts These als wissenschaftlich bestätigt (NEUMANN 1904).

Das Wort Cobalt wurde nach NEUMANN (1904) in der Vergangenheit uneinheitlich und in verschiedenen Schreibweisen gebraucht. So findet sich der Begriff auch in den Schreibweisen Kobold, Kobelt, Kobolt und Cobel. Das Element Cobalt war bis in das 18. Jhd. chemisch nicht eindeutig klassifiziert und wurde unterschiedlich benutzt. Es wurde z.B. für arsenhaltige Erze und Produkte genutzt, häufig auch mit Wismut verwechselt, dass aus vielen Kobalterzen aussaigerte. Über die Entstehung des Begriffs „Kobalt“ gibt es verschiedene Thesen. Die verbreitete Annahme ist, dass die Bezeichnung auf den mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge zurückzuführen ist. Auf der Suche nach Silber stießen die Bergleute häufig auf ein silberähnliches Erz, dass sich nicht wie Silber ausschmelzen ließ. Sie nahmen an, es sei von Kobolden verhext. Es waren Kobalterze, die anfangs auf den Halden entsorgt wurden. Erst als die Vorkommen von Silbererzen im 16. Jhd. immer weiter abnahmen, wurde den Kobalterzen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990). Dem gegenüber behauptet PETERSON (1894), dass die Bezeichnung auf den tschechischen Begriff „kowaltky“ zurückgeht, der im Laufe der Zeit in alle europäischen Sprachen übergang. Böhmisches Grubenarbeiter benutzten diesen Sammelbegriff für sämtliche Begleitminerale der Silbererzvorkommen im Erzgebirge, aus denen sich kein Metall schmelzen ließ, wie z.B. Kobalt- und Nickelerze. Später beschränkte sich die Bezeichnung als Gattungsname für das Erz, das schmelzendes Glas blau färben konnte. PETERSON (1894) bezweifelt die geläufige Ansicht, dass der Begriff „Kobalt“ dem germanischen Kobold entstamme und stellt in Frage, dass sich Bergleute beim Antreffen von Erzen aus dieser „edlen Erzführung“ geneckt fühlen könnten. Er rechnet dem tschechischen Ursprung des heutigen Elementnamens Cobalt die größere Wahrscheinlichkeit zu. Es wird deutlich, dass sich die historische Herkunft des Elementnamens Cobalt wissenschaftlich nicht einwandfrei überliefert ist. Neben der weit verbreitenden Überlieferung, dass der Name auf eine altdeutsche Mythenfigur zurückgeht, existieren auch alternative Erklärungen, wie anhand der Ausführung von PETERSON (1894) deutlich wird.

## 6 METHODEN

### 6.1 UNTERTEILUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Zur zielorientierten Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellungen wird das Untersuchungsgebiet untergliedert. Dies ist zweckmäßig, da die regionale Verteilung der BiCoNiAg(U)-Formation im Erzgebirge von West nach Ost abnimmt. Das Hauptabbaugebiet der Kobalterze befand sich im Westrztgebirge, weitere Vorkommen finden sich im Mittelerzgebirge (BAUMANN et al. 2000). Im Osterzgebirge sind keine historischen Koballagerstätten bekannt. Vor diesem Hintergrund ist die Aufteilung des Untersuchungsgebietes in West-, Mittel- und Osterzgebirge zweckmäßig. Die räumliche Abgrenzung der Teilgebiete erfolgt anhand der naturräumlichen Abgrenzung der Makrogeochoren West-, Mittel- und Osterzgebirge (Abb. 6).



Abb. 6: Unterteilung des Erzgebirges (Eigene Darstellung)

Die Analysen werden infolge der ungleichmäßigen regionalen Verteilung der Kobaltvorkommen auf das West- und Mittelerzgebirge fokussiert. Vor allem die Bergbaureviere von Schneeberg, Annaberg, Johanngeorgenstadt und Marienberg werden häufig im Zusammenhang mit Kobaltbergbau genannt.

### 6.2 BEGRIFFE, EINHEITEN UND NAMEN IM SÄCHSISCHEN BERGBAU

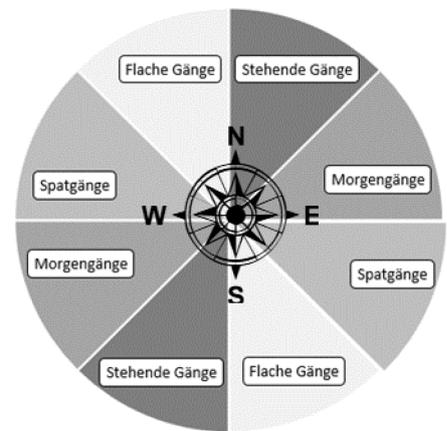
Im historischen Erzbergbau wurden zahlreiche Begriffe, Maße, Einheiten und Angaben verwendet, die im heutigen Sprachgebrauch nicht mehr geläufig sind. Erschwerend kommt hinzu, dass bis zur deutschen Reichsgründung 1871 in nahezu jedem deutschen Land eigene und größtenteils

untereinander abweichende Einheiten für Währungen, Maße und Gewichte angewendet wurden. Selbst innerhalb eines Landes wurden Einheiten für Längenangaben und Gewicht nicht immer einheitlich verwendet. Es kam zu unterschiedlichen Auslegungen innerhalb einzelner Bergamtsreviere. Erst in Folge der Gründung des Deutschen Reiches wurde die Mark als Einheitswährung und Kilogramm bzw. Tonne als Standardmaße eingeführt. Darüber hinaus gibt es im Bergbau verschiedene Begrifflichkeiten, die einer Erläuterung bedürfen.

### Begriffe

Wurde ein Erzgang entdeckt, erhielt dieser einen Eigennamen und wurde zusätzlich mit seinem Streichen charakterisiert. Die Einteilung nach der Streichrichtung erfolgte mittels eigener Begriffe:

- Stehende Gänge: N/NE – S/SW
- Morgengänge: NE/E – SW/W
- Spatgänge: E/SE – W/NW
- Flache Gänge: NW/N – SE/S



Darüber hinaus wurde das Fallen der Gänge anhand des Einfallwinkels unterschieden:

- schwebender Gang:  $0^\circ - 15^\circ$
- flach fallend:  $15^\circ - 45^\circ$
- tonnläufig:  $45^\circ - 75^\circ$
- seiger:  $75^\circ - 90^\circ$

Abb. 7: Einteilung der Erzgänge nach dem Streichen (nach WAGENBRETH 2006)

In den sächsischen Bergrevieren wurde in besonders ergiebigen Gruben über 250 Jahre Cobalt abgebaut. Regelmäßig wurden im Laufe der Zeit einzelne aneinandergrenzende Gruben bzw. Bergwerke zusammengeschlossen und rechtlich unter eine Verwaltung und Leitung gestellt. Man spricht in diesem Kontext von einer Vereinigung oder auch Konsolidation der Gruben. Diese Konsolidationen lassen sich in jedem sächsischen Bergrevier nachvollziehen.

### Gewichtsmaße

Nach NICKERL (2001) wurde seit mindestens 1524 das Zentner als Gewichtsmaß angewendet. In den Überlieferungen nach MELTZER (1684) sind die Kobaltausbringungen bis 1641 dennoch in dem alten Bergwerksmaß Kübel überliefert. MELTZER (1684) gibt an, dass 1642 das Kübelgewicht für die Kobaltausbringung in Schneeberg durch das Zentnergewicht abgelöst wurde. Dabei hat er allerdings kein Umrechnungsmaß benannt. In der Fachliteratur wird der Kübel als ein sächsisches Bergwerksmaß für Erze genannt (KRÜGER 1830; VEITH 1871). Ein Kübel entspricht hierbei exakt 2500 Kubikzoll Leipziger Maß Inhalt (LEMPE 1790; VEITH 1871; ALBERTI 1957). ALBERTI (1957) gibt

zudem für den „zweymännischen Kübel“ eine Höhe von  $16\frac{3}{8}$  Zoll an. Nach KRÜGER (1830) beinhaltet ein Kübel drei Zentner Erz. Diesen Angaben zufolge handelt es sich beim Kübel nicht um ein klassisches Gewichtsmaß, sondern um ein Hohlmaß, dass in Abhängigkeit vom Inhalt variierende Gewichte haben kann. In Bayern war der Kübel z.B. als Steinkohlenmaß und in Österreich als Getreidemaß gebräuchlich (KRÜGER 1830; VEITH 1871).

Der Zentner wird von KRÜGER (1830) als ein Handelsgewicht im Bergbau beschrieben, der je nach Region 100 bis 120 Pfund beinhaltet. Erst mit der Gründung des Deutschen Zollvereins 1834 wurde begonnen, den Zentner einheitlich mit 50 kg umzurechnen. In Sachsen betrug laut VEITH (1871) ein Zentner 110 Pfund, was ca. 51,4 kg entspricht. NICKERL (2001) gibt den Zentner ebenfalls mit 110 Pfund an, allerdings mit 51,358 kg. 1840 wurde die Einführung des Zollzentners beschlossen, dessen Anwendung zum 01.11.1858 eingeführt wurde und der exakt 50 kg entsprach (GESETZ- UND VERORDNUNGSBLATT FÜR DAS KÖNIGREICH SACHSEN 1858).

Neben dem Zentner finden sich in den Erzlieferungsextrakten die kleineren Einheiten Pfund und Lot. Bis 1858 galten selbst in Sachsen regional sehr variable Umrechnungen in Pfund, die auch mit der Handelsware variierten (ALBERTI 1957). Im Bergamtsrevier Marienberg entsprach 1 Pfund = 32 Lot = 467,589 g, dabei galt: 112 Pfund = 1 Zentner (NICKERL 2001). Ab 1858 wurde innerhalb des deutschen Zollvereins 1 Pfund = 500 g umgerechnet, wobei 1 Pfund 32 Lot entsprach (ALBERTI 1957).

Im Rahmen der Auswertung von Erzlieferungsextrakten sächsischer Bergamtsreviere wurde die Einheit Zentner beibehalten. Sollte es bei übergreifenden Zeitreihen mit unterschiedlichen Maßangaben nötig gewesen sein, wurde zur Umrechnung der gerundete Wert 1 Zentner = 51,4 kg angewandt.

### *Zeit und Kalendarium*

Im Erzbergbau wurde nicht mit den heute gebräuchlichen Monatsangaben gearbeitet. Die abgebauten Erze wurden quartalsweise abgerechnet, jedes Quartal wurde mit 13 Wochen gerechnet (VEITH 1871). Die Bergquartale trugen die in der Tab. 6 angeführten Bezeichnungen:

Reminiscere	01. Januar bis 01. April
Trinitatis	01. April bis 01. Juli
Crucis	01. Juli bis 01. Oktober
Luciae	01. Oktober bis 01. Januar

Tab. 6: Quartalsbezeichnungen im sächsischen Erzbergbau (nach VEITH 1871)

### 6.3 RECHERCHEN ZUM KOBALTBERGBAU

Neben den Literaturrecherchen an den Bibliotheken der Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden (SNSD), der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF), der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) sowie wissenschaftlichen Fachdatenbanken, stand die Rechercharbeit zum sächsischen Kobalterzbergbau beim Sächsischen Staatsarchiv an der Außenstelle Bergarchiv Freiberg im Mittelpunkt. Dies beinhaltete insbesondere die Recherche und Auswertung alter Akten der sächsischen Bergamtsreviere. Im Mittelpunkt stand die Nachforschung nach Erzlieferungsextrakten mit quantitativen Erhebungen zur Kobalterzförderung einzelner Gruben bis 1900. Darüber hinaus wurde in Akten der Blaufarbenwerke nach Angaben zu den verarbeiteten Kobalterzen und erzeugten Kobaltprodukten recherchiert. Die Tab. 7 gibt einen Überblick über die Akten am Bergarchiv Freiberg mit Angaben zur Kobaltförderung.

Findbuch	Arch. Nr.	Titel	Verfasser	Ergebnis
40007	1316	Auszug des Silber-, Kobalt-, Kupfer- und Blei-Ausbringens im kombinierten Bergamtsrevier Annaberg, Hohenstein und Oberwiesenthal.	k.A.	Detaillierte quartalsweise Angaben zur Kobaltförderung in den Revieren Annaberg, Scheibenberg, Hohenstein und Oberwiesenthal samt zugehörigen Gruben für 1801 - 1840.
40012	577	Kobaltförderung, -verteilung und -verkauf der Zechen sowie Bezahlung ab 19. März 1731 (neuer Kobaltkontrakt)	k.A.	Quartalsweise Angaben zur Kobaltförderung in Johannegeorgenstadt samt zugehöriger Gruben für 1731 – 1742
	578			Quartalsweise Angaben zur Kobaltförderung in Johannegeorgenstadt samt zugehöriger Gruben für 1743 – 1750
	579			Quartalsweise Angaben zur Kobaltförderung in Johannegeorgenstadt samt zugehöriger Gruben für 1769 – 1774
40136	302	1) Extrakt [Tabelle] des doppelten Blaufarbenwerkes zu Oberschlema auf 88 Quartale oder 22 Jahre [1732 – 1754], wieviel seit dieser Zeit an Verlagskosten verbraucht und an Kobaltprodukten (Farben, Eschel und Safflore) produziert wurden.	Johann Carl	1) quartalsweise Gegenüberstellung der Ausgaben mit angefertigten und eingelieferten Produkten in Thaler und Groschen 2) Angaben über Verbrauch an Kobalterzen (roh, kalciniert) in verschiedenen Qualitätsstufen (gut,

		2) Summarischer Extrakt (Tabelle) was auf den Blaufarbenwerken Schindlers Werk, Zschopenthal und Niederpfannenstiel 1750 – 1754 an Kobalt geschmolzen und an Kobaltprodukten (Glas, Farbe und Eschel) produziert wurde.		mittel, gering) u.a. Verbrauchsmaterialien.
40166	01	Übersicht des Ausbringens im Bergrevier Schwarzenberg in den Jahren 1857 – 1897	k.a.	Detaillierte quartalsweise Angaben zur Kobaltausbringung und deren Bezahlung für Schneeberg 1857 – 1897.
40166	21	Extrakt über das Gold-, Blei-, Kupfer-, Kobalt-, Wismut-, Kupfernickel- und Bleiglanz-Ausbringen in der Zeit von 1642 – 1800 sowie das Silber-Ausbringen in der Zeit von 1710 – 1800 im vereinigten Bergrevier Annaberg.	Reppmann, J.M.	Detaillierte quartalsweise Angaben zur Kobaltausbringung aller Gruben im Bergamtsrevier Annaberg und deren Bezahlung für den Zeitraum 1642 – 1800.
40166	27	Extrakte über das Silber-, Kobalt-, Kupfer- und Blei-Ausbringen im vereinigten Bergrevier Annaberg mit Scheibenberg und Oberwiesenthal für die Zeit von 1801 – 1850.	k.A.	Detaillierte quartalsweise Angaben zur Kobaltausbeute in den Revieren Annaberg, Scheibenberg, Hohenstein und Oberwiesenthal samt zugehöriger Gruben für 1801 – 1850.
40166	38	Extrakt über das Ausbringen im Bergrevier Marienberg mit Geyer und Ehrenfriedersdorf für die Zeit von Mitte des 17. Jhd. – 1845, ohne Silber, Blei und Kupfer sowie die Arsenikalien der Geyerschen Hüttenwerke.	Laue, F.A.	Angaben über Kobaltausbringung einzelner Gruben in Marienberg, Geyer und Ehrenfriedersdorf.
-	-	Aktenauszüge Bergamt Schneeberg. Betrifft Siebenschleher Pochwerk und Siebenschleen Fundgrube	Müller, Volkmar	Quartalsweise Angaben über Ausbringung an Kobalt der Siebenschleen Fdgr. und Bezahlung für 1766 - 1788

Tab. 7: Akten am Bergarchiv Freiberg mit Angaben zur Kobaltförderung in den sächsischen Bergamtsrevieren

## 6.4 LABORMETHODEN

Für die Masterarbeit stand die mineralogische Sammlung des MMG der SNSD zur Verfügung. Es wurden die in der Tab. 8 aufgelisteten Sammlungsproben herangezogen. Es handelt sich dabei um kobalt- und nickelhaltige Erze verschiedener Lagerstätten aus dem Erzgebirge.

<b>Fundort</b>	<b>Sammlungsnummer</b>	<b>Bezeichnung in der Sammlung</b>	<b>Laboranalysen</b>	
<b>Schneeberg</b>	Min 3590 Sa	Erythrin XX mit Quarz		
	Min 3594 Sa	Erythrin XX auf Quarz		
	Min 3603 Sa	Erythrin XX mit Arseniosiderit		
	Min 3618 Sa	Erythrin XX auf Quarz		
	Min 3621 Sa	Erythrin auf Quarz		
	Min 3632 Sa	Erythrin auf Quarz XX		
	Min 3637 Sa	Erythrin XX auf Quarz		
	Min 3786 Sa	Skutterudit XX mit Proustit		
	Min 3795 Sa	Skutterudit XX auf Quarz	XRD	
	Min 3803 Sa	Skutterudit XX mit Calcit XX	XRD	REM-EDX
	Min 3805 Sa	Skutterudit mit Erythrin	XRD	
	Min 3808 Sa	Skutterudit mit Quarz		
	Min 3809 Sa	Skutterudit auf Quarz	XRD	REM-EDX
	Min 3812 Sa	Skutterudit XX mit Quarz	XRD	REM-EDX
	Min 3813 Sa	Skutterudit XX mit Calcit XX		
	Min 3814 Sa	Skutterudit XX mit Erythrin		
	Min 3818 Sa	Skutterudit XX		
	Min 3823 Sa	Skutterudit		
	Min 12034 Sa	Skutterudit XX		
	Min 14279 Sa	Erythrin XX mit Quarz XX		
Min 14812 Sa	Erythrin XX mit Quarz			
<b>Johanngeorgenstadt</b>	Min 4377 Sa	Skutterudit in Dolomit		
	Min 4378 Sa	Skutterudit XX		
	Min 12555 Sa	Skutterudit mit Pyrargyrit	XRD	
	Min 17997 Sa	Safflorit XX mit Rammelsbergit	XRD	
	Min 22727 Sa	Skutterudit XX mit Erythrin und Quarz XX		
<b>Marienberg</b>	Min 3369 Sa	Erythrin		
	Min 3390 Sa	Skutterudit XX mit Baryt	XRD	
	Min 3421 Sa	Nickelskutterudit XX	XRD	REM-EDX
	Min 3422 Sa	Nickelskutterudit XX mit Proustit XX	XRD	
<b>Annaberg</b>	Min 3227 Sa	Skutterudit in Quarz		
	Min 3228 Sa	Skutterudit in Quarz		
	Min 3229 Sa	Skutterudit XX		
	Min 3236 Sa	Nickelskutterudit	XRD	
	Min 9438 Sa	Skutterudit XX mit Erythrin		

Tab. 8: Auflistung der Sammlungsproben mit Fundort, Sammlungsnummer und Bezeichnung

An einem Teil der in Tab. 8 aufgelisteten Sammlungsproben wurden analytische Untersuchungen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde mit der Röntgendiffraktometrie (XRD) die Mineralart bestimmt. In einem zweiten Schritt wurde mittels der Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersiven Röntgenspektralanalyse (REM-EDX) an ausgewählten Proben der Chemismus der Sammlungsobjekte ermittelt.

Nicht analysiert wurden die Erythrin haltigen Sammlungsproben. Erythrin gilt als typisches Zeigermineral für anstehende Kobalterze. Dabei handelt es sich um ein Verwitterungsprodukt arsenhaltiger Kobalterze, erkennbar an den violetten bis hell rosafarbenen Krusten, Nadeln oder Büscheln bis ca. 2 mm Stärke. Erythrin zählt als typisches Begleitmineral u.a. für Skutterudit und Cobaltit (HAJEK & IHLE 2008).

#### 6.4.1 Röntgendiffraktometrie XRD

Die Methode der Röntgendiffraktometrie ermöglicht die Bestimmung der Kristallstruktur und damit der Mineralart.

##### Parameter XRD (Röntgendiffraktometrie)

Diffraktometer D8 ADVANCE mit LYNXEYE XE-Detektor von BRUKER, CuK $\alpha$ -Strahlung, 40 kV, 40 mA, Winkelbereich 10° - 60° / 70° / 80° / 90° 2 $\theta$ , Schrittweite 0,01°, Zeit/Schritt 0,1 s, variable Blenden, Software DIFFRAC.SUITE V6.5.0 mit DIFFRAC.MEASUREMENT und DIFFRAC.EVA

Tab. 9: Parameter Röntgendiffraktometrie (XRD)

Mittels der Röntgenstrahlen werden die Gitterstrukturen von Mineralen untersucht, beruhend auf dem Prinzip der Beugung von Röntgenstrahlung an Kristallgittern nach der Bragg'schen Gleichung. Dabei werden die Netzebenenabstände im Kristallgitter der Proben bestimmt. Anhand der Röntgendiffraktogramme lassen sich die Minerale im Vergleich zu den Powder Diffraction Files (PDF) vom International Centre for Diffraction Data (ICDD) bestimmen.

Für die Analyse wurden kleine Probenmengen (Kristallkörner von max. 2 mm) pulverisiert und auf einem Si-Einkristallprobenträger fixiert. Diese Proben wurden im Diffraktometer in den angegebenen Winkelbereichen untersucht.

<b>Nr.</b>	<b>Fundort</b>	<b>Bezeichnung des Erzminerals in der Sammlung</b>	<b>Sammlungsnummer</b>	<b>XRD Proben Bezeichnung</b>
1	Schneeberg	Skutterudit	Min 3795 Sa	MSa 3795-1A
2		Skutterudit	Min 3803 Sa	MSa 3803-1A
3		Skutterudit	Min 3805 Sa	MSa 3805-1A
4		Skutterudit	Min 3809 Sa	MSa 3809-1A
5		Skutterudit	Min 3812 Sa	MSa 3812-1A
6	Johanngeorgenstadt	Skutterudit	Min 12555 Sa	MSa 12555-1A
				MSa 12555-2A
7		Safflorit	Min 17997 Sa	MSa 17997-1A
8	Marienberg	Skutterudit	Min 3390 Sa	MSa 3390-1A
9		Nickelskutterudit	Min 3421 Sa	MSa 3421-1A
10		Nickelskutterudit	Min 3422 Sa	MSa 3422-1A
11	Annaberg	Nickelskutterudit	Min 3236 Sa	MSa 3236-1A

Tab. 10: Sammlungsproben für XRD-Analyse

#### 6.4.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)

Bei der Rasterelektronenmikroskopie (REM) handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren. Das Rasterelektronenmikroskop im Labor an den SNSD ist kombiniert mit dem Verfahren der energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX). Dieses Verfahren ermöglicht hingegen die Analyse der vorhandenen chemischen Elemente und deren quantitativen Zusammensetzung von nur  $\mu\text{m}^3$ -großen Probenstücken. Miteinander kombiniert trägt es die Bezeichnung REM-EDX-Analyse. Die Aufnahmegeräte samt Parameter sind in der Tab. 11 zusammengestellt.

<b>Parameter REM (Rasterelektronenmikroskopie)</b>	<b>Parameter EDX (energiedispersive Röntgenspektroskopie)</b>
ZEISS EVO 50, Wolframkathode, 20 kV, Hochvakuum, SE, Aluminiumprobenträger	ROENTEC Detektor X-Flash 3001, Hochvakuum, 20 keV, Messzeit 200s, standardlose quantitative Analyse, Quantax Esprit 1.8

Tab. 11: REM-EDX-Analyse, Parameter der Aufnahmegeräte

Bei der REM werden die von der Probe zurückgestreuten Elektronen bzw. Sekundärelektronen in einem bildgebenden Verfahren genutzt. Dabei tastet ein Elektronenstrahl die in einem Hochvakuum befindliche Materialprobe rasterförmig Punkt für Punkt ab. Die emittierten und zurückgestreuten Elektronen werden von Detektoren registriert und in Sekundärelektronenbildern (SE-Bilder) oder Rückstreuelektronenbildern (BSE-Bilder) dargestellt. Der Sekundärelektronendetektor zeichnet hochauflösende Bilder der Topographie der Probenoberfläche auf. Der Rückstreuelektronendetektor stellt hingegen den Materialkontrast der Probe dar, der eine qualitative Interpretation der chemischen Zusammensetzung der Probe ermöglicht.

Für die REM-EDX-Analysen wurden die fünf in der Tab. 12 aufgelisteten Sammlungsproben aus der mineralogischen Sammlung des MMG an den SNSD herangezogen. Für die Analyse wurden vorab kleine Probenstücke (bis ca. 3 mm Größe) von den Erzen gewonnen und auf dem Probenteller befestigt, der mit einem Leit-Tab belegt war. Die nummerierten Proben wurden in den Probenraum des REM-EDX geschleust und untersucht.

<b>Nr.</b>	<b>Bezeichnung des Erzminerals in der Sammlung</b>	<b>Fundort</b>	<b>Sammlungsnummer MMG</b>	<b>Messversuch</b>	<b>REM-Bildnummer</b>
1	Skutterudit	Schneeberg	Min 3803 Sa	3803 Sa_1	210
				3803 Sa_2	211
2	Skutterudit	Schneeberg	Min 3809 Sa	3809 Sa_1	203
				3809 Sa_2	204
				3809 Sa_3	205
3	Skutterudit	Schneeberg	Min 3812 Sa	3812 Sa_1	207
				3812 Sa_2	208
				3812 Sa_3	209
4	Nickelskutterudit	Marienberg	Min 3421 Sa	3421 Sa_1	213
				3421 Sa_2	214
				3421 Sa_3	215

Tab. 12: Probenliste der Kobalterze für die REM-EDX-Untersuchungen

## 7 ZUSAMMENSETZUNG DER KOBALTERZE UND CHEMISMUS

### 7.1 LITERATURAUSWERTUNG

Für die Auswertung und Interpretation der Laboranalysen, sowie eine wissenschaftlich exakte Klassifikation der Sammlungsobjekte sind tieferführende Literaturanalysen zum Chemismus der Skutteruditreihe notwendig.

Man unterscheidet Skutterudit und Nickelskutterudit, die sich durch unterschiedliche Gehalte der Elemente Cobalt, Nickel und Eisen auszeichnen. Allgemein ist beim Nickelskutterudit ein größerer Masseanteil des Nickels und beim Skutterudit ein größerer Masseanteil des Kobalts gegeben. In der *Systematik der Minerale nach Strunz* (STRUNZ 1982; STRUNZ & NICKEL 2001) werden Skutterudit und Nickelskutterudit zu den Metallsulfiden der Skutteruditreihe gezählt. In dieser wird das Atomverhältnis von Metall (Cobalt, Nickel, Eisen) zum Semimetall (Arsen) mit  $M:S = 1: > 2$  angegeben. Dies ist gegeben beim:

- reinen Skutterudit ( $\text{CoAs}_3$ )
- Skutterudit mit Cobalt-Dominanz im Mischkristall ( $(\text{Co,Fe,Ni})\text{As}_{2-3}$ ),
- Nickelskutterudit ( $(\text{Ni,Co,Fe})\text{As}_{3-x}$ )

Die veraltete, heute nicht mehr gebräuchliche Bezeichnung für den Skutterudit mit Co-Dominanz im Mischkristall lautet Smalтин, der für Nickelskutterudit Chloanthit.

KLEMM (1965) hat in seiner Arbeit 141 Mineralproben des Skutterudits analysiert. Diese stammten von verschiedenen Fundorten: Schneeberg, Bieber (Hessen), Bergen (Vogtland), Cobalt (Ontario), Bou Azzer (Marokko), Richelsdorf (Hessen). Ziel war die Ermittlung der Mischkristallfelder im Dreiecksdiagramm der natürlichen Eisen-Cobalt-Nickel-Skutterudite. Von den 142 Mineralproben stammten 35 aus Schneeberg. Allerdings verwendet KLEMM (1965) nur die relativen Metall-Arsenverhältnisse und gibt keine absoluten Werte an Cobalt, Nickel und Eisen an. Bei den Schneeberger Erzproben variierte der  $\text{FeAs}_x$ -Anteil zwischen 0 - 32 %. Diese waren durch höhere Anteile an  $\text{CoAs}_x$  (10 - 76 %) und  $\text{NiAs}_x$  (18,5 - 82 %) ausgeglichen. Bei allen Proben wurde ein variables Metall-Arsenverhältnis zwischen 1: 1,9 – 1: 3,3 bestimmt. Zentralen Aussagen seiner Analysen sind:

- Niedere Metall-Arsenverhältnisse (1: 1,9 – 2,3) finden sich beim Eisen-Skutterudit
- mittleren Metall-Arsenverhältnisse (1: 2,3 – 2,8) finden sich beim Cobalt-Skutterudit bzw. Cobalt-Nickel-Skutterudit
- höheren Metall-Arsenverhältnisse (1: 2,8 – 3,3) finden sich beim Nickelskutterudit

In einer Arbeit zur Genese des Skutterudits hat TÖLLE (1964) 23 verschiedene Skutterudit-Proben analysiert. Um ein natürliches Cobalt-Nickel-Eisen-Arsenid als Skutterudit bezeichnen zu können, müssen nach TÖLLE (1964) Cobalt und Nickel bis durchschnittlich 22 Atom-% vertreten, Eisen bis maximal 6 Atom-% eingebaut sein und ein bis ca. 8 Atom-% begrenztes Arsendefizit vorliegen. Dieses kann durch einen vorhandenen Kobaltüberschuss kompensiert werden. In den Untersuchungen zum Chemismus des Skutterudits konnte er auf 19 Skutterudit-Proben aus Schneeberg, drei Proben aus Niederschlema und einer Probe aus Skutterud zurückgreifen. In der Tab. 13 sind die Ergebnisse der chemischen Analysen der 19 Schneeberger Erzproben aufgelistet. Auf die Auflistung der Wismutgehalte wurde verzichtet, da in dieser Arbeit der Forschungsschwerpunkt auf die Nickel-, Eisen- und Kobaltgehalte des Skutterudits gerichtet ist.

Analyse Nr.	Ni	Fe	Co	As	S	Summe
1	10,30	2,25	7,51	76,49	1,86	98,91
2	12,68	1,54	8,15	75,45	-	99,09
3	12,22	5,03	10,05	72,40	1,60	101,65
4	13,07	1,93	10,29	70,80	-	98,16
5	5,77	2,77	12,60	68,32	-	93,28
6	17,73	1,82	4,56	73,41	2,28	99,80
7	12,44	1,87	5,45	70,82	-	93,16
8	14,05	1,38	4,08	74,20	-	93,77
9	12,16	1,95	12,06	71,32	-	100,83
10	6,50	2,71	16,47	68,84	-	95,03
11	7,52	2,58	12,22	70,06	-	93,22
12	8,54	2,44	11,02	70,31	-	95,40
13	12,84	1,51	9,24	69,60	-	93,81
14	8,06	2,24	14,08	67,27	-	95,53
15	10,82	2,53	8,06	74,64	-	98,02
16	12,49	2,77	7,89	71,04	-	94,86
17	10,02	1,98	11,73	70,92	-	96,01
18	10,85	3,54	7,59	70,40	2,44	98,00
19	11,15	3,47	8,58	71,22	-	95,43

Tab. 13: Zusammenstellung chemisch ermittelter Analysenwerte. Angabe in Masse-%, - nicht bestimmt (nach TÖLLE 1964)

Die Ergebnisse dieser Analysen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Nickelgehalte variieren zwischen > 5 – < 18 Masse- %
- Die Eisengehalte variieren zwischen > 1 – 5 Masse- %
- Die Kobaltgehalte variieren zwischen > 4 – < 17 Masse- %
- Die Arsengehalte variieren zwischen > 67 - < 77 Masse- %

Auf Basis der Einzelwerte lassen sich für die Schneeberger Erzproben die Co-Ni-Fe-Verhältnisse in Verbindung zu den Metall-Arsen-Verhältnissen setzen und in einem Dreiecksdiagramm darstellen (Abb. 8).

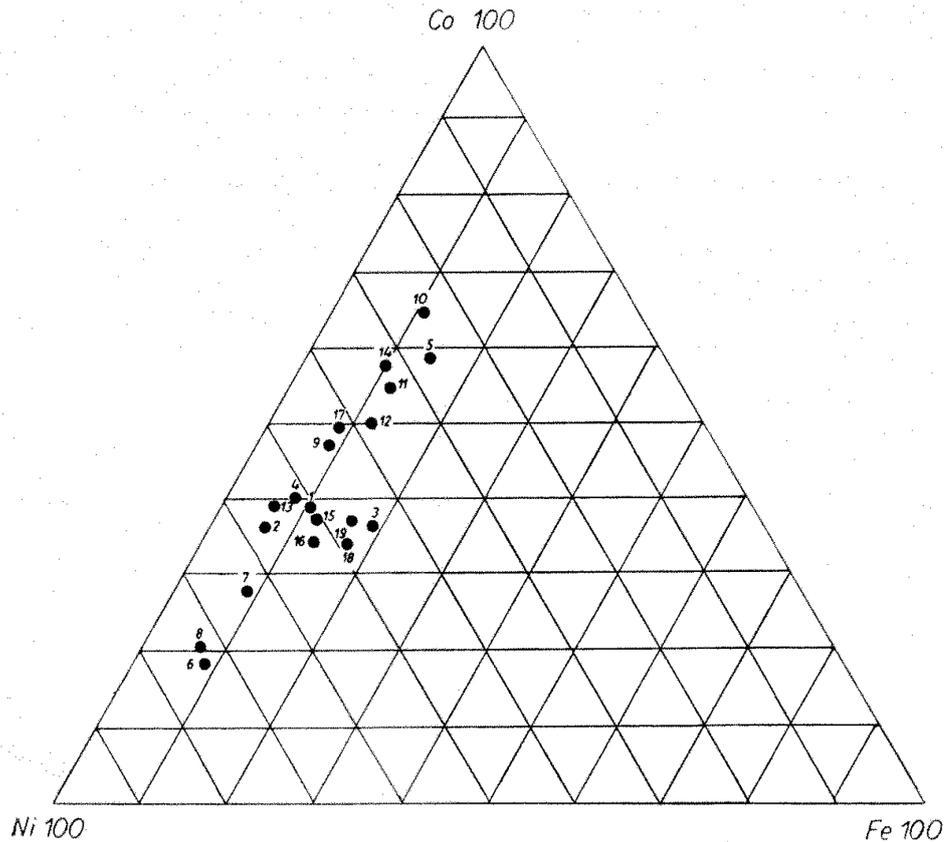


Abb. 8: Das Co-Ni-Fe-Verhältnis im Skutterudit für die 19 Schneeberger Erzproben (nach TÖLLE 1964)

Das Diagramm zeigt deutlich die vergleichsweise geringen Schwankungen beim Eisenanteil. Dem gegenüber steht eine hohe Spannweite der Nickel- und Kobaltanteile. Die Kobaltanteile der Erzproben variieren zwischen 18 % (Probe 6) und 65 % (Probe 10). Die Anteile am Nickel reichen von 24 % (Probe 10) bis 74 % (Probe 6).

Weiterhin ließ sich bei allen Schneeberger Proben ein Arsendefizit nachweisen. Tölle (1964) konnte einen kritischen Bereich von 8 Atom-% Arsendefizit bestimmen. Bei Überschreitung dieses kritischen Bereichs kommt es zur Zersetzung der Mischkristallglieder des Skutterudits unter Abgabe von Arsen in die chemisch stabileren Diarsenide Rammelsbergit ( $\text{NiAs}_2$ ) und Safflorit ( $\text{CoAs}_2$ ). Dabei bleiben die jeweiligen Anteile an Cobalt, Nickel und Eisen unberührt. Kobaltreicher Skutterudit zersetzt sich in Safflorit, nickelreicher Skutterudit in Rammelsbergit und Skutterudit mit gleichen mengenmäßigen Anteilen an Nickel und Cobalt in Rammelsbergit und Safflorit.

TÖLLE (1964) und KLEMM (1965) haben jedoch keine Angaben über die entsprechenden Einzelanteile an Nickel, Cobalt und Eisen genannt, um eine Klassifikation als Skutterudit oder Nickelskutterudit vorzunehmen.

RÖSLER & LANGE (1975) behandeln detailliert die Mineralchemie von Mineralen mit Mischkristallcharakter. Mittels eines Dreiecksdiagramms (Abb. 9) wird eine exakte Klassifikation der Erzproben auf Basis der einzelnen prozentualen Gewichtsanteile von Cobalt, Nickel und Eisen möglich. Demnach ist ein Erz mit einem Kobaltanteil von 75 – 95 % als Skutterudit ( $\text{CoAs}_3$ ) zu klassifizieren. Der Anteil an Eisen beträgt gleichzeitig  $\leq 25\%$  und der Nickelanteil  $< 8\%$ . Es handelt sich dann um ein sehr reines Kobalterz mit hohem Kobaltgehalt, bei gleichzeitig niedrigen Nickel- und Eisengehalten. Ein Skutterudit mit Co-Dominanz im Mischkristall ( $(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe})\text{As}_{3-x}$ ) liegt laut Abb. 9 bei einem Co-Anteil  $> 30\%$  vor. Der Ni-Anteil muss  $< 50\%$  und der Fe-Anteil  $< 39\%$  betragen. Beim Nickelskutterudit muss laut Abb. 9 der Ni-Anteil zwischen  $\geq 30\%$  und  $\leq 91\%$  liegen. Der Co-Anteil bleibt unter  $50\%$  und der Fe-Anteil ist  $\leq 39\%$ .

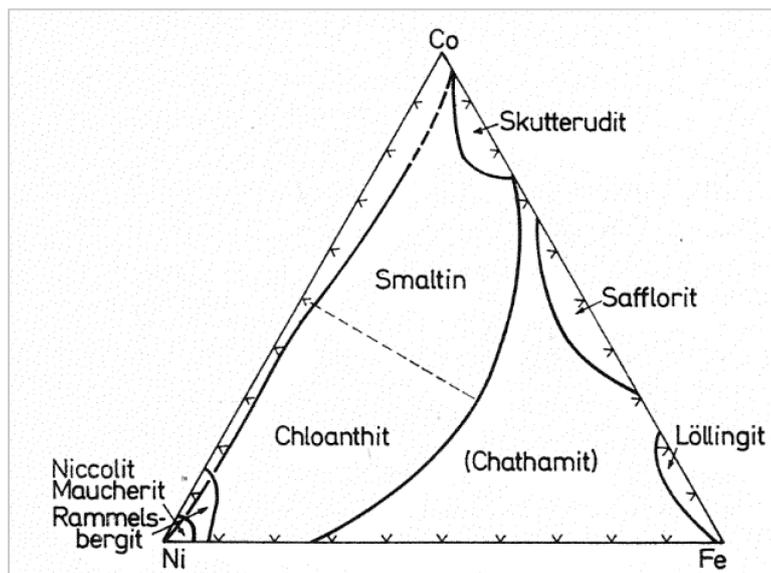


Abb. 9: Zusammensetzung von Kobalt-, Nickel- und Eisenarseniden im System Co - Fe - Ni. (Quelle: RÖSLER & LANGE 1975)

Bei den von TÖLLE (1964) analysierten Skutterudit-Proben handelt es sich nach RÖSLER & LANGE (1975) um zwölf Nickelskutterudite (Proben-Nr. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 13, 15, 16, 18 und 19) und bei sieben Proben (Proben-Nr. 5, 9, 10, 11, 12, 14 und 17) um Skutterudite mit Co-Dominanz im Mischkristall (Abb. 10). Die Probe 9 hat einen nur geringfügig höheren Ni-Anteil gegenüber Cobalt (Tab. 13) und befindet sich im Grenzbereich zwischen Nickelskutterudit und Skutterudit mit dominierendem Kobaltanteil. Es findet sich bei den Proben somit kein reiner Skutterudit wieder. Cobalt, Nickel und Eisen sind in unterschiedlicher Häufigkeit im Skutterudit vertreten, speziell bei Nickel und Cobalt zeigt sich eine hohe Variabilität. Es kommt somit selbst im Schneeberger Revier zu einer sehr großen Variationsbreite bei der chemischen Zusammensetzung der Skutterudite.

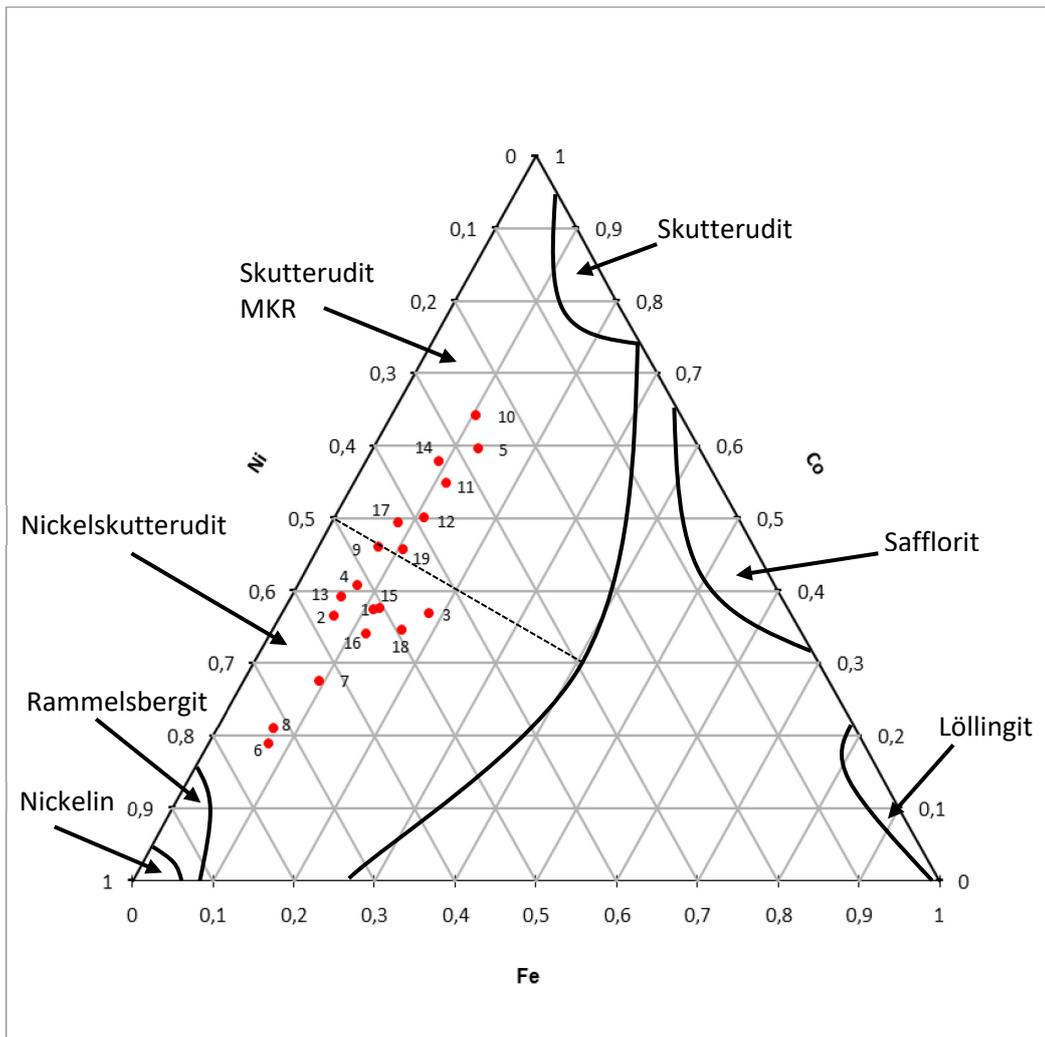


Abb. 10: Skutterudit-Proben von TÖLLE (1964) im Dreiecksdiagramm von RÖSLER & LANGE (1975) (Darstellung nach TÖLLE 1964 und RÖSLER & LANGE 1975)

## 7.2 LABORUNTERSUCHUNGEN DER PROBEN DES MMG

### 7.2.1 Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie

Mittels XRD-Analyse wurden die Mineralparagenesen der ausgewählten Sammlungsproben bestimmt.

