

3D-Modellierung der Magnesitlagerstätte Hohentauern

Diplomarbeit

vorgelegt am

Institut für Geologische Wissenschaften
der Freien Universität Berlin

von Sebastian H. G. Walter
Berlin, den 10. Februar 2002

Danksagung

Die Anregung und Vergabe dieses Diplomthemas verdanke ich Herrn Prof. Dr. W. Skala. Dank gebührt auch der RHI AG und insbesondere dem ehemaligen Betriebsleiter von Hohentauern, Herrn Dipl.-Ing. H. Krisch, für die Bereitstellung der Daten und die Unterstützung während der Anfertigung dieser Arbeit. Herrn Mag. A. Leitner danke ich für die freundliche Bereitstellung von Literatur- und Tonbandmaterial.

Herrn Dipl.-Geol. R. Prissang, der mir während der gesamten Ausarbeitung sehr hilfreich zur Seite stand und zur Vollendung der Diplomarbeit wesentlich beitrug, spreche ich auf diesem Wege meinen Dank aus.

Mein ganz besonderer Dank gilt auch meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglichen und mir sowohl bei der Durchführung der Studien als auch bei der Anfertigung der Diplomarbeit stets zur Seite standen.

Zusammenfassung

Die Lagerstätte Hohentauern liegt etwa 2 km nordwestlich des Triebensteins. Sie befindet sich im Karbon der Veitscher Teildecke innerhalb der nördlichen Grauwackenzone. Beim Ablagerungsmilieu handelt es sich um einen flachmarinen Bereich, der Mechanismus der Magnesitbildung ist noch nicht vollständig geklärt. Durch die Nähe zur Norischen Überschiebung und zur Oberostalpinen Basisüberschiebung wurde der Magnesit tektonisch stark beansprucht. In Hohentauern baute die Veitscher Magnesit AG von 1907 bis 1991 den Magnesit ab, bis die Grube 1997 aufgelassen wurde.

Aus den vorhandenen Bohrlochdaten und Grubenrissen sowie historischen Informationen wird ein dreidimensionales Modell der aus einzelnen Magnesitkörpern bestehenden Lagerstätte erstellt. Das fertige Modell umfasst elf abbauwürdige Magnesitkörper, die in manchen Bereichen in Verbindung stehen. Trotz nicht mehr erhaltener Detailinformationen im Tagebaubereich konnte die Verbindung einzelner Körper zur Tagesoberfläche rekonstruiert werden. Die Arbeit enthält eine detaillierte Beschreibung der Arbeitsschritte von der Digitalisierung der Daten bis hin zum 3D-Modell, das in Form eines VRML-Objekts auf der beigefügten CD abgelegt ist. Anhand des fertigen Modells werden eventuelle tektonische Zusammenhänge der einzelnen Lagerstättenkörper diskutiert. Der Winkel im unteren Bereich der Lagerstätte stimmt mit der Bahn der Basisüberschiebung des Oberostalpins überein. Die ersichtliche Boudinage macht eine durch Tektonik hervorgerufene Zerteilung der Körper wahrscheinlich. Ob ursprünglich ein einziger Körper sedimentiert wurde oder ob mehrere Körper vor der tektonischen Beeinflussung vorgelegen haben, lässt sich durch das Modell nicht klären. Sicherlich wurden alle Körper nachträglich von der Boudinage geprägt.

Das Geometriemodell bildet die Basis für weitergehende Untersuchungen der Lagerstätte, speziell der Variografie der Qualitätsparameter.

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung und Zielsetzung	6
2. Die Lagerstätte Hohentauern	8
2.1 Lagerstättenkörper und Abbaufahren	8
2.2 Historische Entwicklung	12
2.3 Magnesit aus Hohentauern	14
3. Geologie	16
3.1 Regionaler Zusammenhang	16
3.2 Bereich der Lagerstätte	19
3.3 Genese des Magnesits	22
4. Datenlage	24
4.1 Übersichtskarten	24
4.2 Bohrungen	24
4.3 Profile	25
4.4 Mündliche Absprachen	27
5. Computertechniken für die geologische Modellierung	28
5.1 Aufgaben der Lagerstättenmodellierung	28
5.2 Verwendete Software	30
5.2.1 Lynx	31
5.2.2 Surpac	36

Inhaltsverzeichnis	5
6. Arbeitsweise	37
6.1 Projekt initialisieren	37
6.2 Daten digitalisieren	39
6.2.1 Bohrungen	39
6.2.2 Profile	40
6.2.3 Abbaukarten	41
6.2.4 Digitales Geländemodell	42
6.3 Hilfsschnitte erstellen	44
6.4 Vollständige Erzkörper modellieren	46
7. Das Modell	50
7.1 Geometrie	50
7.2 Vergleich mit Befunden aus vorhandenen Geländeuntersuchungen	52
8. Ausblick	56
Literaturverzeichnis	57

1. Problemstellung und Zielsetzung

Schon die frühesten Publikationen über die Magnesitlagerstätte Hohentauern waren von kontroversen Diskussionen über die Genese der österreichischen Spatmagnesitlagerstätten begleitet (siehe RUMPF 1876 und REDLICH 1909). Die Meinungen divergierten, ob der Magnesit sedimentär abgeschieden, metasomatisch umgewandelt oder salinar angereichert wurde. Diese Erklärungen widersprechen sich gegenseitig, für sich betrachtet sind sie jedoch sehr plausibel. Man ging damals von einer gemeinsamen Genese aus, obwohl sich die Lagerstätten in unterschiedlichen Faziesbereichen befinden.

Durch die Klärung der Stratigrafie konnten HADITSCH und MOSTLER (1979) das Problem genauer angehen und erkannten, dass nicht alle österreichischen Spatmagnesitlagerstätten gleichzusetzen sind. Vielmehr lassen sie sich in silurische und karbonische Entstehungsalter unterteilen. Sie fanden weiterhin heraus, dass den silurischen Lagerstätten Merkmale eines tiefmarinen Ablagerungsmilieus gemein sind, während die Mg-Lagerstätten des Karbons auf ein flachmarines Milieu schließen lassen. Für tiefmarine Spatmagnesitlagerstätten ist eine metasomatische Anreicherung pelagischer Kalke wahrscheinlich. Es treten keine Crinoiden auf und eine saline Entstehung kann ebenfalls ausgeschlossen werden. Deckenüberschiebungen können Fluidströme verursachen, die eine solche Anreicherung möglich machen (MORTEANI und NEUGEBAUER 1990). Die silurische Lagerstätte Breitenau wird seit einigen Jahren unter Gesichtspunkten der Abbauoptimierung von der Arbeitsgruppe Mathematische Geologie an der Freien Universität Berlin bearbeitet. PRISSANG ET AL. (1996) nennen Indizien, die diese Theorie stützen.

Die Entstehung des Magnesits bei den flachmarinen Lagerstätten ist noch nicht vollständig geklärt. Es kommen mehrere Entstehungsmechanismen in Frage (nä-

heres siehe Abschnitt 3.3). Die Lagerstätte Hohentauern liegt im Karbon und ist an flachmarine Sedimente gebunden (FELSER 1977). Sie besteht aus mehreren Teilkörpern. Im Verlauf der Abbautätigkeiten wurden umfangreiche Tiefbohrungen niedergebracht und geologische Aufnahmen durchgeführt, die nach der Schließung des Bergbaus jetzt für diese Studie zur Verfügung stehen.

Damit werden die Lagerstättenverhältnisse in Hohentauern erstmals in Form eines 3D-Modells dargestellt. Anhand des Modells wird ein Vergleich der tatsächlichen Lagerstättengeometrie mit der regionalen Geologie im Hinblick auf Geländebefunde verschiedener Autoren durchgeführt. Das Geometriemodell bildet die Vorbedingung für eine weitere Studie über die Variografie und Eigenschaften der Lagerstätte.

2. Die Lagerstätte Hohentauern

Der Magnesitbergbau Hohentauern liegt am Fuße des Triebensteins etwa 2 km nordwestlich vom Ort Hohentauern in der Steiermark. Er befindet sich in einer Seehöhe von zirka 1.160 m am Eingang in den Sunkdurchbruch, der die Verbindung zwischen Sunk- und Triebenbach darstellt. Der Sunkbach verschwindet in dieser Klamm in einem Bergsturz, aufgrund des ungeordneten Zustands als „Saugrube“ bezeichnet. Er tritt 500 m weiter wieder an der Tagesoberfläche aus. An dieser Stelle befindet sich das benachbarte Grafitvorkommen¹. In der zirka 4,5 km entfernt gelegenen Stadt Trieben wird der Magnesit aufbereitet.

2.1 Lagerstättenkörper und Abbauverfahren

Die Lagerstätte besteht aus mehreren Teilkörpern, von denen wenigstens elf als gewinnbar angesehen wurden; sie sind voneinander durch Tonschiefer und Dolomit, seltener durch Kalkschiefer getrennt. Ihre Bezeichnung stammt von der ursprünglichen Vorstellung einer Bankung der Lagerstätte. Damit ergibt sich eine „Hangende Bank“ (HB), eine „Mittlere Bank“ (MB) und eine „Liegende Bank“ (LB). Untertage wurden sie nach der Sohle benannt, von der sie angefahren wurden. Später stellte sich jedoch heraus, dass diese Körper oft nicht zusammenhängen, so ist zum Beispiel Körper HB nicht mit Körper HB 100 verbunden. HB 170 ist dagegen der oberste Teil eines großen Körpers, der weit unter die 250 m-Sohle reicht. Die Unterscheidung war aus Qualitäts-Steuerungsgründen trotzdem sinnvoll, um den Steigern die aktuellen Abbauorte eindeutig zuweisen zu können. Die Lagerstätte ist weiterhin durch den Einschnitt der Sunk fast bis auf Sohle 100 m in eine rechte und linke Bachseite geteilt. Daher wurden die Körper der linken Bach-

¹im Besitz der Familie Mayr-Einhof, Nachfahren des Erzherzogs Johanns

Abkürzung	Name
HB	Hangende Bank
MB	Mittlere Bank
LB	Liegende Bank
HB 100	HB Sohle 100 m
HB 170	HB Sohle 170 m
LBS	Linke Bachseite Süd
LBN 100	Linke Bachseite Nord Sohle 100 m
LBN 170	LBN Sohle 170 m
LBM 170	Linke Bachseite Mitte Sohle 170 m
LBM 250	LBM Sohle 250 m
HBN	Hangende Bank Nord

Tabelle 2.1: Benennung der abbauwürdigen Körper

seite nach ihrer Beziehung zum Sunkbach² in „Linke Bachseite Süd“ (LBS) und „Linke Bachseite Nord“ (LBN) benannt, die Etagen des Tagebaus wurden auf der linken Bachseite durch „/L“ gekennzeichnet. In vorliegender Arbeit werden diese Bezeichnungen beibehalten, um die Konformität mit den Aufzeichnungen zu wahren. Damit ergeben sich die in Tabelle 2.1 mit Ihren Benennungen aufgeführten Körper.

Der Tagebau bestand aus 14 Etagen, die mit römischen Ziffern bezeichnet wurden. Die Unterste, Etage XIV, ist als Tagesoberfläche³ festgelegt. Von dieser auf 1062,6 m Seehöhe gelegenen Grundsohle werden die übrigen Etagen des Tagebaus nach oben gezählt, alle darunter befindlichen Sohlen des Untertagebaus werden mit dem Abstand zu dieser Etage bezeichnet. Untertage ging der Bergbau von den Sohlen 50, 100, 170 und 250 Meter aus. Sohle 50 m ist auf Höhe der „Saugrube“ als Letzte von Obertage aus zugänglich.

Die Förderung erfolgte zuletzt fast ausschließlich im Tiefbau. Auf den Sohlen

²flussabwärts betrachtet

³auf dieser Höhe befanden sich die Häuser der Bergarbeiter

gab es eine größere Anzahl von Erschließungsstollen, von denen aus Kernbohrungen niedergebracht wurden. Die Analysen der Bohrkerne wurden nur für die grobe Ausrichtung des Bergbaus und der Förderung verwendet, jedoch nicht für die Abbaublock-Schätzungen. Das Abbauverfahren war ein Kammerabbau mit horizontalem Firstverhieb und nachgeführtem Fremdversatz (siehe Abbildung 2.1). Das Gebirge wurde durch Pfeiler von zirka 5 m Durchmesser abgestützt, die Kammern umfassten zirka 12 m. Während des Abbaus wurden Bohrschmantanalysen an der Ortsbrust⁴ durchgeführt. Der Bohrschmant aus im Raster 1 x 1 m durchgeführten Sprengbohrungen wurde in drei Teile geteilt und mittels RFA analysiert. Die Ergebnisse wurden als repräsentativ für den Block gewertet und zur Basis der Mischungen verwendet. Die Qualitätsanforderungen wurden durch Bereitstellen verschiedener, sich ändernder Mischungsverhältnisse erfüllt. Die Anforderung an das Produkt bestimmte die Materialzusammensetzung und damit die Herkunft des abzubauenen Materials. Bei bestimmten Anforderungen wurde bis zuletzt Material aus dem Tagebau gefördert.

Der Rohstein wurde durch einen Blindschacht zur Sohle XIV gefördert und von dort der Brecherstation zugeführt. Nach dem Aufmahlen wurde der Magnesit von oben in die Vorratsbunker gekippt, um den Förderbandaufwand zu minimieren. Nach Bedarf wurde der Magnesitstein in Seilbahnhunte gefüllt und über die zirka 4,5 km lange Seilbahn zur Verhüttung nach Trieben gebracht, dort flotiert, gesintert und der Steinfabrikation zugeführt (MÖHLER 1981).