<b>Nr.</b>	<b>Fundort</b>	<b>Sammlungs-Nr.</b>	<b>Bezeichnung in der Sammlung</b>	<b>Ergebnis</b>
1	Schneeberg	Min 3795 Sa	Skutterudit	PDF 00-052-0775 NiAs <sub>2</sub> Rammelsbergite, syn PDF 00-047-1737 NiAs Nickeline PDF 00-025-0566 (Ni,Co,Fe)As <sub>3-x</sub> Nickelskutterudite
2	Schneeberg	Min 3803 Sa	Skutterudit	PDF 00-010-0497 (Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite
3	Schneeberg	Min 3805 Sa	Skutterudit	PDF 00-010-0328 CoAs <sub>3</sub> Skutterudite, syn PDF 01-078-5989 CoAs <sub>2</sub> Clinosafflorite, syn
4	Schneeberg	Min 3809 Sa	Skutterudit	PDF 00-010-0497 (Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite
5	Schneeberg	Min 3812 Sa	Skutterudit	PDF 00-010-0497 (Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite PDF 00-023-0088 (Co, Fe)As <sub>2</sub> Safflorite
6	Johann-georgen-stadt	Min 12555 Sa	Skutterudit mit Pyrrargyrit	PDF 00-010-0497 (Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite PDF 01-079-1910 SiO <sub>2</sub> , Quartz, syn PDF 01-086-2335 (Mg <sub>0.064</sub> Ca <sub>0.936</sub> ) (CO <sub>3</sub> ) Calcite, magnesian PDF 00-014-0072 Ag <sub>2</sub> S Acanthite, syn
7	Johann-georgen-stadt	Min 17997 Sa	Safflorit mit Rammelsbergit	PDF 00-010-0328 CoAs <sub>3</sub> Skutterudite, syn PDF 01-080-1303 CoAsS Cobaltite PDF 00-011-0140 CoFeAs <sub>4</sub> Safflorite, syn PDF 01-076-1716 As <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Arsenolite, syn
8	Marienberg	Min 3390 Sa	Skutterudit	PDF 00-025-0566 (Ni,Co,Fe)As <sub>3-x</sub> Nickelskutterudite PDF 01-076-1716 As <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Arsenolite, syn PDF 01-079-1910 SiO <sub>2</sub> , Quartz, syn
9	Marienberg	Min 3421 Sa	Nickelskutterudit	PDF 00-010-0497 (Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite
10	Marienberg	Min 3422 Sa	Nickelskutterudit	PDF 00-025-0566 (Ni,Co,Fe)As <sub>3-x</sub> Nickelskutterudite PDF 00-005-0632 As Arsenic, syn PDF 01-076-1716 As <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Arsenolite, syn
11	Annaberg	Min 3236 Sa	Nickelskutterudit	PDF 01-089-2098 NiAs <sub>2</sub> Rammelsbergite, syn PDF 01-076-1716 As <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Arsenolite, syn PDF 00-035-0816 CaF <sub>2</sub> Fluorite, syn

Tab. 14: Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie

An den Erzmineralen konnten durch die Analytik Abweichungen zu den Bezeichnungen in der Sammlung festgestellt werden, welche aus Tab. 14 hervorgehen. Bei den untersuchten Erzmineralen handelte es sich neben Skutterudit auch um Nickelskutterudit, Nickelin, Clinosafflorit, Safflorit, Rammelsbergit und Cobaltit. Ursache für die Abweichungen ist, dass mit rein visuellen Mitteln keine exakte Ansprache, ob es sich um Skutterudit oder Nickelskutterudit oder ein anderes Cobalt-Nickel-Arsenid handelt, getroffen werden kann.

## 7.2.2 Ergebnisse der REM-EDX-Untersuchungen

*Probe Min 3803 Sa, Skutterudit, Schneeberg*

Abb. 11: Skutterudit. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3803 Sa, SNSD, MMG. Abmessungen: 75x35 mm.

Das Erz ist aus silbrig glänzenden Kristallen, von 2 – 3 mm Größe, zusammengesetzt. Diese sind mit Quarz verwachsen. Im Gegensatz zu den anderen Sammlungsproben verfügen die Kristalle nicht über einen Zonarbau. In der Paragenese ist zusätzlich Quarz und Calcit (Kalkspat) ausgebildet, erkennbar an der milchig-weißen Färbung. Es finden sich auch Anzeichen von etwas Nickelin mit bräunlichen und tombakfarbenen Spuren. Die Kristalle sind rissig, die Bruchfläche ist unverwittert. Bei beiden Punktmessungen (siehe Anhang, 14.17) dominierte der Ni-Anteil (Tab. 15).

Messpunkt	REM-Bildnummer	Metallgehalte in Gew.-%			Mineral (nach RÖSLER & LANGE, 1975)
		Kobalt	Nickel	Eisen	
1	210	24,9	47,7	27,4	Nickelskutterudit
2	211	28,4	49,1	22,5	Nickelskutterudit

Tab. 15: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3803 Sa

Die Ni-Anteile am Metallgehalt liegen bei beiden Messpunkten knapp unter 50 %. Damit handelt es sich nach RÖSLER & LANGE (1975) chemisch bei beiden Messpunkten um einen Nickelskutterudit. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Beprobungen anderer Stellen abweichende Ergebnisse liefern könnte.

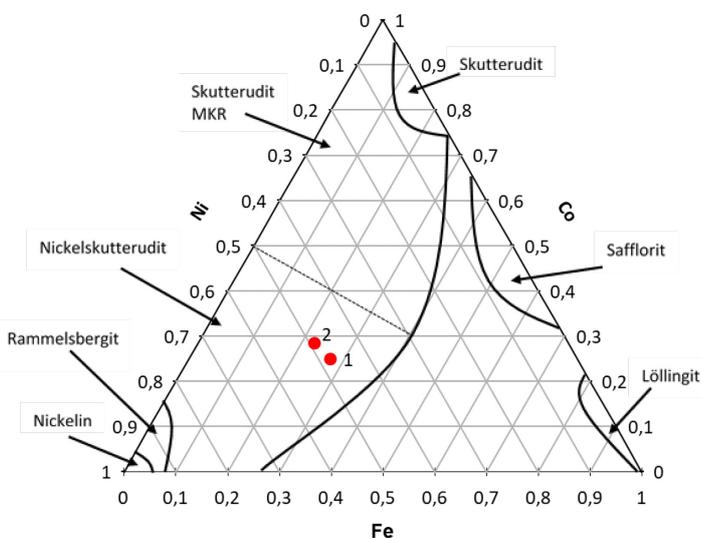


Abb. 12: Probe Min 3803 Sa, Messpunkte 1 / 2 im Dreiecksdiagramm (Darstellung nach RÖSLER & LANGE (1975))

## Probe Min 3809 Sa, Skutterudit, Schneeberg



Abb. 13: Skutterudit auf Quarz.  
Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme.  
Inv.-Nr. Min 3809 Sa, SNSD, MMG. Maße  
des Stückes: 130x90 mm.

Diese Sammlungsprobe lässt sich durch seine massiven Skutterudit-Kristalle auf Quarz, mit einer Kristallgröße bis zu 1 cm, und dem zonaren Aufbau charakterisieren. Auffällig sind kleine Risse auf den Skutteruditkristallen.

Die drei Punktmessungen (siehe Anhang, 14.18) an den Stellen des Probenmaterials ergaben einen deutlich höheren Nickelgehalt im Vergleich zum Kobalt- und Eisengehalt, zusammengefasst in der Tab. 16.

Messpunkt	REM-Bildnummer	Metallgehalte in Gew.-%			Mineral (nach RÖSLER & LANGE, 1975)
		Kobalt	Nickel	Eisen	
1	203	23,7	60,0	16,3	Nickelskutterudit
2	204	30,3	57,3	12,4	Nickelskutterudit
3	205	24,2	56,9	18,9	Nickelskutterudit

Tab. 16: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3809 Sa

An den drei Messpunkten dominiert der Nickelgehalt zwischen  $> 56\%$  und  $< 60\%$ . Der Kobaltgehalt schwankt zwischen  $> 23\%$  und  $30\%$ . Der Eisengehalt variiert zwischen  $13\%$  und  $< 20\%$ . Auf Basis der Analyseergebnisse der drei Messpunkte liegt nach Klassifikation nach RÖSLER & LANGE (1975) ein Nickelskutterudit ( $(\text{Ni},\text{Co},\text{Fe})\text{As}_{3-x}$ ) vor.

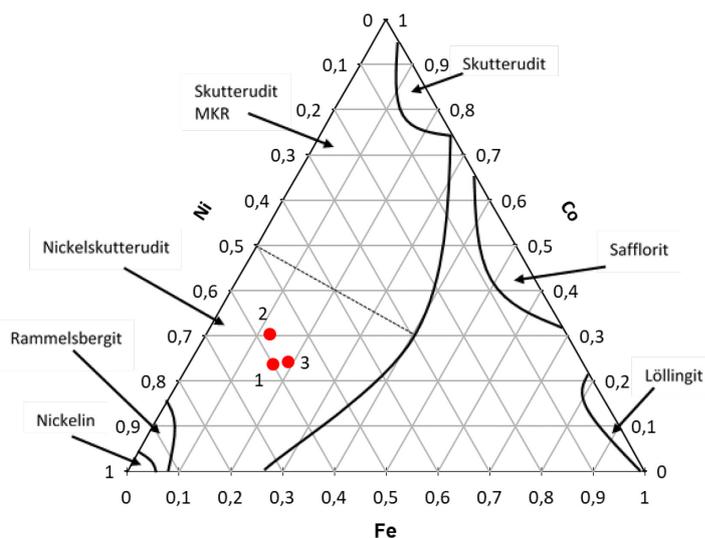


Abb. 14: Probe Min 3809 Sa, Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm (Darstellung nach RÖSLER & LANGE (1975))

## Probe Min 3812 Sa, Skutterudit, Schneeberg



Abb. 15: Skutterudit mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3812 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 100x60 mm.

Sämtliche Kristalle sind auf Quarz ausgebildet. Die Kristallaggregate sind klein und im Millimeterbereich (1 – 2 mm) ausgebildet. Die Kristalle sind nicht rissig.

Die drei Punktmessungen (siehe Anhang, 14.19) an verschiedenen Stellen der Probe ergaben niedrigere Ni-Gehalte als bei Probe 1. Aus den Ergebnissen in Tab. 17 geht hervor, dass die Ni- und Co-Gehalte relativ ausgeglichen sind. Am Messpunkt 1 überwiegt der Ni-Anteil, an den Messpunkten 2 und 3 der Co-Anteil.

Messpunkt	REM-Bildnummer	Metallgehalte in Gew.-%			Mineral (nach RÖSLER & LANGE, 1975)
		Kobalt	Nickel	Eisen	
1	207	33,8	38,5	27,7	Nickelskutterudit
2	208	38,6	32,2	29,2	Skutterudit MKR
3	209	38,6	33,6	27,8	Skutterudit MKR

Tab. 17: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3812 Sa, MKR = Mischkristallreihe

An allen drei Messpunkten wurden geringe Spuren Schwefel (< 1 Gewicht-%) nachgewiesen. Nach RÖSLER & LANGE (1975) finden sich alle drei Messpunkte im Grenzbereich von Skutterudit mit Mischkristallreihe  $(\text{Co,Fe,Ni})\text{As}_{2-3}$  und Nickelskutterudit  $(\text{Ni,Co,Fe})\text{As}_{3-x}$  wieder. Messpunkt 1 entspricht chemisch dem eines Nickelskutterudits, die Messpunkte 2 und 3 entsprechen denen eines Skutterudits mit Mischkristallreihe. Der Materialkontrast der analysierten Stellen geht aus den BSE-Bildern (Anlage 14.21) hervor und verdeutlicht den chemischen Kontrast. Eine endgültige Aussage, ob das Erz als Ganzes als Skutterudit mit Mischkristallreihe oder als Nickelskutterudit zu klassifizieren ist, ist jedoch nicht möglich.

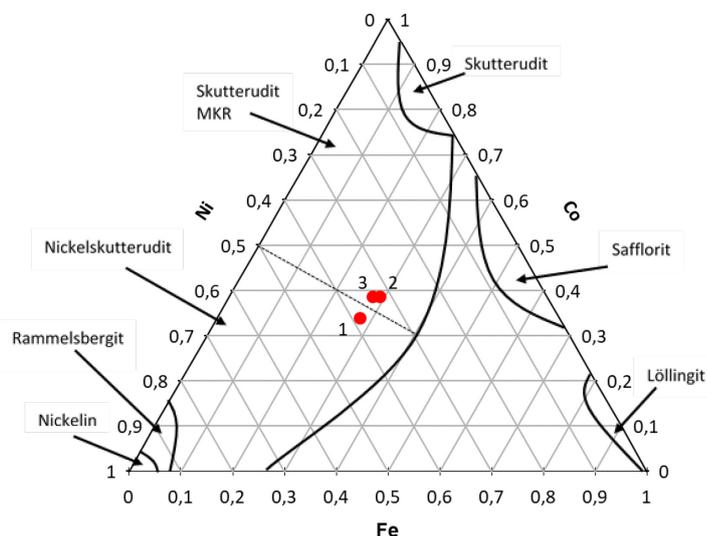


Abb. 16: Probe Min 3812 Sa, Klassifikation der Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm (Darstellung nach RÖSLER & LANGE (1975))

## Probe Min 3421 Sa, Nickelskutterudit, Marienberg



Abb. 17: Nickelskutterudit, Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3421 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 1 cm.

Das Erz zeigt größere, bis 7 mm starke, silbrig glänzende Kristalle. Diese sind zonar aufgebaut. An einer Kante der Sammlungsprobe war ein markanter Riss ausgebildet. An dieser Stelle erfolgte die Probenahme. Dabei wurden kleinere Probenkrümel zur Probe hinzugeschüttet.

Durch die Analyse der drei Punktmessungen

(siehe Anhang, 14.20) an verschiedenen Stellen des Probenmaterials wurde neben den Bestandteilen an Arsen, Nickel, Cobalt, Eisen und Schwefel, zusätzlich am Messpunkt 1 Calcium als elementarer Bestandteil nachgewiesen. Die Metallgehalte variieren entsprechend der Angaben in Tab. 18:

Messpunkt	REM-Bildnummer	Metallgehalte in Gew.-%			Mineral (nach RÖSLER & LANGE, 1975)
		Kobalt	Nickel	Eisen	
1	213	26,7	66,1	7,2	Nickelskutterudit
2	214	34,2	34,2	31,7	Nickelskutterudit
3	215	30,6	53,7	15,7	Nickelskutterudit

Tab. 18: Analyse und Auswertung der Punktmessungen an Sammlungsprobe Min 3421 Sa

Die Ni- und Fe-Anteile variieren sehr stark an allen drei Messpunkten. Der Co-Anteil ist dagegen an allen drei Messpunkten vergleichsweise konstant. Die Auswertung der Metallgehalte an den Messpunkten ergibt nach RÖSLER & LANGE (1975) Nickelskutterudit. Die mineralogische Zusammensetzung am Messpunkt 2 findet sich nach RÖSLER & LANGE (1975) nahezu exakt im Grenzbereich zwischen Nickelskutterudit und Skutterudit mit Mischkristallreihe.

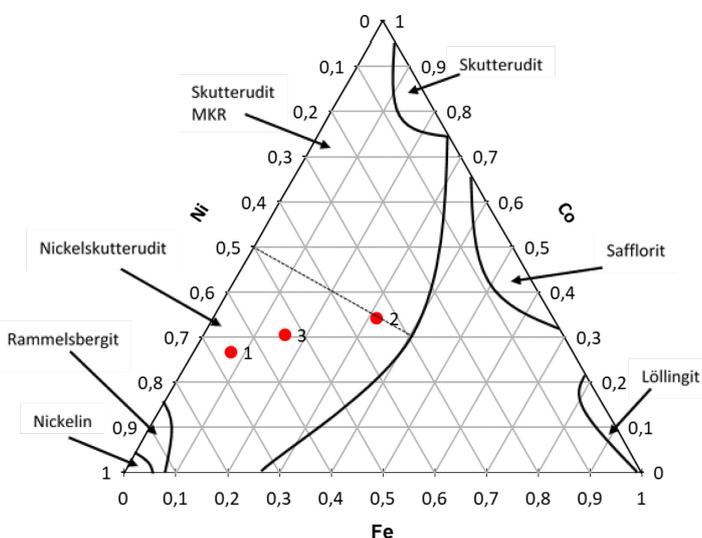


Abb. 18: Probe Min 3421 Sa, Messpunkte 1 / 2 / 3 im Dreiecksdiagramm (Darstellung nach RÖSLER & LANGE 1975)

### 7.3 ZUSAMMENFASSUNG

Vier ausgewählte Sammlungsproben wurden sowohl mit XRD als auch REM-EDX beprobt. Es zeigten sich dabei abweichende Ergebnisse, die in der Tab. 19 gegenübergestellt sind:

Sammlungs-Nr.	XRD Probe Nr.	Bezeichnung XRD (nach PDF)	REM-EDX Probe Nr.	Bezeichnung REM-EDX (nach RÖSLER & LANGE 1975)
Min 3803 Sa	2	(Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite	1	Nickelskutterudite
Min 3809 Sa	4	(Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite	2	Nickelskutterudite
Min 3812 Sa	5	(Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite (Co, Fe)As <sub>2</sub> Safflorite	3	Skutterudite mit Mischkristallreihe
Min 3421 Sa	9	(Co,Ni,Fe)As <sub>3-x</sub> Skutterudite	4	Nickelskutterudite

Tab. 19: Gegenüberstellung der Ergebnisse XRD und REM-EDX

Die Abweichungen kommen dadurch zustande, dass XRD eine reine Bestimmung der Kristallstruktur ermöglicht, aber keine chemische Bestimmung zulässt. Ein Rückschluss auf den Chemismus der Erzproben ist damit nicht möglich. Darüber hinaus wurden mit der Methode REM-EDX nur wenige Punktmessungen an ausgewählten Stellen der Erzproben (vgl. Tab. 12) durchgeführt. Diese sind quantitativ nicht ausreichend, um die Ergebnisse als repräsentativ zu bezeichnen. In den Ergebnissen der REM-EDX-Untersuchungen kommt es bei den Punktmessungen zu teils stark schwankenden Metallgehalten (vgl. Abschnitt 7.2.2). Nur in Kombination mit XRD und zahlreichen REM-EDX-Untersuchungen kann die exakte Mineralart ermittelt werden, was einen beträchtlichen Aufwand bedeutet. Für exaktere REM-EDX-Analysen müssten umfangreichere Analysen mit aufwändigerer Probenaufbereitung, Anschliff und eine Bedampfung der Erzproben (z.B. mit Kohlenstoff) durchgeführt werden. Diese aufwändigen Untersuchungen waren jedoch nicht das Ziel dieser Arbeit. Zusätzlich könnten noch erzmikroskopische Untersuchungen durchgeführt werden (RAMDOHR 1975).

Die von TÖLLE (1964) und KLEMM (1965) für ihre Analysen verwendeten Schneeberger Skutterudite-Erzproben zeigten eine große Streuung des Skutterudite-mischkristallbereichs. Konkret wurde eine große Variabilität bei den Anteilen an Cobalt und Nickel festgestellt, während sich bei den Eisenanteilen eine geringere Streuung zeigt. Diese Variabilität der Cobalt- und Nickelgehalte wurde auch bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten REM-EDX-Analysen an den jeweiligen Erzproben der vier Sammlungsobjekte festgestellt. Bei den im Erzgebirge gewonnenen Kobalterzen handelt es sich demnach um Mischerze mit sehr unterschiedlichen Metallgehalten. Eine rein makroskopische Unterscheidung und Klassifikation dieser Skutterudite-Erze ist nicht möglich. Im Bergbau wurden die einzelnen Anteile der Metalle erst während des Verhüttungsprozesses offenkundig. Als Zeigermineral für das Vorkommen von Kobalterzen diente den Bergleuten Kobaltblüte (Erythrin).

## 8 KOBALTBERGBAU IM WESTERZGEBIRGE

### 8.1 SCHNEEBERG

#### 8.1.1 Beschreibung des Reviers

Das Schneeberger Revier grenzt im Nordosten an *Oberschlema*, im Südosten an *Zschorlau*, im Südwesten an den *Filzteich* und im Nordwesten an *Lindenau* (Abb. 19). Die flächenmäßige Ausdehnung beträgt ca. 20 km<sup>2</sup>. Der Zentralbereich des Schneeberger Reviers erstreckt sich im Nordosten von der Fundgrube *Weißer Hirsch* bis in den Südwesten an den Filzteich mit der Fundgrube *Adam Heber*. Dieser Bereich umfasst überwiegend phyllitische Gesteine, innerhalb derer sich nach BAUMANN et al. (2000) das Maximum der Erzgänge mit den Paragenesen der BiCoNiAg(U)-Formation konzentriert. Die Randbereiche des Reviers beinhalten vorwiegend Paragenesen anderer Formationen. Die Mächtigkeit der Gänge beträgt im Schnitt 40 cm, im Bereich von Gangscharungen auch bis zu 150 cm (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990). Es sind nach WAGENBRETH (2006) über 150 Erzgänge im Revier bekannt (Morgengänge NE, Spatgänge WNW - ESE, NW, Flache Gänge NNW und vereinzelt Stehende Gänge N-NE).

Die meisten Gruben, in denen Kobalterze abgebaut wurden, befinden sich im Gebiet zwischen Lindenau, Neustädtel und Filzteich (Abb. 19). Dieses Gebiet lässt sich anhand des Reliefs einteilen in Vordergebirge, Mittelgebirge, Hohes Gebirge und Hintergebirge (FREIESLEBEN 1843, WAGENBRETH 2006). Im Hintergebirge befinden sich die südlichsten Kobaltgruben des Reviers: *Wolfgang Maßen* und *Fdgr. Peter und Paul*. Eine der östlichsten Gruben mit Kobaltabbau ist *Gottesschickung* bei Zschorlau. Eine der nördlichsten ist die *Fdgr. Greif*. In Neustädtel befinden sich u.a. die Gruben *Bergkappe* und *Catharina Neufang*. Im Stadtzentrum Schneebergs befinden sich die ältesten Gruben des Reviers, u.a. die Grube *Eiserner Landgraf*. Die horizontale Erstreckung der Erzgänge beträgt dabei bis zu 3 km (WAGENBRETH 2006).

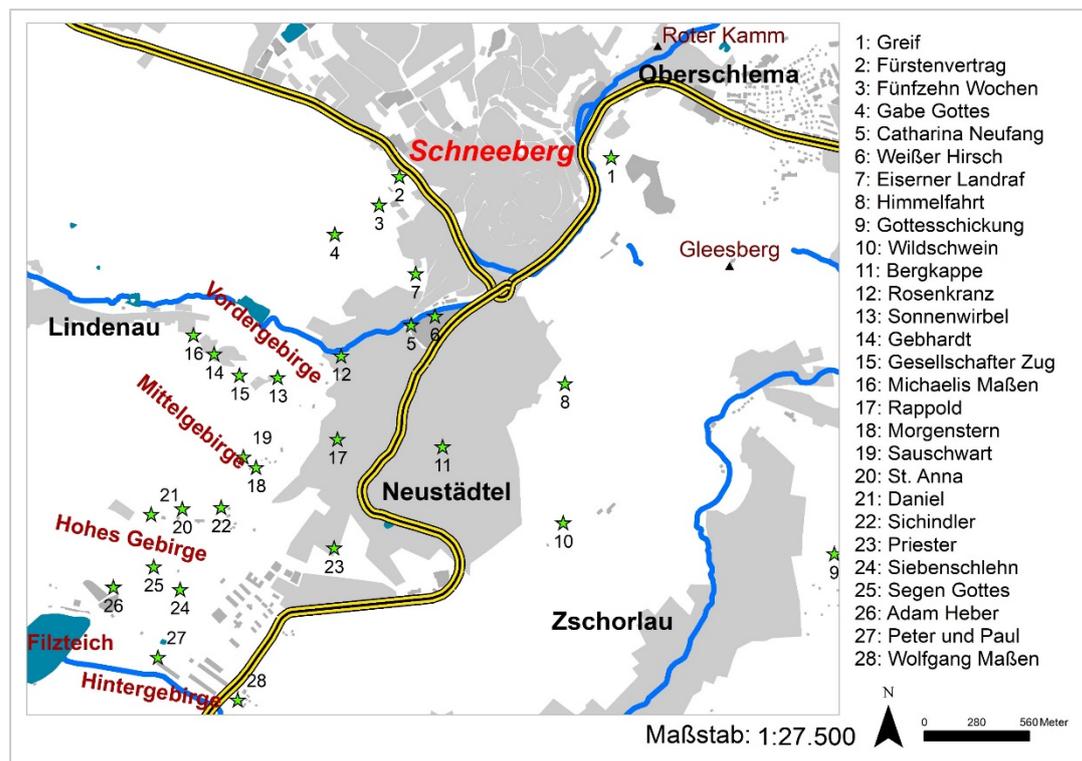


Abb. 19: Revier Schneeberg (Eigene Darstellung)

## 8.1.2 Ergebnisse der Recherche zur Kobalterzförderung

### 8.1.2.1 Ergebnisse für die erste Bergbauperiode

Für das 17. Jhd. sind Angaben zur jährlichen Kobaltförderung in Schneeberg von MELTZER (1684) für den Zeitraum von 1620 – 1682 überliefert und zusammenfassend in Tab. 40, S. 121, angegeben. Die Zeitreihe kann nicht zusammenhängend analysiert werden, da die Fördermengen bis 1641 im Hohlraummaß Kübel angegeben sind. Die Werte von 1642 – 1682 sind im Gewichtsmaß Zentner angeführt. Dadurch ist keine wissenschaftlich exakte Umrechnung realisierbar. Die Entwicklung der Kobaltförderung zwischen 1620 – 1641 ist auf Basis der Tab. 40, S. 121 in Abb. 20 dargestellt.

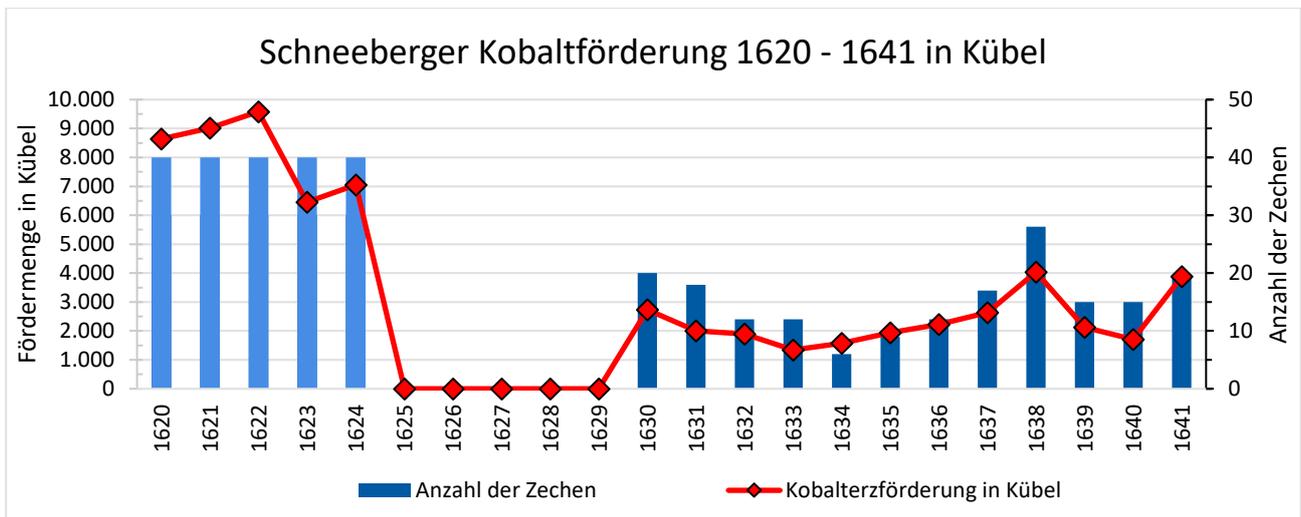


Abb. 20: Entwicklung der Kobaltförderung zwischen 1620 - 1641 mit Anzahl der Zechen. (nach MELTZER 1684)

Zwischen 1620 – 1641 wurden nach MELTZER (1684) 68.860 Kübel Kobalterze gefördert. Zu Beginn des Zeitraums wird die Anzahl der Zechen auf 30 bis 40 beziffert. Um 1625 erlag der Kobaltbergbau infolge des Dreißigjährigen Krieges. Nachdem 1630 der Bergbau wieder aufgenommen wurde, sind fortan geringere Mengen Kobalterze aus einer geringeren Anzahl Zechen (6 – 28) gefördert wurden.

Zwischen 1642 – 1682 wurden in Schneeberg 137.755 Zentner Kobalterze gefördert. Dies entspricht einer Fördermenge von ca. 7.080,6 t. Der Verlauf der Kobaltförderung geht aus Abb. 21 hervor.

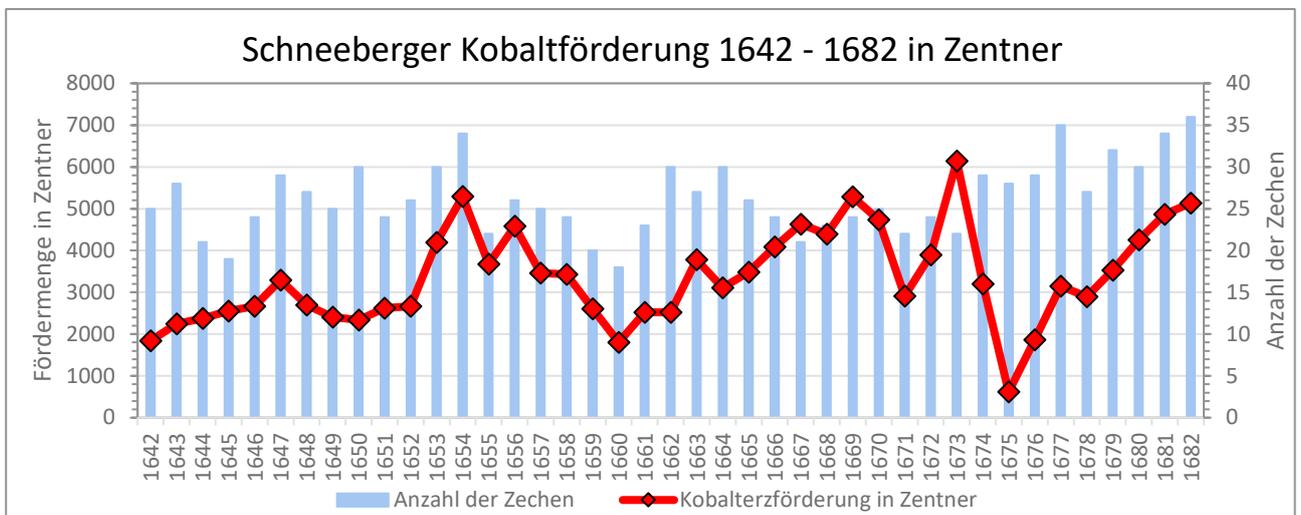


Abb. 21: Entwicklung der Kobaltförderung zwischen 1642 – 1682 mit dazugehörigen Zechen (nach MELTZER 1684)

Sowohl die Menge der geförderten Kobalterze, als auch die Anzahl der zugehörigen Zechen unterlagen im gesamten Zeitraum einer großen Variabilität. Im Mittel wurden pro Jahr 3.359,9 Zentner Kobalterze gewonnen. Der Trend zeigt einen Anstieg der Fördermengen während des Zeitraums. Dabei sind jedoch starke Schwankungen, sowohl bei den Fördermengen als auch bei der Anzahl der Zechen, festzustellen. Das Maximum der Förderung liegt im Jahr 1673 (6.141 Zentner), das Minimum (616 Zentner) nur zwei Jahre später im Jahr 1675.

Für das 18. Jhd. liegen weder in wissenschaftlicher Fachliteratur, noch am Bergarchiv Freiberg zusammenfassende Angaben zur Kobaltförderung im Schneeberger Revier vor.

### 8.1.2.2 Ergebnisse für die zweite Bergbauperiode

Zwischen 1825 – 1854 wurden im Schneeberger Revier ca. 146.008,75 Zentner und 172 Pfund Kobalterz (ca. 7.505 t) ausgebracht (KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN 1827 – 1858). Die Entwicklung der Kobaltförderung geht aus Abb. 22 hervor.

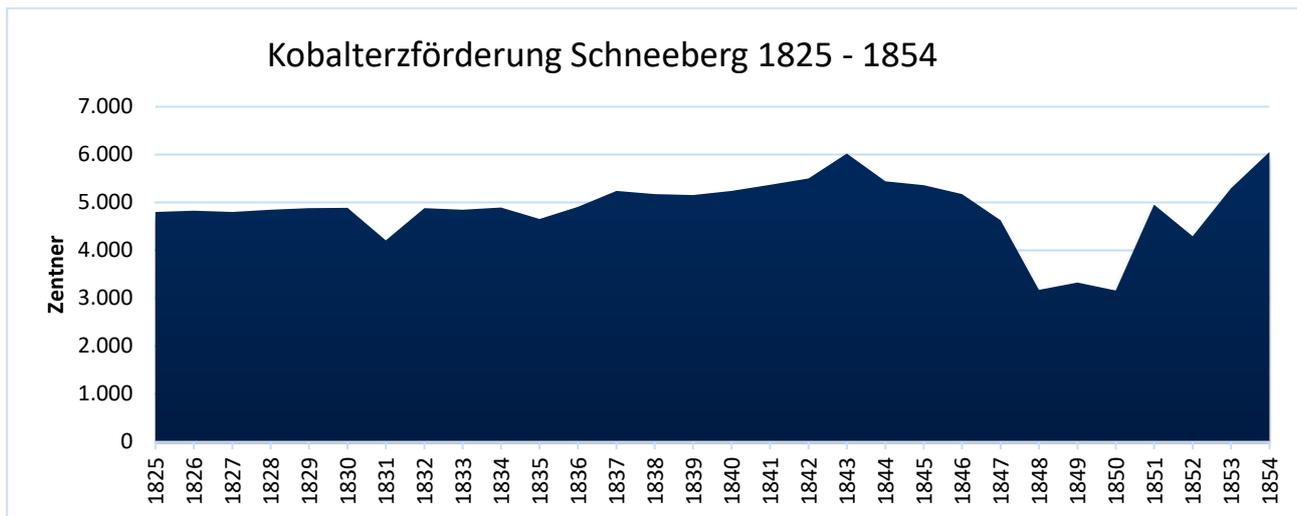


Abb. 22: Jahresfördersummen an Kobalterzen (in Zentner) in Schneeberg (nach KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN HÜTTEN- UND BERGMANN 1827 - 1852)

Nach 1825 blieb die Menge der ausgebrachten Kobalterze 20 Jahre lang auf konstantem Niveau über 4.000 Zentner pro Jahr, bis nach 1845 ein deutlicher Einbruch der Förderung auf ein Niveau von ca. 3.000 Zentner pro Jahr zu verzeichnen war.

Für die zweite Hälfte des 19. Jhd. liefert ein Erzlieferungsextrakt (O.A.,O.J.a) detaillierte Angaben zur Kobaltausbringung aller Gruben im Schneeberger Revier. Bis 1883 wurden darin die Fördermengen in (Zoll-) Zentner angegeben. Ab 1884 wurde als Maßeinheit Kilogramm und ab 1887 Tonnen angewandt. Bis einschließlich 1882 wurden die geförderten Kobalterze separat registriert (Abb. 23), in der Folgezeit wurden die Bi-Co-Ni-Erze zusammengefasst.

Im Zeitraum von 1857 – 1882 ist eine Fördermenge in Höhe von 69.881,9 Zentner Kobalterz (ca. 3.494,1 t) registriert. Abb. 23 stellt die Entwicklung der Kobalterzförderung im ausgehenden 19. Jhd. dar.

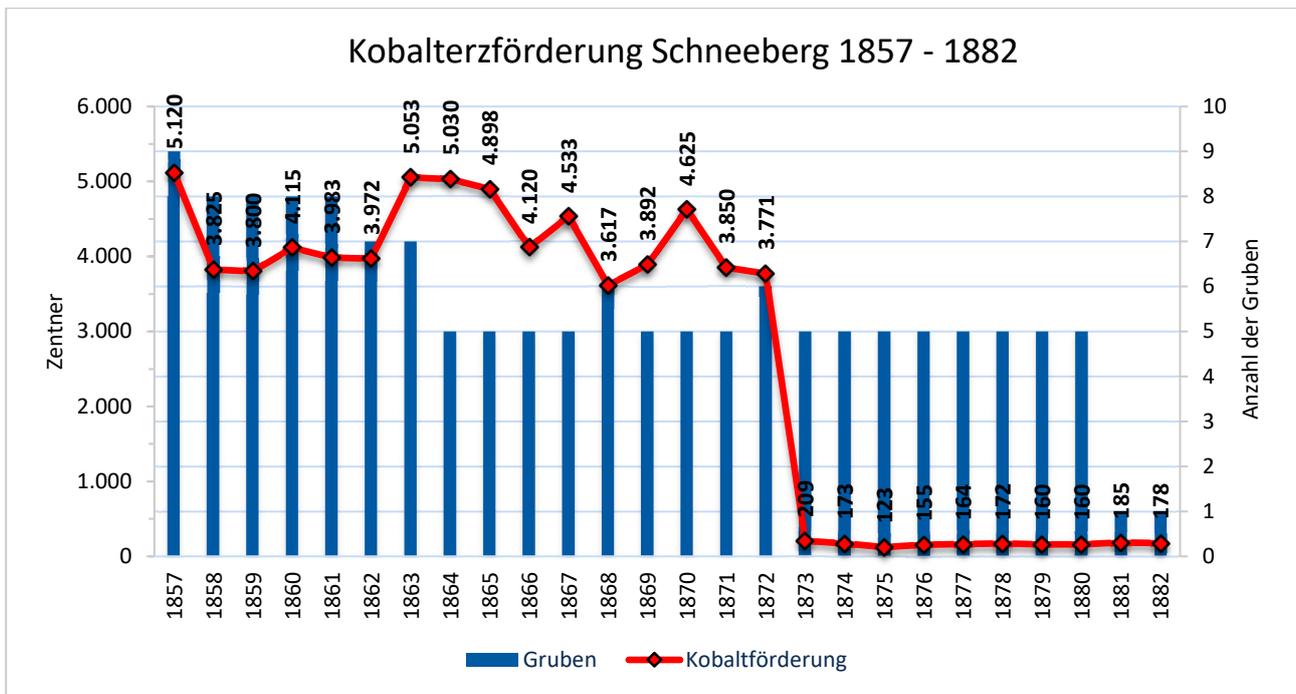


Abb. 23: Entwicklung der Kobalterzförderung in Schneeberg (Darstellung nach o.A.o.J.a)

Nach 1872 sind die Fördermengen an Kobalterzen markant zurückgegangen. Wurden bis 1872 jedes Jahr über 3.500 Zentner gefördert, so waren es 1873 nur noch ca. 208 t. Die Anzahl der Kobaltgruben war infolge von Konsolidationen rückläufig. Ab 1883 fasste man die Förderung von Kobalt-, Nickel- und Wismuterzen zusammen. Es liegen ab 1883 somit keine exakten Angaben über die geförderten Mengen an Kobalterzen im Schneeberger Kobaltfeld vor. Die Entwicklung des Schneeberger Kobaltfeldes geht aus Tab. 20 hervor.

Jahr	Fördermengen an Kobalt-, Nickel und Wismuterzen				Bergarbeiter	Tagelöhner	Beamte	Beschäftigte Insgesamt
	Centner	Pfund	Kilogramm	Tonnen				
1883	913	11	45655,5	45,66	961	28	0	989
1884	-	-	46682,45	46,68	949	31	0	980
1885	-	-	42825,25	42,83	891	39	0	930
1886	-	-	40678,5	40,68	881	17	0	898
1887	-	-	-	45,84	820	5	71	896
1888	-	-	-	49,74	836	4	76	916
1889	-	-	-	40,63	836	5	75	916
1890	-	-	-	266,25	815	8	74	897
1891	-	-	-	266,39	867	1	75	943
1892	k.A.				k.A.			
1893	-	-	-	292,09	800	2	53	855
1894	k.A.				k.A.			
1895	k.A.				k.A.			
1896	k.A.				k.A.			
1897	-	-	-	372,75	647	0	47	694

Tab. 20: Fördermengen an Co-, Ni- und Bi-Erzen Schneeberger Kobaltfeld 1883-1897 (nach o.A. o.J.a)

Zwischen 1883 – 1889 variierten die jährlichen Fördermengen an Kobalt-, Nickel- und Wismuterzen zwischen 40 und 50 t. Im Jahr 1890 stieg die Fördermenge an Erzen sprunghaft auf ca. 266 t an. Bis 1897 erhöhten sich die Fördermengen auf ca. 372,75 t Erze. Den Aufzeichnungen kann jedoch nicht entnommen werden, wie sich die Fördermengen auf die einzelnen Erze verteilen. Demzufolge können keine Rückschlüsse auf die Förderung von Kobalterzen gegeben werden. Den Angaben ist darüber hinaus zu entnehmen, dass die Anzahl der im Bergbau Beschäftigten im Schneeberger Kobaltfeld bis 1897 um ca. 30 % von 989 Beschäftigten auf 694 Beschäftigte sank.

### 8.1.3 Kobaltförderung einzelner Gruben

Die bedeutendsten und ertragreichsten Fundgruben während des 17. Jhd. waren nach MELTZER (1684) die Fundgruben *Catharina Neufang*, *Schindler und Fleischer*, *Daniel*, *Sauschwart* und *Gesellschafter Zug* (Tab. 21). Bei diesen betrug die Fördermenge im Untersuchungszeitraum 1642 – 1682 über 10.000 Zentner. Aus 14 weiteren Gruben wurden > 1.000 Zentner Kobalterze gefördert. 49 weitere Gruben wiesen Fördermengen von > 100 Zentner Kobalterzen auf. 65 Gruben förderten > 0 und < 100 Zentner Kobalterz. Dabei hat MELTZER (1684) bei Fördermengen unter < 20 Zentner keine exakten Werte angegeben, sondern nur Intervalle genannt.

Name der Fundgrube	Fördermenge 1642 – 1682 Zentner	Anteil an Gesamtfördermenge 1642 - 1682	Förderzeitraum
Catharina Neufang	25.760	18,9 %	1642 – 1682
Schindler und Fleischer	17.152	12,6 %	1642 – 1682
Daniel	12.481	9,1 %	1643 – 1682
Sauschwart	11.494	8,4 %	1649 – 1676
Gesellschafter Zug	11.118	8,1 %	1642 – 1682
Morgen- und Abendstern	6.276	4,6 %	1643 – 1676
Siebenschlehn	5.038	3,7 %	1642 – 1682
Adam Hebers Zug	4.061	3,0 %	1654 – 1682
St. Anna	3.276	2,4 %	1643 – 1682
Sonnenwirbel	2.502	1,8 %	1642 – 1682
St. Bernhard	2.421	1,8 %	1643 – 1682
Quergeschick	2.312	1,7 %	1642 – 1682
St. Wolfgang im Schafstall	2.185	1,6 %	1642 – 1660
Mohren	2.154	1,6 %	1642 – 1682
Weißhäuptel	1.524	1,1 %	1642 – 1673
Glück	1.360	1,0 %	1644 – 1680
Neuen Schacht	1.352	1,0 %	1659 – 1666
Heiliges Kreuz und Rappolt	1.160	0,8 %	1642 – 1682
Todengrub	1.117	0,8 %	1644 – 1653
<b>Fördersumme:</b>	<b>114.743</b>	<b>84 %</b>	

Tab. 21: Schneeberger Gruben mit einer Fördermenge > 1.000 Zentner zwischen 1642 - 1682

Aus diesen 19 Gruben wurden zwischen 1642 – 1682 insgesamt 114.743 Zentner ( $\cong$  5,9 t) Kobalterze gefördert. Deren Anteil an der Gesamtfördermenge aller 133 Gruben (137.755 Zentner Kobalterze) liegt damit bei ca. 84 %.