⁴Aufschlusswand

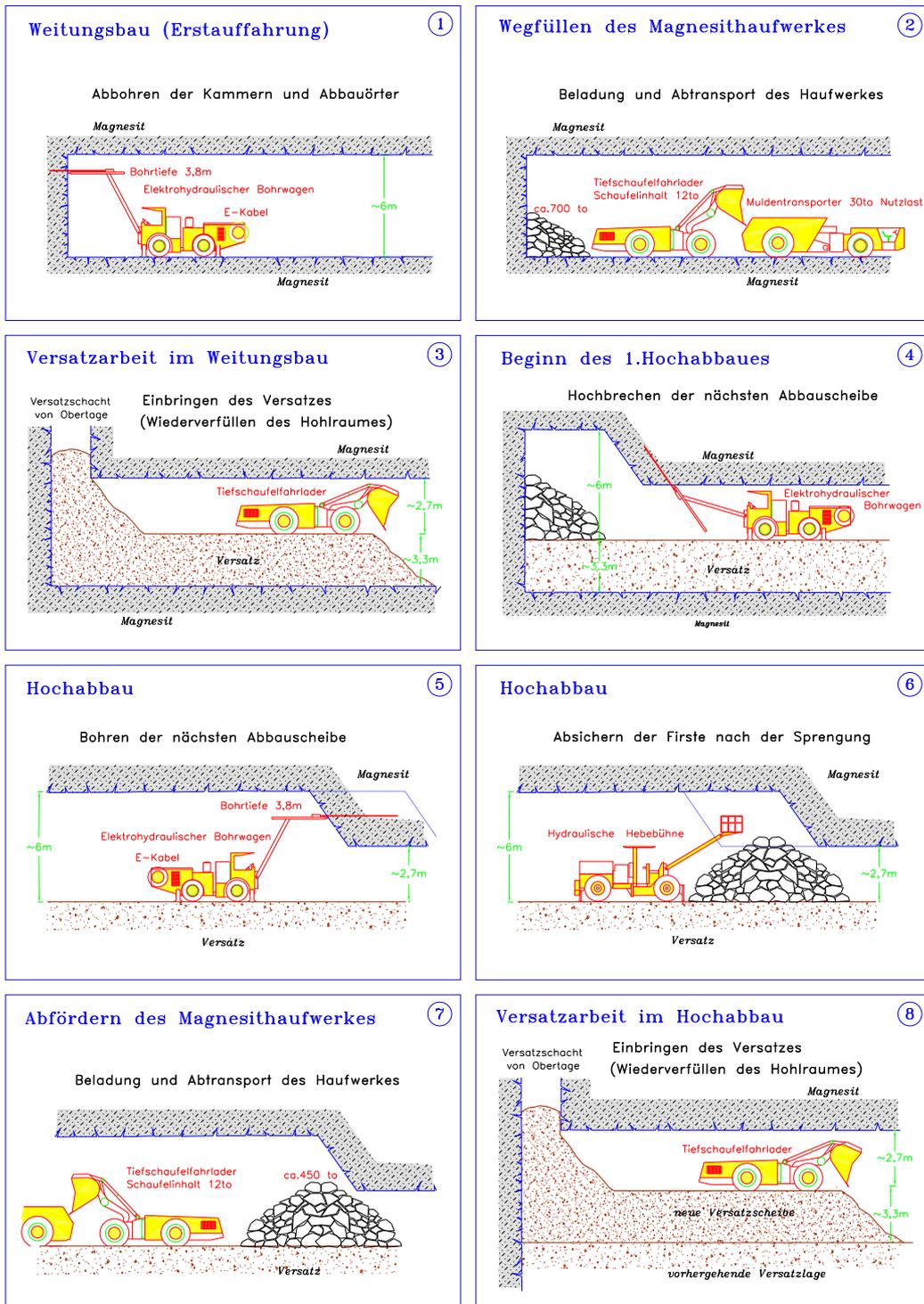


Abbildung 2.1: Das Abbaufahren (FRÖMMER 2000)

2.2 Historische Entwicklung

Die Geschichte des Bergbaus Hohentauern ist eng mit der Geschichte des Benediktinerstiftes Admont verwoben. Das Stift Admont als Grundherr umfangreicher Besitztümer ist schon seit seiner Gründung im Jahr 1074 wichtiger Besitzer von Bergbaubetrieben in der Steiermark. Der Magnesit von Hohentauern wird bereits im 17. Jahrhundert beim barocken Neubau des Klostergebäudes sowie nach dem großen Brand von 1865 als Dekorationsstein verwendet (KRAUSE 1968).

Der Industrielle Mallinger erwirbt gegen Ende des 19. Jahrhunderts vom Stift eine Abbaugenehmigung und betreibt auf der linken Talseite des Sunkbaches einen Tagebau, von dem der gebrochene Rohstein über eine Förderbahn und einen Bremsberg bis zu dem in der Nähe des Grafitwerkes gelegenen Lagerplatz geschafft und mit Pferden dem Ofen zugeführt wird. Der einfache Schachtofen von etwa 5,5 m Höhe erzeugt 3,5 bis 5,0 t am Tag bei einem Kohlenverbrauch von 70 bis 100 %. Da er ernste Schwierigkeiten beim Brennen des Magnesits hat, bietet er der Veitscher Magnesit AG das Werk zum Kauf an.

Um die Wende 1902/03 wird ein neuer Vertrag zwischen der Veitscher Magnesit AG und dem Stift Admont abgeschlossen; Mallinger tritt vom Vertrag und den bestehenden Werkseinrichtungen zurück. Im Jahre 1907 wird aufgrund des Konjunkturaufschwungs der Ausbau des Werkes Trieben und der Lagerstätte Sunk vom Verwaltungsrat beschlossen. Der Tagebau wird durch Etagenanschnitte an der rechten Bachseite in Höhe der Etage I aufgeschlossen, und bis zum Jahre 1910 sind die Wasserkraftanlage und die Seilbahn nach Trieben fertiggestellt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten, bedingt durch die unbekanntenen Verarbeitungsanforderungen, nimmt der Betrieb erfolgreich die Produktion auf. Gegen Ende des ersten Weltkrieges wird infolge zunehmender Abraumüberlagerung der Übergang zum Grubenbau durch Stollen von einzelnen Tagebauetagen aus vollzogen.

Der Vertrag mit dem Stift Admont wird 1922 um weitere 50 Jahre verlängert. In diesem Jahr wird die höchste Rohmagnesitproduktion der Vor- und Zwischenkriegszeit mit 59.000 t Magnesitstein erreicht (der Wert wird erst 1949 wieder übertroffen). Auf der rechten Bachseite unterhalb und in Höhe der Etage XIV werden erste Untersuchungsbohrungen abgeteuft. Mit dem Bau einer eige-

nen Anschlussseilbahn im Jahre 1933 wird die linke Bachseite auf Etage XV/L aufgeschlossen. 1941 verbricht dieser Grubenbau infolge einer Rutschung und zwingt zur Einstellung des Abbaues in diesem Lagerstättenteil. Durch die verstärkten Kernbohruntersuchungen werden auf der rechten Bachseite weitere Vorkommen entdeckt. Ende 1942 beginnt die Unterfahrung der Lagerstätte durch die Auffahrung eines Erbstollens von der „Saugrube“ aus (entsprechend auf der Höhe der späteren 50 m-Sohle). Ende des Jahres 1946 beginnt die Abteufung des Hauptförderschachtes von Etage XIV. 1950 wird der Schacht von Etage XIV bis Sohle 100 m in Betrieb genommen und die Aus- und Vorrichtung der Abbausohle 100 m begonnen (WALTER 1951).

1954 beginnt die eigentliche Mechanisierung durch die Elektroversorgung der Sohle 100 m. Dazu werden Schüttelrutschen und Akkulokomotiven angekauft, 1957 kommen Hummerscherenlader, Pendelbandwagen sowie im Vortrieb kurzzeitig eingesetzte Wurf-schau-fellader hinzu. Im Jahr 1958 wird die maximale Produktion von 175.000 t Magnesitrohstein mit dem größten durchschnittlichen Belegschaftsstand von 237 Personen erreicht. In der Folge werden eine Untertage-Brecheranlage auf Sohle 100 m eingerichtet, ein Axiallüfter auf Etage IX/L installiert und mobile Tagbaumaschinen (Laderaupen, Autoschütter und Imlochhammer) zur Rationalisierung der Abraum- und Versatzgewinnung angeschafft. 1960/61 wird die obertägige Brecherstation mit nachgeschalteter Seilbahnbeladung auf Etage XIV errichtet. Eine weitere Abbausohle 170 m wird durch Abteufen des bestehenden Blindschachtes von Etage XIV bis Sohle 100 m aufgeschlossen. Bis 1966 werden zwei Frontschau-fellader zum Laden und Fördern von Magnesit und Versatz sowie vollhydraulische Pressluft-Bohrlafetten auf mobilen Trägerfahrzeugen angeschafft. 1975 wird der Abbaupertrag mit dem Stift Admont bis zum Totbau der Lagerstätte verlängert. Die Schrägrampensysteme werden 1977/78 eingerichtet, um die Abbaue mit der Tagesoberfläche zu verbinden und den Einsatz, die Reparatur und Wartung großer Aubaugeräte zuzulassen. Die Rationalisierung der Sekundärerzzerkleinerung wird 1979 durch die Anschaffung eines mobilen, vollhydraulischen Gesteinsknäppers erwirkt. 1984 beginnt der Aufschluss der Sohle 250 m. Zwei Jahre darauf wird der Hauptventilator mit einer

Leistung von $6.000 \text{ m}^3/\text{min}$ auf Etage XII/L installiert. Das Grundstreckennetz auf Sohle 250 m wird 1989 fertiggestellt. Für den Magnesittransport von Sohle 250 m bis Sohle 170 m wird ein Muldentransporter mit 30 t Nutzlast eingesetzt.

Die Veitscher Magnesitwerke AG wird 1991 durch die Radex-Heraklit Industriebeteiligungs AG (RHI AG) übernommen und der Betrieb des Magnesitbergbaues Hohentauern am 13. Dezember vorübergehend stillgelegt. Der Beschluss der Schließung des Bergbaues fällt 1996; der Abbauvertrag mit dem Stift Admont wird aufgelöst. Am 19. November 1997 wird der Bergbau Hohentauern endgültig geschlossen.

Das Triebener Werk wird heute mit Magnesit aus allen Teilen der Welt beliefert; die Qualität des Sunker Magnesits sowohl im Hinblick auf SiO_2 und Fe_2O_3 als auch bezüglich des Dolomits genügt heutigen Ansprüchen nicht mehr.

2.3 Magnesit aus Hohentauern

Magnesit wird in Österreich seit Ende des 19. Jahrhunderts gewonnen und bildet die Grundlage der Entwicklung der heute weltweit geschätzten österreichischen Feuerfestprodukte.

Die Lagerstätte gehört dem Typ der Spatmagnesite (Veitsch-Typ) an. Der Magnesit weist durchgehend ein grobkristallines Wachstumsgefüge mit Eisblumentextur auf, das nach RUMPF (1873) aufgrund der pignolenförmigen Kristalle als *Pinolit* bezeichnet wird.

Der Magnesitrohstein hat einen niedrigen Eisengehalt von 1,8 bis 2,4 % Fe_2O_3 und einen damit verbundenen hohen Schmelzpunkt. Er wurde zur Qualitätssteigerung flотиert, auf $200 \mu\text{m}$ aufgemahlen und mit 2000 t Druck zu Briketts gepresst. Daraufhin wurde er in Drehrohröfen zu Sinter gebrannt und zu hochqualitativen Spezialsteinen (zum Beispiel bestimmten Ausmauerungssteinen) weiterverarbeitet.

Der Kokardendolomit, auch als „Kugeldolomit“ bezeichnet, im unmittelbar Liegenden der „Hangenden Bank“ findet Verwendung für kleinere kunstgewerbliche Arbeiten (siehe Abschnitt 3.2).

In Klüften wurde unter anderem Dolomitdoppelspat, Bergkristall, Sepiolith und Leuchtenbergit gefunden. Desweiteren konnten im Bereich der Magnesitlagerstätte Mineralfunde von Albit, Pyrit, Boulangerit, Kupferkies, Gersdorffit und Magnetkies mit Pentlandit-Flammen vermeldet werden (CLAR, FRIEDRICH und MEIXNER 1965).

3. Geologie

Die Lagerstätte befindet sich im südlich ausquetschenden Karbon der Veitscher Teildecke, eine wurzellose, tiefere tektonische Einheit der Nördlichen Grauwackenzone, die sich aus Karbon, phyllitischen Schieferserien und verschupptem mesozonalen Altkristallin zusammensetzt.

3.1 Regionaler Zusammenhang

Die Nördliche Grauwackenzone ist ein maximal 25 km breiter Streifen, der sich vom Vorarlberg im Westen über zirka 450 km bis nahe Ternitz im Osten erstreckt, wo er unter der jungtertiären Bedeckung des Wiener Beckens verschwindet¹ (siehe Abbildung 3.1).

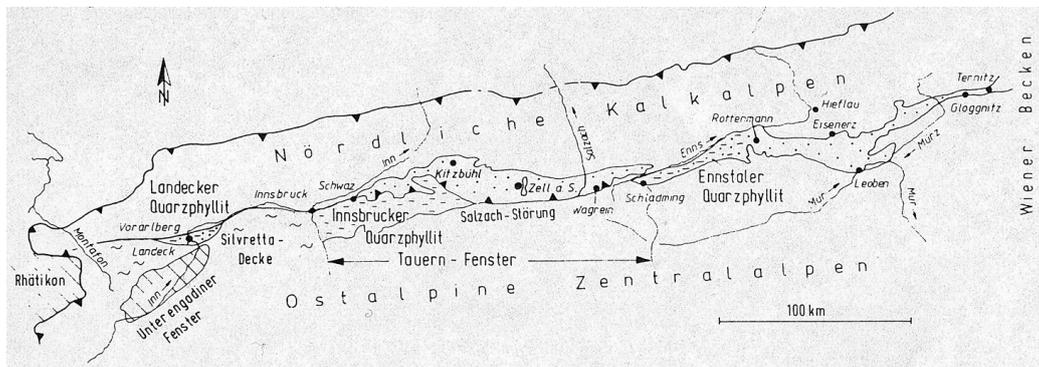


Abbildung 3.1: Übersichtskarte der Grauwackenzone (MÖBUS 1997)

Im Gegensatz zu den schroff aufsteigenden Nördlichen Kalkalpen und den steilen hohen Berggruppen der südlich angrenzenden Ostalpinen Zentralalpen erscheinen diese leichter verwitterbaren Gesteine als Gebirge mittlerer Höhenlagen

¹Ähnliche Gesteinsfolgen in den Westkarpaten werden als ihre Fortsetzung angesehen

mit vorwiegend sanften Landschaftsformen (SCHÖNLAUB 1980, S. 265).

Die Nördliche Grauwackenzone² stellt das nördlich der Zentralkette der Ostalpen erhaltene tektonisch beeinflusste oberostalpine Paläozoikum dar, das an durchlaufender Bewegungsfläche dem mittelostalpinen Kristallin nordvergent überschoben ist (TOLLMANN 1977, S. 481). Ihre ordovizisch bis karbonischen Gesteine bilden das ursprünglich Liegende der permomesozoischen Schichtenfolge der Nördlichen Kalkalpen (MÖBUS 1997).

Im Bereich zwischen dem Ennstaler Quarzphyllit bis zum Wiener Becken wird die Nördliche Grauwackenzone als „Steirische Grauwackenzone“ bezeichnet. Dieser östliche Bereich lässt sich in zwei variszisch angelegte und alpidisch überprägte Deckeneinheiten untergliedern (siehe Abbildung 3.2).