Zwischen Neustädtel und dem Filzteich, im Bereich Hohes Gebirge, liegt die ehemalige Fundgrube *Sieben Schlehen*. Die Ersterwähnung dieser Grube wird nach WAGENBRETH (2006) für 1492 beziffert. MELTZER (1684) hat für den Zeitraum 1642 – 1687 eine Fördermenge von 5.038 Zentnern Kobalterz überliefert. Für den Zeitraum 1767 – 1788 ist für diese Grube eine Kobalterzförderung von 725 Zentnern nachgewiesen (MÜLLER 1987). Von 1857 bis zur Konsolidation der Grube im Jahr 1863, ist eine Fördermenge von 1.495 (Zoll-)Zentnern nachgewiesen (o.A. o.J.A.).

Neben dem *Schneeberger Kobaltfeld* sind 15 Gruben genannt, in denen Kobalterze gefördert wurden. Davon sind ursprünglich elf Gruben dokumentiert, die in der Folgezeit konsolidiert und 1881 zum Schneeberger Kobaltfeld zusammengeschlossen wurden. Es handelt sich um die Fundgruben *Bergkappe*, *Daniel*, *Fürstenvertrag*, *Gesellschafter Zug*, *Gottesschickung*, *Joseph*, *Priester*, *Sauschwart*, *Sieben Schlehen*, *Weißer Hirsch*, *Wolfgang Maaßen*. Die Tab. 22 gibt einen Überblick über die erfolgten Konsolidationen:

<b>Jahr der Konsolidation</b>	<b>Name der konsolidierten Gruben</b>	<b>Konsolidiert aus den Gruben</b>
<b>1861</b>	Gesellschaft samt Sauschwart Fdgr.	Gesellschafter Zug Sauschwart Fdgr.
<b>1862</b>	Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag Fdgr.	Weißer Hirsch Fdgr. Georg Fdgr. Fürstenvertrag Fdgr.
<b>1864</b>	Daniel samt Sieben Schlehen Fdgr.	Daniel Fdgr. Sieben Schlehen Fdgr.
<b>1864</b>	Wolfgang samt Priester Fdgr.	Wolfgang Maaßen Fdgr. Priester Fdgr.
<b>1881</b>	Schneeberger Kobaltfeld	Bergkappe Fundgrube Daniel samt Sieben Schlehen Fdgr. Gesellschaft samt Sauschwart Fdgr. Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag Fdgr. Wolfgang samt Priester Fdgr.

Tab. 22: Grubenkonsolidationen in Schneeberg nach 1857 (nach o.A. o.J.a)

Für die Fundgrube *Gottesschickung* wurde nur im Jahr 1857 eine Kobalterzförderung von 5 Zentnern verzeichnet. Für die *Joseph Fdgr.* wurden nur für die Jahre 1868 (11,5 Zentner) und 1872 (5,9 Zentner) Kobalterzförderungen verzeichnet. Die Fördermengen verteilen sich auf die einzelnen Gruben wie folgt:

<b>Grube</b>	<b>Fördermenge Kobalterze in Zentner</b>	<b>Jahr von</b>	<b>Jahr bis</b>
Bergkappe Fundgrube	1.996,2	1857	1880
Daniel	4.521,0	1857	1863
Daniel samt Sieben Schlehen Fdgr.	6.295,8	1864	1880
Fürstenvertrag	7,0	1861	1861
Gesellschaft samt Sauschwart Fdgr.	11.232,6	1861	1880
Gesellschafter Zug	2.595,0	1857	1860
Gottesschickung	5,0	1857	1857
Joseph Fdgr.	17,4	1868	1872
Priester	1.976,5	1857	1863
Sauschwart	3.165,0	1857	1860
Schneeberger Kobaltfeld	362,7	1881	1882
Sieben Schlehen	1.495,0	1857	1863
Weißer Hirsch	5.788,0	1857	1861
Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag Fdgr.	16.704,2	1862	1880
Wolfgang Maaßen	3.225,0	1857	1863
Wolfgang samt Priester Fdgr.	10.496,0	1864	1880

Tab. 23: Übersicht über die einzelnen Kobaltgruben und deren Fördermengen mit Angabe des Jahres vom Beginn der Förderung bis Ende der Förderung (nach o.A. o.J.a)

Von den aufgelisteten Fundgruben wurden bis auf die *Gottesschickung* und *Joseph Fdgr.* alle Fundgruben bereits in den Aufzeichnungen von MELTZER (1684) im 17. Jhd. aufgeführt. Damit konnten neun der Fundgruben zum damaligen Zeitpunkt bereits auf eine über 200 Jahre dauernde Kobalterzförderung zurückblicken. Von den aufgelisteten Fundgruben verzeichneten die konsolidierten Gruben *Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag Fdgr.* (16.704,2 Zentner), *Gesellschaft samt Sauschwart Fdgr.* (11.232,6 Zentner) und *Wolfgang samt Priester Fdgr.* (10.496 Zentner) die höchsten Fördermengen an Kobalterzen. Darüber hinaus waren die drei ertragreichsten Fundgruben, bis zu ihrer Konsolidierung, die Fundgrube *Weißer Hirsch* (1857 – 1861) mit 5.788 Zentner, die Fundgrube *Daniel* (1857 – 1863) mit 4521 Zentner und die Fundgrube Wolfgang Maaßen (1857 – 1863) mit 3.225 Zentner Kobalterzförderung.

Aus einigen dieser Gruben wurden auch noch im 19. Jhd. Kobalterze abgebaut. Als besonders ertragreiche und damit bedeutende Fundgruben sind zu nennen: *Catharina Neufang*, *Schindlern und Fleischern*, *Daniel*, *Sauschwart*, *Gesellschafter Zug*, *Sieben Schlehen*, *Weißer Hirsch*,

Die folgende Tab. 24 fasst bedeutende Fundgruben des Schneeberger Reviers samt Ausbringungsmenge und Förderungszeitraum zusammen.

Name der Grube	Beginn	Förderung 1642 – 1687 in Zentner	Ende	Konsolidierung mit	Förderung 1857 – 1883 in (Zoll-)Zentner	
<i>Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag</i>	1862	-	1880	<i>Schneeberger Kobaltfeld</i>	16.704 (1862 – 1880)	
<i>Weißer Hirsch</i>	1481	143	1861	<i>Weißer Hirsch samt Georg und Fürstenvertrag</i>	5.788 (1857 – 1861)	
<i>Catharina Neufang</i>	1477	25.760	1750	<i>Weißer Hirsch</i>	-	
<i>Himmelfahrt Christi</i>	1546	< 300***	1846	<i>Weißer Hirsch</i>	-	
<i>St. Anna</i>	1491	3.276	1773	<i>Daniel, Schindler, Unruhe</i>		
<i>Schindler und Fleischer</i>	1489	17.152	1773	<i>Daniel</i>	-	
<i>Unruhe</i>	1642 <sup>1</sup>	< 200***	1773	<i>Daniel, St. Anna, Schindler</i>	-	
<i>Adam Heber</i>	1570	ca. 4.061***	1843	<i>Sieben Schlehen</i>	-	
<i>Daniel</i>	1497	12.481	1863	<i>Sieben Schlehen</i>	1857 – 1863	4.521
<i>Sieben Schlehen</i>	1492	5.038	1863	<i>Daniel</i>		1.495
<i>Daniel samt Sieben Schlehen</i>	1864	-	1880	<i>Schneeberger Kobaltfeld</i>	1864 – 1880	6.296
<i>Elisabeth am Schimmelsberg</i>	1491	ca. 840***	1775	<i>Gesellschafter Zug</i>	-	
<i>Sonnenwirbel</i>	1499	2.502	1819	<i>Gesellschafter Zug</i>	-	
<i>Gesellschafter Zug</i>	1509	11.118	1860	<i>Sauschwart</i>	1857 - 1860	2.595
<i>Morgenstern</i>	1497	6.276	1751	<i>Sauschwart</i>	-	
<i>Schafstall</i>	1500	ca. 483***	1745	<i>Rosenkranz</i>	-	
<i>Eiserner Landgraf</i>	1581	ca. 359***	1843	<i>Rosenkranz</i>	-	
<i>Rosenkranz</i>	1505	ca. 845***	1860	<i>Sauschwart</i>	-	
<i>Glück</i>	1502	ca. 1.360***	1817	<i>Junge Kalbe</i>	-	
<i>Sauschwart</i>	1499	11.494	1860	<i>Gesellschafter Zug</i>	1857 - 1860	3.165
<i>Gesellschaft samt Sauschwart</i>	1861	-	1880	<i>Schneeberger Kobaltfeld</i>	1861 - 1880	11.237
<i>Gottes Schickung</i>	1492	-	1861	<i>Bergkappe</i>	1857	5
<i>Heilige Dreifaltigkeit</i>	1487	ca. 621***	1774	<i>Heilige Dreifaltigkeit und Bergkappe</i>	-	
<i>Bergkappe</i>	1513	< 100***	1880	<i>Schneeberger Kobaltfeld</i>	-	
<i>Wild Schwein</i>	1594	ca. 486***	1745	<i>Jung Wildschwein und Junger Türk</i>	-	
<i>Türcken</i>	1510	ca. 436***	1745	<i>Jung Wildschwein und Junger Türk</i>	-	
<i>Rappolt</i>	1491	ca. 1.160***	1835	<i>Priester</i>	-	
<i>Priester</i>	1495	< 200***	1864	<i>Wolfgang Maaßen</i>	1857 – 1863	1.977
<i>Wolfgang Maaßen</i>	1556	< 500***	1863	<i>Priester</i>	1857 – 1863	3.225
<i>Wolfgang samt Priester</i>	1864	-	1880	<i>Schneeberger Kobaltfeld</i>	1864 – 1880	10.496

Tab. 24: Tabellarische Zusammenstellung wichtiger Kobaltfundgruben im Schneeberger Revier (nach MELTZER 1684, o.A. 1851, WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, WAGENBRETH 2006)

\*\*\* Intervallangaben bei geringen Fördermengen < 20 Zentner für einzelne Jahre, kein exakter Wert übermittelt  
1 = von Meltzer (1684) bereits ab 1642 benannt, nach Wagenbreth (2006) Inbetriebnahme 1696 angegeben

## 8.2 JOHANNGEORGENSTADT

### 8.2.1 Beschreibung des Reviers

Johanngeorgenstadt grenzt im Süden an die Tschechische Republik und liegt im westlichen Talhang des Schwarzwassers. Ein wichtiges Nebengestein ist Phyllit, begrenzt vom Eibenstocker Granitmassiv im Norden und Nordwesten. Nach SEBASTIAN (2013) befinden sich in diesem eng begrenzten Raum die hydrothermalen Gänge in einer so hohen Dichte wie kaum sonst im Erzgebirge. Die Erzgänge der BiCoNiAg(U)-Formation finden nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) im südlichen Jügel ihr Maximum. Die Mächtigkeit der über 100 Erzgänge wird mit bis zu 50 cm angegeben. Es handelt sich überwiegend um flache Gänge (NW-SE) und um Spatgänge (W-E). Im Gegensatz zu anderen sächsischen Bergbaustädten wurden die Silber- und Kobaltvorkommen erst nach der Stadtgründung 1654 durch böhmische Exulanten entdeckt und in der Folgezeit abgebaut.

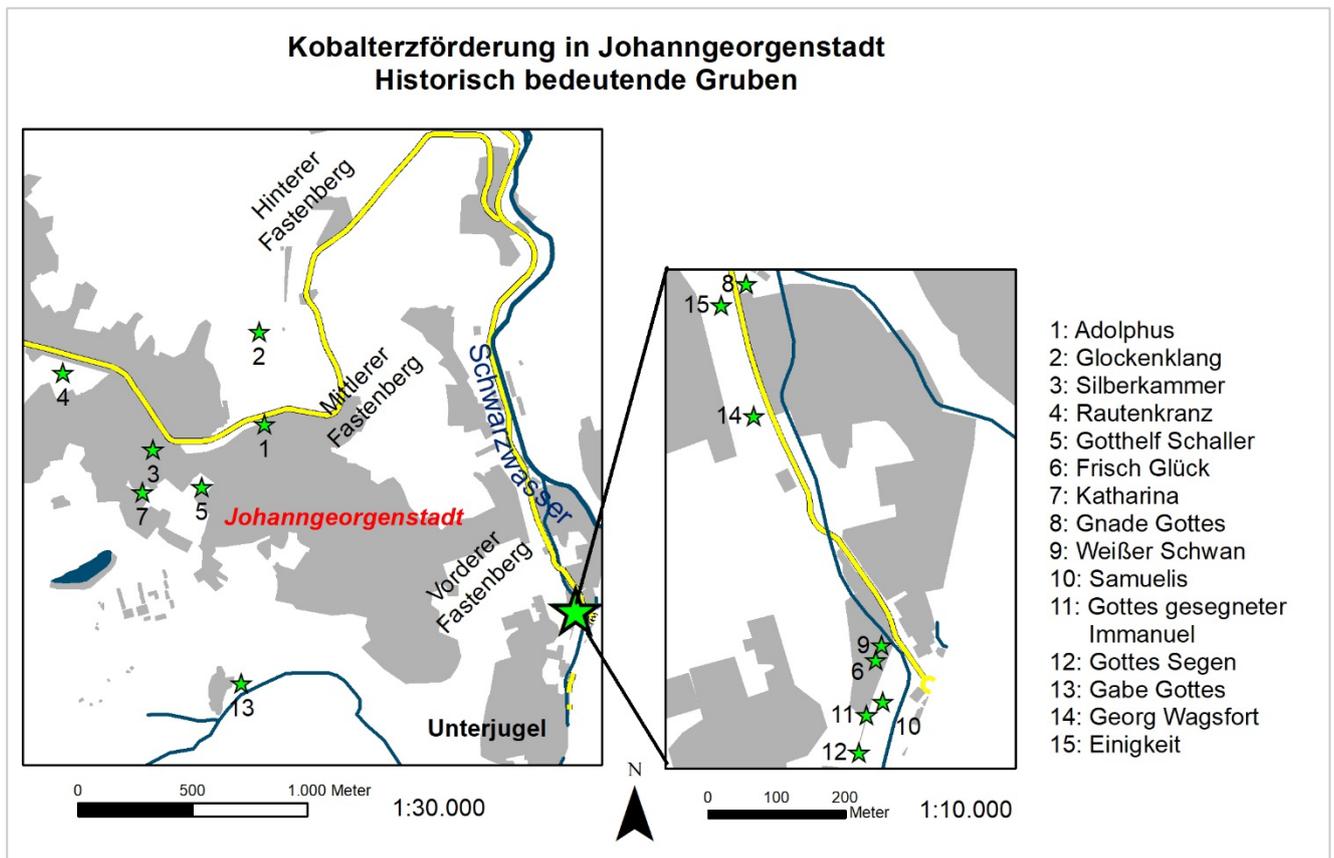


Abb. 24: Lage von Gruben mit nachgewiesenem Kobaltbergbau in Johanngeorgenstadt (Eigene Darstellung)

## 8.2.2 Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung

BAUMANN et al. (2000) beziffern die Menge geförderter aller Bi-Co-Ni-Erze auf 6.565 t und bestimmen den Abbaubeginn dieser Erze mit 1792. Die Recherche verfügbarer Akten am Bergarchiv Freiberg ergab, dass im Revier Johannegeorgenstadt bereits deutlich früher Kobaltbergbau betrieben wurde (o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d).

Es wurden Erzlieferungsextrakte für die Zeiträume 1731 Crucis – 1750 Luciae und 1769 Luciae – 1770 Crucis ausgewertet (o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d). Für den dazwischen liegenden Zeitraum 1751 Reminiscere – 1769 Crucis waren keine Daten verfügbar.

Während dieser angegebenen Zeiträume wurde eine Ausbringung von 4.101 Zentner ( $\cong$  211 t) Kobalterze registriert:

- 1731 L – 1750 C betrug die Fördermenge 3.931 Zentner ( $\cong$  202 t) (siehe Abb. 25).
- Zwischen 1769 L – 1770 C wurden 170 Zentner ( $\cong$  8,7 t) gefördert.

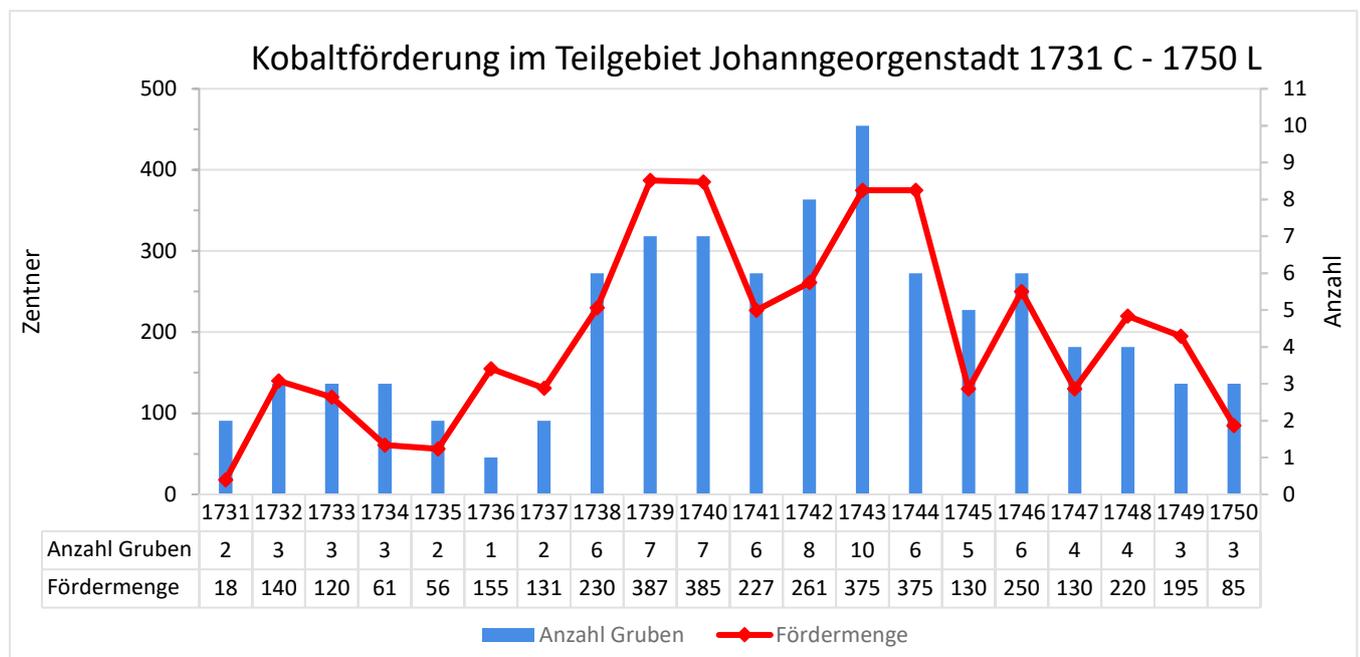


Abb. 25: Entwicklung der Kobaltförderung in Johannegeorgenstadt 1731 C - 1750 L (nach o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d)

Die Menge der geförderten Kobalterze ist nach 1735 auf eine Maximalförderung von 387 Zentnern bis zum Jahr 1739 angestiegen. Zum Ende des Zeitraums waren die Fördermengen wieder rückläufig. Ein ähnlicher Verlauf zeigt sich bei der Anzahl der kobaltfördernden Gruben. 1743 wurde in zehn Gruben Kobalterz abgebaut. In der Folgezeit sank die Anzahl der kobaltfördernden Gruben

auf drei. Im Jahr 1769 wurden 30 Zentner Kobalterz (drei Gruben), im Jahr 1770 waren es 130 Zentner (sieben Gruben) und 1771 noch 10 Zentner (eine Grube) gefördert.

FISCHER (1965) hingegen gibt für Johannegeorgenstadt im Zeitraum 1754 – 1766 eine Kobalterzlieferung in Höhe von 44,8 t an. Für den Folgezeitraum 1767 – 1783 sieht er eine Steigerung der Förderung auf 219,8 t Kobalterz, die im Anschlusszeitraum 1784 – 1828 auf 7 t gesunken ist. Er gibt allerdings keine Quellen an und benennt auch keine Gruben. Der KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1832) gibt lediglich für 1830 noch eine Ausbringung von 5 Zentner Kobalterz an.

### 8.2.3 Kobaltförderung einzelner Gruben

In Johannegeorgenstadt wurden auf Basis der vorliegenden Daten während des untersuchten Zeitraumes aus 16 Gruben Kobalterze gefördert. Die Tab. 25 fasst diese Gruben samt Fördermengen und Zeitraum zusammen.

<b>Grube</b>	<b>Kobaltförderung (Zentner)</b>	<b>Beginn</b>	<b>Bemerkungen</b>
Einigkeit	1.583	1731	
Gabe Gottes	495	1742	bis 1794, danach je zur Hälfte an Neujahr Maßen und Gnade Gottes
Gnade Gottes	437	1742	1821 mit <i>Neujahr Maßen</i> konsolidiert
Rautenkranz	265	1738	
Adolphus	237	1738	1826 mit <i>Erzengel Gabriel Maßen</i> konsolidiert
Katharina	210	1748	1818 mit <i>Silberkammer</i> konsolidiert
Gottes Segen	210	1738	1821 mit <i>St. Georg</i> konsolidiert
Gotthelf Schaller	197	1739	
Georg Wagsfort	163	1731	1783 von <i>Neujahr Maßen</i> übernommen
Glockenklang	95	1732	
Gottes gesegneter Immanuel	50	1739	1832 stillgelegt
Gotthelf Schaller und Silberkammer gemeinschaftl. Feld	50	1746	
Weißer Schwan	46	1740	
Silberkammer	35	1743	1821 mit <i>Gotthelf Schaller</i> konsolidiert
Frisch Glück	20	1738	1829 mit <i>Neujahr Maßen</i> konsolidiert
Samuelis	8	1740	1755 aufgelassen

Tab. 25: Kobaltförderung einzelner Gruben im Revier Johannegeorgenstadt in den Zeiträumen 1731 - 1750 und 1769 - 1771 (nach o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d, WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990)

Im Gebiet des Vorderen Fastenbergs befindet sich nach BAUMANN et al. (2000) die höchste Dichte von Erzgängen mit Mineralisationen der BiCoNiAg(U)-Formation. Die Grube *Einigkeit* war mit einer Ausbringung von 1.583 Zentnern zwischen 1731 – 1748 die ertragreichste Fundgrube in

Johanngeorgenstadt. In unmittelbarer Nähe befinden sich auch die Gruben *Gnade Gottes* und *Georg Wagsfort*. Aus diesen beiden Gruben wurden insgesamt 600 Zentner Kobalterze gefördert. Etwas weiter südlich, östlich der Altstadt und westlich des Breitenbachs gelegen, befinden sich die Gruben *Frisch Glück*, *Samuelis*, *Gottes Segen*, *Gott gesegneter Immanuel* und *Weißer Schwan*. Die Fördermenge dieser Gruben betrug zusammen 334 Zentner Kobalterze.

Im Bereich des Mittleren Fastenbergs wurden in den Gruben *Adolphus*, *Katharina*, *Gotthelf Schaller*, *Silberkammer* und *Gotthelf Schaller und Silberkammer gemeinschaftliches Feld* 729 Zentner Kobalterze gefördert. Die Grube *Gabe Gottes*, nördlich von Oberjugel am Lehmergrund, förderte insgesamt 495 Zentner Kobalterz.

Im nördlichen Teil des Reviers, im Bereich des Hinteren Fastenbergs, wurden in den Gruben *Rautenkranz* (bis 1742) und *Glockenklang* (bis 1744) insgesamt 360 Zentner Kobalterze gefördert. Ob in diesen Gruben zwischen 1750 – 1769 ebenfalls noch Kobalterze gefördert wurden, lässt sich aufgrund der Quellenlage nicht erschließen.

## 9 KOBALTBERGBAU IM MITTELERZGEBIRGE

### 9.1 ANNABERG

#### 9.1.1 Beschreibung des Reviers

Der Lagerstättendistrikt Annaberg umfasst nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) die Reviere *Annaberg-Buchholz*, *Frohnau*, *Cunersorf*, *Schlettau* und *Scheibenberg*. In allen Revieren wurden Kobalterze abgebaut. Ab dem 17. Jhd. ist der Bergbau auf Kobalterze nachweislich überliefert. Das Teilgebiet Annaberg wird im Norden und Westen durch das Zschopautal begrenzt, im Osten durch das Preßnitztal. Im Nordosten verläuft die Grenzlinie vom Annaberger zum Marienberger Distrikt. Im Kreuzungsbereich von markanten bruchtektonischen Strukturen und Störungssysteme ist eine Häufung von Erzgängen festzustellen. Die Erzausscheidungen der BiCoNiAg(U)-Formation sind nach SEBASTIAN (2013) speziell an NW-SE streichende Gänge gebunden. In Folge von Remobilisierungen kommen diese aber auch vereinzelt auf NE-SW streichenden Gängen vor.

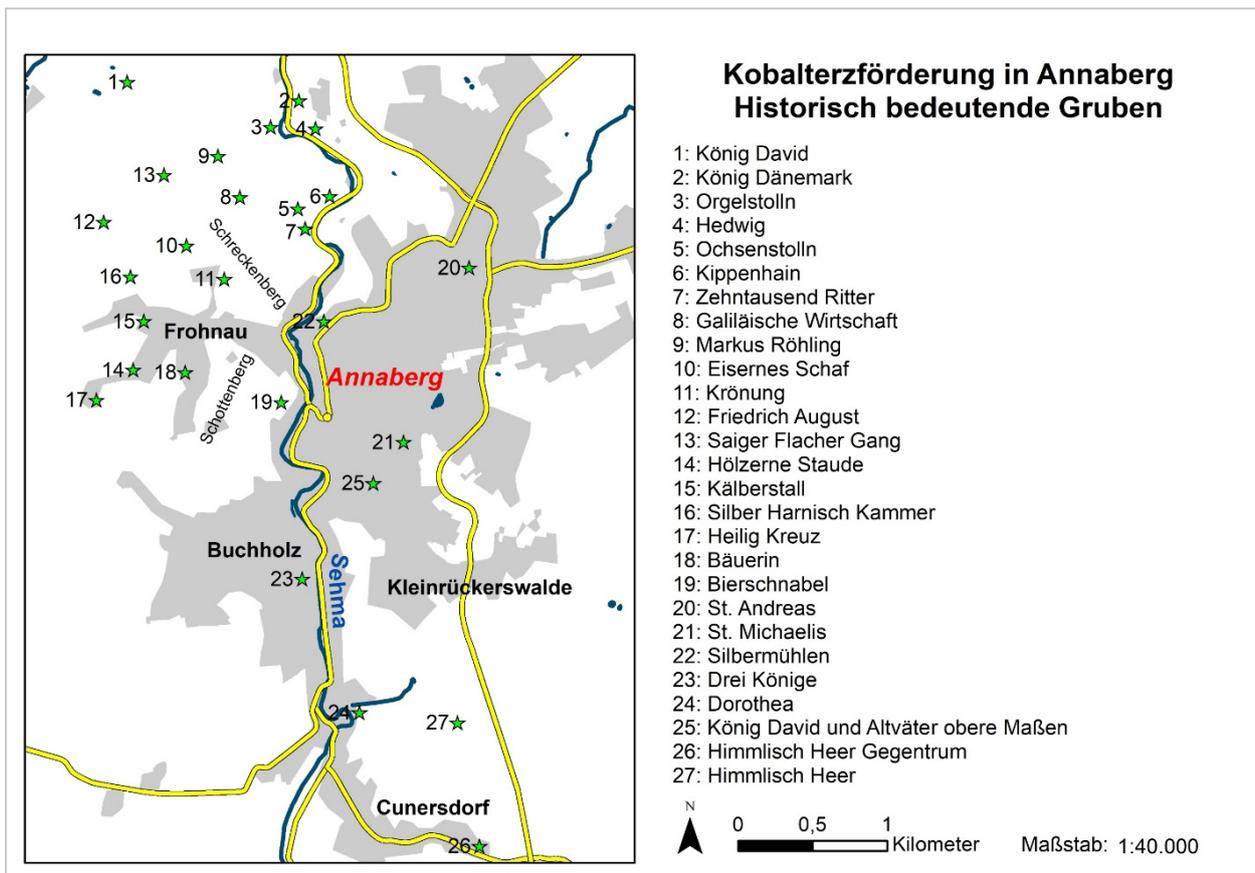


Abb. 26: Lage von Gruben mit nachgewiesenem Kobaltbergbau (Eigene Darstellung)

### 9.1.2 Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung

MÜLLER (1894) beziffert die Gesamtfördermenge an Kobalterzen für Annaberg im Zeitraum von 1701 bis 1850 auf 157.111 Zentner (Tab. 26). Das Maximum der Förderung lag zwischen 1776 – 1800. Für den Zeitraum von 1851 – 1892 benennt MÜLLER (1894) die Fördermenge an Kobalterzen auf noch 3.165,12 Zentner.

Zeitraum	Ausbringung Kobalterze in Zentner
	Gesamtsumme
1701 - 1725	15.500
1726 - 1750	25.670 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>
1751 - 1775	28.705 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
1776 - 1800	32.460 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
1801 - 1825	29.249 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>
1826 - 1850	25.524
<b>Summe bzw. Mittel</b>	<b>157.111</b>

Tab. 26: Die Kobaltproduktion von Annaberg 1701 bis 1850 (nach MÜLLER 1894)

Die Auswertung der Erzlieferungsextrakte über die Kobaltausbringung des Bergreviers Annaberg (ohne Scheibenberg und Oberwiesenthal) für die Zeiträume 1642 – 1800 (REPPMANN 1842) und 1801 – 1850 (o.A. 1851) ergab eine Gesamtfördermenge in Höhe von 167.573,48 Zentnern ( $\approx 8.613,3$  t) Kobalterz.

Insgesamt werden in den beiden Quellen für den Zeitraum 1643 – 1849 102 Gruben genannt, aus denen Kobalterze gefördert wurden. Der Verlauf der Kobaltförderung geht aus Abb. 27 hervor:

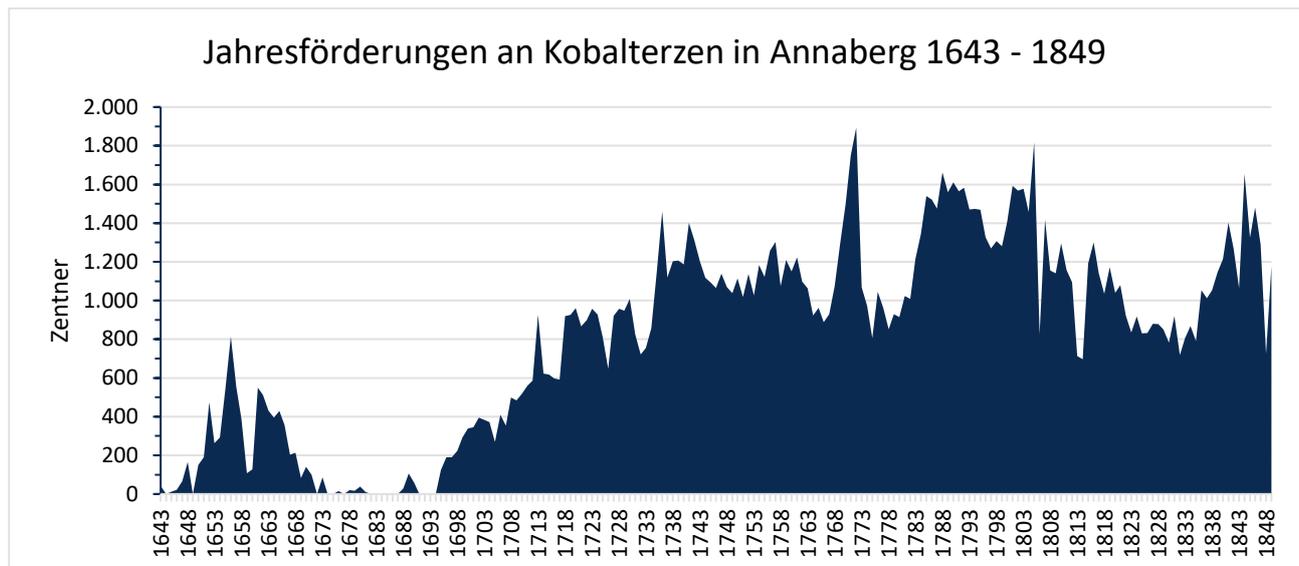


Abb. 27: Jahresfördersummen Kobalterze in Annaberg (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Die Daten aus den Erzlieferungsextrakten bestätigen das Fördermaximum an Kobalterzen zum Ende des 18. Jhd. Für die Zeit zwischen 1850 – 1857 ließ sich für das gesamte Annaberger Revier eine Kobalterzförderung von ca. 2.530 Zentnern und 103 Pfund (ca. 130 t) nachweisen (KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN ).

### 9.1.3 Kobaltförderung einzelner Gruben

1701 begann der Abbau von Kobalterzen in der *St. Andreas Fdgr.*, 1727 wurde die *Markus Röhling Fdgr.* aufgefahren. Die drei ertragreichsten Fundgruben waren *Markus Röhling*, *St. Andreas* und *Galliläische Wirtschaft samt König David*. Die Fördermengen an Kobalterzen samt Förderzeitraum dieser drei Gruben sind in der Tab. 27 zusammengefasst.

Name der Grube	Ausbringung Kobalterze in Zentner	Umrechnung in Tonnen	Zeitraum	
			Von	Bis
Markus Röhling Fundgr.	50.326	2.587	1727	1849
St. Andreas Fundgr.	33.934	1.744	1701	1849
Galliläische Wirtschaft Fdgr.	23.735	1.220	1655	1849
<b>Gesamtsummen</b>	<b>107.995</b>	<b>5.551</b>		

Tab. 27: Übersicht der drei ertragreichsten Gruben mit Fördermengen an Kobalterz in Zentner und umgerechnet in Tonnen. Beginn und Ende der Förderung. (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Das Gebiet um den Schreckenbergr war der Ausgangspunkt für den Kobaltbergbau in Annaberg. Die erste nachweislich überlieferte Fundgrube mit Kobalterzausbringung war *Eisern Schaf* (Tab. 28) (REPPMANN 1842, o.A. 1851). Am Schreckenbergr befindet sich auch die *Markus Röhling Fundgrube*, die ertragreichste aller Kobaltgruben im Teilgebiet Annaberg. WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) bezeichneten sie als „größte und interessanteste Grube im Annaberger Revier“. 1726 begann die Aufwältigung des *Marcus Röhling Stollns*, es wurden nur geringe Mengen an Kobalterz gefördert (Abb. 28). 1733 erreichte man den *Erstneuglück Flachen Gang* mit reichen Kobalt- und Silbererzen (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990). Die Markus Röhling Fdgr. War zugleich die tiefste Grube im Annaberger Revier mit 411 m unter der Oberfläche (LAHL 1992). Bis einschließlich 1849 wurden 50.326 Zentner Kobalterze gefördert ( $\cong$  2.587 t) (REPPMANN 1842, o.A. 1851).

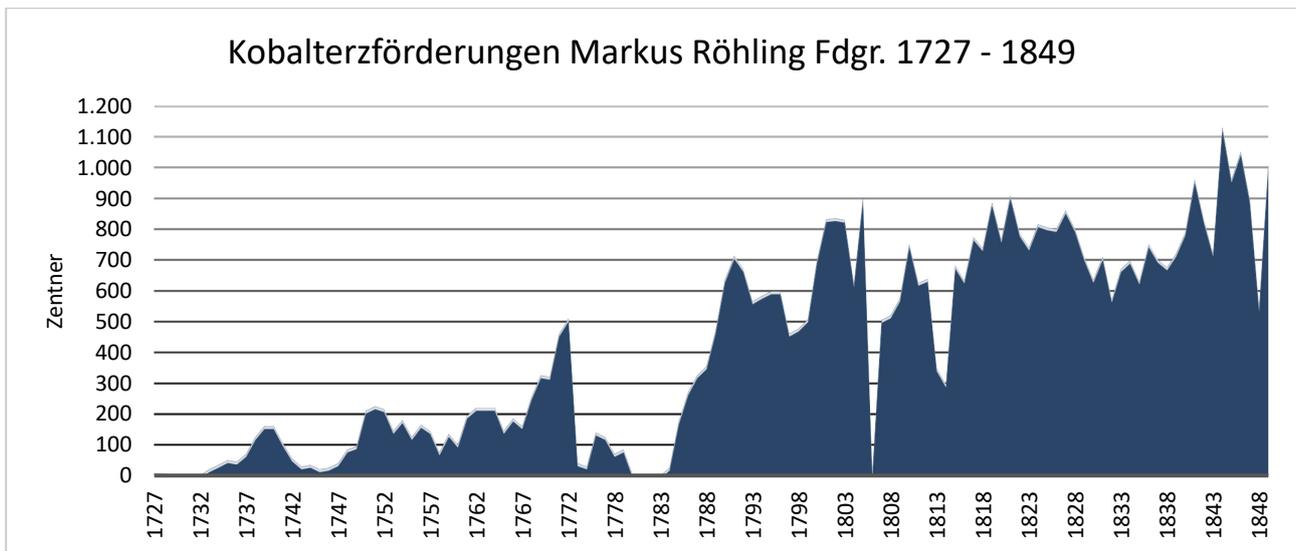


Abb. 28: Markus Röhling Fundgrube, Kobalterzförderung 1727 – 1849 (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

1844 wurde mit 1.130 Zentner ( $\cong 58,1$  t) die größte Fördermenge an Kobalterzen ausgebracht. Nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) wurden noch bis 1857 in geringerem Umfang Kobalterze gefördert, ehe der Betrieb der Grube eingestellt wurde.

Am Schreckenberg befindet sich auch die Grube *Galiläische Wirtschaft*. Der Abbau von Kobalterzen ist ab 1655 nachgewiesen (REPPMANN 1842, o.A. 1851). Um 1722 wurde der Name auf die etwas südlich gelegene Grube *St. Georg* übertragen (*Neue Galiläische Wirtschaft*) und der Betrieb in der *Alten Galiläischen Wirtschaft* eingestellt (LAHL 1992). 1821 erfolgte die Konsolidation der Grube *Galiläische Wirtschaft* und der nordwestlich gelegenen Grube *König David*. Die Grube *König David* hatte zwischen Beginn der Förderung um 1721 bis 1800 ca. 8.874 Zentner ( $\cong 456$  t) Kobalterz geliefert. Insgesamt ist für die Grube *Galiläische Wirtschaft* eine Lieferung von Kobalterzen in Höhe von 23.735,37 Zentner ( $\cong 1.220$  t) verzeichnet wurden (Tab. 27). Die höchsten Fördermengen wurden Ende des 18. Jhd. verzeichnet, 1788 wurden 570 Zentner Kobalterz gefördert ( $\cong 29,3$  t).

REPPMANN (1842) und o.A. (1851) haben neben der *Markus Röhling Fdgr.* Und der *Galiläischen Wirtschaft* 24 weitere Gruben mit Kobalterzförderung am Schreckenberg genannt. Die für den Kobalterzbergbau wichtigsten und ertragreichsten sind in Tab. 28 zusammengestellt.

Grubenname	Förderung (Zentner)	Zeitraum	Quelle
König David	11.544,0	1721 – 1821	REPPMANN 1842, o.A. 1851
Kippenhain Stolln samt Zubehör	6.527,4	1652 – 1776	REPPMANN 1842
Zehntausend Ritter	4.780,8	1653 – 1779	REPPMANN 1842
Kippenhain und Zehntausend Ritter	3.940,0	1753 – 1825	REPPMANN 1842, o.A. 1851
Krönung	2.534,0	1652 – 1733, 1826 – 1849	REPPMANN 1842, o.A. 1851
Silber Harnisch Kammer	1.617,5	1724 – 1799	REPPMANN 1842
Teichgräber Stolln	1.174,8	1650 – 1748	REPPMANN 1842
Rachewitz Stolln und Fdgr.	628,0	1665 – 1712	REPPMANN 1842
Eisernes Schaf	469,5	1643 – 1679	REPPMANN 1842
Weißer Silber Hirsch samt Zubehör	381,0	1702 – 1712	REPPMANN 1842
Kippenhain und Zehntausend Ritter samt tiefen Teichgräber Erbstolln	302,5	1826 – 1840	o.A. 1851

Tab. 28: Auswahl der ertragreichsten Kobaltfundgruben am Schreckenberg (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Im Stadtgebiet von Annaberg befindet sich die dritte bedeutende Fundgrube St. Andreas. Diese wurde nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) im Jahr 1688 neu aufgenommen und ab 1729 Ausbeute zahlend. Eine Kobaltförderung ist von 1701 bis 1849 nachgewiesen (Abb. 29). Insgesamt wurden während dieser Zeit 33.934,25 Zentner ( $\cong$  1.744 t) Kobalterze gefördert.

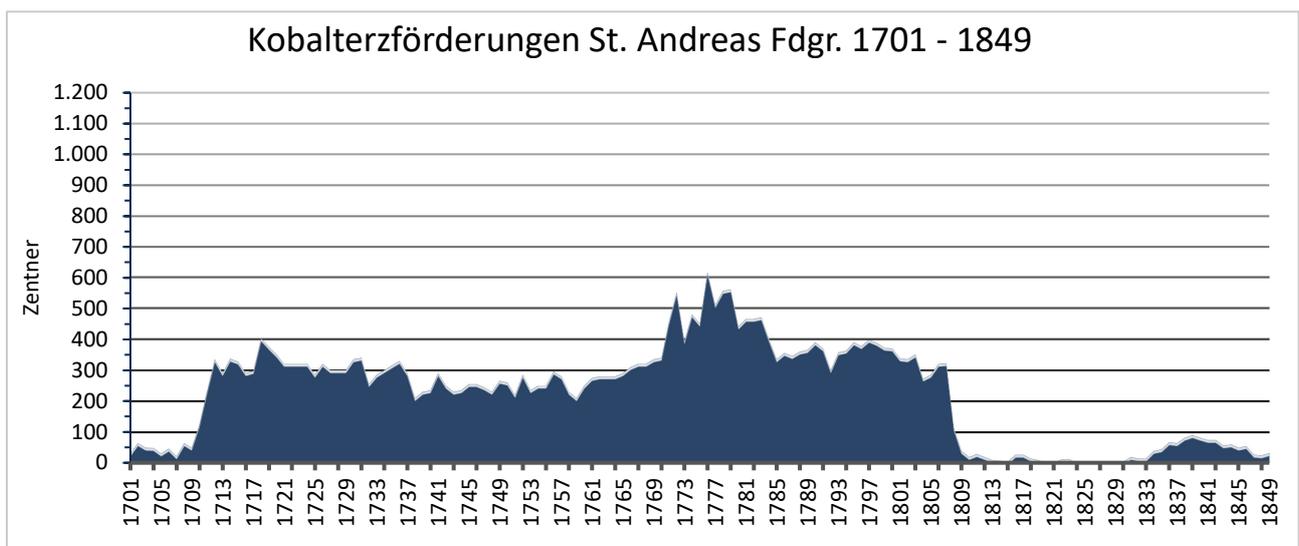


Abb. 29: St. Andreas Fundgrube, Kobalterzförderung 1701 – 1849 (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Die größten Fördermengen wurden im vorletzten Jahrzehnt des 18. Jhd. erreicht. Im Jahr 1776 konnten 615 Zentner ( $\cong$  31,6 t) Kobalterze ausgebracht werden. Zu Beginn des 19. Jhd. nahmen die Fördermengen rapide ab. Im zweiten Jahrzehnt des 19. Jhd. war bis auf die Jahre 1822 und 1823 (je 12,5 Zentner Fördermenge) keine Kobaltförderung registriert.