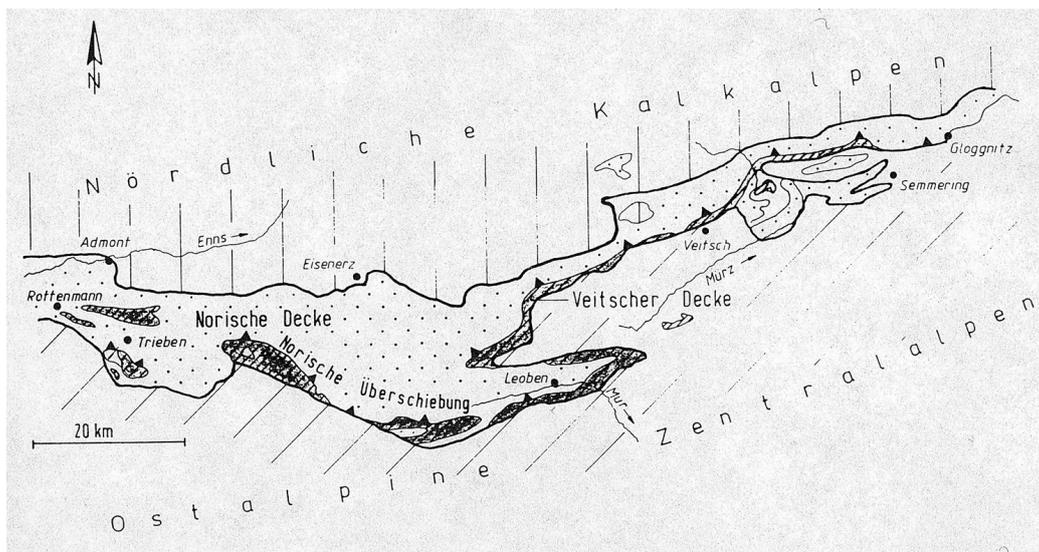


Abbildung 3.2: Übersichtskarte des Ostteils der Nördlichen Grauwackenzone (MÖBUS 1997)

Das Altpaläozoikum der Norischen Decke ist hier an der als Norischen Linie bezeichneten Überschiebung über dem Karbon der Veitscher Decke aufgeföhren (TOLLMANN 1977, S. 483). Für den primären Ablagerungsraum des Karbons der Veitscher Decke wird eine benachbarte, festlandsnähere nördliche Position mit der Norischen Decke angenommen. Dabei wurde während des gemeinsamen Decken-

²Das Gurktaler und Grazer Altpaläozoikum stellt ein Pendant als „Südliche Grauwackenzone“ dar.

transports in alpidischer Zeit das Karbon als Stirnplatte des Altpaläozoikums nach Norden bewegt (SCHÖNLAUB 1980). In der Schlussphase wurde das Karbon vom Altpaläozoikum überfahren, da es heute die tiefere tektonische Einheit darstellt.

Die nur im südlichen Teil der Grauwackenzone aufgeschlossene Veitscher Decke als wurzellose, tiefere Einheit besteht überwiegend aus oberkarbonischen klastischen Ablagerungen, die bis zum Visé reichen. Dagegen umfasst die höhere, weiträumiger aufgeschlossene Norische Decke eine vollständige altpaläozoische Abfolge bis zum Visé, wie sie allgemein für die Nördliche Grauwackenzone bekannt ist. Daher wird von einer nur gebietsweise vorhanden gewesenen oberkarbonischen Innensenke ausgegangen, die überschoben wurde (MÖBUS 1997).

Die verschiedenen als Veitscher Decke zusammengefassten Gesteinseinheiten gliedert RATSCHBACHER (1984) im westlichen Bereich in drei lithofaziell-stratigraphische Einheiten, deren Gesamtmächtigkeit sich über maximal 650 Meter erstreckt. Der stratigraphische Zusammenhang ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

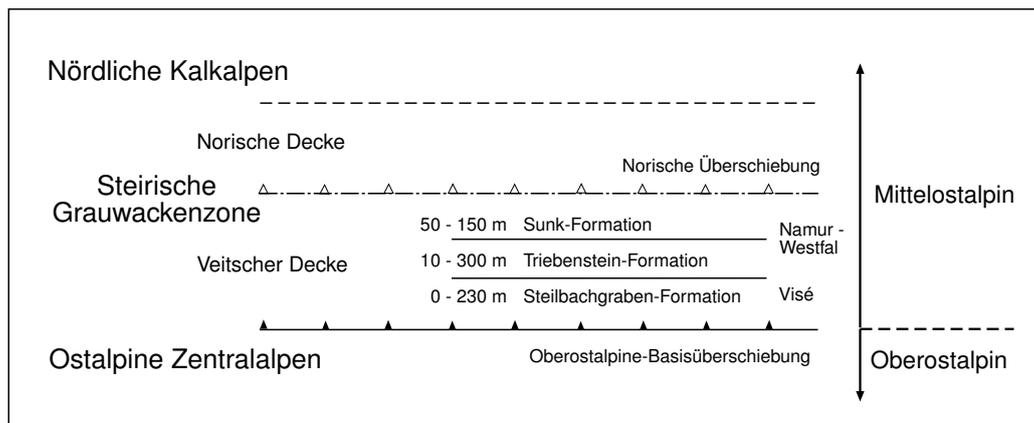


Abbildung 3.3: Stratigraphische Übersicht im Bereich der westlichen Veitscher Decke

Die klastisch-karbonatische *Sunk-Formation* enthält die benachbarte Graphitlagerstätte. Die anzutreffende Graphitflöze, die basalen und zwischengelagerten fossilführenden Karbonate und die lateralen Übergänge von fein zu grobklastisch sprechen für die Einordnung in eine Deltafazies. Darunter folgt die *Triebenstein-Formation*, bestehend aus gebankten, teilweise fossilführenden Kalkmarmoren. Sie wird repräsentiert durch die mächtigen Kalkmassen des Triebensteins und der Sunkmauer. Die laterale Beständigkeit und hohe Reinheit der Marmore le-

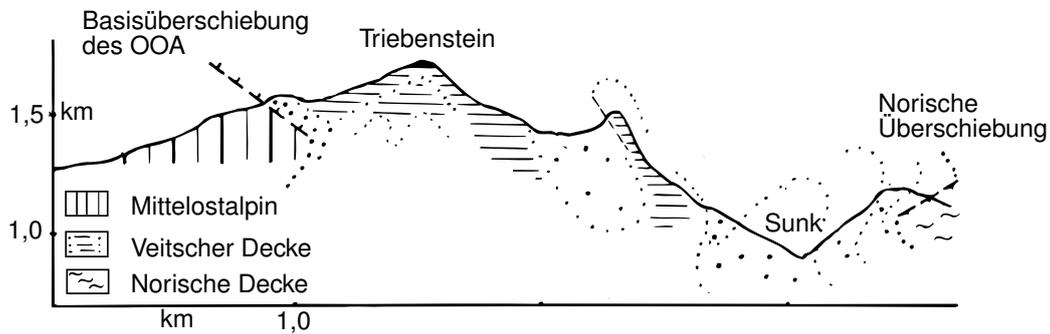


Abbildung 3.4: Schematisches Querprofil der Lagerstättenumgebung zwischen dem auskeilenden Ende der Norischen Überschiebung und der Basisüberschiebung des Oberostalpins (RATSCHBACHER 1984)

gen den Schluss auf eine subtidale Karbonatfazies nahe. Die Magnesitlagerstätte Hohentauern wird der klastisch-karbonatischen *Steilbachgraben-Formation* zugeordnet. Diese besteht aus graphitführenden pelitischen bis psammitischen Metaklastika mit Übergängen zu Karbonaten in Begleitung von Metapsammiten. Die Karbonate treten teils als Dolomite und Magnesite auf. Generelle feinklastische Sedimentation, die laterale und vertikale Verzahnung mit Karbonaten und das in Teilbereichen hypersalinare Milieu lassen Ratschbacher den Ablagerungsraum als flachmarinen Schelfbereich deuten. Aufgrund der Sedimentologie und der enormen Schichtmächtigkeiten schließt er auf Schichtwiederholungen und kommt zu dem in Abbildung 3.4 wiedergegebenen Profil.

3.2 Bereich der Lagerstätte

Da die Geologie der Lagerstätte noch nicht vollständig geklärt ist, wird im Folgenden ein Überblick über vorhandene Publikationen gegeben und die wichtigsten Untersuchungen vorgestellt.

In Abbildung 3.5 ist RATSCHBACHERS geologische Karte der Umgebung des Vorkommens dargestellt. In der Karte ist neben stratigraphischen Einheiten auch die tektonische Situation wiedergegeben. Leider schweigt der Autor über Informationen zu den Störungen. Die Lagerstätte liegt neben der zwischen Schober und Triebenstein in Richtung Nord-Süd verlaufenden Störung und wird von der

davon absplattendes Querstörung geteilt. Der Sunkbach folgt diesen Störungen in nördlicher Richtung.

Der Magnesitkomplex ist in mehrere Körper zerlegt und wird durch gebankte Kalke, Dolomite und Tonschieferlagen getrennt (SIEGL und FELSER 1973). Aus den Kalken stammen Fossilien für die Einstufung in das Visé D2–D3. Neben häufigen Crinoidenstielgliedern wurde ein Bruchstück eines Korallenstockes von *Lonsdaleia duplicata* gefunden (FELSER 1977).

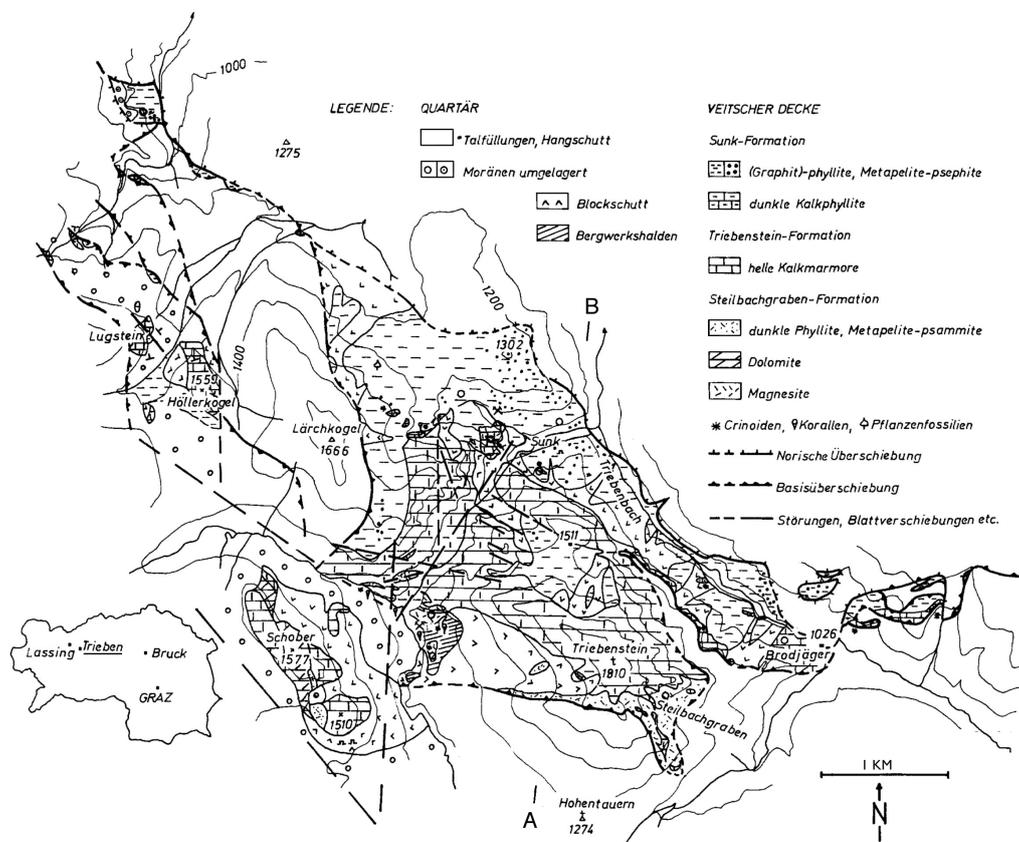


Abbildung 3.5: Geologische Karte der Veitscher Decke im Bereich Triebener Tauernpass (RATSCHBACHER 1984). Das Profil aus Abbildung 3.4 verläuft entlang der Linie A – B

REDLICH (1935) beschreibt graue Dolomitgerölle, die er als Kokardendolomit bezeichnet. Nach HADITSCH (1968) handele es sich um Oolithe von wechselnder Größe und Form. Die meisten zeigten Einschlüsse aus dem dunklen Material der Grundmasse, ein mit Pigment durchstäubter Dolomitsammit, oder aus fremden Gesteinspartikeln. Diese Oolithbildung sei im küstennahen Meeresbereich vor

sich gegangen.

REDLICH erstellte detaillierte Querprofile der linken und rechten Bachseite in seitlicher Aufsicht (siehe Abbildung 3.6). Die Linien A–A', B–B', und C–C' stellen Störungen dar. „Horizontale Rutschstreifen“ lassen Störung B–B' als Seitenverschiebung erkennen. Aus der Zeichnung werden die Kompetenzunterschiede der Schiefer zu den Magnesitkörpern deutlich. Der ersichtliche Wechsel von runden und spitzen Formen wird als *cuspsate-lobate*³-Struktur bezeichnet (RAMSAY und HUBER 1987, S. 394-397). Durch den auf die Schichten lastenden Druck werden die kompetenteren Einheiten boudiniert, das Achsenverhältnis dieser boudinierten Körper wird bei steigendem Kompetenzkontrast und/oder zunehmender Verformung kleiner. Mit steigendem Druck wird das Material erst gedehnt, bis es bricht und – bei andauernder Belastung – weiter gedehnt wird.

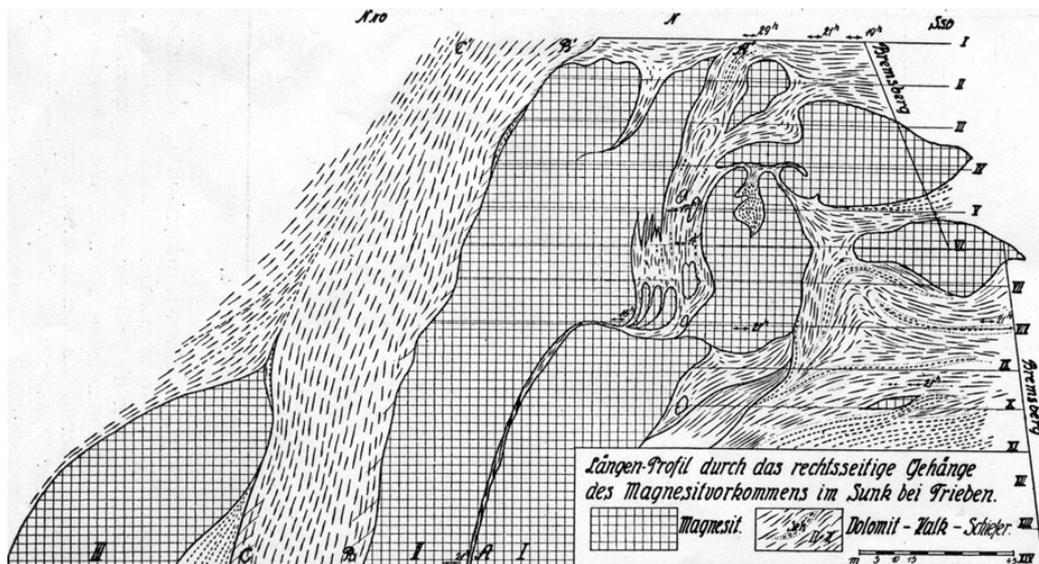


Abbildung 3.6: Von REDLICH (1935) erstellte Zeichnung der rechten Bachseite

Am Fuße des Triebensteins erreicht die ausstreichende norische Überschiebung infolge einer Gesamtänderung des Bauplanes ihr Ende (METZ 1951, S. 61). Aufgrund des „Durchstreichen[s] des Magnesites von der einen auf die andere Talseite“ und der „Scharen von annähernd NO-streichenden Saigerklüften in den Wänden“ stelle nach METZ „der mächtige Riß des Sunk“ einen „durch Erosion er-

³wörtlich lappig-spitzig

weiterte[n] Zerrungsriß [dar], ohne daß eine Verschiebung seiner beiden Flanken gegenseitig erfolgt wäre“ (METZ 1940, S. 209).



Abbildung 3.7: Vereinfachtes statistisches Lagenkugel-Diagramm des Nebengesteins (MEIXNER und CLAR 1953)

Nach MEIXNER und CLAR (1953) seien die über 400 m ausbeißenden Magnesitkörper annähernd in das Schichten- und Faltengefüge der Kalkmasse eingebaut und durch Ton- und Kalkschieferlagen getrennt. Zwar ließen „die scheinbar fast richtungslos gefügten Magnesite mit Ausnahme schwacher Bankung kaum Spuren des vorbestehenden Kalkgefüges erkennen“, doch werde „das s-Flächen und B-Achsen-Diktat dieses tektonischen Gefüges in der Großform der Magnesitkörper wiedergegeben“ (siehe Abbildung 3.7). Weiterhin zeige „die geologische Karte des Vorkommens sehr deutlich ein zum Einschieben der Faltenachsen B völlig gleichsinniges achsiales Absinken der einzelnen nur scheinbar linsigen Lagerstättenkörper vom südöstlichen in den nordwestlichen Hang.“

3.3 Genese des Magnesits

HADITSCH und MOSTLER (1979) sprechen bei den karbonischen, flachmarinen Lagerstätten von fehlenden „übersalinaren, lagunären Ablagerungen“ und gehen daher von metamorpher Bildung des Magnesits aus. Diese Theorie ist heute nicht mehr haltbar, da in Hohentauern an Magnesite gebundene Sulfate (Gips, Anhydrit) gefunden wurden (RATSCHBACHER 1984). Beschränkt man die Entstehungstheorien auf Untersuchungen an der Lagerstätte Hohentauern, so bleiben nur zwei Erklärungen übrig.

REDLICH (1909, 1935) geht aufgrund der „zahlreichen in Magnesit und Dolomit umgewandelten Crinoidenstilglieder“, des Übergreifens des Magnesits auf die tektonisch verwalzten Tonschiefer und des Einschießens „der Pinolite in die Dolomite“ von einer nach der Gebirgsbildung erfolgten Metasomatose aus, bei der eine

Verdrängung von Kalk nach Magnesit stattgefunden haben soll. Aufgrund des Gefüges und der Form der Magnesitkörper bestätigen MEIXNER und CLAR (1953) die von REDLICH vertretene Auffassung. Die „zwischen Kalk und Magnesit“ aufgefundenen „meist nur bis wenige Meter“ breiten Magnesitsäume sprächen für ein erst nach der Durchbewegung des Bänderkalkes, „eben als postkinematische Metasomatose“ gewachsenes Sprossungsgefüge des Pinolits (CLAR, FRIEDRICH und MEIXNER 1965). Nach MORTEANI und NEUGEBAUER (1990) verursachen Deckenüberschiebungen in der überschobenen Einheit zur Deckenfront gerichtete Fluidströme, die eine Metasomatose von Dolomit zu Magnesit möglich machen.

FELSER (1977) geht von einer Entwicklung in einem hypersalinarem lagunären Milieu mit frühdiagenetischer Bildung des Magnesits aus. Metasomatose-Erscheinungen seien sedimentärer Natur. Nach FELSER und SIEGL (1977) sei in bestimmten Bildungsräumen das Ausfällen von Magnesiumkarbonat im Meerwasser von dem erhöhten Mg/Ca-Verhältnis und dem Vorhandensein bestimmter Katalysatoren abhängig. Dieses spezielle Milieu sei in einem größeren vom Meer abgetrennten Flachmeerbereich gegeben und zeichne sich als reduzierend, O₂-arm und H₂S-, NH₄- und vor allem CO₂-reich aus. Weiterhin läge ein erhöhter CO₃²⁻-Ionengehalt vor. Demnach können Magnesium-Ionen in größeren Flachmeer-Bereichen schon bei 25°C und erhöhtem CO₂-Partialdruck als wasserhaltige Magnesiumkarbonate ausgefällt und später in MgCO₃ umgewandelt werden. RATSCHBACHER (1984) bestätigt diese Ansicht aufgrund seiner Geländebefunde (siehe Abschnitt 3.1).

4. Datenlage

Die zur Modellierung verwendeten Daten bestehen aus Übersichtskarten der verschiedenen Sohlen mit eingetragenen Kernbohrungen, drei Ordnern mit den zugehörigen Bohrlochdaten und einem Satz an Lagerstättenprofilen.

4.1 Übersichtskarten

Die von der Markscheiderei erstellten Übersichtspläne liegen im Maßstab 1 : 500 vor, das entspricht einem Format von zirka ein bis zwei Metern Kantenlänge. Sie stellen waagrechte Schnitte auf Höhe der einzelnen Sohlen dar. Auf den Plänen sind der Stand des Abbaus, alle Bohrungen mit Ansatzpunkt und projizierter Länge sowie eventuell vorhandene Profile eingetragen. Teilweise sind zudem die erwarteten Grenzen der Magnesitkörper eingezeichnet.

4.2 Bohrungen

Insgesamt liegen 463 Bohrungen vor. Davon wurden 19 Bohrungen von der Etage XIV, 107 Bohrungen von Sohle 50 m, 163 Bohrungen von Sohle 100 m, 151 Bohrungen von Sohle 170 m und 23 Bohrungen von Sohle 250 m abgeteuft. Die älteren Bohrungen (bis zum Jahr 1967) sind schlicht als „Bohrloch [Nr.]“ bezeichnet, danach sind sie in der Regel nach den Sohlen benannt, von denen sie niedergebracht wurden, zum Beispiel „Bo 250/23“ für die 23. Bohrung der Sohle 250 m. Die Bohrungen sind oft fächerförmig angeordnet, um räumliche Erkundungen mit Hilfe von Profilen zu ermöglichen. Nicht alle Bohrungen befinden sich direkt auf den Niveaus der Sohlen. Einige Ansatzpunkte stellen Förderstrecken, Wendelauffahrungen oder gerade noch zugängliche Versatzscheiben dar. Die gesamte

kumulative Bohrlänge beträgt zirka 40 Kilometer, davon zirka 23 Kilometer im Magnesit. Die Bohrungen sind im Durchschnitt etwa 86 m lang.

Für jeden Bohrkern liegen zwei Datensätze vor, das geologische Schichtenprofil und die geochemischen Analysedaten. Diese wurden von verschiedenen Standpunkten aus bearbeitet. Ein Geologe hat die Bohrkern interpretiert und so in grafischer Form das geologische Schichtenprofil erstellt. Die Analysen wurden in einem geochemischen Labor vorgenommen. Daher können sich die Auslegungen bezüglich des Gesteinsbestandes unterscheiden. Für die geometrische Modellierung wird ausschließlich das geologische Schichtenprofil verwendet. Die Analysedaten werden für Variografie und Gehaltsberechnungen benötigt.

Das geologische Schichtenprofil besteht aus einem Formblatt mit dem gezeichneten Bohrverlauf im Maßstab 1 : 200 sowie einer handschriftlichen Liste der Schichtenfolgen in tabellarischer Form. Beide enthalten einen Kopf mit Angaben zur Art der Bohrung (Bohrer-Typ, Datum und Ausbringung), zum Standort (Beschreibung des Ansatzpunktes, Koordinaten der Bohrung in Rechts-, Hochwert und Seehöhe), den Richtungen in Grad (horizontaler Winkel sowie Neigungswinkel) und der Tiefe der Bohrung. Das Formblatt enthält weiterhin ein grafisches Profil des Bohrkerns. In diesem ist für jeden Bohrkernabschnitt die geologische Einheit aufgetragen, am Rand sind Bemerkungen zu den Schichten notiert. Dolomit ist blau, Kalkschiefer grau, Tonschiefer braun und Magnesit gelb gefärbt. Bei den relevanten Magnesitfolgen ist teilweise der Name des Erzkörpers eingetragen (siehe Abbildung 4.1).

In der Liste sind die Abstände der einzelnen Schichtenfolgen in Metern mit Angabe der geologischen Einheit untereinander aufgetragen. Den neueren Bohrungen sind zudem Fotos der Bohrkernbeigelegt.

4.3 Profile

Es liegen zirka 52 vertikale Profile in unterschiedlichen Richtungen im Maßstab 1 : 500 oder seltener 1 : 1000 vor. Sie wurden für die Planung des Abbaus sowie zur geometrischen Vorstellung angefertigt. Teilweise folgen sie der fächerför-

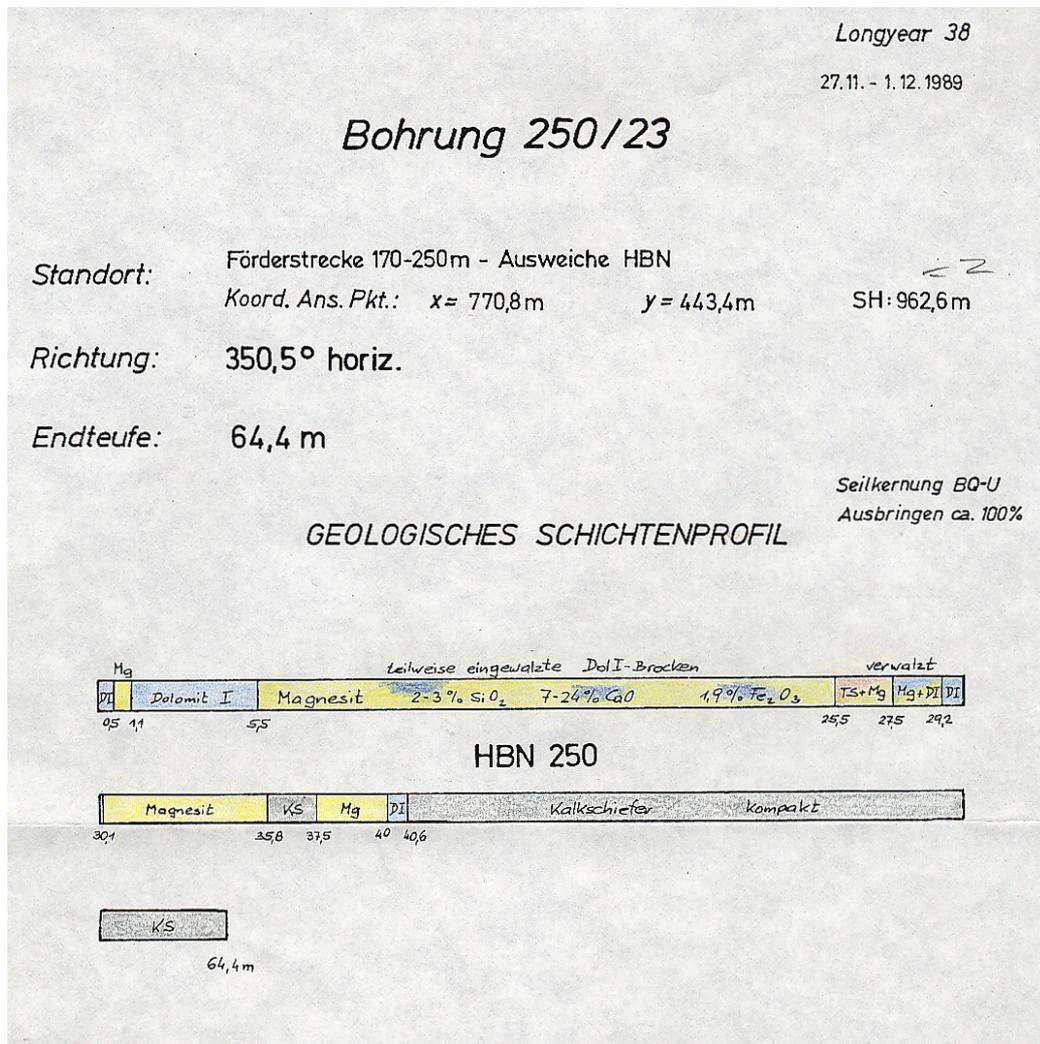


Abbildung 4.1: Geologisches Schichtenprofil der Bohrung 250/23

migen Anordnung zusammengehöriger Bohrungen. Die Profile stellen vertikale Schnitte bestimmter Mächtigkeiten mit den darin befindlichen Bohrungen dar. Weiterhin sind die vermuteten Magnesitkörper eingezeichnet, deren Lage einerseits aus den Bohrungen und andererseits durch die Kenntnis der Bergleute bestimmt wurde. Bei dem in Abbildung 4.2 gezeigten Profil sind – wie bei der Profilmethode üblich – auch weiter entfernte Bohrungen eingezeichnet, da sie nicht alle parallel zum Profil verlaufen.