Insgesamt sind zwölf Gruben im Stadtgebiet von Annaberg angeführt, von denen aber nur wenige Ausbringungen über 100 Zentner Kobalterz erreichten (REPPMANN 1842, o.A. 1851). Weitere

bedeutende Gruben mit Kobalterzförderung waren der *Silbermühlen Stolln* (1.555,75 Zentner, 1655 – 1780) und die *Hoffnung Gottes Fdgr.* (373 Zentner, 1713 – 1778).

Für Frohnau, südlich vom Schreckenbergr gelegen, sind nachweislich sechs Fundgruben überliefert, die Kobalterze geliefert haben (REPPMANN 1842, o.A. 1851). Vor allem die *Getreue Nachbarschaft Fdgr.* (3.715 Zentner, 1704 – 1795) und *Bergmännisch Glück Gegentrum* (778,5 Zentner, 1734 – 1754) haben beträchtliche Mengen an Kobalterz ausgebracht

Am Schottenberg, südlich von Frohnau, sind elf Gruben mit Kobalterzförderung genannt. Tab. 29 listet die Gruben mit einer Fördermenge > 100 Zentner auf.

<b>Name</b>	<b>Förderung (Zentner)</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Quelle</b>
Neu Heilig Kreuz	952,5	1835 – 1849	o.A. 1851
Bäuerin Fdgr. samt Kälberstall	932,5	1804 – 1848	o.A. 1851
Bierschnabel Fdgr. samt Markus Röhling gemeinschaftliches Feld	652,0	1785 – 1808	REPPMANN 1842, o.A. 1851
Heilig Kreuz	522,0	1699 – 1787	REPPMANN 1842
Hölzerne Staudte und Gottes Vertrauen	270,0	1768 – 1787	REPPMANN 1842
Segen Gottes Stolln	115,0	1837 – 1842	o.A. 1851
St. Johannes und Reiche Dorothea	114,0	1704 – 1707	REPPMANN 1842

Tab. 29: Gruben am Schottenberg mit Kobalterzförderung > 100 Zentner (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Die Grube *Bäuerin* förderte bereits im 16. Jhd. beträchtliche Mengen an Silber (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, LAHL 1992). Um 1804 wurde die Grube wieder ausgewältigt und erbrachte im Zeitraum 1804 – 1848 eine gesicherte Ausbringung von 952,5 Zentner Kobalterz (o.A. 1851). Nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) erfolgte die Konsolidation mit der Fundgrube Kälberstall um 1842. Die *Neu Heilig Kreuz Fdgr.* lieferte zwischen 1835 – 1849 952,5 Zentner Kobalterz (o.A. 1851). Nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) erfolgte ebenfalls 1842 die Konsolidation der Fdgr. *Bäuerin* und *Neu Heilig Kreuz*. Im Erzlieferungsextrakt (o.A. 1851) ist die Grube *Neu Heilig Kreuz* jedoch bis 1849 separat geführt. LAHL (1992) sowie WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) geben für die Grube *Bäuerin* zwischen 1804 – 1864 eine Ausbringung von 2.542 Zentnern bzw. 132 t Kobalterz an. Aus dem Erzlieferungsextrakt (o.A. 1851) errechnet sich für die Gruben *Bäuerin Fdgr. samt Kälberstall*, *Neu Heilig Kreuz* (Tab. 29) und *Bäuerin Fdgr. Neu Heilig Kreuz gem. Feld* (57,5 Zentner, 1848 – 1849) eine Ausbringung von 1.942,5 Zentner. Für den Zeitraum nach 1849 lagen jedoch keine Angaben mehr vor.

Für Schlettau sind vier Gruben genannt, die Kobalterze geliefert haben (REPPMANN 1842 und o.A. 1851). Nachweislich sind dies den Angaben zufolge die Fundgrube *Wunderlich Köpfe* (98 Zentner, 1711 – 1726), *Grüner Zweig Fdgr.* (15 Zentner; 1770 – 1771), der *Rosenbusch Erbstolln* (5 Zentner; 1760) und die *Fürst Michaelis Fdgr.* (2,5 Zentner; 1790).

Für den Wolfstein und die Fleischerleithe, nördlich von Annaberg und östlich der Sehma, sind nach REPPMANN (1842) und O.A. (1851) acht Gruben aufgeführt, die Kobalterze geliefert haben. Von denen hat der *Raben Stolln* mit 2.946 Zentnern (1651 – 1747) die höchste Ausbringung an Kobalterzen zu verzeichnen. Darüber hinaus sind bei der Fundgrube *König Dänemark* (237,5 Zentner; 1809 – 1844), der *Hedwig und Paulusstolln* (155 Zentner, 1753 – 1779) und der *Suchstolln* (106,75 Zentner; 1646 – 1671) nennenswerte Summen über 100 Zentner Kobalterz ausgebracht (REPPMANN 1842, O.A. 1851).

Weitere Fundgruben mit Kobalterzabbau befinden sich bei Buchholz, Bärenstein, Cunersdorf, Grumbach, Hermannsdorf und Kleinrückerswalde. Dabei war die Grube *König David samt Mitväter obere Maaßen* bei Kleinrückerswalde mit einer Ausbringung von 1.757,5 Zentner zwischen 1723 – 1791 die ergiebigste Grube. Bei Grumbach, östlich von Königswalde und dem Pöhlbach gelegen, brachte *St. Andreas Gegentrum* zwischen 1755 – 1841 ergiebige Ausbringungen an Kobalterzen in Höhe von 1.443 Zentnern.

## 9.2 MARIENBERG

### 9.2.1 Beschreibung des Reviers

Das Gebiet erstreckt sich im Westen von Wolkenstein über Marienberg bis in den Osten nach Pobershau (Abb. 30). Die Ausdehnung beträgt 14 km West-Ost und 5 km Nord-Süd. Im Nordwesten wird es durch die Erzgebirgs-Nordrandzone begrenzt, im Nordosten grenzt es an die Flöha-Zone, im Südwesten an die Wiesenbader Störungszone und im Süden an die Landesgrenze zur Tschechischen Republik (BAUMANN et al. 2000).

Nach SEIFERT (1995) sind die Vererzungen der BiCoNi-Ag(U)-Formation verstärkt an ENE-WSW und NW-SE streichende Gänge gebunden. Die Anzahl aller aufgeschlossenen Mineralgänge wird von BAUMANN et al. (2000) auf ca. 370 beziffert.

Als charakteristische kobalthaltige Erzminerale Marienbergs nennen HAJEK & IHLE (2008) u.a. Nickelskutterudite, Skutterudite, Safflorit und Cobaltit. Als Sekundärminerale werden u.a. Erythrin und Sphärocobaltit angeführt.

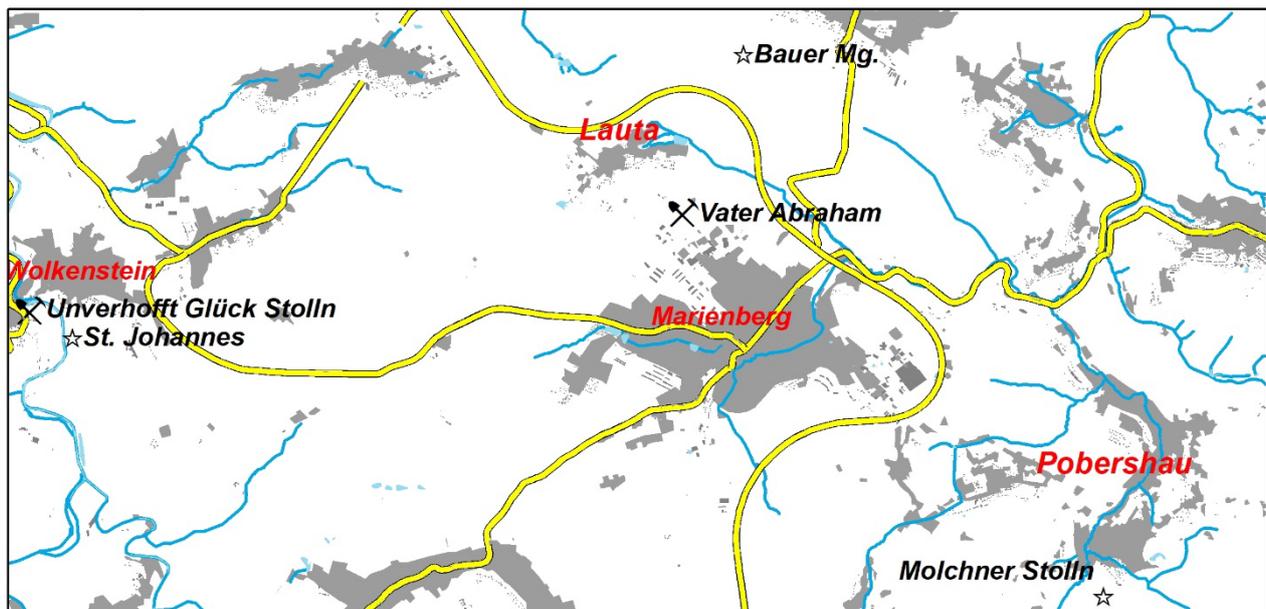


Abb. 30: Revier Marienberg mit ausgewählten Gruben mit Kobaltbergbau oder Kobaltvorkommen (Stern) (Eigene Darstellung)

### 9.2.2 Ergebnisse der Recherche zur Kobaltförderung

Im Teilgebiet Marienberg sind vergleichsweise wenig Angaben zur Ausbringung und Lieferung von Kobalterzen überliefert. LAUE (1854) hat für den gesamten Zeitraum von Mitte des 17. Jhd. bis 1845 eine Ausbringung von 17,5 Zentnern Kobalterz registriert. Diese Angabe beschränkt sich für einige Gruben auf den Zeitraum 1808 Trinitatis bis 1845 Lucia. Andere Akten enthalten hingegen nur Angaben zum Silberausbringen und fassen Fördermengen anderer Erze ohne nähere Deklaration zusammen.

Dem gegenüber ist für Marienberg im Zeitraum von 1825 bis 1849 eine Kobaltförderung von 12,5 Zentnern verzeichnet (KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN 1827 - 1851). Demnach wurden in den Jahren 1829 und 1836 je 5 Zentner und im Jahr 1847 2,5 Zentner Kobalterze ausgebracht. Es sind keine Fundgruben angegeben. Die Tab. 30 stellt beide Quellen gegenüber.

Quelle	Zeitraum	Fördermenge in Zentner	Quelle	Zeitraum	Fördermenge in Zentner
LAUE (1854)	1808 T – 1845 L	17,5	KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1831, 1838, 1849)	1829	5
				1836	5
				1847	2,5

Tab. 30: Gegenüberstellung der überlieferten Kobalterzförderungen (nach LAUE 1854, KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1831, 1838, 1849))

### 9.2.3 Kobaltförderung einzelner Gruben

Eine Förderung von Kobalterzen ist von LAUE (1854) für den *Unverhofft Glück Stolln* sowie der *Vater Abraham Fundgrube* überliefert. Auf beide Gruben verteilen sich die Fördermengen wie in Tab. 31 angegebenen.

Grubenname	Zeitraum der Förderung	Kobaltförderung in Zentner
Unverhofft Glück Stolln	1828 L – 1837 R	10
Vater Abraham Fundgrube	1808 T – 1845 L	7,5

Tab. 31: Fundgruben mit Kobaltförderung im Teilgebiet Marienberg (nach LAUE 1854)

In der Literatur werden zusätzlich die in Tab. 32 aufgelisteten Gruben mit Kobalterzvorkommen genannt, allerdings ohne Angaben von Fördermengen. In den Gruben wurden nicht primär Kobalterze abgebaut, sondern vorrangig andere Erze.

<b>Ort</b>	<b>Grubename</b>	<b>Erze</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Quelle</b>
Wolkenstein	<i>Johannes Fdgr.</i> <i>Arthur Stolln</i>	Skutterudit	k. A.	FRENZEL (1874)
Pobershau	<i>Molchner Stollen</i> <i>Zinnerne Flache Mg.</i> <i>Oberneuhaus Sachsen Fdgr.</i>	Skutterudit	k. A.	BAUMANN et al. (2000) WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990)
Lauta Gehringwalde	<i>Bauer Mg.</i> <i>Drei Brüder Mg.</i>	Mineralisationen der BiCoNiAg(U)- Formation		BAUMANN et al. (2000)
Wolkenstein	<i>Palmbaum</i>	Cobalt	nach 1698 1819 – 1861	WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990), BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG (1998)
Schmalzgrube	<i>Catharina</i>	Cobalt	Ab 1698	WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990)
Kiesholz	<i>Alte Drei Brüder Fdgr.</i> <i>Junge Drei Brüder Fdgr.</i>	Cobalt	1821 – 1850 1713 – 1822	BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG (1998)
Kohlau	Armer Leute Bergfreude	Cobalt	Bis 1751	BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG (1998)
Marienberg	<i>Drei Weiber Fdgr.</i> <i>Salomo Fdgr. und Maaßen</i>	Cobalt	1558 – 1812 mit Unterbrechungen 16. Jhd. – 1851 mit Unterbrechung	BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG (1998)
Zöblitz	<i>Drei Hammerschläge Fdgr.</i>	Cobalt	1828 – 1858	BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG (1998)
	<i>Haubolds vereinigt Feld</i>		1831 – 1857	
	<i>St. Hieronymus Fdgr. und Stolln</i>		1559 – 1844 mit Unterbrechungen	
	<i>Molchner Stolln und Fdgr.</i>		1529 – 1845 (mit Unterbrechungen)	
	<i>St. Ursula Stolln und Fdgr. Samt Maaßen</i>	Skutterudit	1538 – 1801 mit Unterbrechungen 1685 – 1835	

Tab. 32: Fundgruben mit möglichen Vorkommen an Kobalterzen ohne Angaben zu Fördermengen

### 9.3 WEITERE ORTE MIT KOBALTERZBERGBAU

Neben den großen Bergbaurevieren wurde der Abbau von Kobalterzen an weiteren Standorten nachgewiesen.

So ist der Abbau von Kobalterzen im nordwestlich von Annaberg gelegenen Lagerstättendistrikt von Ehrenfriedersdorf-Geyer belegt. Dieses Gebiet ist nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) insbesondere für seine Zinnlagerstätten bekannt. Neben diesen existieren aber noch kleinere Erzgänge mit anderer Mineralführung. Nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) kamen Kobalterze insbesondere in den Nord-Süd streichenden Gängen vor.

Im Revier Geyer sind Kobaltförderungen zwischen der zweiten Hälfte des 17. Jhd. bis in die erste Hälfte des 19. Jhd. belegt. Für Geyer ist für die in Tab. 33 genannten Gruben eine Förderung von 86,5 Zentner Kobalterz registriert. In Ehrenfriedersdorf wurden zwischen 1823 und 1845 insgesamt 25 Zentner Kobalterze gefördert.

Grube	Zeitraum der Förderung	Fördermenge in Zentner
<b>Revier Geyer</b>		
<i>Assmuss Fdgr. Maaßen</i>	1707 C	6
<i>Flötz Fdgr.</i>	1664 C	28
<i>Hochmuth Fdgr.</i>	1822 C – 1835 L	52,5
<b>Revier Ehrenfriedersdorf</b>		
<i>Silber Löffels Futter Stolln</i>	1823 R – 1845 L	25

Tab. 33: Kobaltförderung im Revier Geyer mit Namen der Gruben und Fördermenge in Zentner (nach LAUE 1854)

Eine Förderung von Kobalterzen ist auch für das historische Bergamtsrevier von **Oberwiesenthal** belegt (REPPMANN 1842, o.A. 1851). Im Zeitraum von 1723 – 1844 wurden insgesamt 2.940 Zentner ( $\cong$  151 t) Kobalterze geliefert. Dieser ermittelte Wert deckt sich mit den Angaben von WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990), die für den Zeitraum von 1716 – 1853 eine Fördermenge von maximal 152 t angeben. Die Förderung beruhte dabei auf die *Unverhofft Glück mit Freuden Fdgr.* sowie die *Neuunverhofft Glück Fdgr.* Die Tab. 34 fasst die Fördermengen samt Zeitraum der einzelnen Fundgruben zusammen.

Grube	Zeitraum der Förderung	Fördermenge in Zentner
<i>Unverhofft Glück mit Freuden Fdgr.</i>	1723 – 1826 (mit Unterbrechungen)	1.105
<i>Neuunverhofft Glück Fdgr.</i>	1768 – 1844	1.835

Tab. 34: Kobalterzförderung im historischen Bergamtsrevier Oberwiesenthal (nach REPPMANN 1842, o.A. 1851)

Scheibenberg liegt westlich der Zschopau und gehört nach BAUMANN et al. (2000) zum Lagerstättendistrikt Annaberg. WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) ziehen Scheibenberg in die Betrachtung zu Annaberg mit ein. In anderen Quellen (o.A. 1851, MÜLLER 1894, KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN) sind Erzlieferungen aus dem Revier Scheibenberg separat von Annaberg angegeben, da Scheibenberg bis 1835 ein eigenes Bergrevier inne hatte.

Kobalterzförderungen aus Scheibenberg sind ab dem Jahr 1657 dokumentiert. Bis zum Jahr 1839 wurden aus Scheibenberg insgesamt 3.120 Zentner ( $\cong$  160,4 t) Kobalterze geliefert. WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) führen in diesem Zusammenhang die Gruben *Unser lieben Frauen Empfängnis*, *Beständige Einigkeit* und *Laurentius* an. REPPMANN (1842) hat darüber hinaus Kobalterzlieferungen aus *Tuchscherers Fdgr.*, *St. Anna zu Scheibenberg* und *Neuerfundenes Glück* nachgewiesen. Die Fördermengen samt Zeitraum gehen aus Tab. 35 hervor.

<b>Grubenname</b>	<b>Fördermengen Kobalterz</b>	<b>Von</b>	<b>Bis</b>
Beständige Einigkeit Fdgr.	52,5	1831	1839
Tuchscherers Fdgr.	10	1704	1704
Unserer Lieben Frauen Empfängnis Fdgr.	1.932	1701	1772
Neuerfundenes Glück Fdgr.	101	1718	1728
St. Anna zu Scheibenberg	44	1708	1744
St. Laurentius Fdgr.	980,5	1657	1791

Tab. 35: Kobalterzförderung in Scheibenberg (nach REPPMANN 1842, O.A. 1851)

# 10 KOBALTERZVERARBEITUNG UND BLAUFARBENINDUSTRIE

## 10.1 BEDEUTUNG DER BLAUFARBEN

Nach ALBERS et al. (2017) wird der Farbe Blau seit jeher eine besondere Faszination zugeschrieben. Als Farbpigment wird Blau seit rund 5.000 Jahren genutzt. Die Vorliebe nach blauen Farben trifft man bei fast sämtlichen altertümlichen Hochkulturen an. Sie fanden Verwendung für Ziegel- und Tonprodukte, Gläser, Ornamente, Fliesen, Porzellan, bei der Gestaltung von Tempeln, Kirchen und Moscheen (HORSCHIK 1973, ALBERS et al. 2017). Bis zur Erfindung chemischer Farbpigmente waren Blautöne, insbesondere beständige Farbtöne, nur sehr kostspielig herzustellen und teilweise teurer als Gold (STOLL 2010, ALBERS et al. 2017). Als Produktionsgrundlage wurde größtenteils das sehr teure Mineral Lapis Lazuli aus Afghanistan importiert. Eines der ersten Blaupigmente wurde von den Ägyptern ca. 3.000 Jahre v. Chr. basierend auf kupferhaltigen Mineralien erfunden (ALBERS et al. 2017). Blaufarben auf Basis sulfidisch-arsenidischer Kobalterze konnten sich im späten Mittelalter als Ersatz für Lapis Lazuli großflächig durchsetzen (STOLL 2010). Daraus entwickelte sich ein ganzer Wirtschaftszweig, in dessen Mittelpunkt Schneeberg lag.

## 10.2 GESCHICHTE DER BLAUFARBEN

Die Geschichte der Verarbeitung von Kobalterzen zu blauen Farben reicht bis in die Antike zurück. Kobalterze und –produkte waren bereits vor über 4.000 Jahren in einigen Hochkulturen bekannt, z.B. in Ägypten, Persien und Babylon (EMONS & EMONS 2000, HORSCHIK 1973). Nach HORSCHIK (1973) wurden kobaltbasierte Blaufarben auch schon bei den Chinesen verwendet. Die Herstellung ist danach in Vergessenheit geraten und wurde zufällig im späten Mittelalter wiederentdeckt.

Die Wiederentdeckung von Safflor um 1520 ist nach SIEBER (1935) Peter Weidenhammer zuzuschreiben, der kobaltreichen Oxiderzen Quarzsand beimengte (Verfahrensschema in Abb. 31). SIEBER (1935) betont allerdings, dass Weidenhammer die Blaufärbung fälschlicherweise auf die Wismuterze zurückführte und nicht den begleitenden Kobaltoxiden. Mit der daraus zubereiteten blauen Farbe betrieb er bereits Handel, u.a. nach Venedig und Holland (SIEBER 1935).

Als eigentlicher Erfinder des Kobaltblaus gilt der Glasmacher Christoph Schürer. Den Überlieferungen des Chronisten Christian Lehmanns zufolge gründete er um 1540 eine Farbmühle in Neudeck (SCHMIDT-BRÜCKEN & RICHTER 2011). Unter Zugabe von Quarzsand und Pottasche (Kaliumcarbonat) schmolz er einige Stücke Schneeberger Kobalterz in einem Glasofen (GEBAUER 1893, SCHMIDT-BRÜCKEN & RICHTER 2011). Durch Zerklopfen und Zerreiben erzeugte er ein himmelblaues Glaspulver, die Smalte (GEBAUER 1893). Schürer verwendete aus Wismut ausgeschmolzene Kobalterze und machte den Herstellungsprozess von Wismuterzen unabhängig (SIEBER 1969). WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) betonen, dass durch die Smalte, im Gegensatz

zum Safflor, über viele Chargen hinweg gleichbleibende Blautöne hergestellt werden konnten. Nachdem der Erfindung in Sachsen keine Beachtung geschenkt wurde, gab Schürer die Geheimnisse der Smalteproduktion an holländische Kaufleute weiter. In der Folgezeit entstanden in Holland acht Farbmühlen, die aus Schneeberger Kobalterz die Blaufarbe herstellten und mit großem Gewinn weiterverkauften (BRUCHMÜLLER 1897, SCHMIDT-BRÜCKEN & RICHTER 2011).

Um 1568 errichtete Christoph Stahl in Schneeberg, laut SIEBER (1935) in unmittelbarer Nähe zur Fundgrube *Catharina Neufang*, die erste Farbmühle mit Schmelzofen auf sächsischem Boden. Diese hatte nur kurzen Bestand, da sie 1573 einem Hochwasser zum Opfer fiel und Stahl um 1575 verstarb (NEUMANN 1904). Weitere Versuche in der Folgezeit, die Kobalterze innerhalb Sachsens zu verarbeiten (durch Hans Jennitz und Hans Harrer um 1575) schlugen fehl, fast sämtliches Kobalterz wurde weiterhin nach Holland exportiert (GEBAUER 1893, NEUMANN 1904). Nach BRUCHMÜLLER (1897) setzte sich der Kobaltbergbau samt dessen Verarbeitung in Schneeberg erst infolge des zusammenbrechenden Silberbergbaus zum Beginn des 17. Jhd. endgültig durch.

Das allmähliche Ende der Blaufarbenindustrie wurde mit der Erfindung des billigeren Ultramarins ( $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S}_{2-4}$ ) durch den Franzosen Jean Baptiste Guimet um 1828 eingeleitet (STOLL 2010).

### 10.3 HISTORISCHE KOBALTERZVERARBEITUNG

Man unterscheidet Safflor und die Smalte. Safflor ist geröstetes Kobalterz, das zur Weiterverarbeitung verkauft wird. Zur Herstellung des Safflors werden Kobalterze mit hohem Co-Anteil eingesetzt. Diesen kobaltreichen Erzen wird Quarzsand beigemischt. Durch Einschmelzen des Mischguts gewinnt man das Kobaltsilikat Safflor, ein blaues Farbglas. Allerdings machte Safflor nur einen kleinen Anteil der Produktion aus, es wurde überwiegend Smalte erzeugt (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990). Zur Smalteherstellung werden Kobalterze mit niedrigerem Co-Gehalt eingesetzt. Das Aufbereitungsprinzip zur Erzeugung von Safflor und Smalte ist schematisch in Abb. 31 dargestellt.

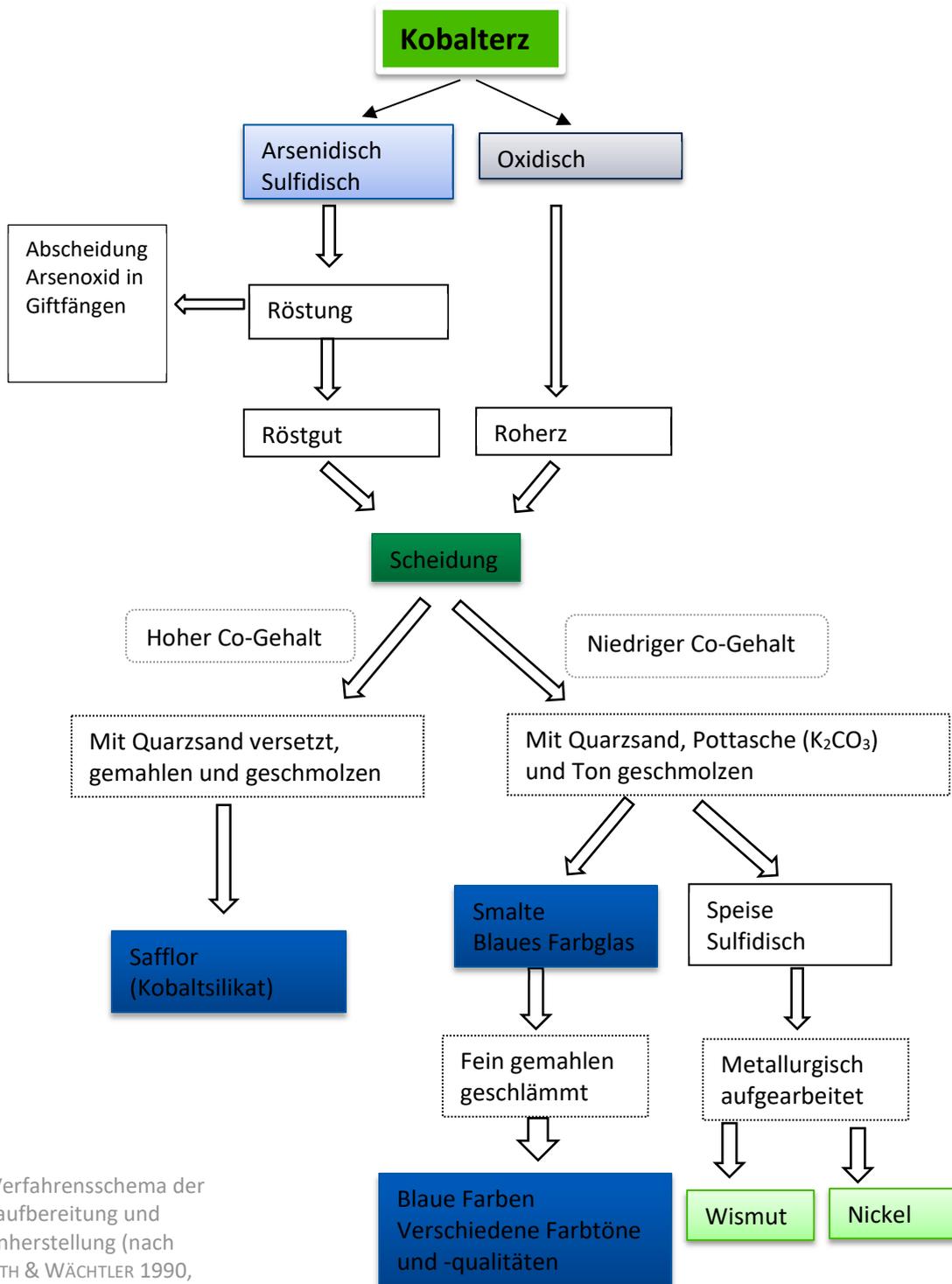


Abb. 31: Verfahrensschema der Kobalterzaufbereitung und Blaufarbenherstellung (nach WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, HAMMER 2004)

Die Erzeugung der Smalte war ein komplizierter Verhüttungsprozess, der vor allem auf Erfahrung basierte. Stark schwankenden Co- und Ni-Gehalte der Erze, die rein optisch nicht bestimmt werden konnten, machten bei jeder Kobalterzlieferung zuerst Probebrände in den Blaufarbenwerken notwendig, um anschließend das Mischungsverhältnis zu bestimmen (HAMMER 2004, STOLL 2010). Arsenidische und Sulfarsenidische Kobalterze werden bei ca. 700 °C geröstet um die Arsen- und Schwefelbestandteile des Cobalts abzuscheiden. Die Einhaltung der Temperatur des Flammofens ist zwingend, damit sich nicht die anderen sulfidischen Bestandteile (Nickel, Eisen) zersetzen und eine unerwünschte Färbung hervorrufen (STOLL 2010). In einem zweiten Schritt wurde nach HAMMER (2004) unter Zugabe von Quarzsand und Pottasche bei Temperaturen zwischen 1.100 und 1.250 °C eine Schmelze erzeugt, aus der anschließend die schwere und am Boden befindliche Speise abgekippt wurde. Die in Tonhäfen befindliche Schmelze färbte sich tiefblau, wurde in einem Wasserbad abgeschreckt und anschließend in Pochwerken zerkleinert.

Für diesen Prozess waren enorme Mengen an Holz notwendig, aus dem die Pottasche erzeugt wurde. Nach STOLL (2010) benötigte das Blaufarbenwerk in Schwarzenfels (Hessen) jeden Monat bis zu 140 Zentner Pottasche. Dabei liefert Holz nach Angabe von STOLL (2010) nur etwas 2 % Pottasche. Häufig wurden deswegen Importe aus dem Ausland notwendig um den riesigen Bedarf zu decken. Für die sächsischen Werke mussten riesige Mengen an Pottasche importiert werden, vornehmlich aus Böhmen. Ein Gesetz regelte, dass sämtliche eingeführte Pottasche zuerst den einzelnen Blaufarbenwerken zum Kauf angeboten werden musste, bevor es auf dem Markt frei verkauft werden durfte (BRUCHMÜLLER 1897).

#### 10.4 DIE SÄCHSISCHEN BLAUFARBENWERKE

Nachdem 1603 vom sächsischen Kurfürst Christian II. erstmals eine Steuer auf den Kobalthandel erhoben wurde, unterlag ab 1609 der gesamte Kobalthandel staatlicher Reglementierung. Zur Gründung erster Blaufarbenwerke kam es ab 1635, noch während des Dreißigjährigen Krieges (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990).

Dabei existierten im 17. Jhd. nur für wenige Jahre (1665 – 1668) fünf Blaufarbenwerke gleichzeitig in Sachsen. Die restliche Zeit verarbeiteten die vier Blaufarbenwerke in Niederpfannenstiel, Oberschlema, Schindlerswerk und Sehma bzw. Zschopenthal die Kobalterze der Reviere in Schneeberg und Annaberg. Infolge der Verlegung des Werkes an der Sehma sind insgesamt sechs verschiedene Standorte von Blaufarbenwerken zu verzeichnen (Abb. 32).

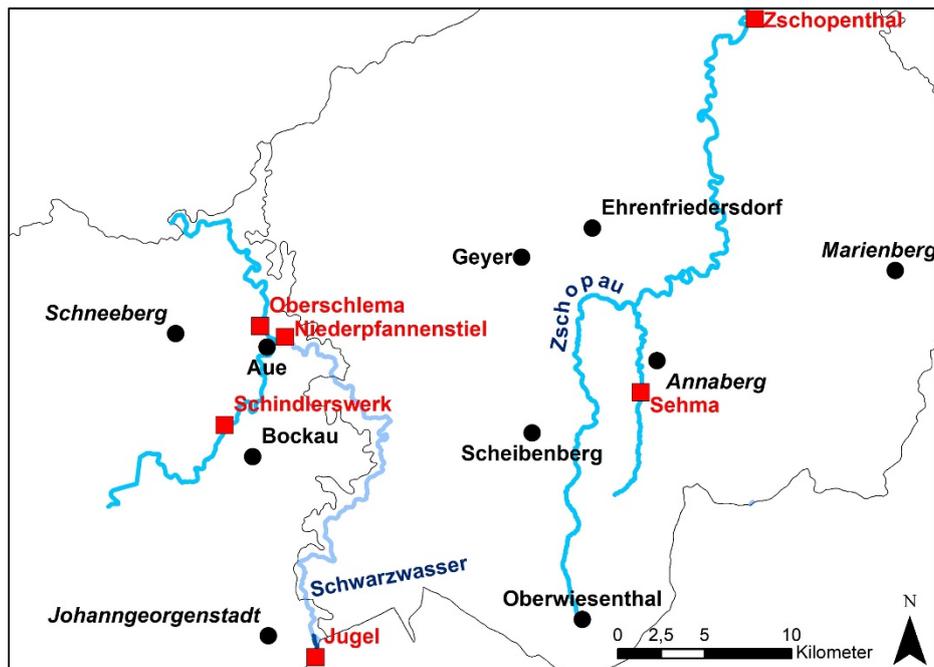


Abb. 32: Lage der Blaufarbenwerke (Eigene Darstellung)

Die regelmäßig ausgehandelten Kobaltkontrakte, meist mit einer Laufzeit von sieben bis zehn Jahren versehen, setzten auch die Abnahmemenge der in Schneeberg und ab 1653 in Annaberg geförderten Kobalterze auf 1/5 pro Werk fest (BRUCHMÜLLER 1897). Die Kobaltkontrakte wurden zwischen den einzelnen Kobaltkontrahenten abgeschlossen und lieferten Bestimmungen zu:

- Kobaltausbringungen der Gruben und deren Abnahme durch die Blaufarbenwerke (SIEBER 1954)
- Der gesamten Kobaltproduktion und den Handel mit den Kobalterzeugnissen (BRUCHMÜLLER 1893, SIEBER 1954)
- Gleichmäßige und ununterbrochene Versorgung mit Kobalterzen (SIEBER 1954)

Darüber hinaus wurden Festpreise, Produktionsbeschränkungen und -quoten, eine gemeinsame Kennzeichnungspflicht der Produkte und Verkaufslager in Schneeberg und Leipzig eingerichtet. Es kam zum Einsatz von Kobaltinspektoren, außerdem ist ein strenges Ausfuhrverbot von Kobalterzen sowie ein Zutrittsverbot zu den Werken für Betriebsfremde durchgesetzt wurden (HAMMER 2004, WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990). SIEBER (1954) spricht in diesem Zusammenhang von einem „kunstvollen Wirtschaftssystem“, WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) bezeichnen es als eine Syndikatsbildung. Es wurden alle Mittel eingesetzt um das Geheimnis der Blaufarbenherstellung zu bewahren. Die sächsische Blaufarbenindustrie konnte bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts ihre de facto Monopolstellung behalten und blieb auch darüber hinaus marktbeherrschend (LIEßMANN 1994).

Bei allen Blaufarbenwerken fallen ähnliche geographische Muster bei der Standortwahl auf, sie befinden sich unmittelbar an Flüssen. Zusammenfassend lassen sich die folgenden Kriterien für die Standortwahl festhalten:

- Nähe zu den Kobaltgruben für kurze Transportwege
- Eine ganzjährig ausreichende Versorgung mit Wasserkraft
- Ausreichend Holz für die Verhüttungsprozesse und zur Pottascheherstellung
- Lage in der Nähe von großen Verkehr- bzw. Handelsrouten

Nachdem das Werk in Jugel vom Oberschlemaer Werk übernommen wurde, erhielt das Oberschlemaer Werk fortan 2/5 der Lieferungen (BRUCHMÜLLER 1897). Die Tab. 36 gibt einen Überblick über die verwendeten Kobalterze im Zeitraum 1750 – 1754.

Werk	Anmengungen von Kobalterzen (Zentner)							
	Roh				Kalziniert			
	Gut	Mittel	Gering	Summen	Gut	Mittel	Gering	Summen
Oberschlema	5.174,25	5.208,25	2.842,00	<b>13.224,50</b>	3.594,75	1.588,25	13,25	<b>5.196,25</b>
Schindlerswerk	134,75	3.055,50	3.209,38	<b>6.399,63</b>	261,25	643,50	396,00	<b>1.300,75</b>
Zschopenthal	257,00	1.455,13	2.784,63	<b>4.496,75</b>	256,50	1.832,00	0,00	<b>2.088,50</b>
Niederpfannenstiel	236,25	1.353,25	1.900,75	<b>3.490,25</b>	456,13	2.094,13	1.316,50	<b>3.866,75</b>
<b>Summen</b>	<b>5.802,25</b>	<b>11.072,13</b>	<b>10.736,75</b>	<b>27.611,13</b>	<b>4.568,63</b>	<b>6.157,88</b>	<b>1.725,75</b>	<b>12.452,25</b>

Tab. 36: Summarischer Extrakt was auf den 1750 - 1754 an Kobalt geschmolzen und an Kobaltprodukten (Glas, Farbe und Eschel) produziert wurde (nach CARL 1754/55)

Aus der Tab. 36 geht hervor, dass überwiegend Kobalterze mittlerer Qualitätsstufe in der Produktion verwendet wurden. Auffällig ist, dass vor allem das Oberschlemaer Werk einen hohen Anteil von Kobalterzen guter Qualitätsstufe eingesetzt hat. Die Verteilung der Kobaltausbringungen anhand der Quoten im Kobaltkontrakt (1/5 bzw. 2/5) wird in mehreren Erzlieferungsextrakten bestätigt (o.J.o.A.a, o.J.o.A.b, o.J.o.A.c). Zur Beschreibung der weiteren Entwicklung der Blaufarbenindustrie im 19. Jhd. ist es notwendig, die einzelnen Werke kurz vorzustellen.

#### 10.4.1 Das Blaufarbenwerk in Niederpfannenstiel

Dieses Werk wurde 1635 von Veit Hans Schnorr auf ehemals Schönburgischem Gebiet nahe von Aue gegründet (EDELMAAN 1901). Die Gründung des Werks fiel in die Zeit des Dreißigjährigen Krieges (1618 – 1648), als der Schneeberger Bergbau vollständig am Boden lag. Generell war diese Zeit durch Unsicherheit sowie eine schlechte Lage der politischen und kommerziellen Verhältnisse gekennzeichnet (EDELMAAN 1901). Es entstand in unmittelbarer Lage am Fluss Schwarzwasser. Veit Hans Schnorr wollte in dem Werk die Kobalterze der Schneeberger Gruben verarbeiten (SIEBER 1935). Schnorr handelte 1641 den ersten Kobaltkontrakt aus, später nach seiner Entführung seine

Gattin Rosina Schnorr. Gegen Ende des 19. Jhd. wurde das Werk auf die Nickelverarbeitung umgerüstet. HAUSTEIN (2010) betont, dass der letzte schriftliche Nachweis über Smalterzeugung aus 1924 datiert. Das Werk existiert noch heute am gleichen Ort als Nickelhütte Aue GmbH.

#### 10.4.2 Kurfürstliches Doppelblaufarbenwerk in Oberschlema

Das Blaufarbenwerk Oberschlema wurde 1644 von Johann Burkhardt gegründet. Burkhardt erlernte die Kunst der Farbenfabrikation von zwei holländischen Farbenarbeitern. Er kaufte das um 1611 gegründete Blaufarbenwerk im böhmischen Platten. GEBAUER (1893) gibt an, dass er 1644 dieses Werk nach Oberschlema in Sachsen verlegte, um dort die Kobalterze seiner Kobaltgruben verarbeiten zu können. Nachdem Johann Burkhardt bereits 1651 kinderlos verstarb, ging das Blaufarbenwerk in Oberschlema samt der Gruben *Daniel* und *St. Anna* aufgrund testamentarischer Verfügung in den Besitz des Kurprinzen Johann Georg II. über und wurde Staatseigentum (EDELMANN 1901). Nachdem auch das Blaufarbenwerk in Unterjügel in kurfürstlichen Besitz überging, wurden die beiden Werke zum Kurfürstlichen Doppelblaufarbenwerk firmiert. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war Oberschlema der einzig verbliebene Standort der Blaufarbenproduktion. Obwohl der Niedergang der sächsischen Blaufarbenwerke bereits in vollem Gange war, sagte EDELMANN (1901) vor dem Hintergrund des nicht erschöpften Erzreichtums der Schneeberger Kobaltgruben noch einen gesicherten Bestand des Oberschlemaer Werkes voraus. Den Ausführungen von HAUSTEIN (2010) zufolge wurde noch bis Kriegsende 1945 Smalte produziert.

#### 10.4.3 Schindlerswerk in Albernau

Der Schneeberger Kaufmann Erasmus Schindler erhielt am 4. Mai 1649 das Privilegium zur Errichtung eines Farbwerks. Dieses wurde 1650 von Schindler an der Zwickauer Mulde bei Bockau errichtet (FISCHER 1965, EDELMANN, 1901). Das Werk wurde 1855 erst schrittweise, dann vollständig, auf die Produktion von Ultramarinfarben umgestaltet. Nach EMONS & EMONS (2008) war Schindlerswerk die einzige Ultramarinfabrik in der ehemaligen DDR und stellt heute noch Dispersionsfarben her.

#### 10.4.4 Die Blaufarbenwerke zu Sehma und Zschopenthal

1640 erfolgte die Gründung eines Blaufarbenwerks an der Sehma, südlich von Buchholz, durch den Leipziger Kaufmann Sebastian Öhme (EDELMANN 1901). Nach MÜLLER (1894) sollten hier gezielt die im Annaberger Revier geförderten Kobalterze verarbeitet werden. Aufgrund von Schwierigkeiten mit der Holzbelieferung verlegte man das Werk 1687 um 35 km weiter nördlich nach Waldkirchen an die Zschopau, wo es fortan als Zschopenthaler Blaufarbenwerk bezeichnet wurde (EDELMANN 1901). Neben den hier noch in ausreichendem Maße vorhandenen Holzreserven begünstigte eine

gute Anbindung an die Handelsrouten, sowie ganzjährig ausreichende Wasserkraft des Flusses Zschopau die Standortentscheidung.

#### 10.4.5 Blaufarbenwerk in Jugel

Das Blaufarbenwerk zu Jugel, nahe Johannegeorgenstadt, entstand nach EDELMANN (1901) an der Stelle einer bereits 1571 konzessionierten Glashütte. Die Gründung des Werks ist auf Christian Löbel zurückzuführen. Dieser hat nach SIEBER (1935) als Reaktion auf die Gründung des Blaufarbenwerks in Niederpfannenstiel (1635) bereits im Jahr 1640 beim sächsischen Kurfürsten eine Konzession zur Umwandlung der Glashütte in ein Blaufarbenwerk beantragt. Um 1665 errichtete er die Farbmühle zu Unterjugel. Gleichzeitig besaß er den Aussagen von zufolge noch eine Farbmühle in Böhmen, sowie Kuxe in St. Joachimsthal, dessen Kobalterze er verarbeiten wollte (SIEBER 1935, FISCHER 1965). 1668 verkaufte Loebel die Farbmühle an den Kurfürsten, der es anschließend zum Oberschlemaer Blaufarbenwerk eingliederte, dass dadurch zum „doppelten Blaufarbenwerk“ wurde (EDELMANN 1901). BRUCHMÜLLER (1897) trifft diesbezüglich eine gegensätzliche Aussage. Er behauptet, dass das Werk in Jugel auf kurfürstlichen Druck angekauft wurde, da Löbel entgegen den Bestimmungen des Kobaltkontakts die böhmischen Kobalterze verarbeiten wollte.