Die Verteilung der Profile auf die Magnesitkörper ist sehr unregelmäßig, man-

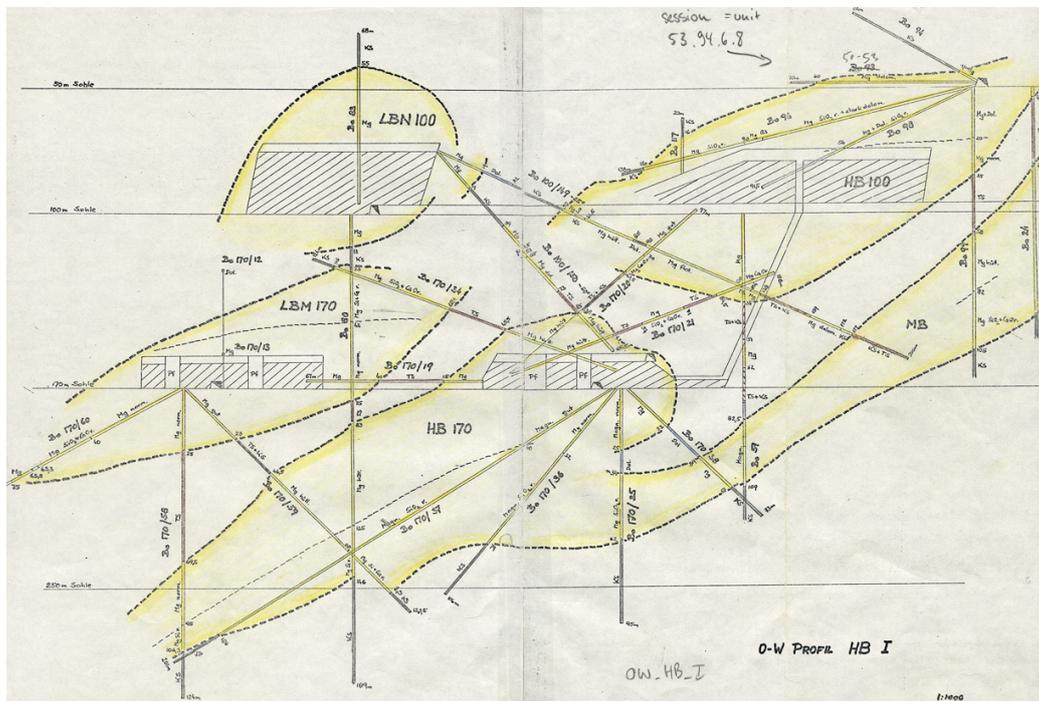


Abbildung 4.2: Das Profil „O-W HB I“ gibt Aufschluss über die Beziehung der Körper HB 170, HB 100 und MB

che Teilbereiche eines Körpers sind sehr oft ohne Informationsgewinn abgebildet, andere Körper erscheinen nicht auf den Profilen. Verschiedene Schnitte stellten sich im Laufe der Bearbeitung als veraltet und damit fehlerhaft heraus. Bei zwei sich widersprechenden Zeichnungen ist oft nicht ersichtlich, welche die gültige ist, da die historische Entwicklung der Profile nicht bekannt ist.

4.4 Mündliche Absprachen

Erst ein Treffen mit Herrn Diplom-Ingenieur Krisch, dem ehemaligen Betriebsleiter von Hohentauern, hat eine Klärung dieser Sachverhalte gebracht. Er erklärte einzelne Profile aufgrund des bei der Anfertigung unzureichenden Kenntnisstandes für unbrauchbar, beschrieb an Stellen fehlender Information die Geometrie der Körper und legte die endgültige Anzahl der Körper auf elf fest, da einzelne kleinere Körper nie angefahren wurden.

5. Computertechniken für die geologische Modellierung

5.1 Aufgaben der Lagerstättenmodellierung

An ein Lagerstättenmodell werden zwei Anforderungen gestellt. Zum einen ist die Modellierung der Lagerstättengeometrie erforderlich, zum anderen die Modellierung der räumlichen Verteilung von Gehalten und anderen Eigenschaften.

Für die Geometriemodellierung werden Verfahren des *Computer Aided Design* (CAD) eingesetzt. In diesem Bereich existieren heute eine Menge von Methoden. Dabei werden Methoden für Draht- (*wireframe* oder *string models*), Flächen- sowie Volumenmodelle unterschieden.

Drahtmodelle eignen sich zum geometrischen Konstruieren von Flächen und Volumen, nicht jedoch für ihre Rechner-interne Beschreibung; sie können nach der Konstruktion in ein anderes Modell transformiert werden, um zu einem echten Flächen- oder Volumenmodell zu gelangen.

Von den vielen Arten der Flächenmodelle haben in der Geologie, Geografie und im Landschafts- und Straßenbau die triangulierten Netze (TIN für *triangulated irregular network*) große Bedeutung erlangt. Für regionale großmaßstäbige Arbeiten (zum Beispiel im Bereich Fernerkundung) und bei anderen kontinuierlichen Eigenschaften sind Rastermethoden gut geeignet.

Ein echtes Volumenmodell muss topologisch zwischen Innen, Aussen und Rand unterscheiden können (REQUICHA 1980). Für Volumenmodelle seien hier einige Ansätze des CAD nach REQUICHA und VOELCKER (1982) und REQUI-

CHA und VOELCKER (1983)¹ beispielhaft genannt:

1. Randdarstellung (*boundary representation*): Körper werden über ihre Grenzflächen – im mathematischen Sinne als Ränder definiert – beschrieben. Die Grenzflächen werden durch Flächenstücke beschrieben, jede Fläche wird repräsentiert durch ihre Umrisse (als Einheit von Punkten) sowie die Form des Flächenstücks.

Systeme dieser Art sind sehr flexibel. Sie eignen sich besonders für Lagerstätten mit scharfen Grenzen zwischen Erz und taubem Gestein. Bei sehr großflächigen schichtigen Lagerstätten sind sie unter Umständen ökonomischer als Rastermodelle.
2. Methode der generalisierten Zylinder (*sweeps*): der Körper wird durch einen Satz von Flächen und dessen definierter „Flugbahn“ im Raum aufgebaut (zum Beispiel entsteht durch die Verschiebung eines Rechtecks ein Quader). Translatierende sowie rotierende Bewegungen sind möglich. Dabei können auch mehrere Körper „aneinandergeklebt“ werden, um einen komplexeren Körper aufzubauen.
3. Konstruktion mit Raumprimitiven (*constructive solid geometry*): komplizierte Formen werden aus einfacheren Formen (zum Beispiel Quader und Zylinder) durch boolesche Operatoren – Vereinigung, Differenz und Verschneidung – zusammengestellt.
4. Enumerationsverfahren (*spatial occupancy enumeration*): das Volumen wird in eine bestimmte Art der Raumaufteilung (zum Beispiel Würfel) unterschiedlicher Größe zerlegt. Die Abbildung auf Bäume oder Listen gestattet die eindeutige Reproduktion des Objekts.
5. Zellenzerlegung (*cell decomposition*): das darzustellende Volumen wird durch räumliche Zellen zusammengesetzt, deren Form von der Gestalt des aufzubauenden Körpers und der Anwendung bestimmt wird (zum Beispiel in Finite-Element-Anwendungen).

¹Deutsche Übersetzungen nach GOEBL (1992).

6. Hybridmethoden: Durch Vereinigung wichtiger Teile verschiedener Datenstrukturen versucht man, deren Vorteile zu kombinieren. Polytrees zum Beispiel verbinden die für Enumerationsverfahren typischen Eigenschaften (einfache Handhabung der Modelle und Möglichkeit zur schnellen Verknüpfung von Objekten) mit der geometrischen Genauigkeit der Randdarstellung.

Die meisten dieser Methoden sind für die industrielle Fertigung entwickelt worden; für die Modellierung der Geometrie geologischer Körper eignet sich besonders die *boundary representation*, da diese es erlaubt, sehr komplexe unregelmäßige Körper in einfacher Weise darzustellen.

Diese geometrischen Darstellungen werden erst für ein geologisches Lagerstättenmodell nutzbar, wenn sie mit der räumlichen Verteilung der Eigenschaften (zum Beispiel Erzgehalte) verknüpft werden. Für die Rechner-interne Beschreibung werden dazu Enumerationsverfahren eingesetzt. Ein Überblick über die im Bergbau eingesetzten Verfahren kann KIM (1979) entnommen werden.

5.2 Verwendete Software

Für die Erstellung des geometrischen Modells werden zwei Software-Systeme eingesetzt:

- LYNX der Firma *Lynx Geosystems S.A. Pty. Ltd.* eignet sich ideal als Modellierungsgerät für die Geologie der Magnesitlagerstätte Hohentauern, da viele Daten als Profile vorliegen und Lynx die Profilmethode zur interaktiven Konstruktion der Komponenten benutzt.
- SURPAC² von *Surpac Software International Pty. Ltd. (SSI)* wird für die Erstellung des Geländemodells verwendet; Surpac baut auf einen langjährigen Erfahrungsschatz mit der Dreiecksvermaschung und verfügt daher über eine große Anzahl an Werkzeugen in diesem Bereich.

²Abkürzung für *Surveying Package*.

5.2.1 Lynx

Datenstrukturen

Zur Modellierung der Geometrie dient ein umfangreiches CAD-Paket, das die geologische Modellierung und die Bergbauplanung unterstützt. Als Datenstrukturen werden in Lynx Bohrungen (*hole data*), Karten (*map data*), Körper (*volume data*) und Raster (*3D grid data*) verwendet.

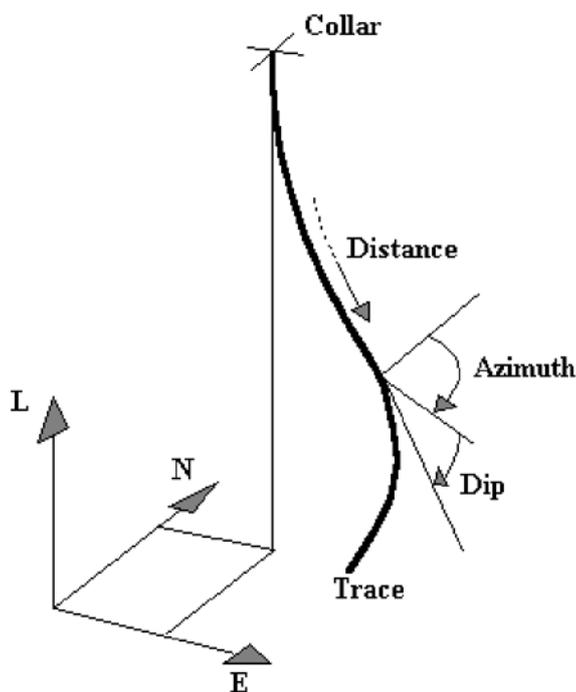


Abbildung 5.1: Geometrie der *hole*-Datenstruktur (LYNX GEOSYSTEMS 1999)

einzelne Bohrlochabschnitte abgespeichert werden. Die Bohrdaten werden in *subsets* unterteilt; jedes *subset* kann viele Bohrungen enthalten. Dadurch können die Daten in Kategorien unterschiedlicher Erkundungen oder in mehrere Versionen unterteilt werden.

Die sogenannte *map*-Datenstruktur kann Draht- und Flächenmodelle enthalten. Die Geometrie dieser Elemente wird in Form lokaler Koordinaten angegeben, die auf eine beliebig im Raum orientierte Arbeitsebene bezogen sind. Die Arbeitsebene wird durch ihren Ursprung und die Drehwinkel definiert (siehe Ab-

Die Lage eines Bohrlochs wird über die Koordinaten des Bohransatzpunktes festgelegt. Um den Verlauf der Bohrung anzugeben, ist bei Lynx die Eingabe des Azimuts und des Einfallwinkels erforderlich. Bei abgelenkten Bohrungen wird diese Angabe für unterschiedliche Teufenbereiche wiederholt (siehe Abbildung 5.1). Daneben können kontinuierliche und diskrete Werte (zum Beispiel Erzgehalte und Gesteinstypen) für

bildung 5.2). *Maps* können Punkte, Linien, Polygone, Höhenlinien oder triangulierte Oberflächen enthalten. Hierbei wird bei Bedarf die Z-Koordinate der Punkte mit gespeichert. Die unterschiedlichen Informationsquellen erfordern verschiedene Variablen, weshalb Variablen für kontinuierliche und diskrete Werte bei Erstellen der Karte definiert werden.

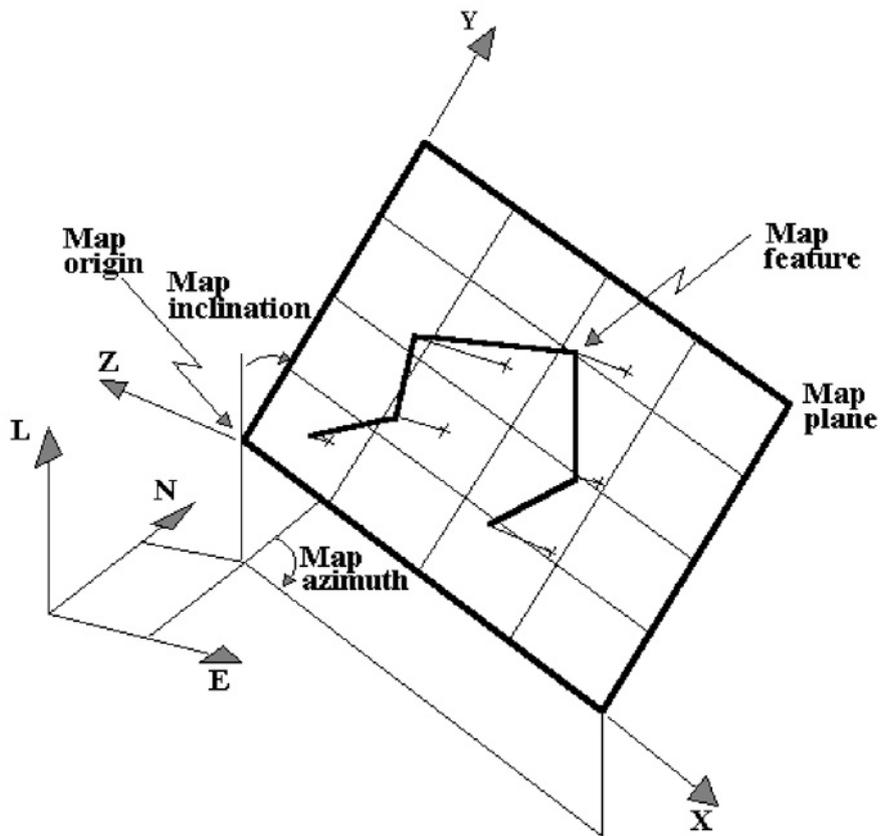


Abbildung 5.2: Geometrie der *map*-Datenstruktur (LYNX GEOSYSTEMS 1999)

Körper werden in Lynx nach der Methode der *boundary representation* verwaltet. Die sogenannte *volume*-Datenstruktur ermöglicht es, komplexe Körper aus einzelnen sogenannten *components* aufzubauen. Eine Komponente ist eine Spezialform der *boundary representation*, bei der zwei Facetten parallel sind. Die Geometrie einer Komponente wird in Form lokaler Koordinaten angegeben. Diese sind ebenfalls auf eine beliebig im Raum orientierte Arbeitsebene bezogen. Die XY-Ebene dieses Systems wird als *midplane* bezeichnet. In der *midplane* wird der

Umriss der Komponente durch ein Polygon (*midplane boundary*) festgelegt. Ein weiteres Umrisspolygon ist in einer in Richtung der positiven Z-Achse verschobenen Ebene gegeben. Die Ebene wird in Lynx als *foreplane* bezeichnet, das Polygon als *foreplane boundary*. Das dritte Umrisspolygon liegt in einer in Richtung der negativen Z-Achse verschobenen Ebene (*backplane*) und heißt dementsprechend *backplane boundary* (siehe Abbildung 5.3).

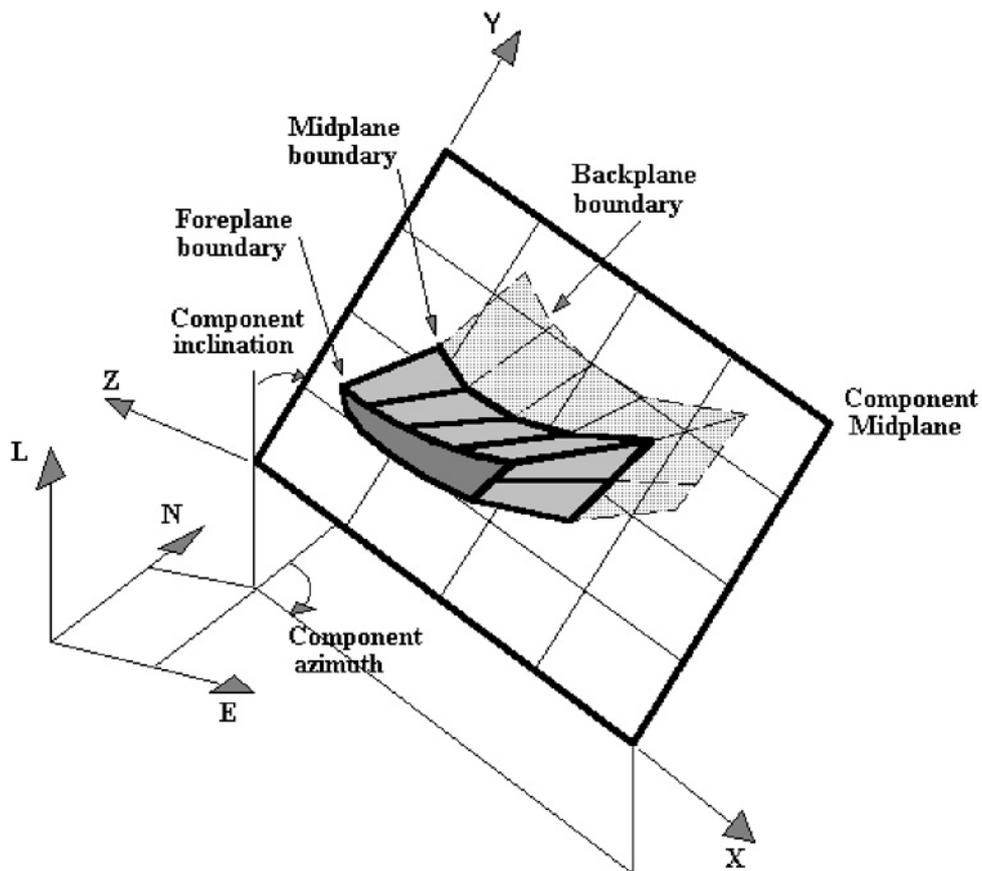


Abbildung 5.3: Geometrie der *volume*-Datenstruktur (LYNX GEOSYSTEMS 1999)

Die drei Ebenen besitzen die gleiche Anzahl von Punkten. Eine Komponente wird demnach über drei parallele Grenzflächen definiert, die in Abhängigkeit von der Arbeitsebene des Konstrukteurs in *midplane*, *backplane*, und *foreplane* eingeteilt werden. Die Grenzflächen der drei Polygone sind durch Facetten verbunden. Eine *volume* kann aus mehreren tausend Komponenten bestehen, wobei

jede Einzelne beliebig im Raum orientiert sein kann. Zur Adressierung werden die Komponenten sogenannten *units* untergeordnet und durch ganzzahlige Farbcodes in Klassen eingeteilt. Der Name einer Komponente setzt sich aus dem Namen der *unit*, dem Namen der *component* und dem *volume code* zusammen.

Für die räumliche Variation der Gehalte wird die Raster-Datenstruktur verwendet. Dazu wird dem geometrischen Körper ein reguläres Blockmodell mit fester Blockgröße überlagert und das überdeckte Teilvolumen für jeden Block durch Integration ermittelt. Zur späteren Schätzung der Gehalte in den Blöcken stehen unterschiedliche Interpolationsverfahren zur Verfügung (LYNX GEOSYSTEMS 1999).

Programm- und Projektspezifische Methoden

Das Interface von Lynx ist Layer-basiert. Darstellung und Interaktion in der Schnittebene wird über die sogenannte *viewplane* verwirklicht. Die Position der *viewplane* wird über eine Ursprungskoordinate, den Maßstab, das Einfallen und den Azimut definiert. Dadurch lässt sich jeder Punkt auf dieser Ebene aus dem Koordinatensystem Rechts-, Hochwert und Höhe (*Northing, Easting, Elevation*) in eine neues Koordinatensystem XY der *viewplane* projizieren (siehe Abbildung 5.4). In der *viewplane* befindet sich eine aktive Zeichenfläche, die als *foreground* bezeichnet wird. Der sogenannte *background* dient zur Darstellung bereits existierender Elemente. Diese können je nach Datenstruktur in einem oder mehreren Layern, den sogenannten *displays*, dargestellt werden. Die Elemente werden in vorgegebenem Abstand zur *viewplane* über den Parameter *display thickness* oder in deren Schnittebene angezeigt. Sie können *holes, maps, volumes* oder *3D grids* darstellen.

Zur Erstellung der unterschiedlichen Elemente dienen eigene Module. In *volume data define* können einzelne Komponenten definiert oder editiert und zu Volumen zusammengefügt werden. Lynx bietet durch das sogenannte *3D component modelling* eine graphische Benutzerschnittstelle, um die Komponenten nach der Profilmethode zu konstruieren. Dabei wird in der *midplane* der Umriss des Anschnittes digitalisiert. *Foreplane* und *backplane* werden durch Zuweisen der Di-

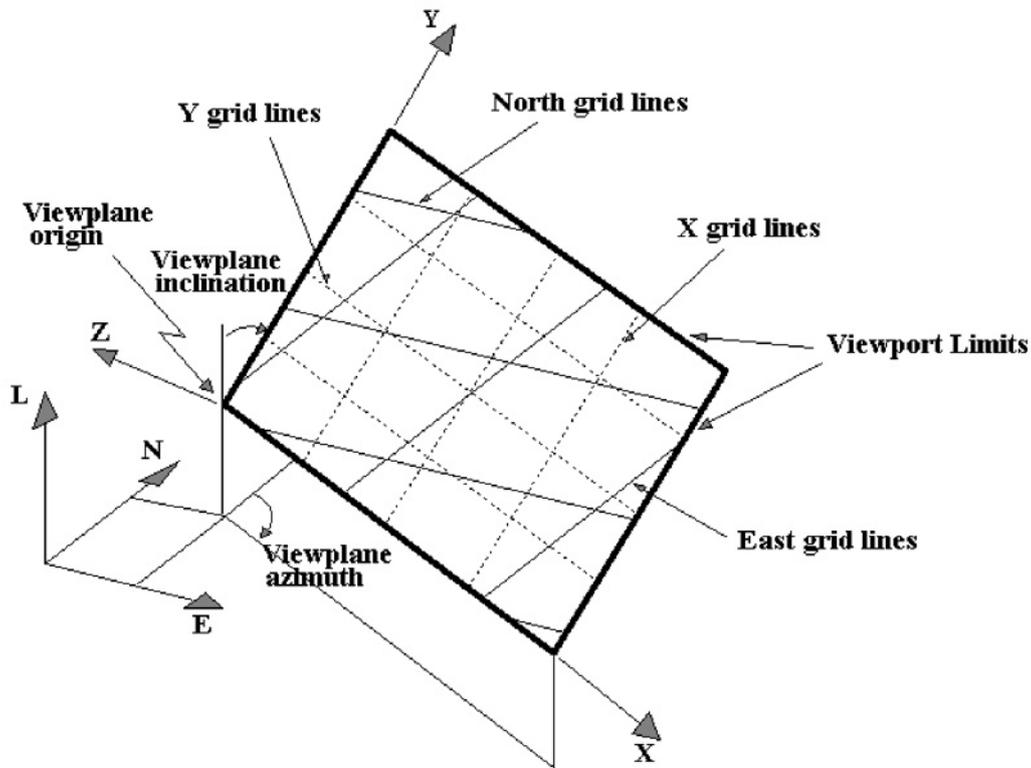


Abbildung 5.4: Konvention der *viewplane* (LYNX GEOSYSTEMS 1999)

cke in beide Richtungen definiert, ihre Punkte können einzeln editiert werden. Komplexe Körper werden durch Aneinanderreihung mehrerer Komponenten aufgebaut. Dabei werden parallele Profile entlang des Körpers als Komponenten digitalisiert, so dass sich *foreplane* der hinteren Komponente und *backplane* der davor liegenden Komponente berühren. In einem zweiten Schritt werden diese beiden sich berührenden Flächen durch Interpolation mit der *midplane* beider Körper angeglichen. Eine zweite Möglichkeit zur Erzeugung von Komponenten besteht aus der Überlagerung zweier TINs mit Hilfe des Moduls *surface handling*. Dabei wird der Raum zwischen beiden Oberflächen automatisch durch viele einzelne prismenförmige Komponenten dargestellt und in eine *volume* zusammengefügt.

Die verschiedenen Erzkörper und die damit assoziierten Komponenten werden in vorliegender Arbeit (es existiert nur ein Erztyp) durch verschiedene Farb-Codes dargestellt. Alle unterschiedlichen Komponenten eines Schnittes bekommen als

unit-Namen den Namen des Schnittes. Der Komponentename wird nach dem Namen des abgebauten Körpers (zum Beispiel HB 100) vergeben. Durch setzen eines „wildcards“ als Komponente und Auswählen einer *unit* kann der gesamte Inhalt eines Schnittes selektiert werden; wird die „wildcard“ als *unit* gesetzt, erreicht man die Auswahl von zusammengehörigen Komponenten. Schneidet die Zeichenebene vorhandene Komponenten und ist die Option „Komponentenname anzeigen“ aktiviert, so bezeichnet Lynx diese Komponente mit dem Namen der Einheit und dem Namen der Komponente. Somit können Komponenten gleiche Namen haben (im vorliegenden Fall den Namen des Körpers), wenn sie sich in unterschiedlichen *units* befinden.

Neben dieser Möglichkeit, die Information durch Schnittebenen darzustellen, enthält das Programm Lynx einen externen Visualisierer, der eine dreidimensionale perspektivische Betrachtung der Daten ermöglicht. Die Bohrungen, Karten oder Körper können einzeln ein- und ausgeblendet, frei im Raum gedreht und verschoben werden. Neben verschiedenen umfangreichen Einstellungen der Beleuchtungen, Farben und Durchsichtigkeit bietet das Programm die Möglichkeit zur Ausgabe der Grafiken als Rasterbilder.

5.2.2 Surpac

Im System Surpac ist die *string modelling* Technik mit Methoden der Lagerstättenmodellierung kombiniert. Die Repräsentation der kontinuierlichen Merkmale erfolgt über Enumerationsverfahren.

Surpac arbeitet mit Draht-, Flächen und Volumenmodellen. Die Drahtmodelle werden als *strings*³ bezeichnet. Diese 3D-*strings* beziehen sich immer auf ein Weltkoordinatensystem, Surpac verwendet keine Bezugsebene.

Für die vorliegende Arbeit wurde Surpac zum Digitalisieren und Berechnen des Höhenmodells verwendet. Da Surpac nur triangulierte Netze benutzt, wird ein Höhenmodell in diesem Programm immer als DTM⁴ bezeichnet.

³Aus dem Englischen für Polygonzug (wörtlich Schnur).

⁴Der Begriff DTM schließt auch Rastermodelle mit ein (siehe Kapitel 5.1 auf Seite 28).

6. Arbeitsweise

Die vorhandenen geologischen Untersuchungen geben Aufschluss über Struktur und Charakter der Lagerstätte. Dadurch lassen sich Rückschlüsse über Form und Ausmaße der Körper ziehen; problematisch sind die Ränder der Körper, da durch die Bohrungen allein nicht genügend Informationen zur Modellierung vorhanden sind.

Die großen Kompetenzkontraste in einem stark durchbewegten Milieu beschreiben Härtlinge, die gegen das weichere Umgebungsgestein verschert sind. Aufgrund der großteils durch Boudinage hervorgerufenen Zerteilung ist von abwechselnd spitzen und runden Formen auszugehen. Da gerade die Enden und Ränder der Körper besonders betroffen sind, liegt es nahe, dass die Körper durch die Zerschering an ihren Grenzflächen fein zersplittert sind. Eine Unschärfe in diesen Bereichen ist nicht zu vermeiden, es wird nach Möglichkeit den runden und spitzen Formen gefolgt.

Im Folgenden wird die Erstellung eines neuen Projekts in Lynx und die Eingabe und Verarbeitung der Daten beschrieben. Der Prozess der Modellierung wird am Körper HB 100 exemplarisch vorgeführt.

6.1 Projekt initialisieren

Als erster Schritt werden in dem Programmpaket Lynx ein neues Projekt erstellt, die Grundeinstellungen vorgenommen und die nötigen Variablen definiert.

Dem Projekt wird ein Name zugewiesen, für die Einheiten wird das metrische System festgelegt. Weiterhin wird definiert, dass ein positiver Eintauchwinkel einer Bohrung nach oben zeigt. Sind diese Einstellungen vorgenommen, können die Variablen des Projekts über den Befehl *Project Define* im Menü *Project* fest-

gelegt werden. Das Programm öffnet einen Dialog, der es ermöglicht, Variablen als Zahl oder Text zu definieren. Der Variablen wird zudem eine Feldgröße, numerischen Variablen zusätzlich die Anzahl der Dezimalstellen hinter dem Komma zugewiesen. Der Variablentyp kann ein fester Wert, eine mathematische Funktion oder eine logische Verknüpfung sein. Letztere beide Möglichkeiten dienen dazu, Bezüge zu anderen Variablen herzustellen.

Die Darstellung der geologischen Bohrdaten am Bildschirm benötigt eine Variable für die Geologie, damit jeder Wert (geologische Einheit) mit Hilfe der *colormap* in einer eigenen Farbe dargestellt wird. Diese Variable `Litho1` wird als String mit einer Feldgröße von Zehn definiert, ihr Inhalt stellt einen diskreten Wert dar. Da die vorliegenden geologischen Daten sehr oft eine Kombination von zwei Werten enthalten, zum Beispiel „Wechselfolge von Magnesit mit Kalkschiefer“ oder „Dolomit mit geringen Mengen Magnesit“, muss diese Information bei der Dateneingabe auf ein Feld angenähert werden. Um bei der späteren Modellierung weiterhin Zugriff auf die genauen Angaben zu behalten, wird eine Variable `Litho2` für den zweiten Bestandteil definiert. Eine dritte Variable `Kommentar` ermöglicht es, bei der Dateneingabe interpretative Zusatzinformationen einzugeben. Der bearbeitende Geologe hatte zum Beispiel aus den Bohrkernen Störungen ermittelt und dies an den Profiltafeln vermerkt, oder es gibt schon während der Eingabe Unstimmigkeiten, die auf diese Weise ihren Bezug zur Geometrie nicht verlieren können.

Ein Bohrdatensatz lässt sich in Lynx weiter in Regionen und Kategorien einteilen. Im vorliegenden Fall existieren keine geometrischen Unterteilungen, daher wird nur ein *subset* `dh01` erstellt.

¹dh steht für *drillhole*.