### 10.5 KOBALTBERGBAU UND BLAUFARBENINDUSTRIE AUßERHALB SACHSENS

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits erwähnt, dass schon lange Zeit vor der Gründung der sächsischen Blaufarbenwerken ein überregionaler Handel von Kobalterzen bestand. Dieser Handel spielte sich zunächst mit den Welsen (Venezianer), nürnbergischen Handelshäusern und mit holländischen Kaufleuten ab.

#### 10.5.1 Die Kobaltindustrie im böhmischen Teil des Erzgebirges

Um 1571 errichtete Sebastian Preißler im böhmischen Erzgebirge, nahe der sächsisch-böhmischen Grenze zwischen Platten und Eibenstock, eine Glashütte für blaues Kobaltglas (SIEBER 1935). Er verarbeitete vor allem Kobalterze, die in St. Joachimsthal, gefördert wurden. Im späteren Verlauf entstanden allein bei Platten insgesamt fünf Farbmühlen, die allesamt blaue Farbe herstellten und damit Handel betrieben (SIEBER 1935).

Für die Rückschläge des Kobaltbergbaus und der Blaufarbenindustrie in Böhmen gibt SIEBER (1935) mehrere Gründe an:

- Eine wesentliche Ursache sieht er in der Vertreibung der Protestanten aus Platten und St. Joachimsthal nach 1650. Zahlreiche Bergleute, Glasmacher und Farbmühlenbesitzer zogen

- ins benachbarte Sachsen und gründeten Johannegeorgenstadt. Darunter befand sich der bereits zuvor erwähnte Christian Löbel, der 1665 in Unterjugel das Blaufarbenwerk errichtete.
- Einen zweiten Grund sieht SIEBER (1935) in der 1686 erlassenen Verordnung, alle silberhaltigen Kobalterze an die staatliche Silberhütte in St. Joachimsthal abzuliefern. Es durften nur noch silberfreie Erze zu Blaufarbe verarbeitet werden. KAPFF (1792) gibt an, dass die Kobalterze im Puchnerschen Blaufarbenwerk, unterhalb von St. Joachimsthal, verarbeitet wurden.
  - Zusätzlich betrachtet SIEBER (1935) den Holzmangel als einen wichtigen Faktor. Infolge eines Sturms wurde um 1702 der Großteil der Wälder im Erzgebirgskamm vollständig zerstört. Es stand nicht mehr ausreichend Holz zur Verhüttung zur Verfügung. Ein Großteil der Kobaltspeise konnte nicht mehr vor Ort verarbeitet werden und wurde ins Ausland exportiert (siehe Abschnitt 10.5.3).

Diesen Rückschlägen konnten die böhmischen Blaufarbenwerke nach SIEBER (1935) nichts mehr entgegensetzen. Ehe sich die Forstbestände wieder regeneriert hatten, hatten sich die sächsischen Blaufarbenwerke in der Folgezeit den gesamten Kobalthandel angeeignet. Der illegale Handel sächsischer Kobalterze, als Kobaltpartiererei bezeichnet, war unter hoher Strafe gestellt.

### 10.5.2 Schwarzwald

Im mittleren Schwarzwald wurden nach MARKL (2004) in den Revieren um Alpirsbach und Wittichen (Grube *Sophia* im obersten Kinzigtal) Kobalterze abgebaut und in den Blaufarbenwerken Alpirsbach und Wittichen verarbeitet. Ein weiteres Blaufarbenwerk wurde von MARKL (2004) zwischen Gengenbach und Oppenau lokalisiert. Der Bergbau erfolgte überwiegend auf die Kobalterze Skutterudit und Safflorit, deren Lagerstätten erst zu Beginn des 18. Jhd. entdeckt wurden und in der zweiten Hälfte des 19. Jhd. als erschöpft galten (ebd.). Die Vererzungsepochen und Mineralparagenesen entsprechen dabei weitestgehend dem des Erzgebirges (ebd.).

Ein Handel, sowie Wissens- und Technologietransfer ist auch mit dem Schwarzwald belegt. Nach SIEBER (1935) bezog das Blaufarbenwerk Alpirsbach im Schwarzwald Kobalterze von den Gruben *Alt und Neu Segen Gottes* und *Glück mit Freuden* am Breitenbach in Böhmen. Auch die *Gengenbacher Kobalt Farbewerke Sozietät* im Schwarzwald bezog Erze aus St. Joachimsthal. Neben Alpirsbach wird von RÖßIG (1798) ein „ergiebiger Kobaltbergbau“ in Steiners-Au und Schiltach genannt.

### 10.5.3 Weitere Gebiete mit Kobaltindustrie

Zahlreiche böhmische Exulanten gründeten in anderen Gebieten der deutschen Lande Blaufarbenwerke und betrieben Handel mit Kobalterzen und -erzeugnissen aus Böhmen. SIEBER (1935) nennt für die folgenden Regionen exemplarisch:

<b>Region</b>	<b>Handelsgut</b>	<b>Anmerkungen</b>
<b>Thüringen</b>		
Blaufarbenwerk in Sophienau (Meiningen)	Kobalterze, Pottasche	
Sitzendorf bei Rudolstadt	Kobalterze	
<b>Schlesien</b>		
Blaufarbenwerk in Querbach	Kobalterze, Safflor	
<b>Harz</b>		
Blaufarbenwerk in Hasserode	Kobalterze	
<b>Baden</b>		
Blaufarbenwerk in Nordrach	Kobalterz	Kontrakt mit 20 Jahren Laufzeit über eine jährliche Lieferung von 100 t

Tab. 37: Handel mit böhmischen Kobalterzeugnissen (nach SIEBER 1935)

In entgegengesetzter Richtung ist nach SIEBER (1935) der Handel mit hochwertigen Kobalterzen aus Saalfeld (Thüringen) nach Böhmen belegt. Aufgrund des Umstandes, dass im böhmischen Erzgebirge fast ausschließlich minderwertigere Kobalterze ausgebracht wurden, mit denen sich nur Blaufarben geringerer Wertstufen (ordinäre Farben) herstellen ließen. Durch Beimengung importierter höherwertiger Kobalterze ließen sich feinere Farbstufen erzielen, für die ein besserer Preis generiert werden konnte.

Insgesamt entstanden auf dem europäischen Kontinent bis zu 20 Blaufarbenwerke (HAMMER 2004). Dabei wurde das norwegische Blaufarbenwerk nahe Modum 1855 vom Sächsischen Privatblaufarbenwerksverein aufgekauft und als Konkurrent ausgeschaltet (THIEL 2007). Nach LIEßMANN (1994) befanden sich andere bedeutende Kobaltgruben innerhalb der deutschen Länder im:

- Harzvorland (Revier Mansfeld)
- in der Rhön (Revier Richelsdorf)
- im Thüringer Wald (Revier Kamsdorf)
- im Spessart (Revier Bieber)
- im Siegerland
- im Riesengebirge in Schlesien (Revier Hirschberg)
- im Schwarzwald.

Abb. 33 gibt einen Überblick über die Verteilung weiterer Blaufarbenwerke. Neben den eingezeichneten Werken sind noch die Blaufarbenwerke in Modum (Norwegen) sowie Echéry bei St. Marie aux Mines (Frankreich) bekannt.

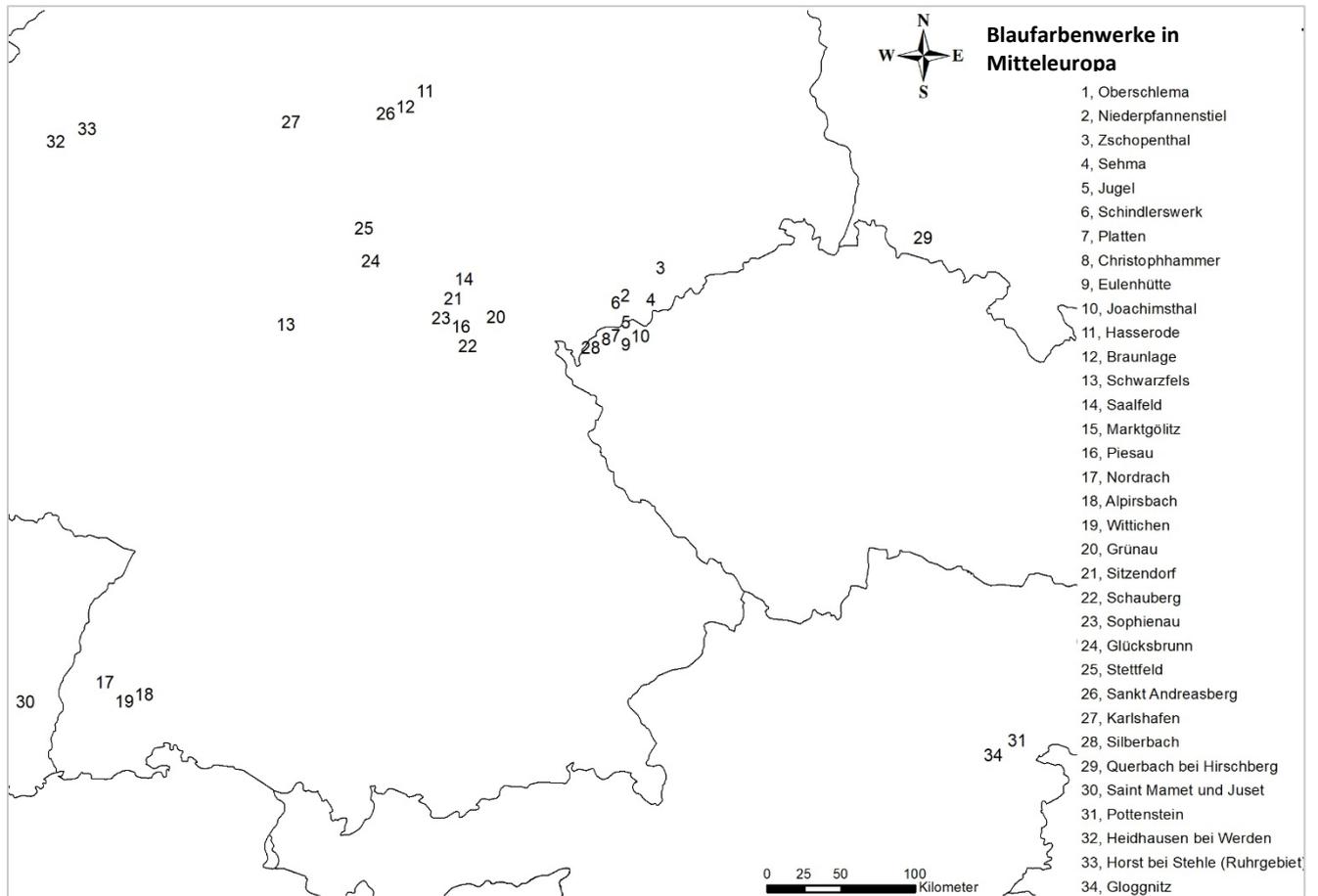


Abb. 33: Blaufarbenwerke in Mitteleuropa (Heutige Grenzen, Eigene Darstellung nach KAPFF 1792, RÖBIG 1798)

#### 10.5.4 Norwegischer Kobaltbergbau in Skutterud

1772 wurde in Modum, im Südosten Norwegens, auf der Spitze des Skutterud Höhenkamms, Cobalt entdeckt. EMONS & EMONS (2008) bezeichneten es als eine der größten Cobalt-Konzentrationen Europas. Der Bergbau erfolgte überwiegend auf Skutterudit, Glauco-dot ( $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ , STRUNZ 2001) und Cobaltin. Trotz der niedrigen Metallgehalte waren die Erze aufgrund der geringen Fe- und Ni-Anteile gut zur Blaufarbenerzeugung geeignet (EMONS & EMONS 2008). In relativ kurzer Zeit bildete sich in dem Gebiet eine riesige Industrielandschaft heraus. Im Gegensatz zum Erzgebirge, beruhte der Kobaltbergbau nach STEINSVIK (2000) in Modum lange Zeit auf das Setzen von Feuern entlang der Felsoberfläche.

Schon im 16. Und 17. Jhd. zog es zahlreiche Bergleute aus den deutschen Landen nach Norwegen. Zunächst kamen sie nach vorwiegend aus dem Harz, erst später aus dem Erzgebirge (EMONS &

EMONS 2008). In diesem Zusammenhang sind August Christian Baumann und Karl Friedrich Böbert zu nennen. Böbert, der nach STEINSVIK (2000) in Clausthal und Halle Bergbau studierte und anschließend in Freiberg am königlichen Institut für Bergbau arbeitete, wurde nach EMONS & EMONS (2008) mit nur 23 Jahre Mineninspektor. 1827 war gegen Böbert ein Verfahren wegen unerlaubten Betretens des Schindlerwerks im Erzgebirge anhängig.

In dem Werk erfolgte die Produktion der blauen Farben, die dem internationalen Standard des Sächsischen Blau entsprechen sollten (STEINSVIK 2000). Um die Entwicklung des Blaufarbenwerkes voranzutreiben, wurden auch Experten aus den sächsischen Farbwerken nach Norwegen angeworben. 1776 wurde der sächsische Farbenmeister Trautevetter in Dienst des Blaufarbenwerks Modum gerufen. Es folgte die Einstellung weiterer deutscher Experten (z.B. Waitz, Schramm, Hiort), deren Beziehung aufgrund auseinander gehender Meinungen zum Aufbau des Werkes untereinander allerdings als „außerordentlich angespannt“ beschrieben wurde (ebd.).

## 10.6 DAS SÄCHSISCHE BLAUFARBENWESEN IM KONTEXT VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die sächsische Blaufarbenindustrie konnte seit der ersten Hälfte des 17. Jhd. über 250 Jahre lang am Markt bestehen und sich gegen die Konkurrenz aus den deutschen Ländern und aus dem Ausland behaupten. Dafür gibt es vielfache Gründe, die nicht nur auf die jahrhundertelange Bewahrung des Betriebsgeheimnisses zurückzuführen ist. Zum einen spricht dafür, dass im sächsischen Erzgebirge Kobalterze höherer und reinerer Qualität verarbeitet wurden. Dies ermöglichte die Herstellung von Blaufarben höherer Qualitätsstufen, als sie von anderen konkurrierenden Blaufarbenwerken hergestellt werden konnten. Darüber hinaus war die enge Zusammenarbeit der sächsischen Werke, laut WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990) eine Art erster Syndikatbildung, ein entscheidender Vorteil. Aber auch im 19. Jhd. blieben die sächsischen Blaufarbenwerke marktbestimmend und konnten sich gegen die Erfindung des deutlich günstigeren synthetischen Ultramarins (1828) behaupten. Man verstand es, sich stets auf die neuen Gegebenheiten anzupassen und die richtigen wirtschaftlichen Entscheidungen zu treffen. Der Zusammenschluss der drei Privatblaufarbenwerke zum Privatblaufarbenwerkskonsortium, das eng verflochten mit dem königlichen Oberschlemaer Werk kooperierte, gehört dazu. Auch zählte die Bündelung der Ressourcen und die Anpassung an neue technische Innovationen dazu. Im 19. Jhd. löste die Steinkohle das Holz zunehmend als Energieressource ab. Die Schließung des Zschopenthaler Werks und die Umstellung der Fabrikation des Schindlerwerks auf Ultramarin sicherte Ressourcen und ermöglichte Marktanpassungen bei der Palette der vertriebenen Produkte. Wesentlich begünstigt wurde dies durch das Mitwirken bedeutender Forscher und Wissenschaftler der Blaufarbenwerke in Kooperation mit der 1765 gegründeten Bergakademie Freiberg.

Clemens Winkler, Chemiker und Professor der Bergakademie Freiberg, belegte nach EMONS & EMONS (2008) nicht nur die Richtigkeit des Periodensystems der Elemente anhand der Entdeckung des Elements Germanium. Er, und seine Ahnen, waren eng mit der Blaufarbenindustrie verbunden. Sein Groß- und Urgroßvater waren Faktoren des Zschopenthaler Werkes. Sein Vater wirkte maßgeblich an der Modernisierung der Blaufarbenwerke durch Einführung neuer Technologien und Produkte. Er wirkte aktiv bei der Umstellung des Schindlerschen Werkes zur Ultramarinproduktion, indem er Methoden zur Verarbeitung von Rauchgasen zur Schwefelsäure entwickelte. Darüber hinaus entwickelte er Verfahren zur Aufbereitung reines Nickels aus den durch die Blaufarbenwerke anfallenden Schlacken und erfand das Argentan (Neusilber) nach, welches bereits in früheren chinesischen Hochkulturen bekannt war (EMONS & EMONS 2008).

## 10.7 DIE BEDEUTUNG DER BLAUFARBENINDUSTRIE FÜR DAS GLASMACHER- UND KERAMIKHANDWERK

Bergbau und das Glasmacher- und Keramikhandwerk sind seit jeher eng miteinander verflochten und beeinflussten sich wechselseitig. Der Bergbau lieferte die Rohstoffe (z.B. Ton, Kaolin) oder auch die Ausgangsstoffe zur Erzeugung der Farbpigmente. Die starke Nachfrage nach kobaltblauen Gläsern und nach hochwertigen, beständigen und günstigen Blaufarben für die Keramikindustrie stellten den ursächlichen Auslöser des einsetzenden Bergbaus auf Kobalterze im Erzgebirge dar. Die kobaltbasierten Blaufarben schienen diesen Anforderungen in besonderem Maße gerecht zu werden. In Südeuropa (Italien, Spanien, Portugal) ist das Auftreten der Blaufarbe auf Kobaltbasis rund 100 Jahre früher belegt, z.B. in Form von blauem venezianischen Glas (HAASE 1990). Die Hersteller in Südeuropa bezogen die Blaufarben zunächst auf dem Seeweg (HORSCHIK 1973). Nach 1520 betrieb Peter Weidenhammer mit den Kobaltfarben aus dem Erzgebirge Handel bis nach Venedig (BRUCHMÜLLER 1897, SIEBER 1935).

Kobaltbasierte blaue Farbe war den Aussagen von SIEBER (1935) zufolge bereits im 16. Jhd., noch vor der Gründung der ersten sächsischen Blaufarbenwerke, in Holland bei der Delfter Malerei begehrt. Holländische Kaufleute waren am Ende des 16. und dem Beginn des 17. Jhd. die Hauptabnehmer des Safflors aus Schneeberg und lieferten den Großteil in die holländische Kleinstadt Delft. In acht Farbmühlen wurde der Safflor, dank des Wissenstransfers durch Schürer, zu Blaufarben mit bis zu 24 Qualitätsstufen verarbeitet. Die *Delfter Fayence* erlangte im Imitieren chinesischen Porzellans, auf Basis kobaltblauer Malerei auf zinnglasierten Tonscherben, Weltbekanntheit.

In die Epoche der Delfter Fayence fällt die Erfindung des Meissner Porzellans durch Böttger zu Beginn des 18. Jhd. In Zusammenarbeit mit dem Gelehrten Walther von Tschirnhaus, der auf seinen Reisen u.a. die Manufakturen zu Delft besucht hat, gelang die Erfindung des europäischen (Hart-)

Porzellans unter Verwendung des Kaolins („Schnorr’sche Erde“) aus der Weißerdenzeche des Veit Hans Schnorr (GODER 1990). Durch Verwendung eigens in den Blaufarbenwerken ausgesuchter Smalte konnte nach Böttgers Ableben, gegen 1719 erstmals das Kobaltblau als Unterglasurfarbe für Malerei verwendet werden.

Um 1718 wurde nach BUSSON (1988) durch kaiserlichen Erlass die Gründung der Porzellanmanufaktur zu Wien beschlossen. Deren Erfolg gründet sich maßgeblich auf einen engen Austausch von Wissen und Personal mit der Porzellanmanufaktur zu Meißen:

- Christoph Conrad Hunger, der behauptete der Blaumalerei mächtig zu sein und die Porzellanherstellung von Böttger gelehrt zu haben, wurde nach Wien abgeworben.
- Der Halbbruder von Böttger, Just Friedrich Tiemann jun., brachte Skizzen von Brennöfen nach Wien.
- Samuel Stöltzel, langjähriger Mitarbeiter von Hunger, ließ sich ebenfalls nach Wien abwerben und schmuggelte dabei Kaolin aus der Weißerdenzeche bei Schneeberg mit.

Das Abwerben weiterer Arbeiter aus Meißen ist überliefert. Christoph Conrad Hunger setzt sich nur wenige Monate später nach Venedig ab, um dort in der neu gegründeten Manufaktur zu arbeiten.

## 11 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

Die historischen Kobaltlagerstätten im Erzgebirge zählen zu den hydrothermalen Ganglagerstätten der BiCoNiAg(U)-Formation. Diese bildeten sich nach KRONER & ROMER (2010) ausschließlich postvariszisch, mit besonders starken Häufungen im Perm (280 – 270 Ma) und Trias – Jura (230 – 170 Ma). Besonders mächtige Gangvererzungen bildeten sich nach BAUMANN et al. (2000) im Kreuzungsbereich von NE- und NW- verlaufenden Störungssystemen. Dadurch erreicht die BiCoNiAg(U)-Formation ihre maximale Ausprägung im Westerzgebirge, während die Intensität in Richtung Osterzgebirge zugunsten anderer Mineralparagenesen abnimmt.

Diese Tatsache spiegelt sich in der ungleichmäßigen Verteilung der historischen Kobaltlagerstätten wieder. Diese finden sich ausschließlich im West- und Mittelerzgebirge (Abb. 34). Schneeberg war die größte Kobaltlagerstätte und somit das Hauptabbaugebiet für Kobalterze. An zweiter Stelle findet sich das Annaberger Revier wieder. Vereinzelt sind auch im Osterzgebirge Gruben mit Vorkommen von Kobalterzen genannt (FRENZEL 1874, BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG 1998), die aber keine Rolle spielten.

Eine Förderung von Kobalterzen ist für die punktierten Reviere in Abb. 34 nachgewiesen.



Abb. 34: Reviere mit historischen Kobaltlagerstätten im West- und Mittelerzgebirge (Eigene Darstellung)

Um über die Förderung von Kobalterzen diskutieren zu können, ist die Kenntnis der Mineralart und des Chemismus der Erze, die das primäre Ziel des Bergbaus waren, unabdingbar. Zur Beurteilung, welche Kobalterze überwiegend in diesen Ganglagerstätten auftreten, stehen 35 Sammlungsproben aus der mineralogischen Sammlung des MMG der SNSD für Analysezwecke zur Verfügung. Davon sind 24 Sammlungsproben Skutterudite, zehn weitere Erythrin und ein Safflorit. Beim Skutterudit handelt es sich mineralogisch um Mischkristalle mit unterschiedlichen Gehalten an Cobalt, Nickel und Eisen. Man unterscheidet:

- reinen Skutterudit ( $\text{CoAs}_3$ )
- Skutterudit mit Co-Dominanz im Mischkristall  $((\text{Co,Fe,Ni})\text{As}_{2.3})$
- Nickelskutterudit  $((\text{Ni,Co,Fe})\text{As}_{3-x})$

Zehn Skutterudite aus der mineralogischen Sammlung des MMG sind mit XRD, davon vier weitere zusätzlich mit REM-EDX analysiert wurden. Die zusätzliche Einbeziehung der Analyseergebnisse von TÖLLE (1964) bestätigt die Dominanz des Skutterudits mit Mischkristallreihe. Die analysierten Erzproben offenbaren eine große Variabilität der Co- und Ni-Anteile im Skutterudit-Mischkristall (Co 18 - 65 Gew.- %, Ni 24 - 74 Gew.- %). Die Klassifikation der Ergebnisse anhand RÖSLER & LANGE (1975) (Abb. 35) bestätigt den Mischkristallcharakter. Reiner Skutterudit (Co-Anteil > 75 Gew.- % nach RÖSLER & LANGE (1975)) kann nicht bestätigt werden. Rund  $\frac{3}{4}$  der Messergebnisse (19 Proben von Tölle (1964) und elf REM-EDX-Analysen an verschiedenen Probenpunkten der Sammlungsproben des MMG) finden sich im Mischkristallfeld von Nickelskutterudit wieder, der kleinere Teil im Mischkristallfeld des Skutterudits mit Co-Dominanz. Zu den Messergebnissen der REM-EDX-Analyse muss jedoch angemerkt werden, dass die Analysen an Bruchstücken der Erzproben durchgeführt wurden. Dadurch können die erzielten Analyseergebnisse nur als halbquantitativ betrachtet werden. Sie bieten dennoch den gewünschten Überblick über die Mineralart der Erze. Dieser Zusammenhang geht noch einmal zusammenfassend aus Abb. 35 hervor.

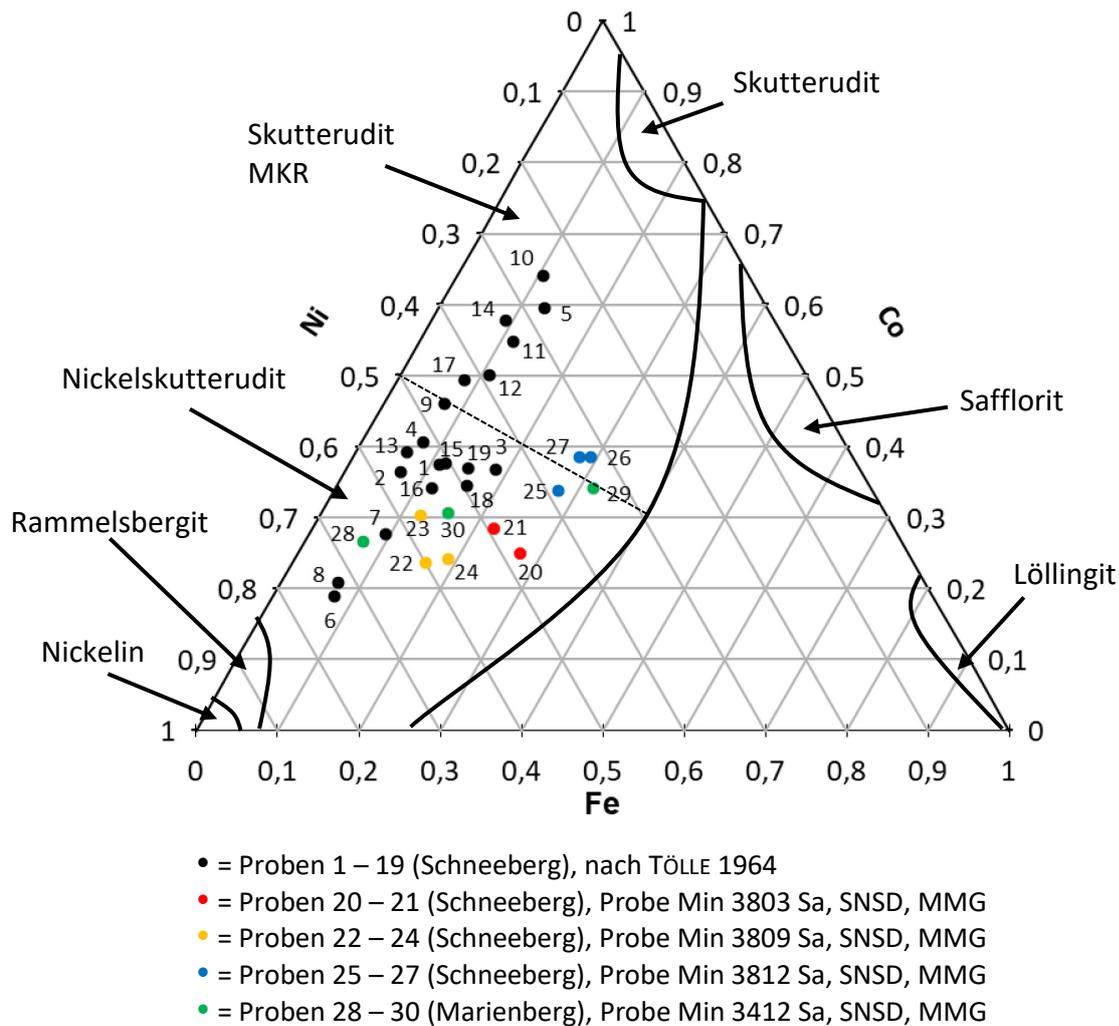


Abb. 35: Klassifikation der Skutterudit-Proben von TÖLLE (1964) und der REM-EDX-Analysen an Sammlungsobjekten der SNSD, MMG im Dreiecksdiagramm nach RÖSLER & LANGE (1975)

Diesem Sachverhalt, Erze mit unterschiedlichen Gehalten an Cobalt, Nickel und Eisen zu fördern und zu verarbeiten, waren bereits die Bergleute in den Bergwerken und die Farbmeister in den Blaufarbenwerken ausgeliefert. Rein visuell bestand keine Möglichkeit zur Bestimmung der Mineralart gelieferter Erze. Nur die sekundäre Kobaltblüte (Erythrin) konnte Hinweise auf eine dominierende Kobaltvererzung geben.

Schon FRENZEL (1874) hat Schneeberg als die Heimat des Skutterudits bezeichnet. Schneeberg war für den Kobaltbergbau das wichtigste Revier. Die nachgewiesenen Fördersummen an Co-Erzen für die einzelnen Zeitabschnitte (1642 – 1682, 1825 – 1882, ohne 18. Jhd.) übersteigt mit 18.080 t registrierter Fördersumme die Mengen aller anderen Reviere mit Kobaltbergbau im Erzgebirge. Auch für das Ende des 19. Jhd., als die anderen Kobaltlagerstätten erschöpft waren, wurde in Schneeberg noch Kobalterz abgebaut.

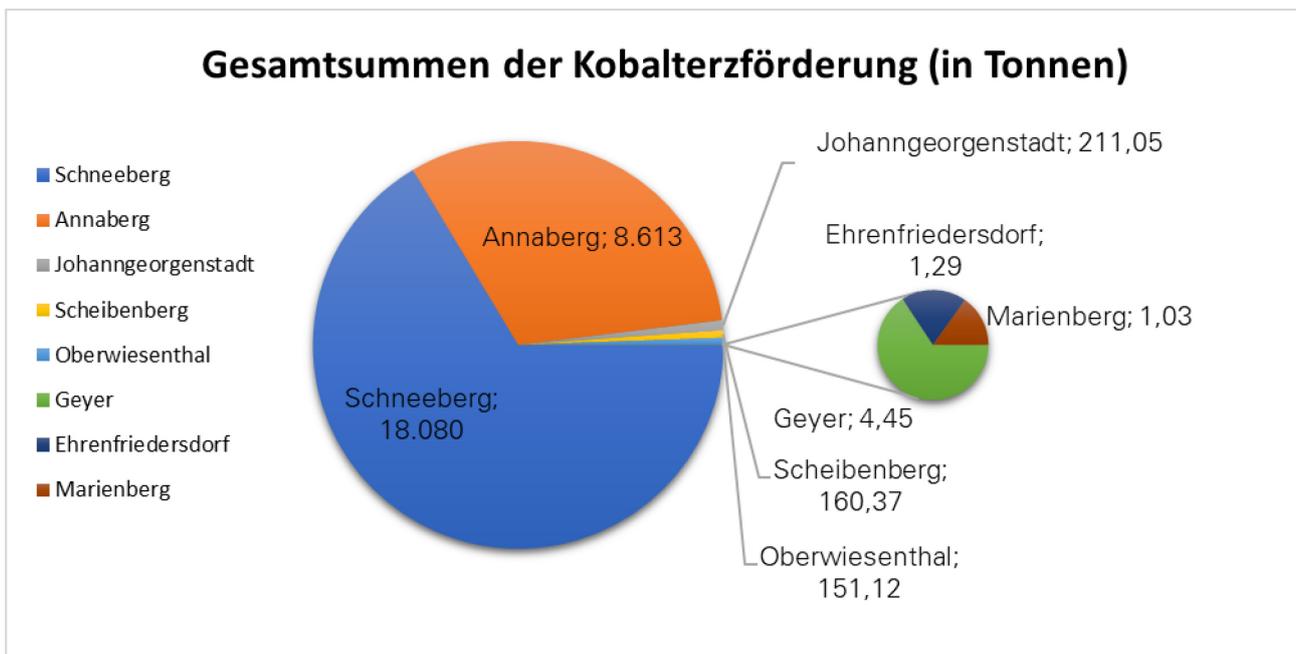


Abb. 36: Gesamtdarstellung aller Reviere mit Kobalterzförderung (Eigene Darstellung nach den Quellen in Tab. 37)

Für Johanngeorgenstadt ist die Lieferung von Kobalterzen bereits während der ersten Hälfte des 18. Jhd. quantitativ belegt (o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d). Die vielfach in der Literatur (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, BAUMANN et al. 2000) getroffenen Aussagen, dass der Kobaltbergbau in Johanngeorgenstadt erst nach 1792 Bedeutung erlangte, sind widerlegt. Die Quellen deuten vielmehr darauf hin, dass die Kobaltförderung zu diesem Zeitpunkt bereits rückläufig war. In Ermangelung von Archivmaterial für 1750 – 1769 können die Angaben von FISCHER (1969) zu seinen genannten Fördersummen (1754 – 1766: 44,8 t sowie 1767 – 1783: 219,8 t Kobalterze) nicht verifiziert werden. Eine Plausibilität der Angaben FISCHERS (1969) ließe sich spekulativ damit belegen, dass einer Fördermenge von 219,8 t Co-Erzen zwischen 1767 - 1783 eine jährliche Ausbringung von ca. 251 Zentner entspricht. Dieser Wert wurde zwischen 1730 – 1750 in sechs Jahren erreicht und überschritten. Der Rückgang der Förderung zwischen 1754 – 1766 fällt in den Zeitraum des Siebenjährigen Krieges, der den Bergbau im Erzgebirge nahezu zum Erliegen brachte (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, BAUMANN et al. 2000).

Als zweitwichtigstes Revier des Kobaltbergbaus ist Annaberg im Mittelerzgebirge zu klassifizieren. Die Auswertung einer durchgehenden Zeitreihe über Kobalterzlieferungen zwischen 1642 – 1850 (REPPMANN 1842, o.A. 1851, o.A.o.J.e). belegt die Förderung von 167.573,48 Zentnern (ca. 8.613 t) (siehe Abb. 36, Tab. 38).

Weitere mittelerzgebirgische Reviere mit überliefertem Kobaltbergbau sind nach Tab. 38 Scheibenberg, Oberwiesenthal, Geyer, Ehrenfriedersdorf und Marienberg zu identifizieren (REPPMANN 1842, o.A. 1851, MÜLLER 1894, o.A.o.J.e).

Ort	Von	Bis	Fördermenge und Einheit	Tonnen	Quelle	
Schneeberg	1620	1641	68.860	Kübel	-	MELTZER (1684)
	1642	1682	137.755	Zentner	7.081	MELTZER (1684)
	1825	1854	146.010	Zentner	7.505	KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1827 - 1856)
	1857	1882	69.882	(Zoll-)Zentner	3.494	o.A.o.J.a
Annaberg	1643	1849	167.573	Zentner	8.613	REPPMANN 1845, o.A. 1851, o.A.o.J.e
Johanngeorgenstadt	1731	1749	3.931	Zentner	202,05	o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d
	1769	1771	170	Zentner	8,74	o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d
	1830	1830	5	Zentner	0,26	KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1832)
Scheibenberg	1657	1839	3.120,0	Zentner	160,37	REPPMANN 1845, o.A. 1851
Oberwiesenthal	1723	1844	2.940,0	Zentner	151,12	REPPMANN 1845, o.A. 1851
Geyer	1664	1835	86,5	Zentner	4,45	LAUE 1854
Ehrenfriedersdorf	1823	1845	25,0	Zentner	1,29	LAUE 1854
Marienberg	1808	1845	17,5	Zentner	0,90	LAUE 1854
	1847	1847	2,5	Zentner	0,13	KALENDER FÜR DEN SÄCHSISCHEN BERG- UND HÜTTENMANN (1849)

Tab. 38: Nachgewiesene Reviere des Kobaltbergbaus im West- und Mittelerzgebirge

Belegt ist auch die geringe Bedeutung des Marienberger Reviers für den Kobaltbergbau. Zwar wird Marienberg oft mit dem Vorkommen von Kobalterzen in Zusammenhang gebracht (FRENZEL 1894, WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990, BARTELHEIM & NIEDERSCHLAG 1998, BAUMANN et al. 2000), aber auf Basis der Angaben von LAUE (1854) gab es nur in zwei Gruben kleinere abbauwürdige Kobalterzvorkommen. Allerdings erscheinen auch die Fördermengen der anderen Reviere gegenüber Schneeberg und Annaberg vergleichsweise gering.

Die variable Zusammensetzung der Kobalterze resultierte oft auch bei Ablieferung gleicher Mengen in einer unterschiedlichen Bezahlung der Erze. Die Tab. 39 gibt ein Beispiel über die unterschiedliche Bezahlung gleicher Erzliefermengen verschiedener Gruben aus Annaberg und Oberwiesenthal.

Grube	Jahr	Quartal	Ausbringung Zentner	Thaler	Groschen	Pfennig
Unverhofft Glück mit Freuden Fdgr.	1825	Luciae	5	43	2	0
König Dänemark Fundgrube	1825	Crucis	5	59	8	0

Tab. 39: Bezahlung der Kobalterze in Abhängigkeit ihrer Güte (Quelle: o.A. 1851)

Aufgrund der unterschiedlichen Gehalte an Cobalt und Nickel wurden nach Ablieferung der Erze in den Blaufarbenwerken zunächst von erfahrenen Farbmeistern Probenbrände durchgeführt.

Der kurze Abriss der Geschichte des Blaufarbenwesens hat aufgezeigt, dass Safflor und Smalte keine Erfindung sächsischer Bergleute war. Erst nach mehreren Jahrzehnten erkannte man in Sachsen das wirtschaftliche Potenzial dieser Wiederentdeckung. Zu diesem Zeitpunkt bestand bereits ein reger Handel von Kobalterzen ins Ausland. Die Quellen (MÜLLER 1894, o.A.o.J.b, o.A.o.J.c, o.A.o.J.d) belegen, dass die Kobalterze entsprechend der in den Kobaltkontrakten festgelegten Quoten an die Blaufarbenwerke geliefert wurden. Da sich die Kobaltgruben fest in der Hand der Blaufarbenwerksbesitzer befanden, waren diese die einzigen Abnehmer der geförderten Kobalterze. Dementsprechend wurden die Blaufarbenwerke stets in der Nähe der Kobaltgruben errichtet. Auf diese Weise konnten die Transportkosten niedrig gehalten werden. Insgesamt lassen sich diese Standortfaktoren für die Anlage der Blaufarbenwerke angeben:

- Die Nähe zu einer guten Verkehrsinfrastruktur um die Transportkosten der fertigen Produkte gering zu halten.
- Eine ganzjährig ausreichende Wasserkraft. Die Werke befanden sich deshalb stets an größeren Erzgebirgsflüssen, die auch während des Sommers ausreichend Wasser lieferten.
- Für die Verhüttungsprozesse waren genügend Holzvorkommen, in Form von Wäldern, notwendig. Da im 17. Und 18. Jhd. noch keine Steinkohle für die Energieversorgung eingesetzt wurde, stand nur Holz zur Verfügung. Darüber hinaus war zur Herstellung der Safflore Pottasche notwendig. Dieser Stoff wurde damals ausschließlich aus Holz gewonnen. In der Nähe der Bergbaubetriebe entwickelte sich im Mittelalter in den angrenzenden Forstgebieten die Köhlerei (RÖDER et al. 2008).

Die Verknüpfung der Blaufarbenindustrie an diese geographischen Voraussetzungen wird beim Blaufarbenwerk in Sehma besonders deutlich. Dieses Werk wurde zur Verarbeitung der Annaberger Kobalterze am Fluss Sehma gegründet. Es wurde 1679 geschlossen und ca. 25 km nördlich an der Zschopau neu aufgebaut. Ursache dafür waren die zu geringen Ressourcen des Rohstoffs Holz. Da neben dem Kobaltbergbau weiterer Bergbau auf andere Erze im Revier betrieben wurde, waren die Wälder bereits großteils gerodet wurden. Man entschloss sich als Standort für die Zschopau, die ganzjährig ausreichend Wasserkraft lieferte und zudem in der Umgebung noch über ausreichend Forstgebiete verfügte. Der Mangel an Holz war auch eine von mehreren Ursachen für den Niedergang des böhmischen Reviers bei Joachimsthal.

## 12 FAZIT & AUSBLICK

Im Rahmen dieser Arbeit war es Ziel, die gesamte Komplexität des historischen sächsischen Kobalterzbergbaus unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden zu analysieren und aufzuarbeiten. Dies beinhaltet zum einen naturwissenschaftliche Perspektiven zur Genese der historischen Kobaltlagerstätten und zur Bestimmung der Mineralart und des Chemismus der abgebauten Kobalterze. Darüber hinaus stand die Forschung zum historischen Kobalterzbergbau in den einzelnen Revieren der Untersuchungsgebiete im Vordergrund. Zum Kobalterzbergbau in Sachsen gehört ebenso die eng damit verknüpfte Blaufarbenindustrie, die einziger Abnehmer der Kobalterze waren. Neben der historischen Aufarbeitung war es Ziel, die Einsatzgebiete und Verwendung der aus den Kobalterzen erzeugten Blaufarben vorzustellen. Nur so kann die historische Relevanz und Bedeutung dieses fast vergessenen Wirtschaftszweiges eingeschätzt werden. Es ist der Komplexität des Themas geschuldet, dass nicht jeder Teilaspekt der Thematik bis ins kleinste Detail wiedergegeben werden kann, dies hätte den Umfang der Arbeit gesprengt.

Aus den dargestellten Ergebnissen resultieren aus verschiedenen Blickwinkeln weiter offene Fragestellungen, die einer weiteren Forschung bedürfen. Es besteht z.B. Forschungsbedarf zum Kobaltbergbau zwischen 1900 und 1945. Nach HAUSTEIN (2010) wurden in Oberschlema bis 1945 Blaufarben produziert, in Niederpfannenstiel bis mindestens 1924. Wie erwähnt wurde, ist der Niedergang des sächsischen Kobaltbergbaus und Blaufarbenwesens auch dem Import kostengünstigerer Kobalterze aus Übersee zuzuschreiben. Dies lässt die Frage offen, über welche möglichen Reserven die historische Kobaltlagerstätte im Schneeberger Revier noch verfügt.

Am Bergarchiv Freiberg liegen im umfangreichen Maßstab Akten zu den Blaufarbenwerken vor. Die Geschichte der sächsischen Blaufarbenwerke, deren Geheimnisse jahrhundertlang wohl gehütet wurden, kann mit den zur Verfügung stehenden Akten gründlich aufgearbeitet werden. Es wurden auch Aktenunterlagen vorgefunden, in denen die Qualität der angelieferten Kobalterze detailliert niedergeschrieben wurde. Die Angaben können jedoch nicht mit den hier aus der Literaturanalyse angewandten Methoden (RÖSLER & LANGE 1975, TÖLLE 1964, KLEMM 1965) bearbeitet werden. Zum einen waren in den durchgesehenen Akten keine Angaben zum Eisengehalt, sondern nur zum Gehalt an Co, Ni, Bi enthalten. Zum anderen sind in den Akten nur prozentuale Wertangaben, anstelle von Absolutwerten, überliefert.

Aus kulturhistorischer Sicht, z.B. im Rahmen der Montanregion Erzgebirge, bestehen Forschungsmöglichkeiten zur Aufarbeitung der Geschichte des Kobaltbergbaus und -industrie. Zwar wurden ein Großteil der Kulturdenkmäler (z.B. das Blaufarbenwerk in Oberschlema) dem Erdboden gleichgemacht, aber dennoch existieren technische Denkmale der einstigen kobaltverarbeitenden Industrie (z.B. Schindlerswerk).