6.2 Daten digitalisieren

6.2.1 Bohrungen

Die Eingabe der Bohrungen erfolgt über das Modul *hole data define*. Jede Bohrung wird in eine Vermessungs- und eine Probenliste unterteilt. Die Listen enthalten einen Kopf, in den die räumlichen Koordinaten (Rechts- und Hochwert sowie die Höhenlage) und die Länge der Bohrung eingetragen werden.

In der Vermessungsliste können verschiedenen Tiefenlagen unterschiedliche Azimut- und Einfallswerte zugeordnet werden. Diese Liste enthält im vorliegenden Fall bei allen Bohrungen nur eine Zeile, da sie im Bergbau Hohentauern gerade niedergebracht und nicht abgelenkt wurden. Somit bleiben Azimut und Einfallen für jede Tiefe gleich.

In der Probenliste steht in der ersten Spalte die von Lynx eingefügte Variable `DISTANCE` für die Liegendgrenze des Bohrkernabschnitts, in die folgenden Spalten können die im Projekt definierten Variablen eingeblendet werden. Die vom Geologen interpretierten Bohrkernabschnitte werden in die Variable `Litho1` und gegebenenfalls `Litho2` übertragen. Besteht beispielsweise der Bohrkern von null bis sieben Meter aus Kalkschiefer und danach folgen acht Meter Magnesit, so ist in die erste Zeile unter `DISTANCE` sieben, und unter `Litho1` als Kürzel `ks` einzutragen. In die zweite Zeile wird als Distanz 15 und als Geologie `mg` getippt. Die letzte Zelle der Spalte `DISTANCE` entspricht der Länge der Bohrung. In Abbildung 6.1 ist als Beispiel die Abfolge der Bohrung 23 von Sohle 250 m dargestellt.

Um für die Dateneingabe nicht eine Lynx-Lizenz zu blockieren und die zeitaufwendige Dateneingabe auch zu Hause am PC zu ermöglichen, werden die Daten mit einem Tabellenverarbeitungsprogramm erstellt und als spaltenorientierte Textdatei abgespeichert. Die Vermessungs- und Datenlisten können entweder einzeln oder zusammenhängend als eine Datei in Lynx eingelesen werden. Dazu wird der Datei eine Zeile mit Angabe der Reihenfolge der Variablen vorangestellt. Der Vermessungs-Information muss ebenfalls eine solche Definition vorgegeben werden. Es ist jederzeit möglich, nachträglich zusätzliche Werte zu importieren und so den Datensatz zu aktualisieren oder um andere Variablen zu erweitern. Dabei

	DISTANCE	Lithol	Litho2	Kommentar
1	0.50	dol		
2	1.10	mg		
3	5.50	dol		
4	25.50	mg	dol	
5	27.50	ts	mg	
6	29.20	mg	dol	
7	30.10	dol		
8	35.80	mg		
9	37.50	ks		
10	40.00	mg		
11	40.60	dol		
12	64.40	ks		

Abbildung 6.1: Die Probeliste des Moduls *hole data define* am Beispiel der Bohrung 23, Sohle 250 m

werden eventuelle Aufspaltungen der Teufenangaben von Lynx automatisch vorgenommen.

6.2.2 Profile

Die Profile stellen sehr wichtige interpretative Informationen über die Geometrie der Lagerstätte dar. Das Programmpaket Lynx bietet die Möglichkeit, Flächen beliebiger Raumlagen mit Hilfe eines externen Digitalisiertabletts einzulesen. Bei den Profilen sind die damit erzielten Resultate allerdings zu ungenau. Die Ursache hierfür liegt einerseits an dem zu kleinen Maßstab der Profile (meist 1 : 500), andererseits wurden diese bei der Erstellung teilweise stark generalisiert. Daher wird für die vertikalen Profile auf die Verwendung des Digitizers verzichtet, son-

dern sie werden im Modul *volume data define* mit der Maus am Bildschirm digitalisiert. Die *viewplane* wird in der Raumlage des Profils angeordnet; der Abstand zur *foreplane* und *backplane* wird auf einen Meter eingestellt, um dem kleinen Durchmesser der Bohrungen gerecht zu werden. Im *background* werden die nötigen Bohrungen aktiviert und die *display thickness* an die Entfernung der Bohrungen angepasst. Die Abschnitte der Bohrungen, die dem Erz entsprechen, können über eine Fläche interpoliert werden, wobei die interpretativen Informationen der Profile übernommen werden. Dabei tauchen oft Fehler in den Datensätzen auf, die entweder durch Tippfehler beim Digitalisieren oder schon bei der Aufzeichnung beziehungsweise Erfassung der Daten entstanden sind. In Abbildung 6.2 ist dieser Prozess am Beispiel des Körpers HB 100 dargestellt; das zugehörige Profil (siehe Abbildung 4.2 auf Seite 27) wird in diesem Fall für die unterschiedlichen Körper einzeln ausgewertet, um die zugehörigen Bohrungen an der richtigen Position zu erfassen.

Bei Bedarf werden auch weiter entfernt liegende Bohrungen eingeblendet, um die Lage der Körper in Bereichen mangelnder Information abzuschätzen.

6.2.3 Abbaukarten

Die Abbaukarten (Markscheidepläne) liegen im Maßstab 1 : 500 in sehr großen Formaten von zirka ein- bis zwei Metern Kantenlänge vor. Daher eignen sie sich für eine Digitalisierung am Tablett. Die *viewplane* (und damit die *midplane*) wird horizontal in die Höhe der Abbauscheibe gelegt, *foreplane* und *backplane* werden der Höhe der Abbauscheibe angepasst. Nach Angabe von Passpunkten und deren Positionierung auf dem Tablett können die Grenzen der einzelnen Körper mit der Digitalisierlupe abgefahren werden. Der auf diese Weise entstehende provisorische waagrechte Schnitt wird daraufhin mit der Maus am Bildschirm unter Berücksichtigung der angeschnittenen Bohrungen korrigiert.

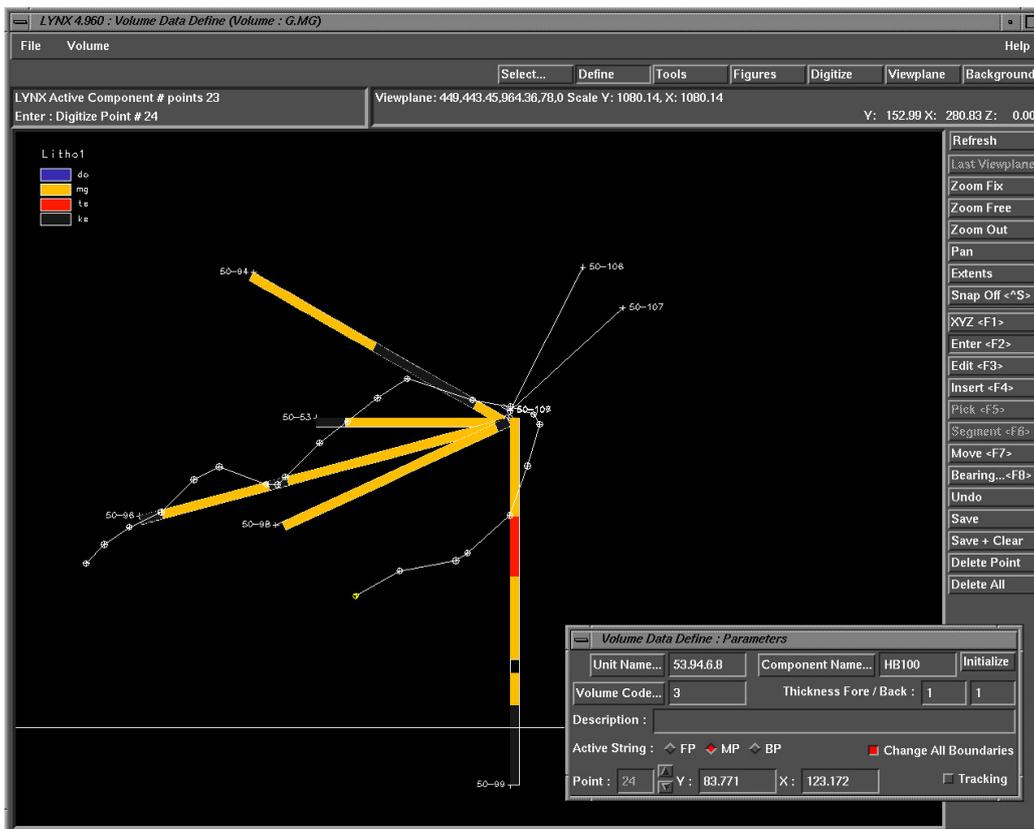


Abbildung 6.2: Ein Profilschnitt wird digitalisiert; oben links befindet sich die Legende für die Farben der geologischen Einheiten; die aktive Komponente wird weiß dargestellt.

6.2.4 Digitales Geländemodell

Der Bereich zwischen dem Ausbiss im Gelände und den tieferen erbohrten Magnesitkörpern wird interpoliert, da im Bereich zwischen Sohle 100 und der Tagesoberfläche kaum Bohrungen niedergebracht wurden. REDLICH (1935) kartierte den Bergbau mit Hilfe damals zur Verfügung stehender Abbauarten des Tagebaus. Seine in Abbildung 6.3 gezeigte Karte stellt heute die einzige zugängliche Information über den Tagebau dar. Sie zeigt die einzelnen Etagen mit Höhenangaben und damaligen Bruchwänden sowie das Ausbeißen der einzelnen Körper an der Geländeoberfläche.

Von der Geländeoberfläche wird ein digitales Geländemodell in Form eines TINs erzeugt, um letztlich eine Schnittlage mit dem Magnesit der Oberfläche gewinnen zu können. Dazu werden die Bereiche des ausbeißenden Magnesits aus

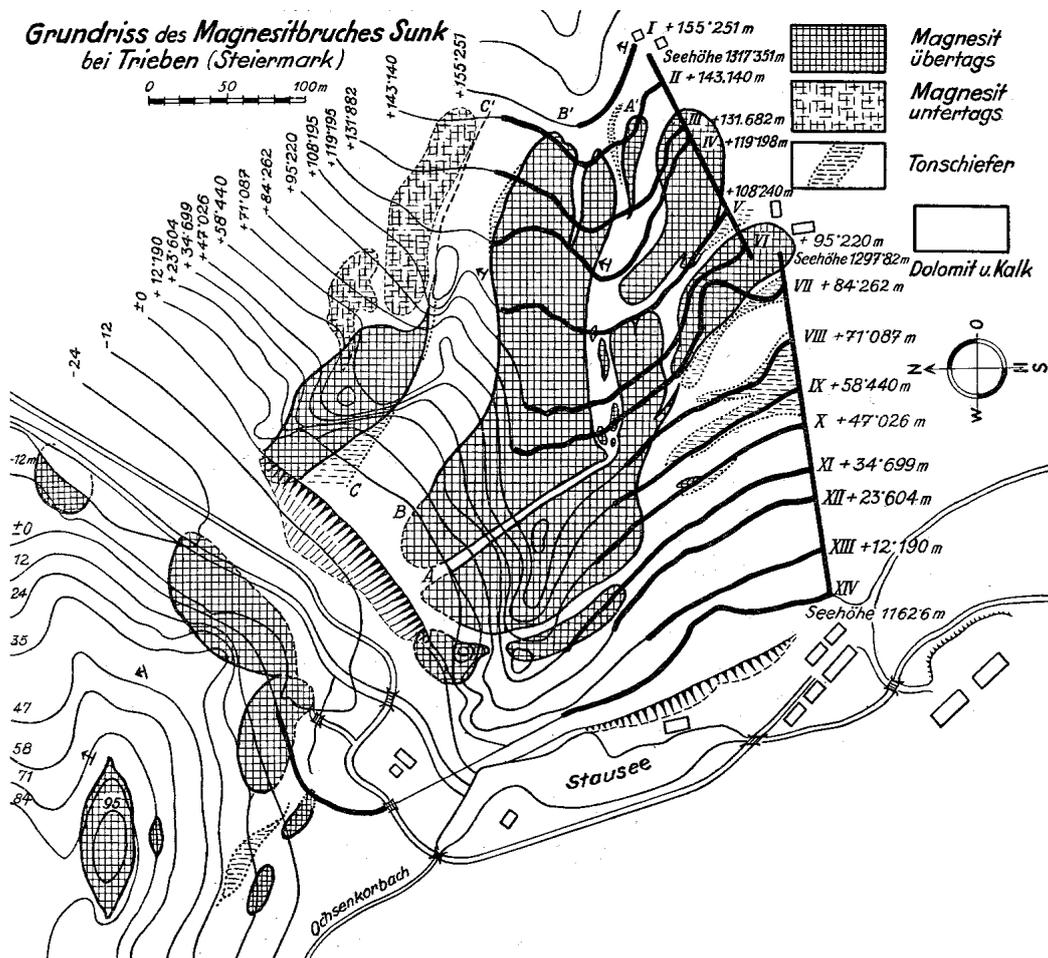


Abbildung 6.3: Der Tagebau (REDLICH 1935)

dem TIN „herausgestanzt“. Aus der Karte werden die Etagen im Programm Surpac als Höhenlinien digitalisiert und als *strings* abgespeichert. Danach werden über sogenannte *breaklines* Linienzüge festgelegt, über die hinaus nicht trianguliert wird. Diese werden an stark gekrümmten Stellen der Höhenlinien positioniert. In einem zweiten Arbeitsschritt wird aus diesen Informationen ein trianguliertes Netzwerk errechnet. Dieses wird als Textdatei abgespeichert und in Lynx als *map TIN* importiert. Im Modul *surface handling* wird das *map TIN* in eine Vielzahl prismenförmiger Komponenten umgewandelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.4 dargestellt. Da die ursprüngliche Karte nur die Umgebung des an der Oberfläche ausbeißenden Magnesits abbildet, beschränkt sich das DTM auf die-

sen Bereich und deckt nicht das vollständige Gelände im Bereich der Lagerstätte (Tagebau und Tiefbau) ab.