## 13 QUELLENVERZEICHNIS

- Ait Haddouch, L.; Maacha, L.; Dietrich, J. E.; Favreau, G.** (2006): Kobaltförderung seit 1928: Die Bergbaugeschichte von Bou Azzer. – *Lapis*, 31 (7/8): 22 – 26, München.
- Albers, P.; Full, R.; Offermanns, H.** (2017): Die Faszination der Farbe Blau – Bedeutung und Historie.- *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 70 (4): 175 – 185, Stuttgart.
- Alberti, H.-J. v.** (1957): *Mass und Gewicht. Geschichtliche und tabellarische Darstellungen von den Anfängen bis zur Gegenwart.* – 580 S., Berlin (Akademie-Verlag).
- Bartelheim, M. & Niederschlag, E.** (1998): Untersuchungen zur Buntmetallurgie, insbesondere des Kupfers und Zinns, im sächsisch-böhmischen Erzgebirge und dessen Umland. - *Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege* 40, 8 – 87, Stuttgart
- Bartoli, P.-A. & Favreau, G.** (2006): Geologie des Bergbaureviers Bou Azzer. – *Lapis*, 31 (7/8): 16 – 21, München.
- Baumann, L.; Kuschka, E.; Seifert, T.** (2000): *Lagerstätten des Erzgebirges.* - 300 S., Stuttgart (Enke im Georg Thieme Verlag).
- Bruchmüller, W.** (1897): *Der Kobaltbergbau und die Blaufarbenwerke in Sachsen bis zum Jahre 1653.* – 92 Seiten, Dresden (Saxoniabuch).
- Busson, A.** (1988): Die Entwicklung der Farbpalette des Du Paquier-Porzellans. – *Keramos*, 122: 13 – 24, Deggendorf.
- Edelmann, C.H.** (1901): Rückblick in die Geschichte des Blaufarbenwerks zu Oberschlema. – In: *Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen. Jahrgang 1901.* – 16 S.: 1 – 16, Freiberg (Craz & Gerlach).
- Emons, M. & Emons, H.-H.** (2000): *Blaufarben - Blåfarve: ein historisches Beispiel sächsisch-norwegischer Zusammenarbeit.* – 32 S., Det Kong, Skrifter 2, Trondheim (Tapir Academic Press).
- Emons, M. & Emons, H.-H.** (2008): *Blaufarben - Blåfarve: ein historisches Beispiel sächsisch-norwegischer Zusammenarbeit.* – In: *Walter, H.-H. (Hrsg.): Ernst August Geitner 1783-1852. Chemiker, Metallurge, Erfinder und Unternehmer. Tagung vom 12. bis 14. Juni 2008 in der Saigerhütte Olbernhau-Grünthal bei Freiberg in Sachsen.* – 436 S.: 96-116, Freiberg (Drei Birken Verlag).
- Favreau, G. & Dietrich, J. E.** (2006): Eine weltberühmte Kobaltlagerstätte: Bou Azzer, Marokko. – *Lapis*, 31 (7/8): 13 – 15, München.
- Fischer, W.** (1965): *Aus der Geschichte des sächsischen Berg- und Hüttenwesens.* – 152 S., Hamburg (Verlag Sächsische Heimat).
- Freiesleben, J.C.** (1843): *Die sächsischen Erzgänge in einer vorläufigen Aufstellung ihrer Formationen. Des Magazins für die Oryktographie von Sachsen Erstes Extraheft.* –213 S., Freiberg (Engelhardt).
- Frenzel, A.** (1874): *Mineralogisches Lexicon für das Königreich Sachsen.* – 380 Seiten, Dresden (Saxoniabuch).
- Gebauer, H.** (1893): *Die Volkswirtschaft im Königreiche Sachsen. Historisch, geographisch und statistisch dargestellt.* – 780 S., Dresden (Baensch Verlag).
- Goder, W.** (1990): *Bergbau und Porzellan.* – In: *Bachmann, M.; Marx, H.; Wächtler, E. (Hrsg.): Der silberne Boden – Kunst und Bergbau in Sachsen.* – 510 S.: 419 – 420, Stuttgart (Deutsche Verlags-Anstalt), Leipzig (Edition Leipzig).

- Gray, T.** (2013): Die Elemente. Bausteine unserer Welt. Fotografien von Theodore Gray und Nick Mann. Aus dem amerikanischen Englisch von Stephan und Andreas Gebauer. - 240 S., 1 Beil. (Poster), Köln (Komet).
- Haase, G.** (1990): Zur Kobaltglaserzeugung im Erzgebirge. – In: Bachmann, M.; Marx, H.; Wächtler, E. (Hrsg.): Der silberne Boden – Kunst und Bergbau in Sachsen. – 510 S.: 417, Stuttgart (Deutsche Verlags-Anstalt), Leipzig (Edition Leipzig).
- Hagelüken, C.** (2014): Technologiemetalle – Systemische Voraussetzungen entlang der Recyclingkette. In: Kausch, P. et al. (Hrsg.): Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge. – 281 S.: 161 – 172, Berlin, Heidelberg (Springer Spektrum).
- Hajek, W. & Ihle, F.** (2008): Mineralien und Geschichte des Bergbaus in Marienberg, Erzgebirge. – Lapis, 33 (9): 13 – 39, München.
- Hammer, P.** (2004): Das Sächsische Blaufarbenwesen und der Handel mit Kobaltfarben – nach Unterlagen der Bücherei der Bergakademie Freiberg. – 10 S., Scripta Geologica Special Issue (Leiden).
- Haustein, M.** (2010): Das Erbe des Blaufarbenwerks: 1635-2010, Impressionen aus 375 Jahren Geschichte der Nickelhütte Aue. – 155 S., Aue (Nickelhütte).
- Hawkins, M.** (2001): Why we need Cobalt. In: Applied Earth Science, 110 (2): 66 – 70.
- Herrmann, S.** (2005): Geologie, Erzgänge und Mineralisation der Lagerstätte Schneeberg/Sachsen. – Lapis, 30 (7/8): 30-38, München.
- Horschik, J.** (1979): Beiträge zur Geschichte der Kobaltfarbe und ihrer Verwendung in der Keramik. – Keramos, 85: 119 – 142, Deggendorf.
- Kalender für den Sächsischen Berg- und Hüttenmann.** – Königliche Bergakademie zu Freiberg (Hrsg.) (1827 – 1852), Freiberg.
- Kapff, F. (1792):** Beyträge zur Geschichte des Kobolts, Kobaltbergbaues und der Blaufarbenwerke. – 182 S., Breslau (Mayersche Buchhandlung).
- Klemm, D. D.** (1965): Untersuchungen mit der Elektronenmikrosonde über die natürlichen Mischkristallbereiche der Skutterudite. – Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, 11 (4): 323 – 333, Berlin, Heidelberg, New York.
- Kroner, U. & Romer, R.L.** (2010): The Saxo-Thuringian Zone – tip of the Armorican Spur and part of the Gondwana plate. - In Linnemann, U. & Romer, R.L. (eds.): Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia: From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen. – 485 S.: 371-394, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- Krüger, J. F.** (1830): Vollständiges Handbuch der Münzen, Masse und Gewichte aller Länder der Erde. – 379 S., Quedlinburg und Leipzig (Verlag von Gottfr. Basse)
- Kuschka, E.** (1997): Atlas der Hydrothermalite des Vogtlands, Erzgebirges und Granulitgebirges. – Geoprofil, 7: 1 – 151, Freiberg.
- Lahl, B.** (1992): Berühmte Annaberger Gruben und ihre Geschichte. – Lapis, 17 (12): 34 – 38, München.
- Latscha, H.P. & Mutz, M.** (2011): Chemie der Elemente. Chemie-Basiswissen IV. – 284 S., Berlin (Springer).
- Lempe, J. F.** (1790): Beschreibung eines neuen Horn-Haspels. In: Magazin für die Bergbaukunde, 7: 191 - 199, Dresden.
- Ließmann, W.** (1994): Vom Kobalterz zum Königsblau. Zur Geschichte des Skutteruder Kobaltbergbaus und des Modumer Blaufarbenwerkes in Südnorwegen. – Emser Hefte, 15 (4): 2 – 62. Haltern.

- Linnemann, U.; Romer, R.L.; Gerdes, A.; Jeffries, T.E.; Drost, K.; Ulrich, J.** (2010a): The Cadomian Orogeny in the Saxo-Thuringian Zone. In: Linnemann, Ulf & Romer, Rolf (Eds.): Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia: From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen. – 458 S.: 37-58, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- Linnemann, U.; Hofmann, M.; Romer, R.L.; Gerdes, A.** (2010b): Transitional stages between the Cadomian and Variscan orogenies: Basin development and tectono-magmatic evolution of the southern margin of the Rheic Ocean in the Saxo-Thuringian Zone (North Gondwana Shelf). – In: Linnemann, U. & Romer, R.L. (eds.): Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia: From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogen. – 458 S.: 59-98, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- Markl, G.** (2004): Wie kommt das Silber ins Gestein? - Die Bildung der Schwarzwälder Erzgänge und ihrer Mineralien. In: Markl, G. & Lorenz, S. (Hrsg.) (2004): Silber Kupfer Kobalt: Bergbau im Schwarzwald. – 215 S.: 11 – 44, Filderstadt (Markstein Verlag).
- Mannsfeld, K. & Syrbe, R.-U.** (Hrsg.) (2008): Naturräume in Sachsen. – 288 S., Forschungen zur deutschen Landeskunde 257. Leipzig (Deutsche Akademie für Landeskunde).
- Meltzer, C.** (1684): Bergkläufftige Beschreibung Der Churfürstl. Sächß. freyen und im Meißnischen Ober-Ertz-Geburge löbl. Bergk-Stadt Schneebergk. – 788 S., Schneebergk.
- Müller, H.** (1894): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte des Königreichs Sachsen - Die Erzgänge des Annaberger Bergrevieres. - 138 S., Leipzig (in Commission bei W. Engelmann).
- Neukirchen, F. & Ries, G.** (2014): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. – 355 S., Berlin, Heidelberg (Springer Spektrum).
- Neumann, B.** (1904): Die Metalle: Geschichte, Vorkommen und Gewinnung nebst ausführlicher Produktions- und Preisstatistik. – 421 S., Halle a. S. (Knapp Verlag).
- Nickerl, F.** (2001): Übersicht über alte, im sächsischen Bergbau verwandte Maße, Gewichte, Zahlungsmittel und Bezeichnungen. Ergänzt mit einer Erklärung der wichtigsten bergmännischen Begriffe. Arbeitskreis „Annaberg-Buchholzer Heimatforscher“: Streifzüge durch die Geschichte des oberen Erzgebirges.
- Okrusch, M. & Matthes, S.** (2009): Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. 8., vollständig überarbeitete, erweiterte und aktualisierte Auflage. - 658 S., Berlin Heidelberg, New York (Springer).
- Peterson, H.** (1894): Zur Geschichte der Glasfarbenerzeugung in Joachimsthal. – 21 S., Heft V, Monographien des Museums für Geschichte der Österr. Arbeit., Wien.
- Pohl, W.L.** (2005): W. und W. E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. Mineralische und Energie-Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. – 5. Auflage – 528 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- Ramdohr, P.** (1975): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. – 1277 S., Berlin (Akademie Verlag).
- Roberts, S. & Gunn, G.** (2014): Cobalt. - In: Gunn, G. (Hrsg.): Critical metals handbook: 122-149, Hoboken, NJ u. a. (Wiley).
- Röder, M.; Bernhardt, A.; Richter, H.** (2008): Erzgebirge. In: Naturräume in Sachsen. – 288 S.: 187-197. Forschungen zur deutschen Landeskunde 257. Leipzig (Deutsche Akademie für Landeskunde).
- Rößig (1798):** Beitrag zur Geschichte der Sächsischen und andern Blaufarbenwerke. – Journal für Fabrik, Manufaktur, Handlung, Kunst und Mode, 15: 490-500.
- Rösler, H.-J. & Lange, H.** (1975): Geochemische Tabellen. – 674 S., Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).

- Schmidt-Brücken, S. & Richter, K.** (2011): Der Erzgebirgschronist Christian Lehmann: Leben und Werk. – 267 S., Marienberg (Druck- und Verl.-Ges.).
- Sebastian, U.** (2013): Die Geologie des Erzgebirges. – 285 S., Berlin (Springer).
- Seifert, Th.** (1995): Zur metallogenetischen Charakteristik postpermischer Gangmineralisationen im Lagerstättendistrikt Marienberg-Lauta-Pobershau-Wolkenstein (Zentralteil des sächsischen Erzgebirges). – Freiburger Forschungshefte, Reihe C 460: 136 – 162, Freiberg.
- Sieber, S.** (1935): Geschichte des Blaufarbenwerkes Niederpfannenstiel in Aue. – 47 S., Schwarzenberg (Glück-Auf Verlag).
- Sieber, S.** (1954) Zur Geschichte des erzgebirgischen Bergbaues. – 135 S., Halle an der Saale (Druckerei der Werktätigen).
- Sieber, S.** (1969): Von böhmischen Blaufarbenwerken. – Bohemia - Zeitschrift für Geschichte und Kultur der böhmischen Länder, 10 (1): 415 – 423, München.
- Steinsvik, T.S.** (2000): The Norwegian Cobalt Mines and the cobalt Works. Part and parcel of the world at large. – 188 S. (Stiftelsen Modums Blaaifarvevaerk).
- Stoll, W.** (2010): Wege zum edlen Blau: Keramische Blaufarben in Deutschland. – Lapis, 35 (5): 29-36, München.
- Strunz, H. & Nickel, E. H.** (2001): Strunz Mineralogical Tables. Chemical-Structural Mineral Classification System. - 9. Auflage - 870 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- Strunz, H.** (1982): Mineralogische Tabellen. Eine Klassifizierung der Mineralien auf kristallchemischer Grundlage. – 8. Auflage – 621 S., Leipzig (Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G.).
- Thiel, C.** (2007): Silberräuber und Zwiebelmuster. – Sächsisches Archivblatt, 2007 (2): 14-16, Dresden.
- Tölle, H.** (1964): Chemismus und genetische Stellung des Skutterudites in der quarzig-arsenidischen Abfolge der Bi-Co-Ni-Formation des Schneeberger Lagerstättenreviers (Sächsisches Erzgebirge). – Freiburger Forschungshefte, Reihe C 171: 1 – 103, Leipzig.
- Wächtler, E.** (2002): Weiße Erde und blaue Farbe – Porzellanwerkstoffe für des sächsischen Bergbaus schönstes Kind. In: Sächsische Heimatblätter, 48 (2): 108 – 115, Dresden.
- Wagenbreth, O. & Wächtler, E.** (Hrsg.) (1990): Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und Geschichte. – 504 S., Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie im Springer Verlag).
- Wagenbreth, O.** (2006): Beiheft zur Karte FIII 3: Historische Bergbaureviere. Leipzig, Dresden: Verlag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Landesvermessungsamt Sachsen. Atlas zur Geschichte und Landeskunde von Sachsen.
- Veith, H.** (1871): Deutsches Bergwörterbuch mit Belegen. Unveränderter Neudruck der Ausgabe von 1871. - Vaduz: Ständig Reprint Verlag Wohlwend (2005), 600 S.

### 13.1 INTERNETQUELLEN

- Mindat.org** (Hrsg.) (o.J.): URL: <https://www.mindat.org/> (Stand: 12.06.2018)
- Gesetz- und Verordnungsblatt für das Königreich Sachsen vom Jahre 1858** (1858): 7.tes Stück vom Jahre 1858, Nr. 18 Gesetz vom 12. März 1858. URL: [http://digital.slub-dresden.de/fileadmin/data/20001476Z/20001476Z\\_tif/jpegs/20001476Z.pdf](http://digital.slub-dresden.de/fileadmin/data/20001476Z/20001476Z_tif/jpegs/20001476Z.pdf) (Stand: 12.06.2018)

- International Cobalt Corp.** (Hrsg.) (2018): International Cobalt Corp.: äußert sich zu Berichten der US-Regierung, die Kobalt als einen kritischen mineralischen Rohstoff bezeichnen. URL: <http://www.dgap.de/dgap/News/corporate/international-cobalt-corp-aeussert-sich-berichten-der-usregierung-die-kobalt-als-einen-kritischen-mineralischen-rohstoff-bezeichnen/?newsID=1056725> (Stand: 21.09.2018)
- Lips, M.** (2017): Dieses Metall wird zum Problemkind der Elektromobilität. URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/article169621504/Dieses-Metall-wird-zum-Problemkind-der-Elektromobilitaet.html> (Stand: 21.09.2018)
- Pasero, M.** (2018): The New IMA List of Minerals – A Work in Progress – Updated: March 2018 URL: [http://nrmima.nrm.se//IMA\\_Master\\_List\\_%282018-03%29.pdf](http://nrmima.nrm.se//IMA_Master_List_%282018-03%29.pdf) Stand: 12.06.2018
- Slack, J.F.; Kimball, B.E.; Shedd, K.B.** (2017): Cobalt. Chap. F of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C. (eds.): Critical mineral resources of the United States— Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. F1– F40, <https://doi.org/10.3133/pp1802F>. (Stand: 08.06.2018)

## 13.2 BERGARCHIV FREIBERG

- Carl, Johann** (1755): Extrakt [Tabelle] des doppelten Blaufarbenwerkes zu Oberschlema auf 88 Quartale oder 22 Jahre [1732- 1754], wieviel seit dieser Zeit an Verlagskosten verbraucht und an Kobaltprodukten ( Farben, Eschel und Safflore) produziert wurden (Angaben in Thaler/Groschen).  
Summarischer Extrakt (Tabelle) was auf den Blaufarbenwerken Schindlers Werk, Zschopenthal und Niederpfannenstiel 1750 - 1754 an Kobalt geschmolzen und an Kobaltprodukten (Glas, Farbe und Eschel) produziert wurde. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40136, Nr. 302.
- Laue, F.A.** (1854): Extrakt über das Ausbringen im Bergrevier Marienberg mit Geyer und Ehrenfriedersdorf für die Zeit von Mitte des 17. Jhd. – 1845, ohne Silber, Blei und Kupfer sowie die Arsenikalien der Geyerschen Hüttenwerke. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 38
- Reppmann, J.M.** (1842): Extrakt über das Gold-, Blei-, Kupfer-, Kobalt-, Wismut-, Kupfernickel- und Bleiglanz-Ausbringen in der Zeit von 1642 – 1800 sowie das Silber-Ausbringen in der Zeit von 1710 – 1800 im vereinigten Bergrevier Annaberg. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 21.
- Müller, Volkmar** (1987): Aktenauszüge – Bergamt Schneeberg. Betrifft Siebenschleher Pochwerk und Siebenschlehn Fundgrube. – 112 S. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg. Nr. 198724
- o.A.** (1851): Extrakte über das Silber-, Kobalt-, Kupfer- und Blei-Ausbringen im vereinigten Bergrevier Annaberg mit Scheibenberg und Oberwiesenthal für die Zeit von 1801 – 1850. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 27.
- o.A. o.J.a:** Übersicht des Ausbringens im Bergrevier Schwarzenberg in den Jahren 1857 – 1897. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 01.

- o.A. o.J.b:** Kobaltförderung, -verteilung und -verkauf der Zechen sowie Bezahlung ab 19. März 1731 (neuer Kobaltkontrakt). Datierung: 1731 T - 1742 L. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 577
- o.A. o.J.c:** Kobaltförderung, -verteilung und -verkauf der Zechen sowie Bezahlung ab 19. März 1731 (neuer Kobaltkontrakt). Datierung: 1743 – 1750. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 578
- o.A. o.J.d:** Kobaltförderung, -verteilung und -verkauf der Zechen sowie Bezahlung ab 19. März 1731 (neuer Kobaltkontrakt). Datierung: 1769 – 1774. Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Nr. 579
- o.A. o.J.e:** Sächsisches Staatsarchiv – Bergarchiv Freiberg, 40166, Erzlieferungsextrakte sächsischer Bergreviere, Nr. 24.

## 14 ANLAGEN

### 14.1 SAMMLUNGSPROBEN AUS SCHNEEBERG



Abb. 37: Erythrin XX mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3590 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 5,5 x 4,5 cm.



Abb. 38: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3594 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8,5 x 4 x 5,5 cm.



Abb. 39: Erythrin XX mit Arseniosiderit. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3603 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 9 x 7 x 5 cm.



Abb. 40: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3618 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 6,5 x 5 x 4,5 cm.



Abb. 41: Erythrin auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3621 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 6,5 x 5 cm.



Abb. 42: Erythrin auf Quarz XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3632 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8 x 4,5 x 4,5 cm.



Abb. 43: Erythrin XX auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3637 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 4 x 5,5 x 2,5 cm.



Abb. 44: Skutterudit XX mit Proustit. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3786 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8,5 x 6 x 2,5 cm.



Abb. 45: Rammelsbergit XX (vor Analysen Skutterudit XX auf Quarz). Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3795 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 16,5 x 14 x 4,5 cm.



Abb. 46: Skutterudit XX mit Calcit XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3803 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 5,5 x 3 cm.



Abb. 47: Skutterudit und Clinosafflorit (vor Analyse Skutterudit mit Erythrin). Schneeberg, Sachsen Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3805 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 6,5 x 6 x 4 cm.



Abb. 48: Skutterudit mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3808 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 31 x 18 x 5 cm.



Abb. 49: Skutterudit auf Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3809 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 13 x 9 x 4 cm.



Abb. 50: Skutterudit und Safflorit (vor Analyse Skutterudit mit Quarz). Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3812 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 10,5 x 6 x 4 cm.



Abb. 51: Skutterudit XX mit Calcit XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3813 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 10,5 x 6 x 5,5 cm.



Abb. 52: Skutterudit XX mit Erythrin. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3814 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 9 x 5,5 x 3,5 cm.



Abb. 53: Skutterudit XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3818 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 13,5 x 11 x 5 cm.



Abb. 54: Skutterudit. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3823 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 4 x 2,5 cm.



Abb. 55: Skutterudit XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 12034 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 6,5 x 6 x 2 cm.



Abb. 56: Erythrin XX mit Quarz XX. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 14279 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8 x 7,5 x 1,5 cm.



Abb. 57: Erythrin XX mit Quarz. Schneeberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 14812 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8 x 4,5 x 3,5 cm.

## 14.2 SAMMLUNGSPROBEN AUS ANNABERG



Abb. 58: Skutterudit in Quarz. Annaberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3227 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 5 x 5 x 2,5 cm.



Abb. 59: Skutterudit in Quarz. Annaberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3228 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 5 x 5,5 x 3 cm.



Abb. 60: Skutterudit XX. Annaberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr.: Min 3229 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 4,5 x 3,5 x 5 cm.



Abb. 61: Rammelsbergit (vor Analyse Nickelskutterudit). Annaberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3236 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 9,5 x 7 x 2 cm.



Abb. 62: Skutterudit XX mit Erythrin. Annaberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 9438 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 3 x 5 x 2,5 cm.

## 14.3 SAMMLUNGSPROBEN AUS JOHANNGEORGENSTADT



Abb. 63: Skutterudit in Dolomit. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 4377 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7,5 x 7 x 1 cm.



Abb. 64: Skutterudit XX. Johanngeorgenstadt, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 4378 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 3 x 1 cm.



Abb. 65: Skutterudit (vor Analyse Skutterudit mit Pyrargyrit). Johanngeorgenstadt, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 12555 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 14 x 8 x 12,5 cm.



Abb. 66: Skutterudit XX mit Erythrin (vor Analyse Safflorit XX mit Rammelsbergit). Johanngeorgenstadt, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr.: Min 17997 Sa, SNSD, MMG.



Abb. 67: Skutterudit XX mit Erythrin und Quarz XX, Johanngeorgenstadt, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 22727 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7,5 x 5,5 x 4,5

## 14.4 SAMMLUNGSPROBEN AUS MARIENBERG



Abb. 68: Erythrin. Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3369 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 8 x 6,5 x 4 cm.



Abb. 69: Nickelskutterudit XX mit Baryt (vor Analyse Skutterudit XX mit Baryt). Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3390 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 14,5 x 8 x 11,5 cm.



Abb. 70: Nickelskutterudit XX mit Baryt (Rückseite) (vor Analyse Skutterudit XX mit Baryt). Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3390 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 14,5 x 8 x 11,5 cm.

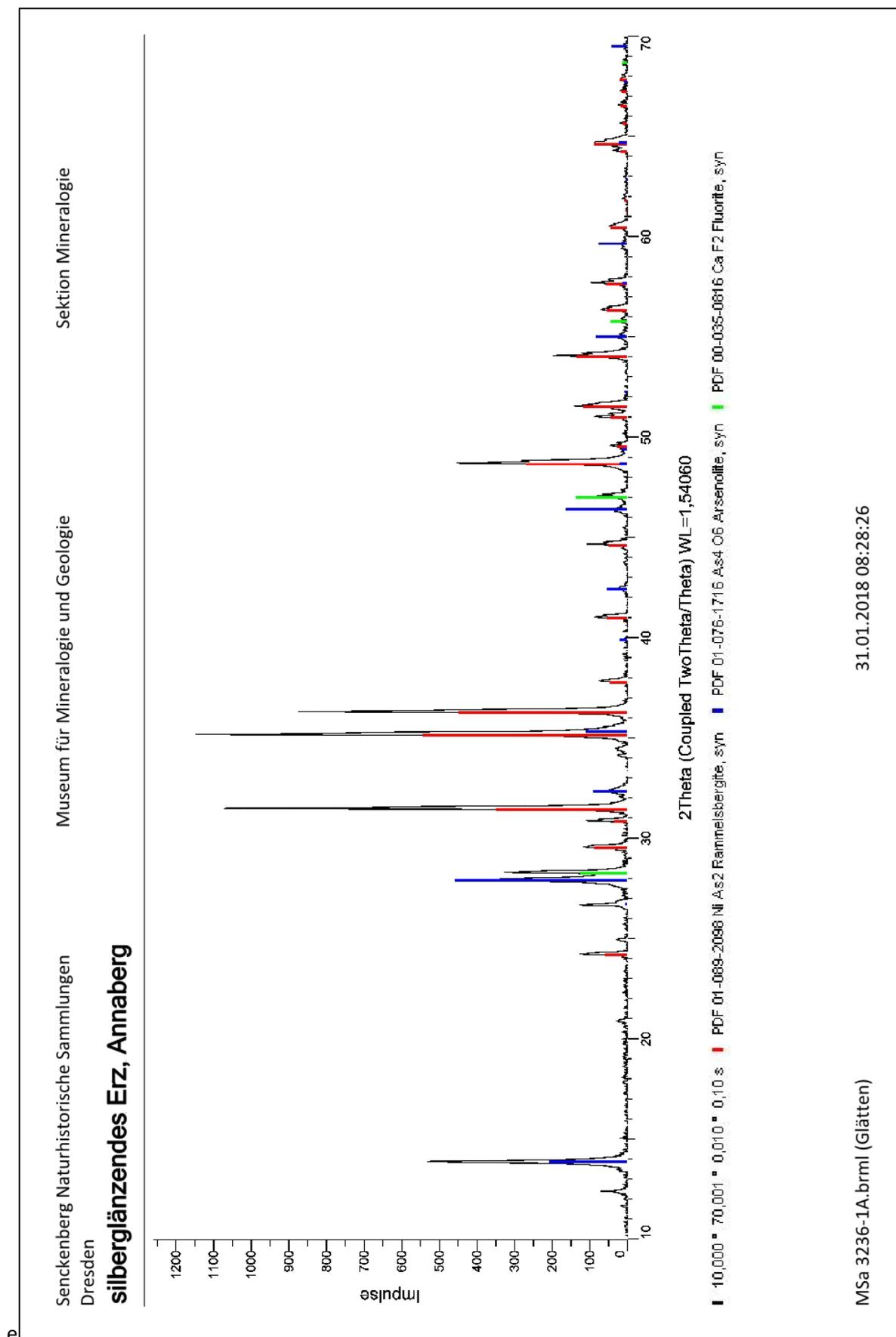


Abb. 71: Skutterudit XX (vor Analyse Nickelskutterudit XX). Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3421 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 7 x 4 x 2 cm.

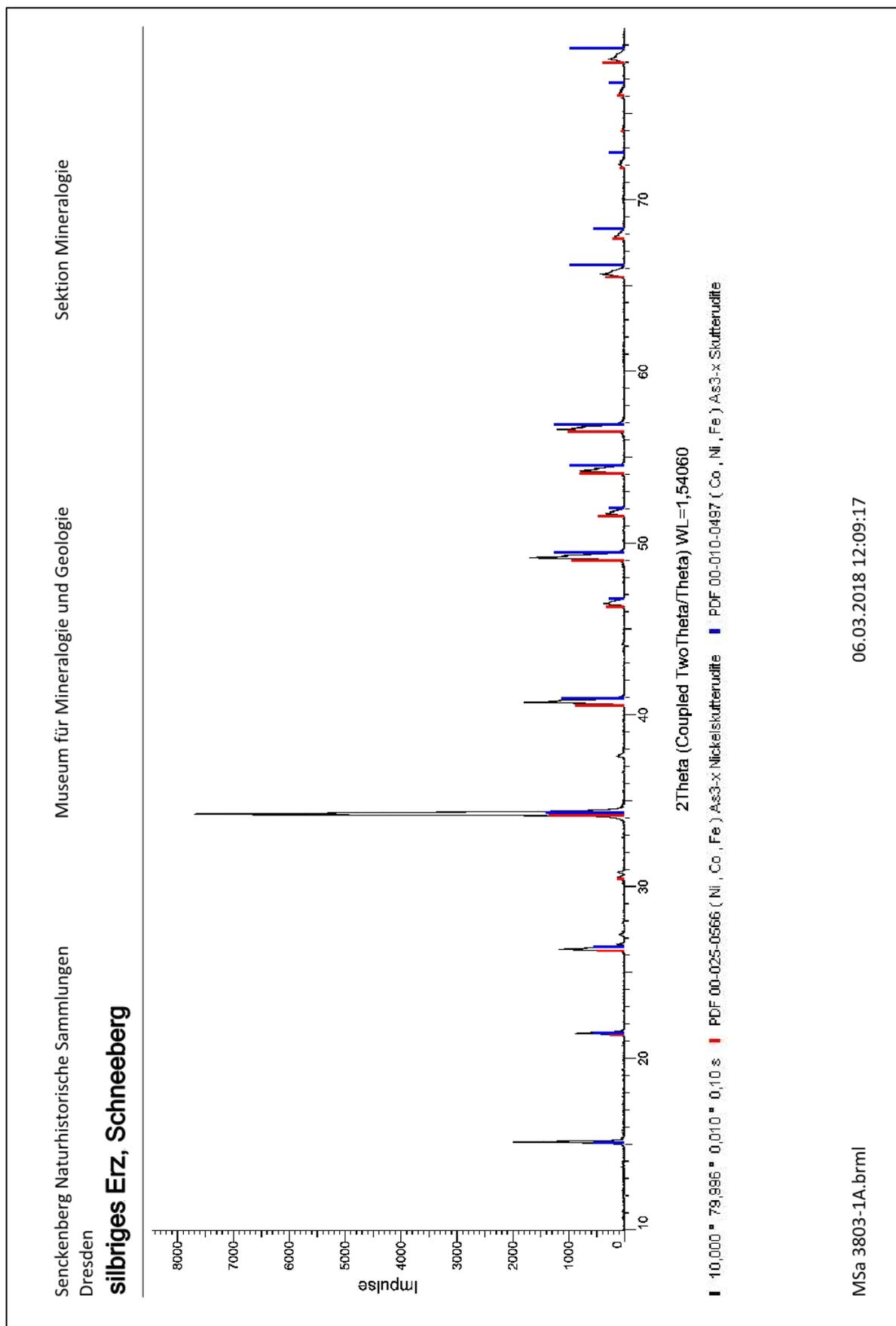


Abb. 72: Nickelskutterudit XX mit Proustit XX. Marienberg, Sachsen. Eigene Aufnahme. Inv.-Nr. Min 3422 Sa, SNSD, MMG. Maße des Stückes: 9,5 x 6,5 x 4 cm.

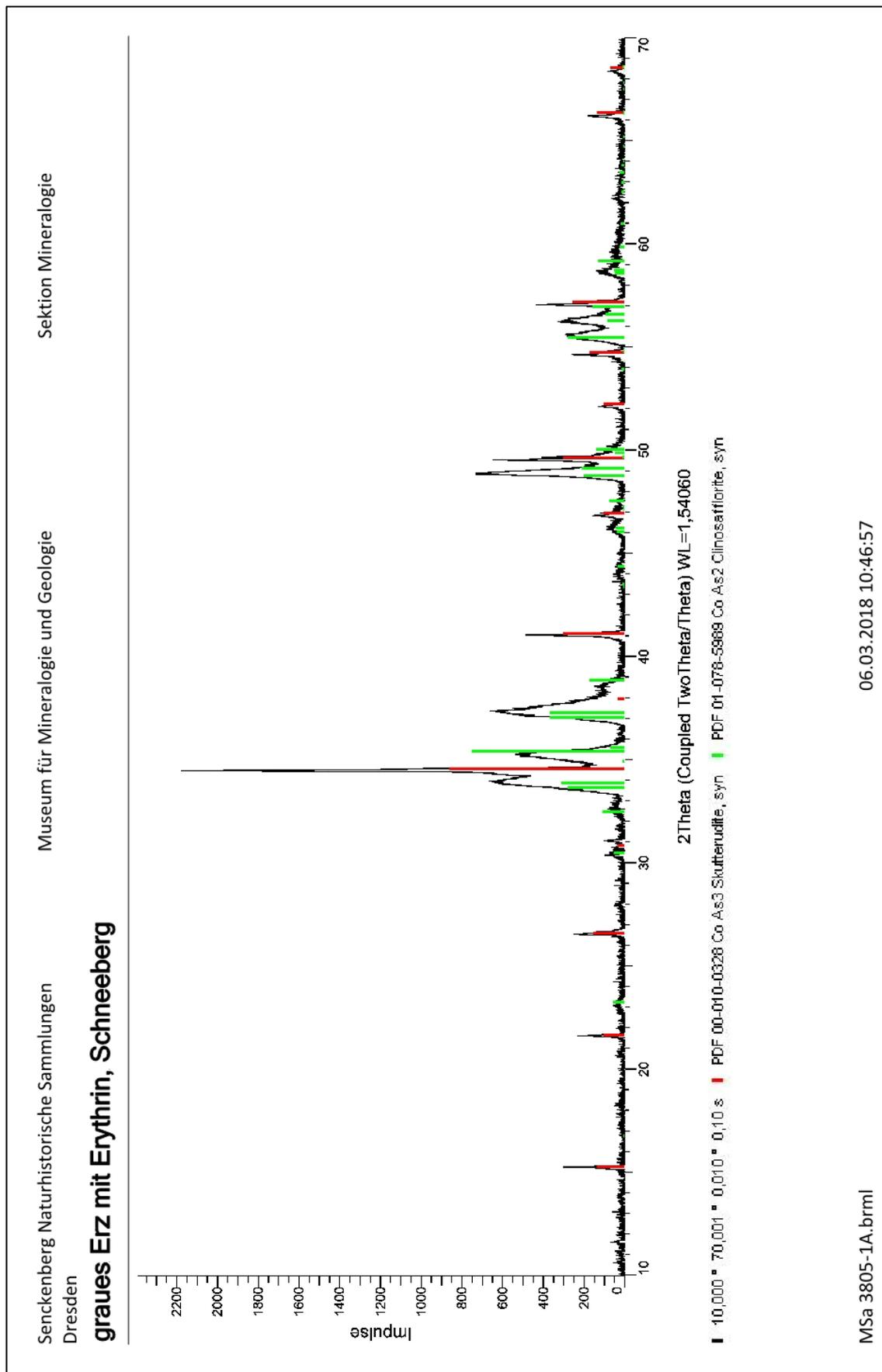
## 14.5 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3236-1A, ANNABERG



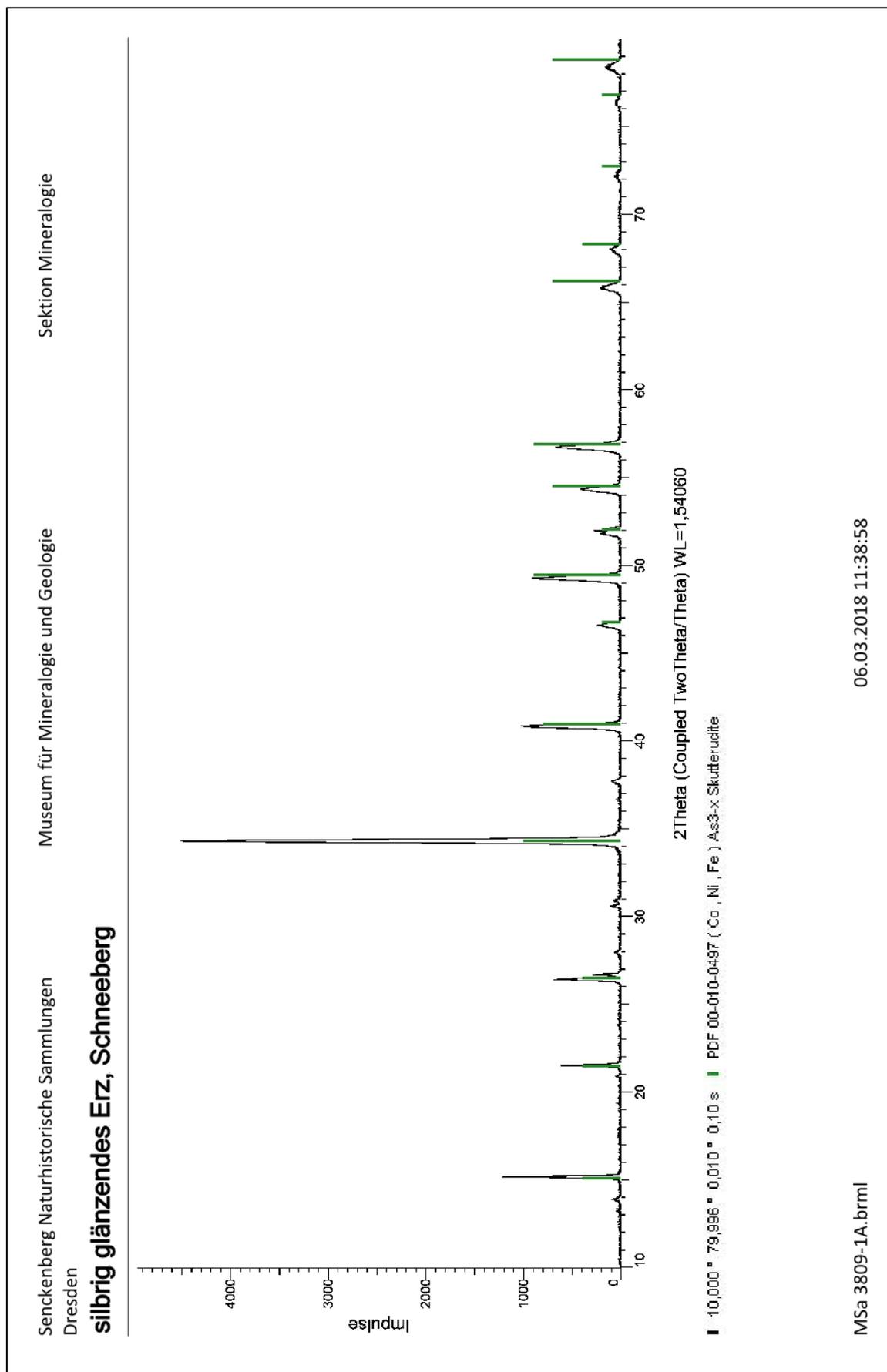
## 14.6 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3803-1A, SCHNEEBERG



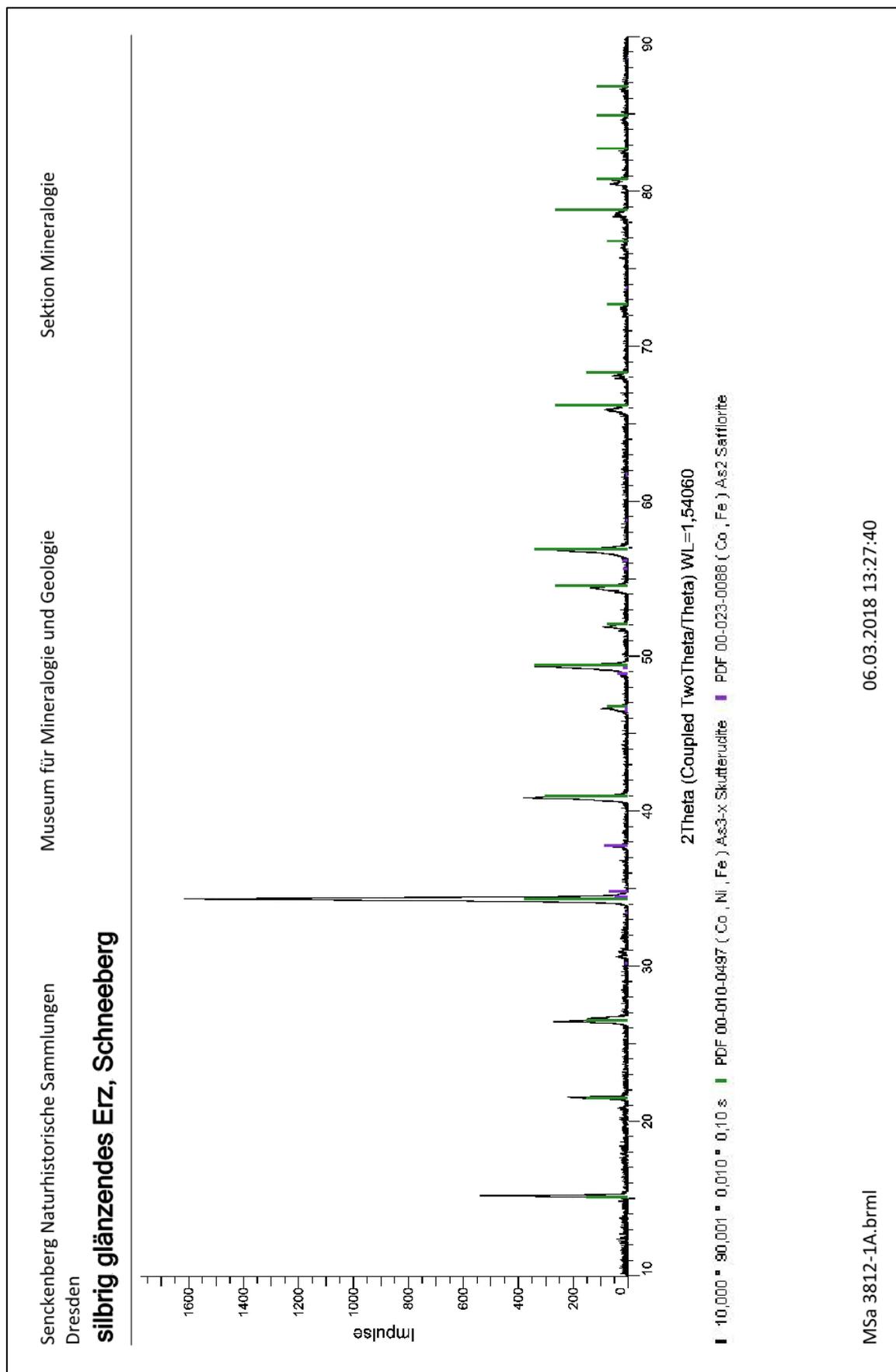
## 14.7 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3805-1A, SCHNEEBERG



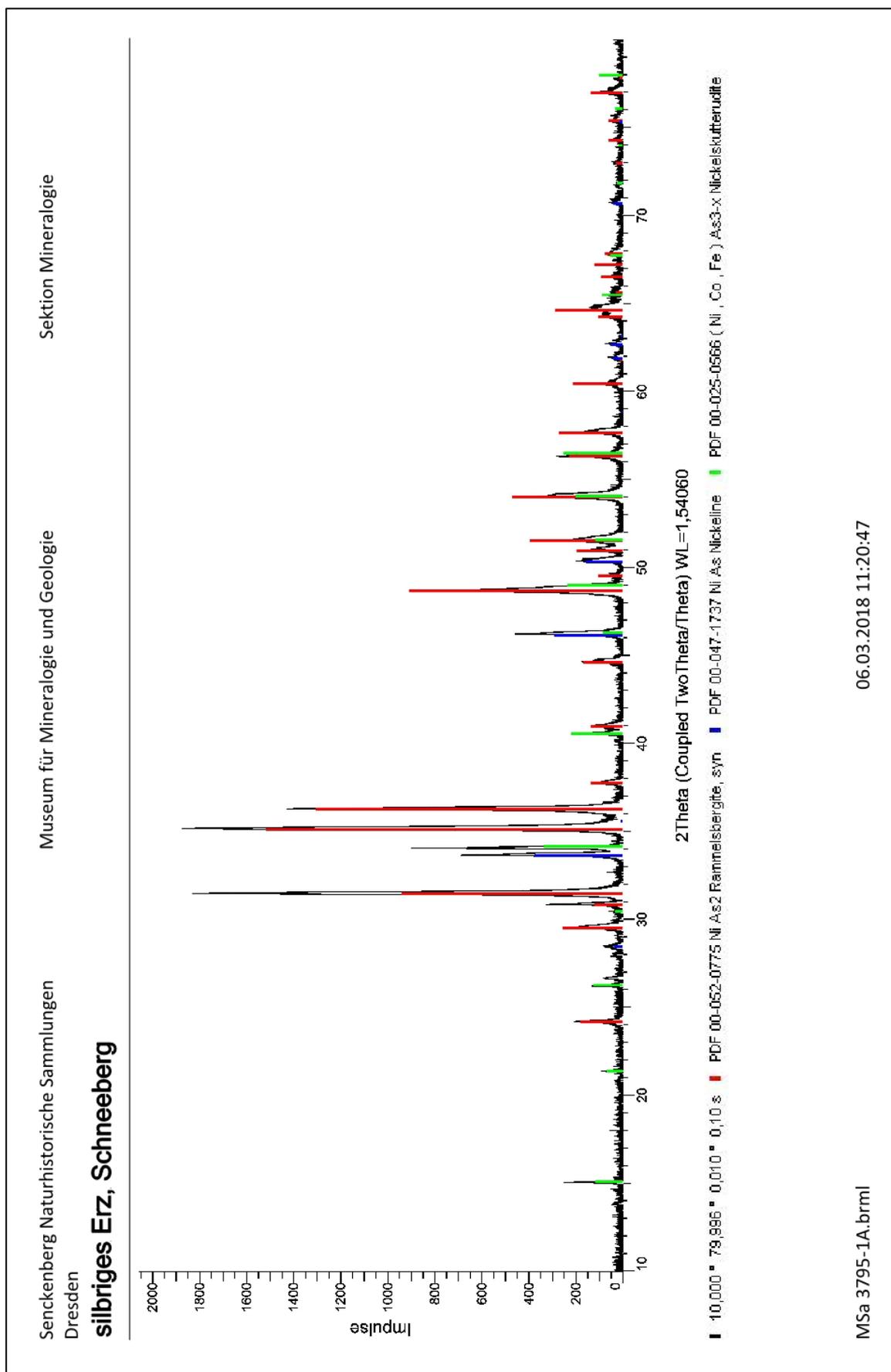
## 14.8 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3809-1A, SCHNEEBERG



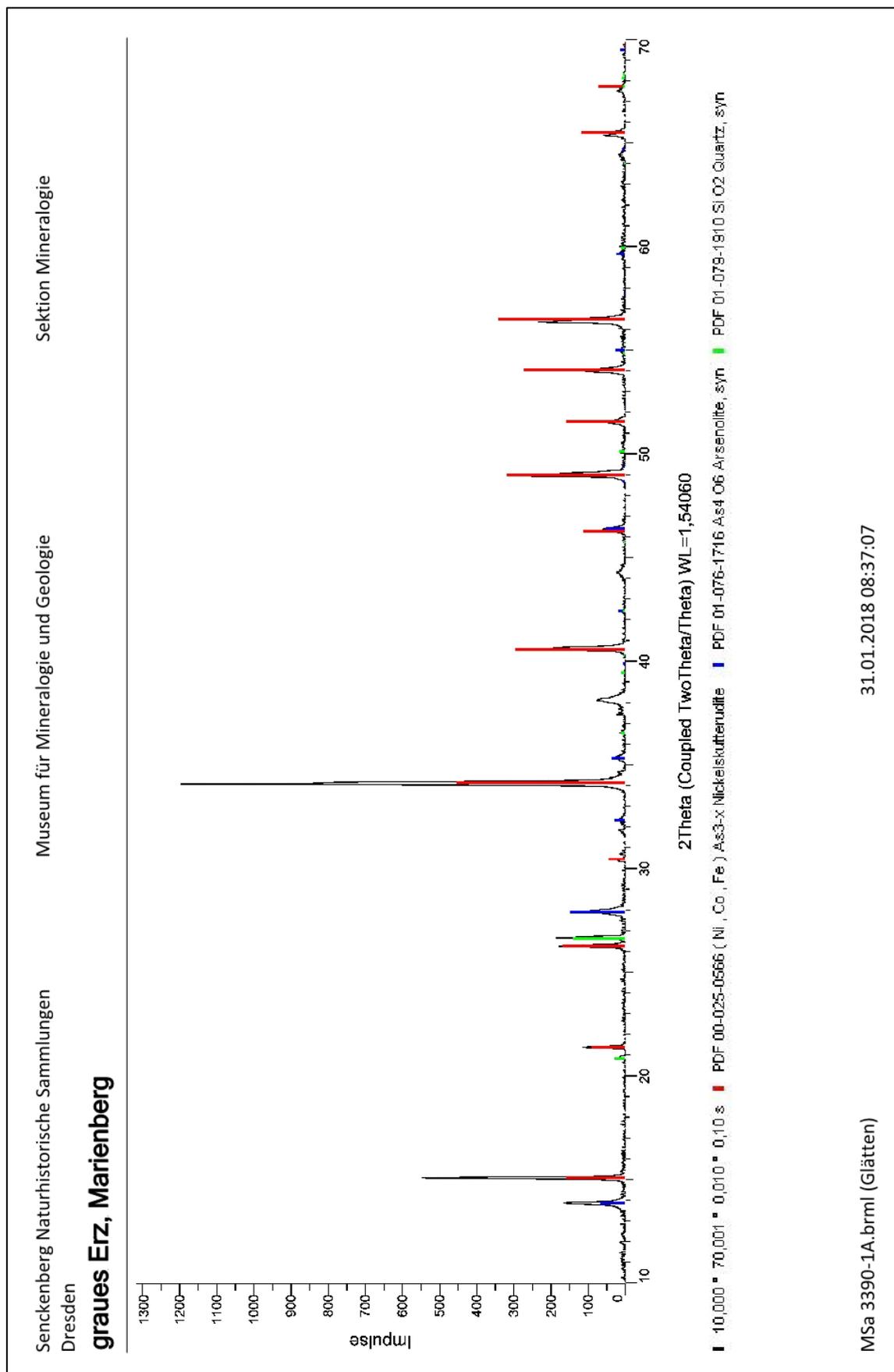
## 14.9 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3812-1A, SCHNEEBERG



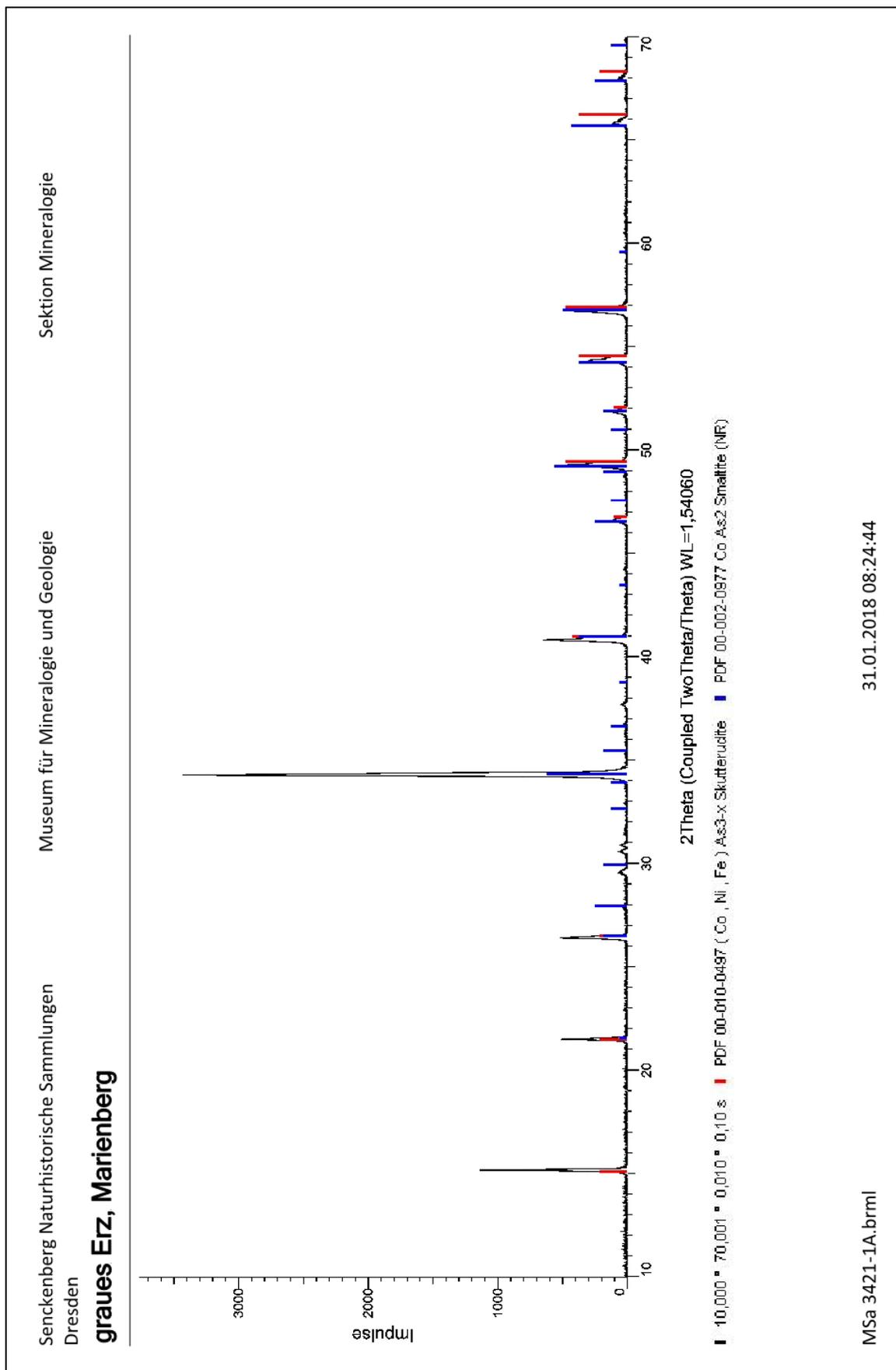
## 14.10 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3795-1A, SCHNEEBERG



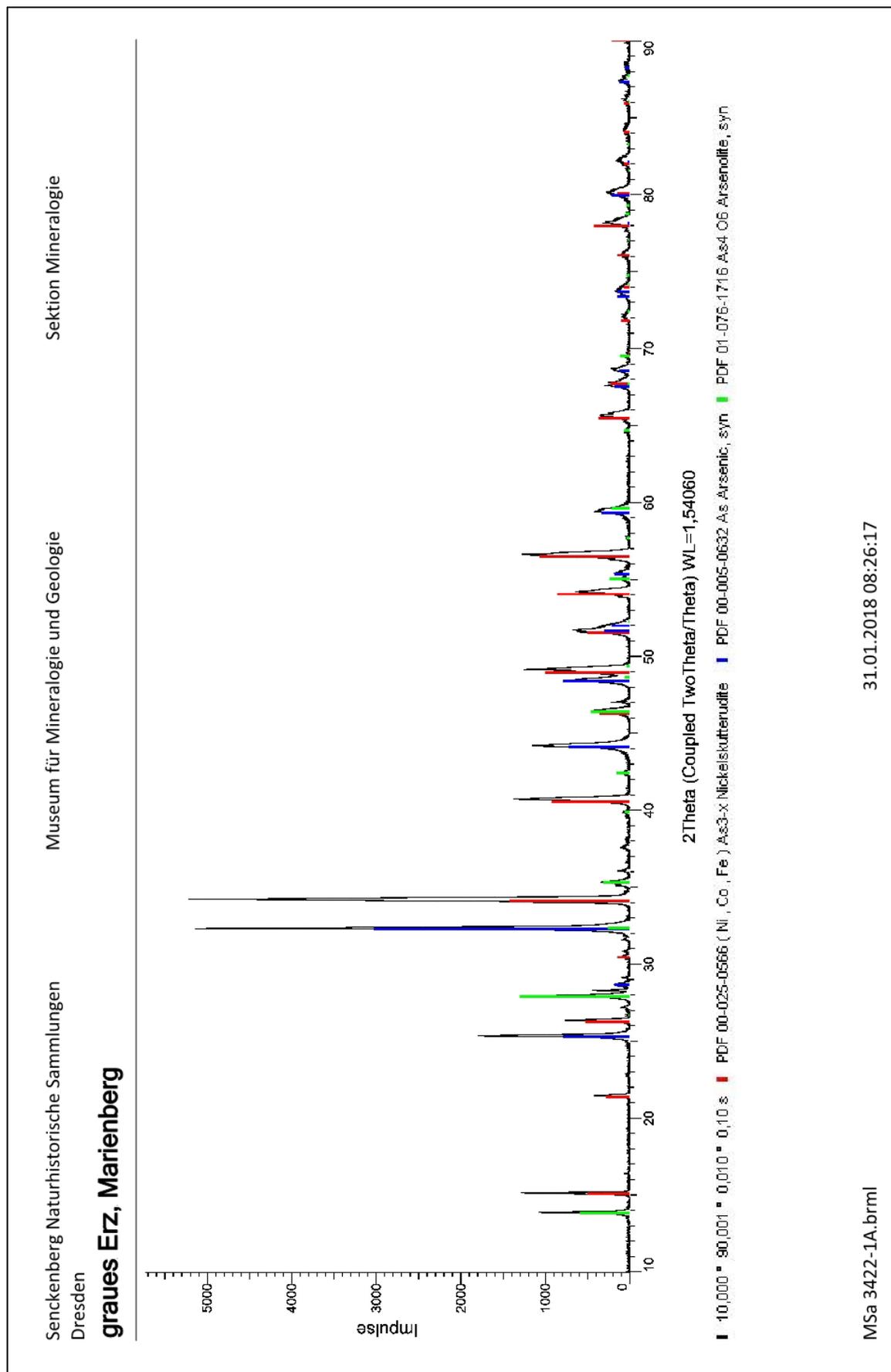
## 14.11 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3390-1A, MARIENBERG



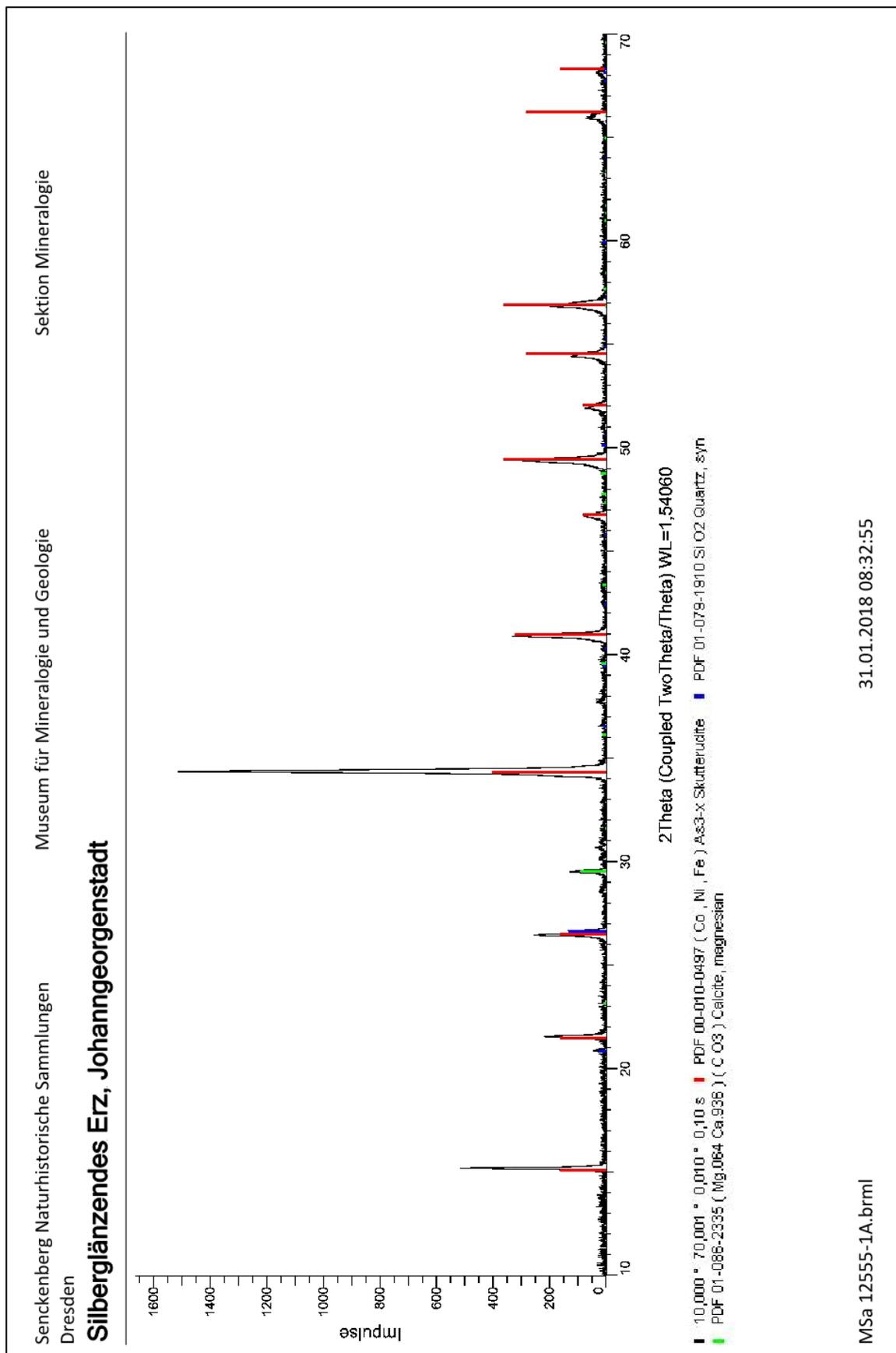
## 14.12 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3421-1A, MARIENBERG



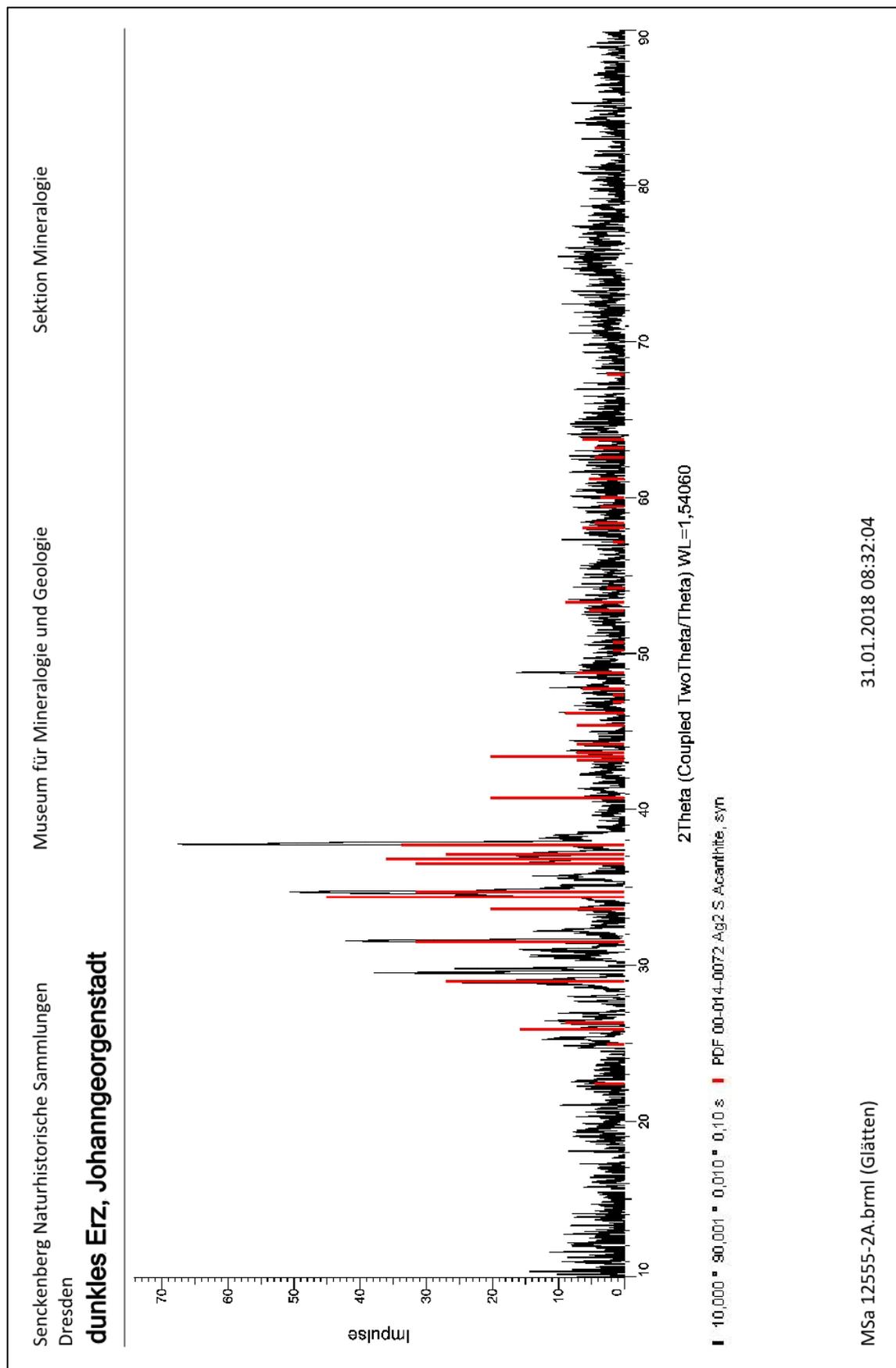
## 14.13 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 3422-1A, MARIENBERG



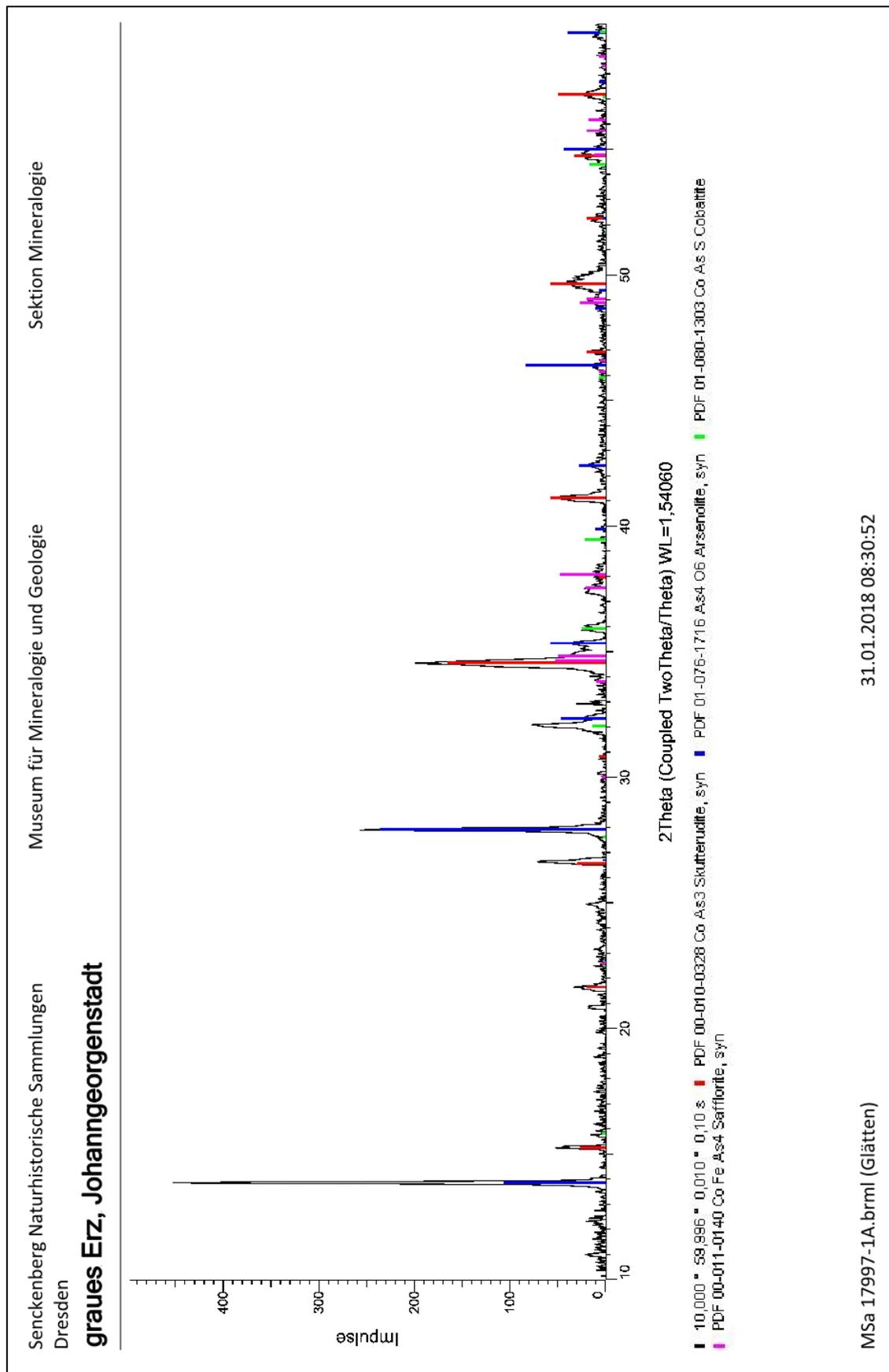
## 14.14 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 12555-1A, JOHANNGEORGENSTADT



## 14.15 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 12555-2A, JOHANNGEORGENSTADT



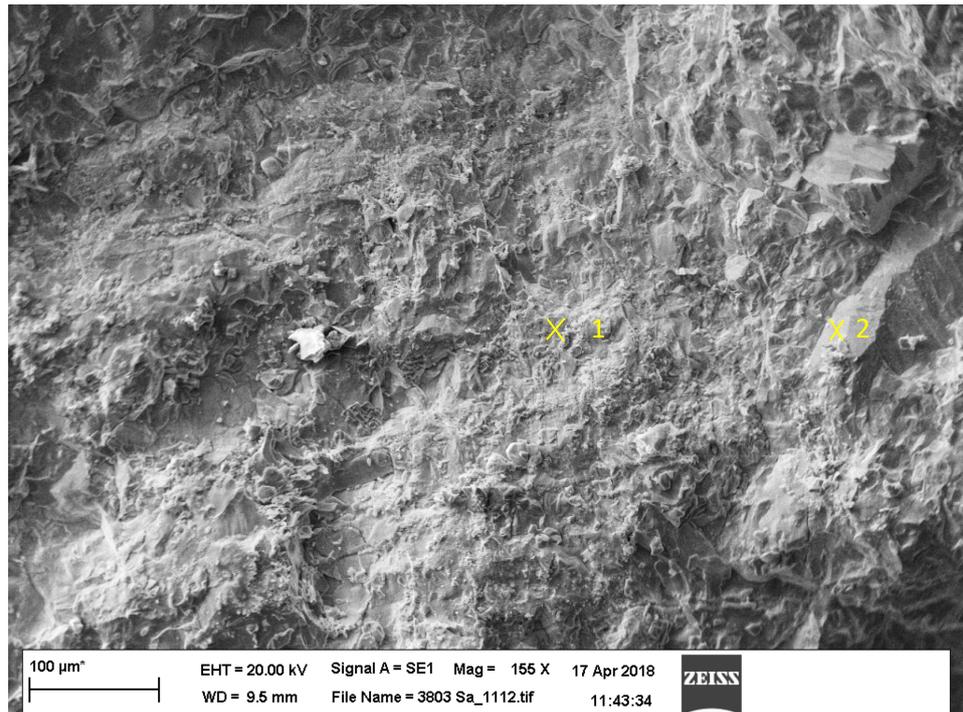
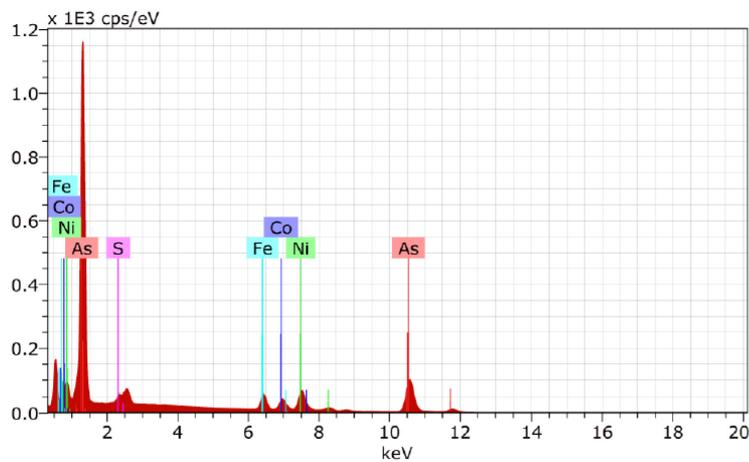
## 14.16 RÖNTGENDIFFRAKTOGRAMM PROBE MIN SA 17997-1A, JOHANNGEORGENSTADT



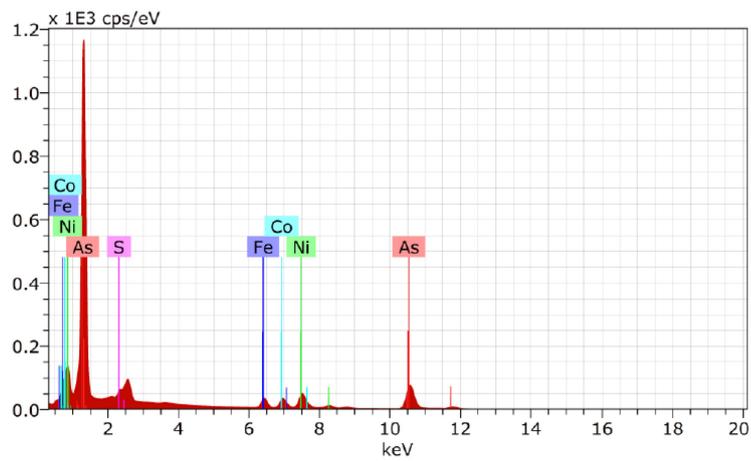
## 14.17 ERGEBNIS REM-EDX-ANALYSE, PROBE MIN 3803 SA, SCHNEEBERG

**Se-Bild 112:**

3803 Sa\_1112.tif

**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3803 Sa, Messpunkt 1 (X1):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	79,32	75,24	68,48	6,84
Nickel (Ni)	K-Serie	11,19	10,62	12,34	0,97
Cobalt (Co)	K-Serie	5,85	5,55	6,42	0,54
Eisen (Fe)	K-Serie	6,42	6,09	7,44	0,58
Schwefel (S)	K-Serie	2,64	2,51	5,33	0,36
<b>Summen:</b>		<b>105,42</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

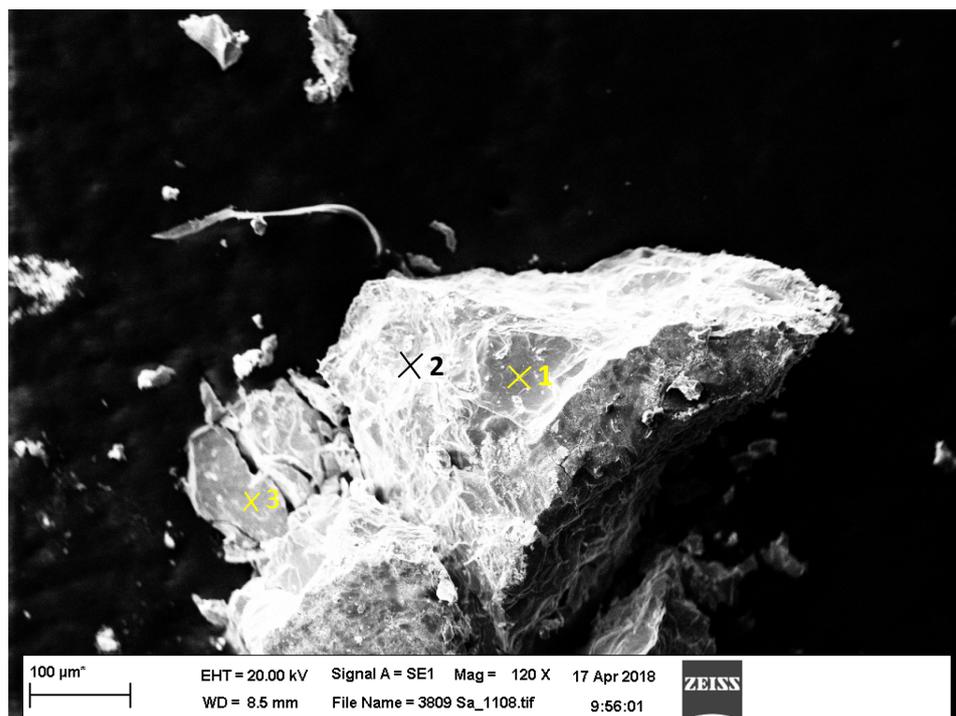
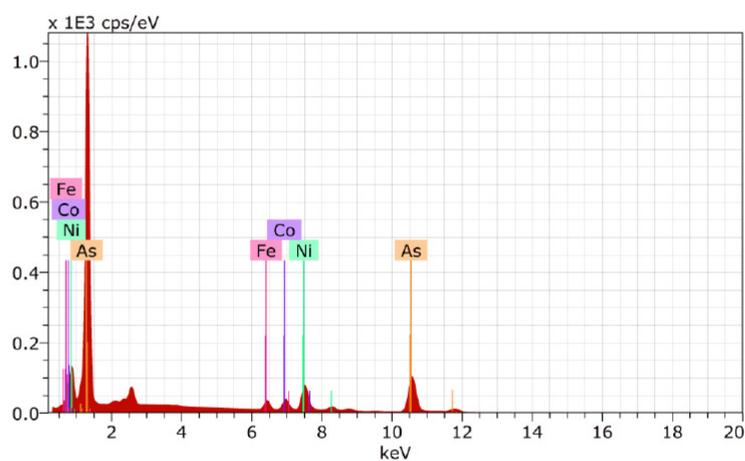
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3803 Sa, Messpunkt 2 (X2):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	84,56	74,64	66,52	7,29
Nickel (Ni)	K-Serie	11,52	10,17	11,57	0,99
Eisen (Fe)	K-Serie	5,29	4,67	5,58	0,49
Cobalt (Co)	K-Serie	6,67	5,89	6,67	0,60
Schwefel (S)	K-Serie	5,26	4,46	9,66	0,64
<b>Summen:</b>		<b>113,30</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

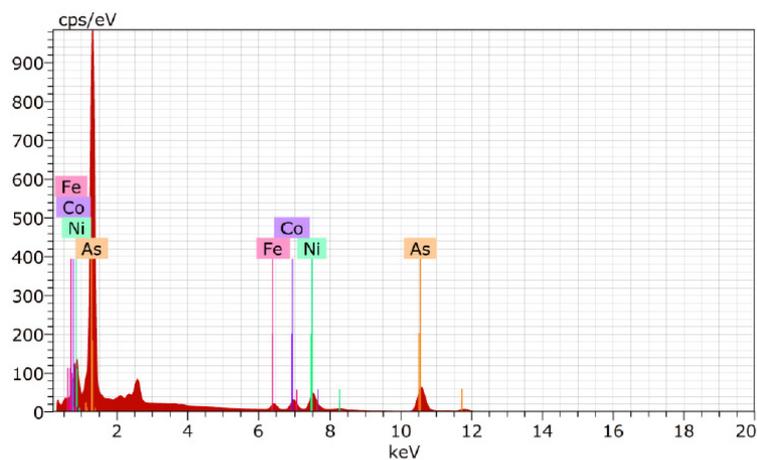
## 14.18 ERGEBNIS REM-EDX-ANALYSE, PROBE MIN 3809 SA, SCHNEEBERG

**Se-Bild 108:**

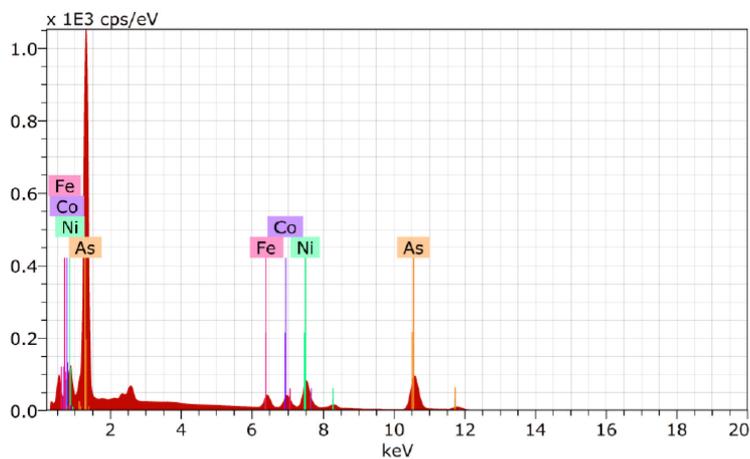
3809Sa\_1108.tif

**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3809 Sa, Messpunkt 1 (X1):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	95,62	78,42	73,87	8,23
Nickel (Ni)	K-Serie	15,77	12,94	15,55	1,33
Cobalt (Co)	K-Serie	6,23	5,11	6,12	0,57
Eisen (Fe)	K-Serie	4,3	3,53	4,46	0,42
<b>Summen:</b>		<b>121,92</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

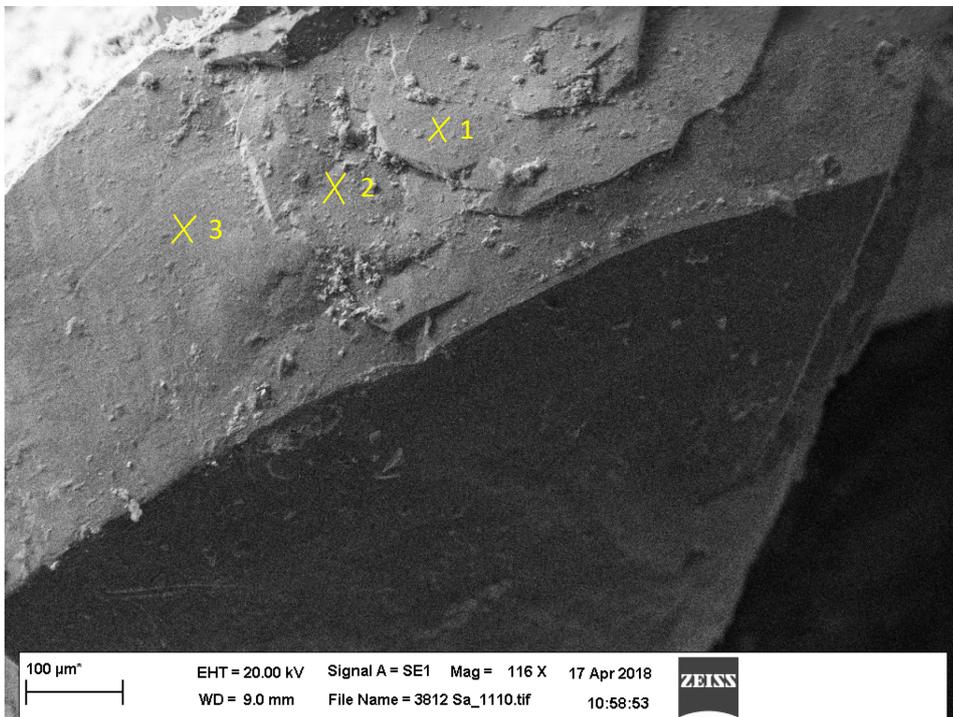
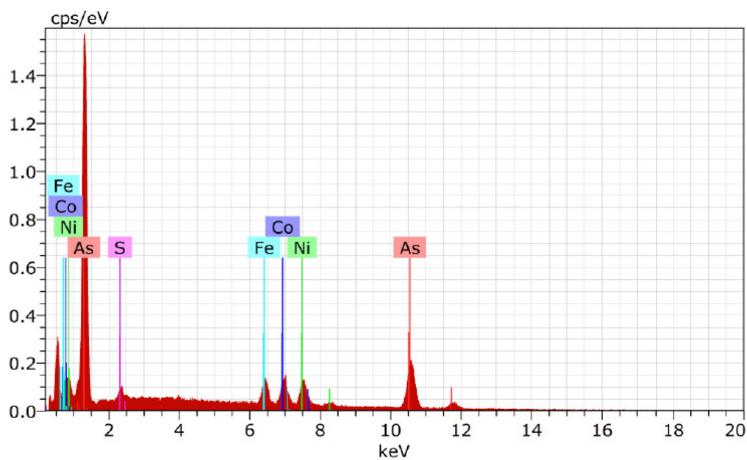
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3809 Sa, Messpunkt 2 (X2):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	62,85	78,79	74,32	5,44
Nickel (Ni)	K-Serie	9,69	12,15	14,63	0,85
Cobalt (Co)	K-Serie	5,13	6,43	7,72	0,48
Eisen (Fe)	K-Serie	2,1	2,63	3,33	0,24
<b>Summen:</b>		<b>79,78</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

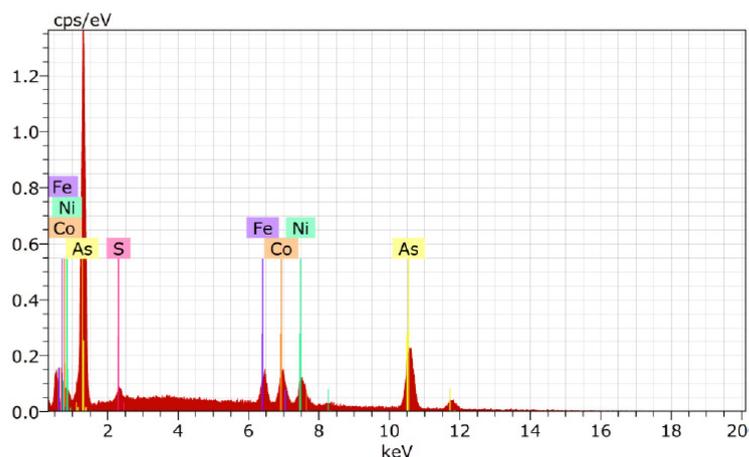
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3809 Sa, Messpunkt 3 (X3):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	94,32	75,23	70,23	8,12
Nickel (Ni)	K-Serie	17,66	14,09	16,79	1,48
Cobalt (Co)	K-Serie	7,52	6,00	7,12	0,67
Eisen (Fe)	K-Serie	5,87	4,68	5,86	0,54
<b>Summen:</b>		<b>79,78</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

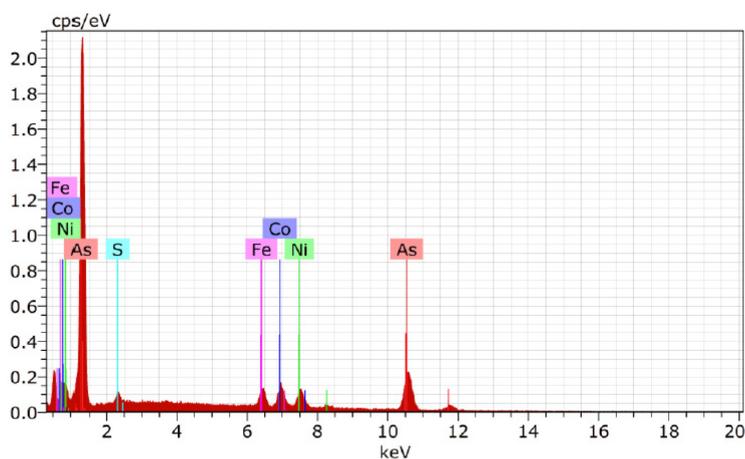
## 14.19 ERGEBNIS REM-EDX-ANALYSE, PROBE MIN 3812 SA, SCHNEEBERG

**Se-Bild 110:** 3812Sa\_1110.tif**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3812 Sa, Messpunkt 1 (X1):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	60,05	74,64	68,83	5,63
Nickel (Ni)	K-Serie	7,54	9,38	11,04	0,78
Cobalt (Co)	K-Serie	6,63	8,24	9,66	0,70
Eisen (Fe)	K-Serie	5,45	6,77	8,38	0,59
Schwefel (S)	K-Serie	0,78	0,97	2,10	0,20
<b>Summen:</b>		<b>79,78</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

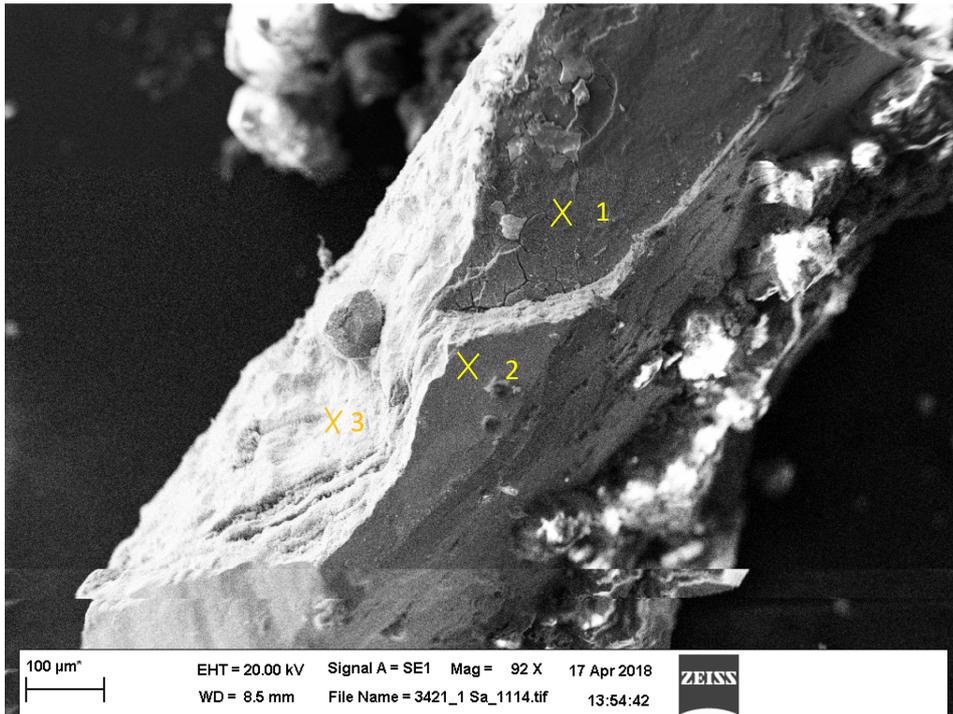
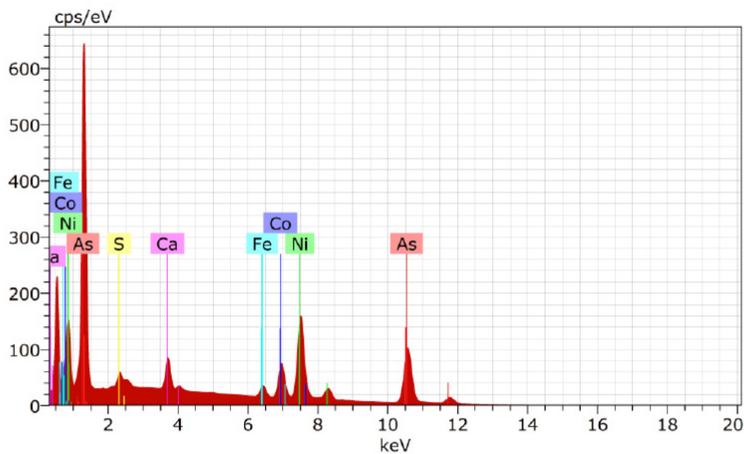
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3812 Sa, Messpunkt 2 (X2):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	70,24	76,28	70,84	6,52
Cobalt (Co)	K-Serie	8,18	8,88	10,49	0,83
Nickel (Ni)	K-Serie	6,85	7,43	8,81	0,73
Eisen (Fe)	K-Serie	6,18	6,72	8,37	0,65
Schwefel (S)	K-Serie	0,63	0,69	1,49	0,18
<b>Summen:</b>		<b>92,08</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

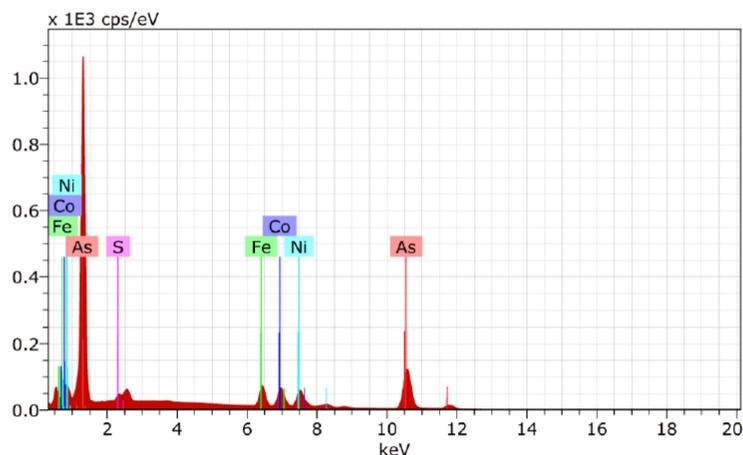
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3812 Sa, Messpunkt 3 (X3):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	62,03	76,06	70,26	5,76
Nickel (Ni)	K-Serie	6,24	7,65	9,02	0,67
Cobalt (Co)	K-Serie	7,16	8,77	10,30	0,74
Schwefel (S)	K-Serie	0,97	1,20	2,58	0,22
Eisen (Fe)	K-Serie	5,15	6,32	7,83	0,56
<b>Summen:</b>		<b>92,08</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

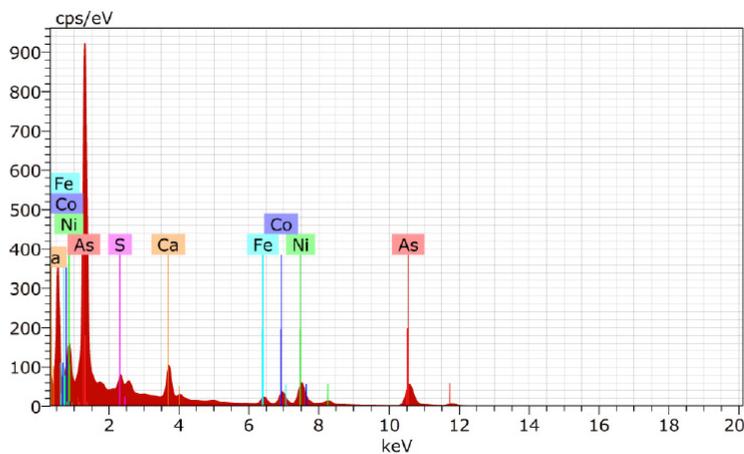
## 14.20 ERGEBNIS REM-EDX-ANALYSE, PROBE MIN 3421 SA, MARIENBERG

**Se-Bild 114:** 3421Sa\_1114.tif**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3421 Sa, Messpunkt 1 (X1):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	59,22	62,08	54,46	5,13
Nickel (Ni)	K-Serie	21,03	22,05	24,69	1,75
Cobalt (Co)	K-Serie	8,48	8,89	9,91	0,75
Eisen (Fe)	K-Serie	2,29	2,40	2,82	0,26
Kalzium (Ca)	K-Serie	3,00	3,15	5,16	0,34
Schwefel (S)	K-Serie	1,37	1,44	2,95	0,22
<b>Summen:</b>		<b>95,38</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

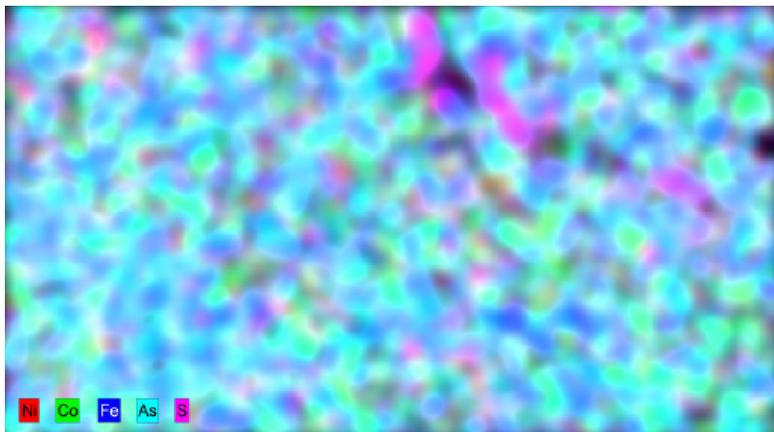
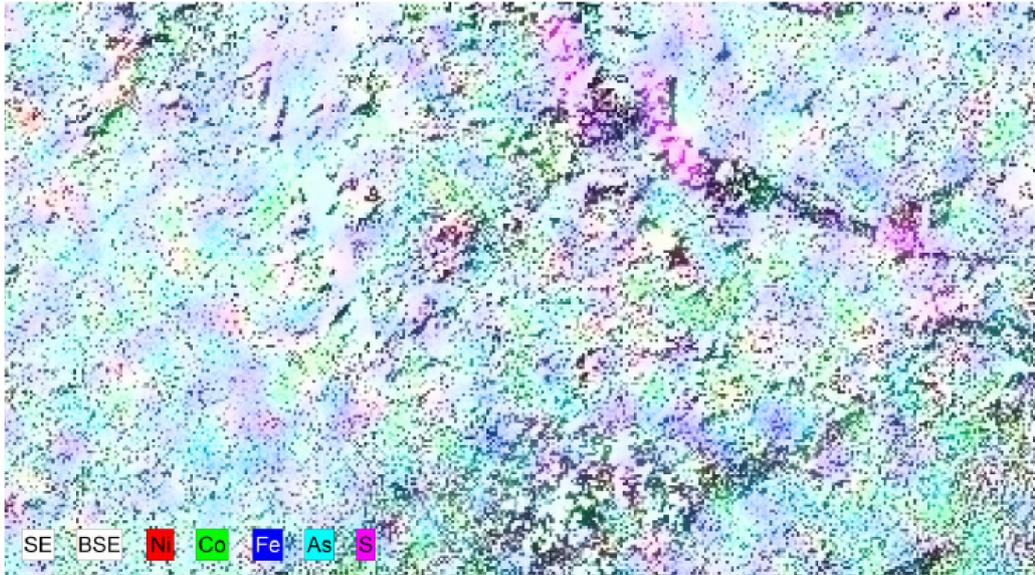
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3421 Sa, Messpunkt 2 (X2):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	89,67	76,86	70,94	7,72
Eisen (Fe)	K-Serie	8,02	6,88	8,51	0,72
Cobalt (Co)	K-Serie	8,65	7,41	8,70	0,76
Nickel (Ni)	K-Serie	8,64	7,41	8,73	0,76
Schwefel (S)	K-Serie	1,69	1,45	3,12	0,26
<b>Summen:</b>		<b>116,67</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

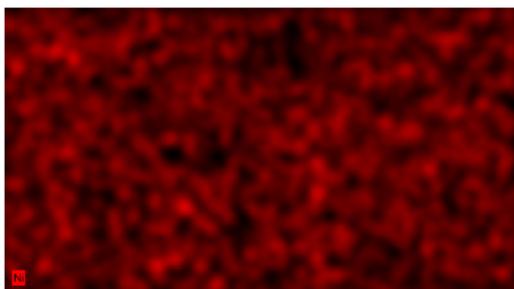
**EDX-Spektrum Probe 1, Min 3421 Sa, Messpunkt 3 (X3):**

Element	Serie	unn. Gew.-%	norm. Gew.-%	Norm. Atom %	Gew.-%
Arsen (As)	K-Serie	191,69	57,40	46,25	16,43
Nickel (Ni)	K-Serie	48,64	14,56	14,98	3,94
Cobalt (Co)	K-Serie	27,75	8,31	8,51	2,28
Eisen (Fe)	K-Serie	14,25	4,27	4,61	1,21
Schwefel (S)	K-Serie	20,95	6,27	11,81	2,32
Kalzium (Ca)	K-Serie	30,69	9,19	13,84	2,76
<b>Summen:</b>		<b>333,97</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

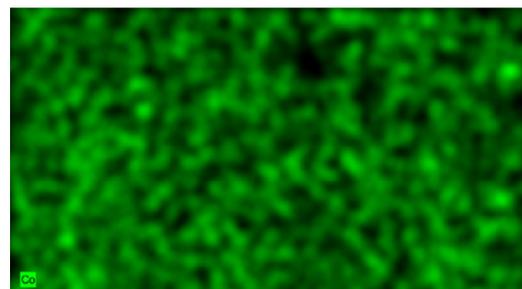
## 14.21 MAPPING ANALYSE MIN 3812 SA, SCHNEEBERG



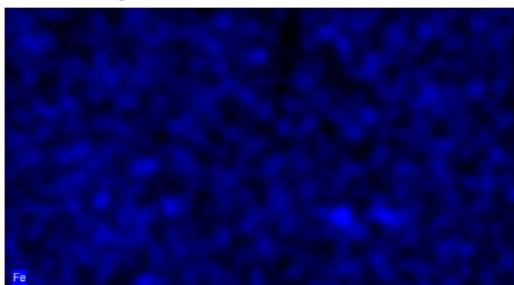
Verteilung Nickel (Ni), Cobalt (Co), Eisen (Fe), Arsen (As) und Schwefel (S)



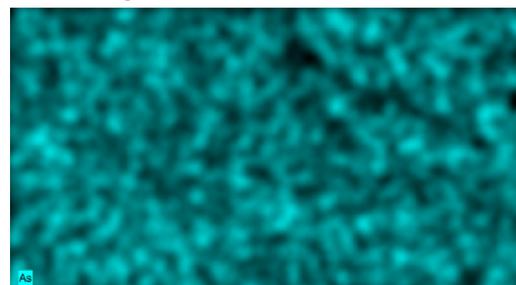
Verteilung Nickel (Ni)



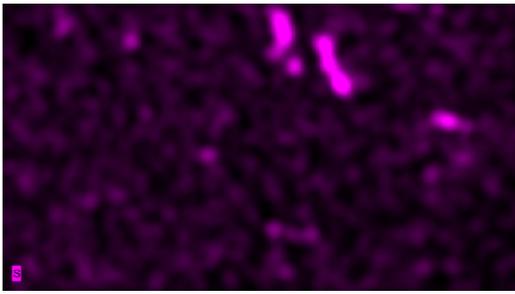
Verteilung Cobalt (Co)



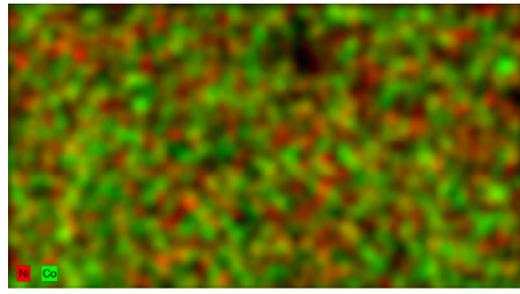
Verteilung Eisen (Fe)



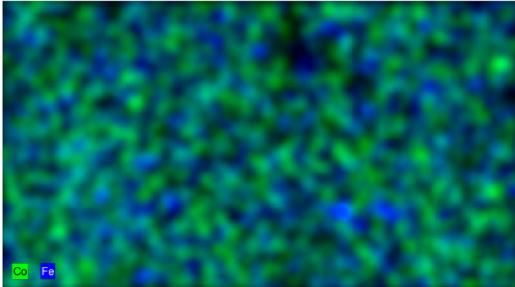
Verteilung Arsen (As)



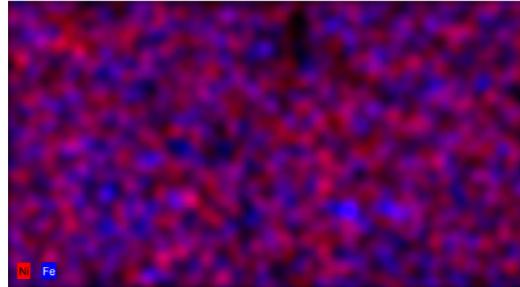
Verteilung Schwefel (S)



Verteilung Nickel (Ni) und Cobalt (Co)



Verteilung Cobalt (Co) und Eisen (Fe)



Verteilung Nickel (Ni) und Eisen (Fe)

**Daten:**

3812 Sa\_4\_Map

Bildgröße: 385 x 215

Mag: 115,54552x

HV: 20,0 kV

## 14.22 KOBALTFÖRDERUNG IN SCHNEEBERG 1620 – 1682

	<i>Kobaltausbringung bis 1641 in Kübel</i>	<i>Anzahl der Zechen</i>		<i>Kobaltausbringung bis 1682 in Zentner</i>	<i>Anzahl der Zechen</i>
<b>1620</b>	8.642	30 - 40	<b>1653</b>	4.198	30
<b>1621</b>	9.016		<b>1654</b>	5.292	34
<b>1622</b>	9.582		<b>1655</b>	3.677	22
<b>1623</b>	6.455		<b>1656</b>	4.582	26
<b>1624</b>	7.053		<b>1657</b>	3.463	25
<b>1625 – 1629 keine Angaben überliefert</b>			<b>1658</b>	3.428	24
<b>1630</b>	2.731	20	<b>1659</b>	2.604	20
<b>1631</b>	2.006	18	<b>1660</b>	1.802	18
<b>1632</b>	1.897	12	<b>1661</b>	2.525	23
<b>1633</b>	1.341	12	<b>1662</b>	2.519	30
<b>1634</b>	1.577	6	<b>1663</b>	3.779	27
<b>1635</b>	1.943	9	<b>1664</b>	3.107	30
<b>1636</b>	2.230	12	<b>1665</b>	3.481	26
<b>1637</b>	2.638	17	<b>1666</b>	4.091	24
<b>1638</b>	4.033	28	<b>1667</b>	4.626	21
<b>1639</b>	2.122	15	<b>1668</b>	4.395	23
<b>1640</b>	1.709	15	<b>1669</b>	5.288	24
<b>1641</b>	3.885	19	<b>1670</b>	4.733	25
Ab 1642 Angabe der Fördermengen in <b>Zentner</b>			<b>1671</b>	2.912	22
<b>1642</b>	1.844	25	<b>1672</b>	3.900	24
<b>1643</b>	2.243	28	<b>1673</b>	6.141	22
<b>1644</b>	2.375	21	<b>1674</b>	3.203	29
<b>1645</b>	2.551	19	<b>1675</b>	616	28
<b>1646</b>	2.667	24	<b>1676</b>	1.861	29
<b>1647</b>	3.292	29	<b>1677</b>	3.150	35
<b>1648</b>	2.697	27	<b>1678</b>	2.898	27
<b>1649</b>	2.405	25	<b>1679</b>	3.526	32
<b>1650</b>	2.340	30	<b>1680</b>	4.252	30
<b>1651</b>	2.620	24	<b>1681</b>	4.869	34
<b>1652</b>	2.669	26	<b>1682</b>	5.134	36

Tab. 40: Fördermengen an Kobalterzen in Schneeberg 1620 - 1682 (Quelle: MELTZER 1684; BRUCHMÜLLER 1897)

## 14.23 LISTE KOBALTMINERALE NACH IMA (STAND MÄRZ 2018)

1. Alloclasite	CoAsS	G	1866	Romania
2. Aplowite	Co(SO <sub>4</sub> )·4H <sub>2</sub> O	A	1963-009	Canada
3. Asbolane	Mn <sub>4</sub> +(O,OH) <sub>2</sub> ·(Co,Ni,Mg,Ca) <sub>x</sub> (OH) <sub>2x</sub> ·nH <sub>2</sub> O	G	1841	?
4. Bieberite	Co(SO <sub>4</sub> )·7H <sub>2</sub> O	G	1845	Germany
5. Bornhardtite	Co <sub>2</sub> +Co <sub>3</sub> +2Se <sub>4</sub>	G	1955	Germany
6. Bouazzerite	Bi <sub>6</sub> (Mg,Co) <sub>11</sub> Fe <sub>14</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>18</sub> O <sub>12</sub> (OH) <sub>4</sub> ·86H <sub>2</sub> O	A	2005-042	Morocco
7. Burgessite	Co <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> [AsO <sub>3</sub> (OH)] <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)	A	2007-055	Canada
8. Carrollite	CuCo <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	G	1852	USA
9. Cattierite	CoS <sub>2</sub>	G	1945	Democratic Republic of the Congo
10. Clinosafflorite	CoAs <sub>2</sub>	A	1970-014	Canada
11. Cobaltarthurite	CoFe <sub>3</sub> +2(AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	A	2001-052	Spain
12. Cobaltaustinite	CaCo(AsO <sub>4</sub> )(OH)	A	1987-042	Australia
13. Cobaltite	CoAsS	G	1832	unknown
14. Cobaltkieserite	Co(SO <sub>4</sub> )·H <sub>2</sub> O	A	2002-004	Sweden
15. Cobaltkoritnigite	Co(AsO <sub>3</sub> OH)·H <sub>2</sub> O	A	1980-013	Germany
16. Cobaltlotharmeyerite	CaCo <sub>2</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	A	1997-027	Germany
17. Cobaltneustädtelite	Bi <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> +(Co,Fe <sub>3</sub> )(AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>4</sub>	A	2000-012	Germany
18. Cobaltoblödite	Na <sub>2</sub> Co(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	A	2012-059	USA
19. Cobaltomenite	Co(Se <sub>4</sub> +O <sub>3</sub> )·2H <sub>2</sub> O	Rn	2007 s.p.	Argentina
20. Cobaltpentlandite	Co <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	Rn	1962 s.p.	Finland
21. Cobaltsumcorite	PbCo <sub>2</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	A	1999-029	Germany
22. Cobaltzippeite	Co(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )O <sub>2</sub> ·3.5H <sub>2</sub> O	Rn	1971-006	USA
23. Cochromite	CoCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	A	1978-049	South Africa
24. Comblainite	Ni <sub>4</sub> Co <sup>3+</sup> 2(CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>12</sub> ·3H <sub>2</sub> O	A	1978-009	Democratic Republic of the Congo
25. Costibite	CoSbS	A	1969-014	Australia
26. Erythrite	Co <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	G	1832	France / Germany ?
27. Freboldite	CoSe	G	1957	Germany
28. Glaucodot	(Co <sub>0.5</sub> Fe <sub>0.5</sub> )AsS	G	1849	Chile
29. Heterogenite	Co <sup>3+</sup> O(OH)	A	1967 s.p.	Germany
30. Hloušekite	(Ni,Co)Cu <sub>4</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (AsO <sub>3</sub> OH) <sub>2</sub> ·9H <sub>2</sub> O	A	2013-048	Czech Republic
31. Jaipurite	CoS	Q	1880	India
32. Jamborite	Ni <sup>2+</sup> <sub>1-x</sub> Co <sup>3+</sup> <sub>x</sub> (OH) <sub>2-x</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>x</sub> ·nH <sub>2</sub> O	A	2014 s.p.	Italy
33. Julienite	Na <sub>2</sub> Co(SCN) <sub>4</sub> ·8H <sub>2</sub> O	Rn	2007 s.p.	Democratic Republic of the Congo
34. Karpenkoite	Co <sub>3</sub> (V <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	A	2014-092	USA
35. Kieftite	CoSb <sub>3</sub>	A	1991-052	Sweden
36. Kolwezite	(Cu,Co) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Rn	1979-017	Democratic Republic of the Congo
37. Langisite	CoAs	A	1968-023	Canada
38. Leverettite	Cu <sub>3</sub> CoCl <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	A	2013-011	Chile
39. Linnaeite	Co <sup>2+</sup> Co <sup>3+</sup> <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	G	1845	Sweden
40. Mattagamite	CoTe <sub>2</sub>	A	1972-003	Canada

41. Metakirchheimerite	$\text{Co}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	G	1958	Germany
42. Modderite	$\text{CoAs}$	G	1923	South Africa
43. Moorhouseite	$\text{Co}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	A	1963-008	Canada
44. Neustädtelite	$\text{Bi}_2\text{Fe}^{3+}(\text{Fe}^{3+}, \text{Co})_2(\text{O}, \text{OH})_4(\text{AsO}_4)_2$	A	1998-016	Germany
45. Nickelskutterudite	$(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe})\text{As}_3$	Rn	2007 s.p.	Germany
46. Oenite	$\text{CoSbAs}$	A	1995-007	Sweden
47. Oursinite	$\text{Co}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	A	1982-051	Democratic Republic of the Congo
48. Pakhomovskiyite	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	A	2004-021	Russia
49. Paracostibite	$\text{CoSbS}$	A	1969-023	Canada
50. Penroseite	$(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Cu})\text{Se}_2$	G	1926	Bolivia
51. Petewilliamsite	$(\text{Ni}, \text{Co})_{30}(\text{As}_2\text{O}_7)_{15}$	A	2002-059	Germany
52. Pradetite	$\text{CoCu}_4(\text{AsO}_4)_2(\text{AsO}_3\text{OH})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Rd	1991-046	France
53. Rappoldite	$\text{PbCo}_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	A	1998-015	Germany
54. Roselite	$\text{Ca}_2\text{Co}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	G	1824	Germany
55. Roselite- $\beta$	$\text{Ca}_2\text{Co}(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	G	1955	Germany
56. Safflorite	$\text{CoAs}_2$	G	1835	Germany
57. Schneebergite	$\text{BiCo}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	A	1999-027	Germany
58. Siegenite	$\text{CoNi}_2\text{S}_4$	G	1850	Germany
59. Skutterudite	$\text{CoAs}_3$	G	1845	Norway
60. Smolyaninovite	$\text{Co}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{AsO}_4)_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	G	1956	Russia
61. Spherochalcite	$\text{Co}(\text{CO}_3)$	Rd	1962 s.p.	Germany
62. Thérèse magnanite	$\text{NaCo}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Rd	1991-026	France
63. Trogtalite	$\text{CoSe}_2$	G	1955	Germany
64. Tyrrellite	$\text{Cu}(\text{Co}, \text{Ni})_2\text{Se}_4$	G	1952	Canada
65. Wairauite	$\text{CoFe}$	A	1964-015	New Zealand
66. Willyamite	$\text{CoSbS}$	Rd	1970 s.p.	Australia
67. Wupatkiite	$\text{CoAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$	A	1994-019	USA

## IMA status:

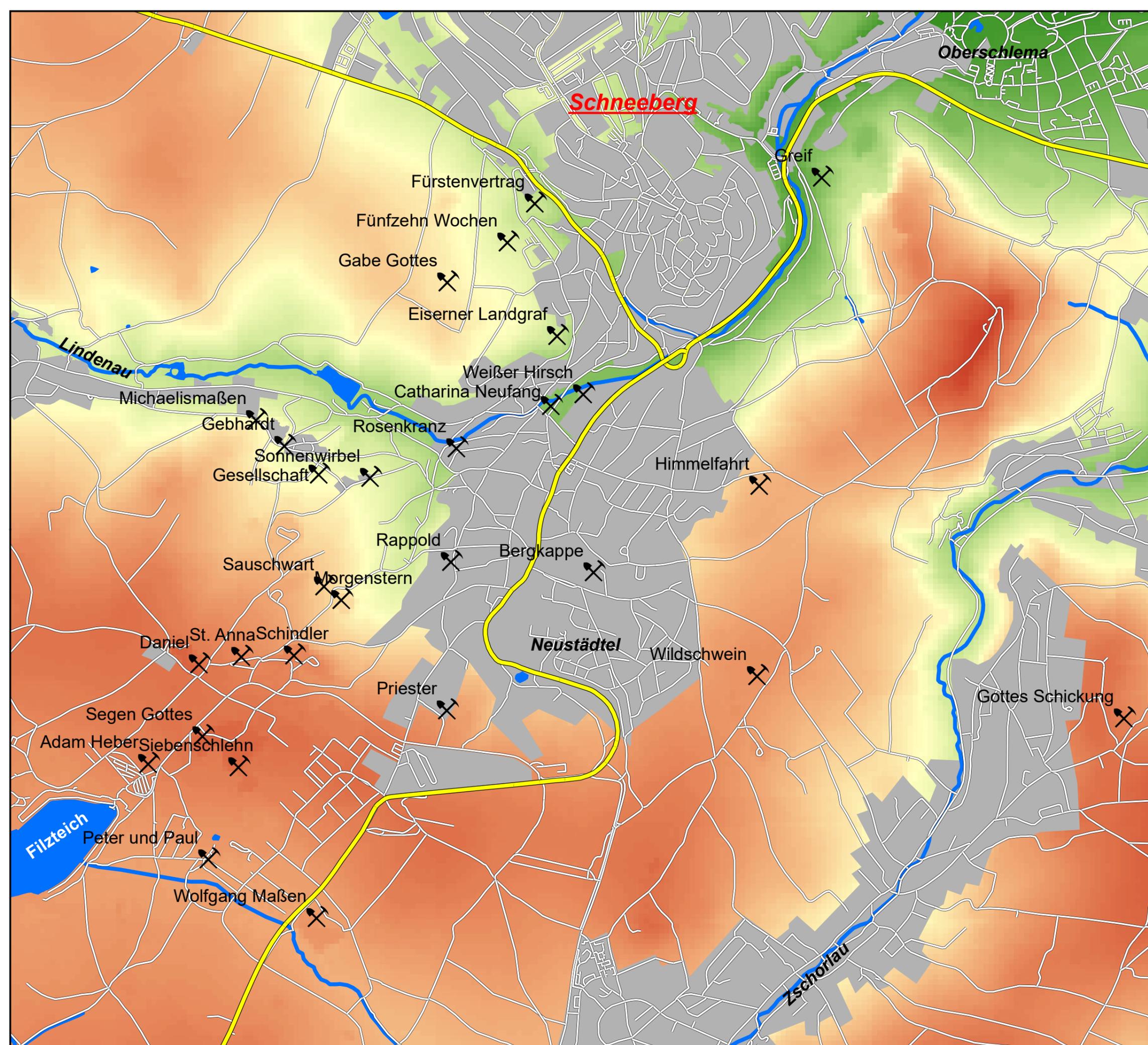
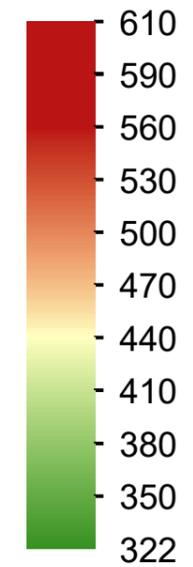
- A = approved (it applies to minerals approved after the establishment of the IMA in 1958);
- G = grandfathered (it applies to minerals discovered before the birth of IMA, and generally considered as valid species);
- Rd = redefined (it applies to existing minerals which were redefined during the IMA era);
- Rn = renamed (it applies to existing minerals which were renamed during the IMA era);
- Q = questionable (it applies to poorly characterized minerals, whose validity could be doubtful).

Quelle: PASERO (2018).

# Schneeberg

Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung

## Höhenstufen in m



**Masterarbeit**  
Datum: 25.09.2018

*Kobaltbergbau und Blaufarbenindustrie im sächsischen Erzgebirge*

**Karte 1**

**Schneeberg**

Maßstab:  
1:14.000

0 750 1.500  
Meter



Technische Universität Dresden  
Fakultät Umweltwissenschaften  
Institut für Geographie  
Professur Landschaftslehre / Geoökologie

Bearbeitung:

• Jörg Förster

Betreuung:

• PD Dr. Michael Zech  
(Professur Landschaftslehre / Geoökologie)  
• Prof. Dr. Klaus Thalheim  
(SNSD, MMG)

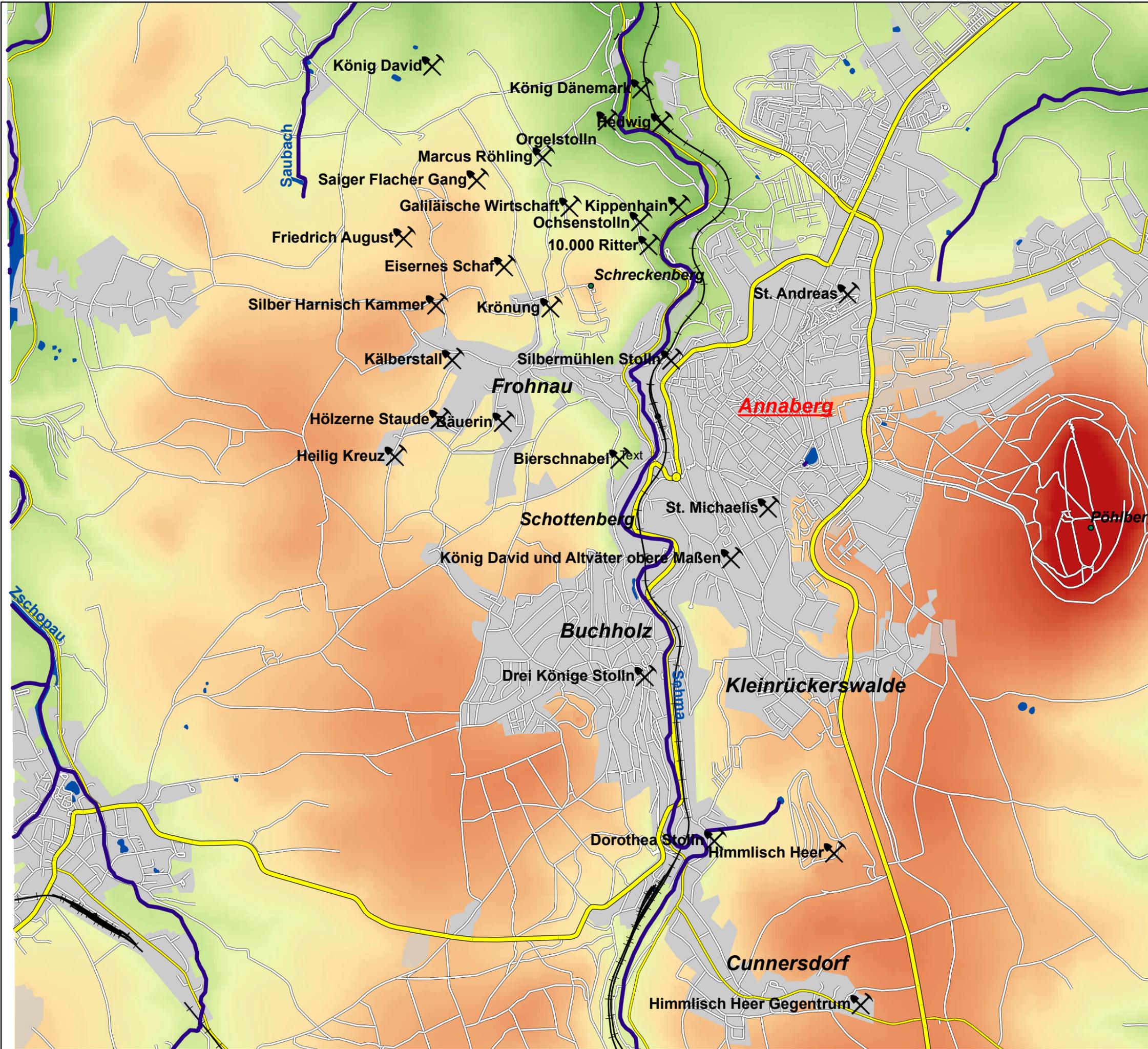
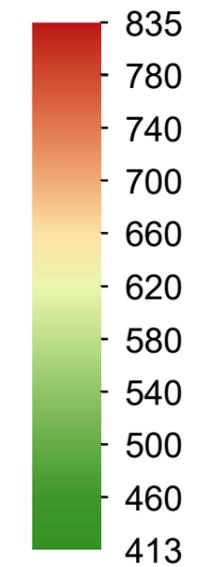
Kartiergrundlagen:

DTK25 Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
DGM Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
www.geofabrik.de

# Annaberg

Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung

## Höhenstufen in m



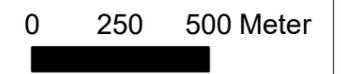
**Masterarbeit**  
Datum: 25.09.2018

*Kobaltbergbau und Blaufarbenindustrie im sächsischen Erzgebirge*

Karte 2

**Annaberg**

Maßstab:  
1:20.000



Technische Universität Dresden  
Fakultät Umweltwissenschaften  
Institut für Geographie  
Professur Landschaftslehre / Geoökologie

Bearbeitung:

• Jörg Förster

Betreuung:

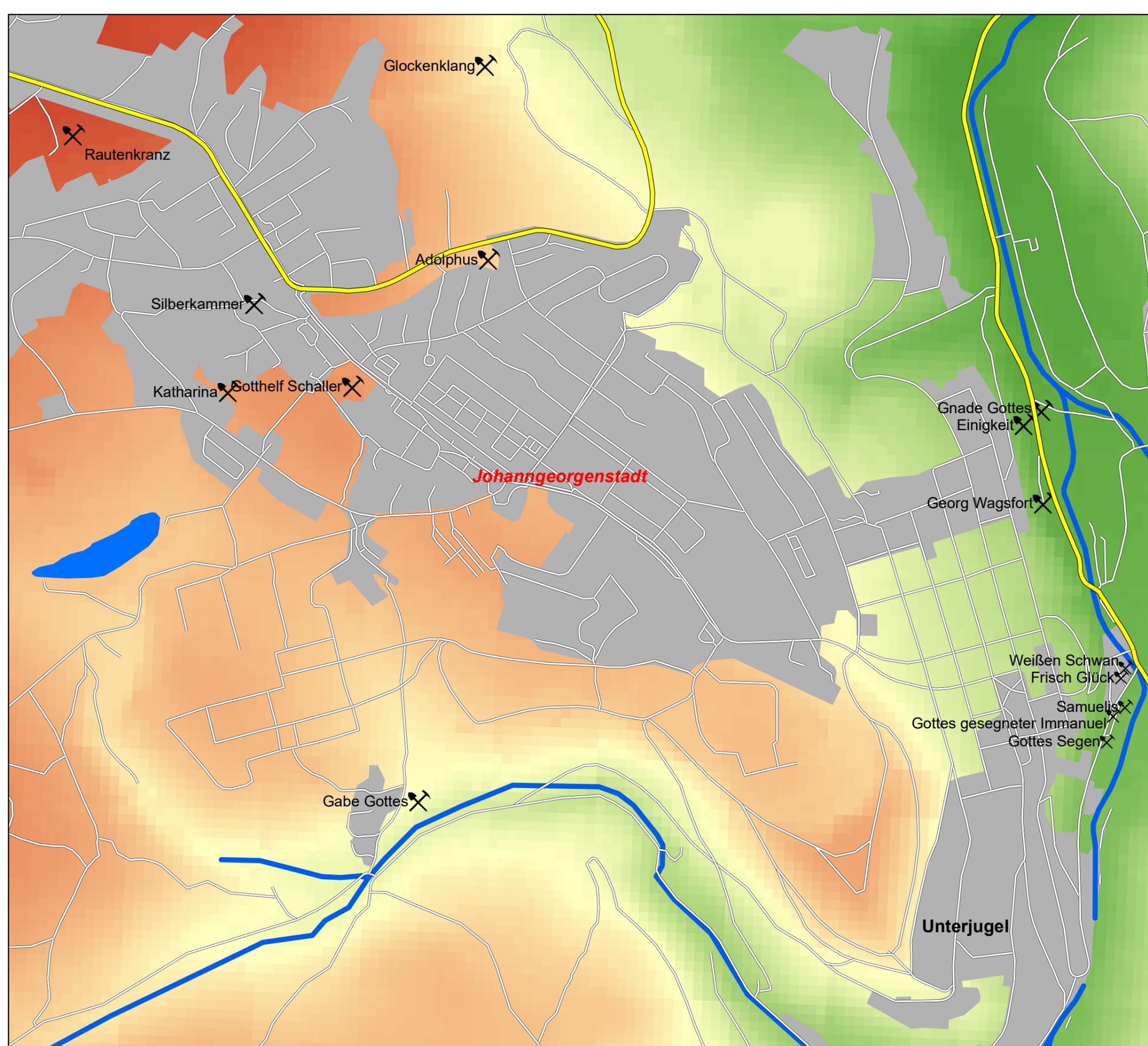
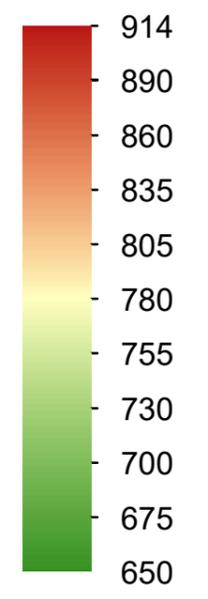
- PD Dr. Michael Zech  
(Professur Landschaftslehre / Geoökologie)
- Prof. Dr. Klaus Thalheim  
(SNSD, MMG)

Kartiergrundlagen:  
DTK25 Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
DGM Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
www.geofabrik.de

# Johanngeorgenstadt

Lage von historischen Gruben mit Kobalterzförderung

Höhenstufen in m



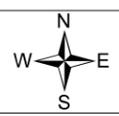
**Masterarbeit**  
Datum: 25.09.2018

*Kobaltbergbau und Blaufarbenindustrie im sächsischen Erzgebirge*

**Karte 3**

**Johanngeorgenstadt**

Maßstab:  
1:7.500



Technische Universität Dresden  
Fakultät Umweltwissenschaften  
Institut für Geographie –  
Professur Landschaftslehre / Geoökologie

Bearbeitung:

• Jörg Förster

Betreuung:

- PD Dr. Michael Zech (Professur Landschaftslehre / Geoökologie)
- Prof. Dr. Klaus Thalheim (SNSD, MMG)

Kartiergrundlagen:  
DTK25 Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
DGM Staatsbetrieb Geobasisinformation u. Vermessung Sachsen  
[www.geofabrik.de](http://www.geofabrik.de)

## SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich reiche sie erstmals als Prüfungsleistung ein. Mir ist bekannt, dass ein Betrugsversuch mit der Note "nicht ausreichend" (5,0) geahndet wird und im Wiederholungsfall zum Ausschluss von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen führen kann.

Name: Förster

Vorname: Jörg

Matrikelnummer: 3889739

Dresden, den 25.09.2018

Unterschrift: 

## DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei allen bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Namentlich bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Thalheim, der mir das Thema angeboten und die Forschungstätigkeit und Betreuung am Standort der Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden, Museum für Mineralogie und Geologie, ermöglicht hat. Auch bedanke ich mich für die wertvollen Hinweise zum wissenschaftlichen Arbeiten. Herrn Dr. Zech danke ich ebenfalls für die kompetente Betreuung und dem stets schnellen und hilfreichen Feedback. Darüber hinaus bedanke ich mich bei Frau Jana Wazeck und Herrn Norbert Pflug für die Unterstützung bei der Arbeit im Depot, im Labor und für die Hinweise zur Masterarbeit. Zusätzlich bedanke ich mich bei Frau Groschwitz aus Dresden-Klotzsche für die freundliche und unentgeltliche Bereitstellung eines Buches.