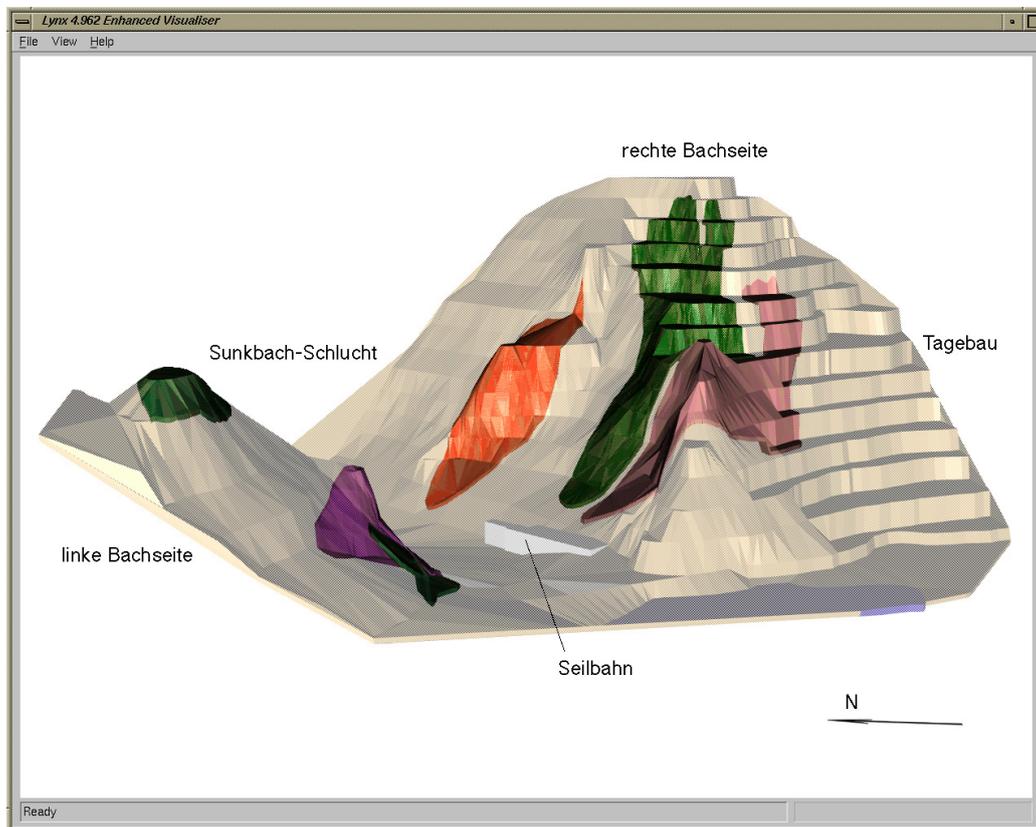


Abbildung 6.4: Dreidimensionales Höhenmodell des Lagerstättenbereichs

6.3 Hilfsschnitte erstellen

Die eindimensionalen Bohrungen werden in Hilfsschnitte überführt, um die Grenzen der Körper mit Hilfe der Profile in den dazwischen liegenden Raum zu interpolieren.

Da die Bohrungen in Form von planaren Fächern niedergebracht wurden, können aus diesen flache Komponenten mit der Dicke einer Bohrung modelliert werden, die durch Interpolation der Gesteinsgrenzen zu einer zweidimensionalen Geometrie der Materialverhältnisse führen. Dafür wird die *viewplane* so orientiert,

dass mehrere Bohrungen in dieser Ebene liegen und mit Hilfe des Lynx-Moduls *volume data define* wie bei den handgezeichneten Profilen unter Abschnitt 6.2.2 verfahren. Die Bohrungen und vorhandene Profile werden in den *background* eingeblendet, damit sie in der Schnittebene angezeigt werden. Ergebnis dieser Methode sind viele von einander unabhängige Schnitte im Raum, welche – im Visualisierer betrachtet – die Form des Erzkörpers widerspiegeln.

Durch weitere Fächer, die sich teilweise mit den vertikalen Profilen schneiden, wird so die vorliegende Information in die dritte Dimension erweitert. Um die schwierigen Lagerverhältnisse des Gesteins zu interpretieren, werden mit Hilfe der aus den Bohrungen konstruierten Komponenten nochmals die vorhandenen handgezeichneten Profile validiert, ob sie den realen Bohrdaten entsprechen. Damit ansteigender Zahl von modellierten Fächern die Geometrie des Körpers immer genauer wird, müssen die vorhandenen Profile und Fächer in mehreren Schritten erneut korrigiert werden. In diesem iterativem Prozess ergeben sich scheinbar willkürlich im Raum liegende, der ursprünglichen Anordnung der Bohrungen entsprechende Scheiben, die mehr und mehr die Geometrie der Körper erkennen lassen. Mit Hilfe des Visualisierers lassen sich fehlerhafte oder unvollständige Schnitte aufdecken, die wiederum andere Schnitte beeinflusst haben und weitere Änderungen verursachen. Somit hat die Korrektur eines Schnittes oft eine ganze Reihe von Änderungen zur Folge.

Die Bohrfächer decken nicht den ganzen Bereich des Lagerstättenkörpers ab; dreht man das Modell im Visualisierer, finden sich noch leere Stellen, die nun mit weiteren Hilfsschnitten interpoliert werden. Es werden so lange neue Schnitte hinzugefügt, bis alle Körper hinreichend durch Profile im Raum dargestellt sind. Vor allem im Bereich über der Sohle 100 m bis zur Tagesoberfläche werden solche Hilfsschnitte benötigt. Bei diesem aufwendigen Prozess muss die *viewplane* oft verschoben und mehrere Bohrungen immer wieder aus- und eingeblendet werden, da oft wenige Informationen in diesen Bereichen zur Verfügung stehen. Schließlich erhält man ein provisorisches Modell, das die tatsächliche Anordnung und Ausmaße der Körper im Raum vollständig wiedergibt (siehe Abbildung 6.5).

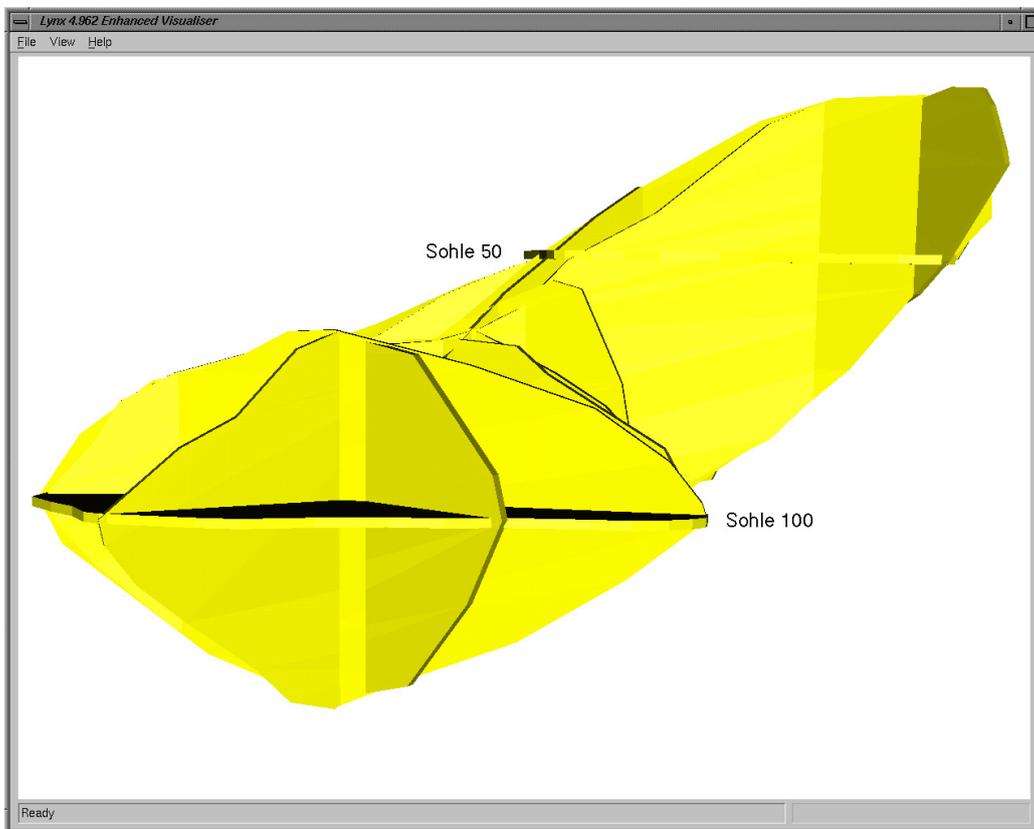


Abbildung 6.5: Der Körper HB 100 aus südlicher Richtung betrachtet

6.4 Vollständige Erzkörper modellieren

Das ganze Modell wird nochmals in zueinander parallelen Schnitten dargestellt, da die Einheiten zur Interpolation für das *3D component modelling* parallel angeordnet sein müssen. Die Richtung beziehungsweise Lage dieser parallelen Schnittebenen verläuft bei einer schichtigen Lagerstätte senkrecht zum Streichen der Schicht. Bei Faltenstrukturen werden die Schnittlagen senkrecht zur Faltenachse positioniert. Auf diese Weise weichen die benachbarten Schnitte minimal voneinander ab. Da die einzelnen Körper der Lagerstätte Hohentauern schichtigen Verhältnissen entsprechen, zueinander aber in ihrem Einfallen abweichen, werden für die einzelnen Körper unterschiedliche Modellierungsrichtungen gewählt.

Die *viewplane* wird dem Einfallen des zu modellierenden Körpers angepasst (im Beispiel des Körpers HB 100 beträgt das Einfallen ca. 34°), daraufhin wird

die ungefähre Mitte des Körpers als erste Schnittebene gewählt. In der *viewplane* sind die Schnittlinien mit den bereits erstellten Profilen zu sehen und stellen die Umrisse des zu modellierenden Körpers dar. Diese Umrisse werden nun mit der Maus am Bildschirm digitalisiert, bei Bedarf können die angeschnittenen Bohrungen eingeblendet werden. Werden bei gleichzeitigem Betrachten im Visualisierer scharfe Kanten oder zu grob angenäherte Ausbildungen erkannt, wird die Komponentenform editiert. Nach Vollendung der interpolierten Komponente wird die *viewplane* um einen bestimmten Betrag senkrecht zu ihrer Lage translatiert. Jetzt wird eine neue Komponente erstellt und wie bei der Ersten verfahren (siehe Abbildung 6.6). Die *display thickness* wird so eingestellt, dass jeweils die benachbarten Schnittebenen punktiert angezeigt werden. Auf diese Weise lassen sich bei fehlenden Informationen am Komponentenrand die benachbarten Schnittebenen als Abgleich verwenden. Die Komponenten werden in mehreren Durchgängen weiter an ihre Nachbarn angeglichen.

Die Abstände der *midplane* zur *foreplane* und *backplane* der Komponenten entsprechen genau dem halben Abstand der benachbarten Komponenten, so dass sich ihre Grenzflächen berühren. Liegen komplizierte Lagerungsverhältnisse vor, so wird der Abstand der Komponenten und ihre Dicke halbiert. Sind detaillierte Darstellungen nötig, kann dieser Abstand nochmals halbiert werden. Im Fall von Abzweigungen oder Auskeilungen wird die Komponente vor der Abzweigung kopiert und in zwei sich berührende Komponenten aufgeteilt. Um die Enden bei kugeligen Körpern rund erscheinen zu lassen, wird den Endflächen auch oft eine individuelle Dicke zugewiesen, die der Grenze des Körpers entspricht.

Die Körper der vorliegenden Arbeit werden im Abstand von 20 Metern modelliert, an den Anfangs- und Endflächen werden oft halbe Abstände verwendet. An komplizierten Stellen, die eine erhöhte Genauigkeit erfordern, wird ein Abstand von fünf Metern zwischen benachbarten Komponenten gewählt. Auf diese Weise kann die Detailgenauigkeit beliebig erhöht werden, um den geforderten Ansprüchen zu genügen. Es entsteht ein geometrisches Modell des Körpers, das durch irreguläre Zylinder angenähert ist (siehe Abbildung 6.7). Bei der Modellierung dieser Komponenten wird der Innenkante der Hilfsschnitte gefolgt, um eine

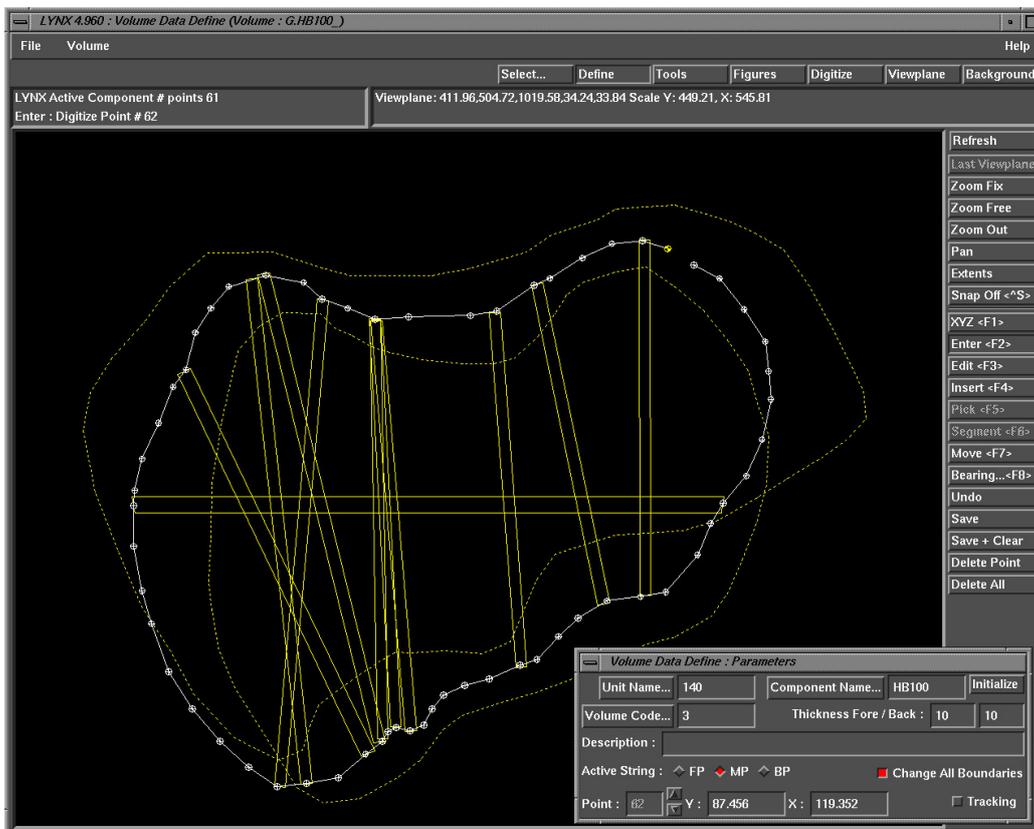


Abbildung 6.6: Eine Komponente für das endgültige Modell wird digitalisiert; die benachbarten parallelen Komponenten sind punktiert dargestellt

Überschätzung der Volumen zu vermeiden.

Nun kann im Modul *volume data define* ein Interpolations-Algorithmus angewendet werden, um die Grenzflächen anzugleichen. Dazu werden zwei benachbarte Komponenten angegeben und drei bis vier Verknüpfungen von charakteristischen Punkten (zum Beispiel an Spitzen oder scharfen Einbuchtungen) vorgegeben. Der Algorithmus verbindet die restlichen Punktpaare gemäß einer linearen Interpolation zwischen jedem Scheibenpaar. Um zu genauen Anpassungen zu gelangen, sollten die Komponenten mit möglichst hoher Punktdichte digitalisiert werden. Auf diese Weise entsteht ein vollständiges dreidimensionales Modell des geologischen Körpers (siehe Abbildung 6.8).

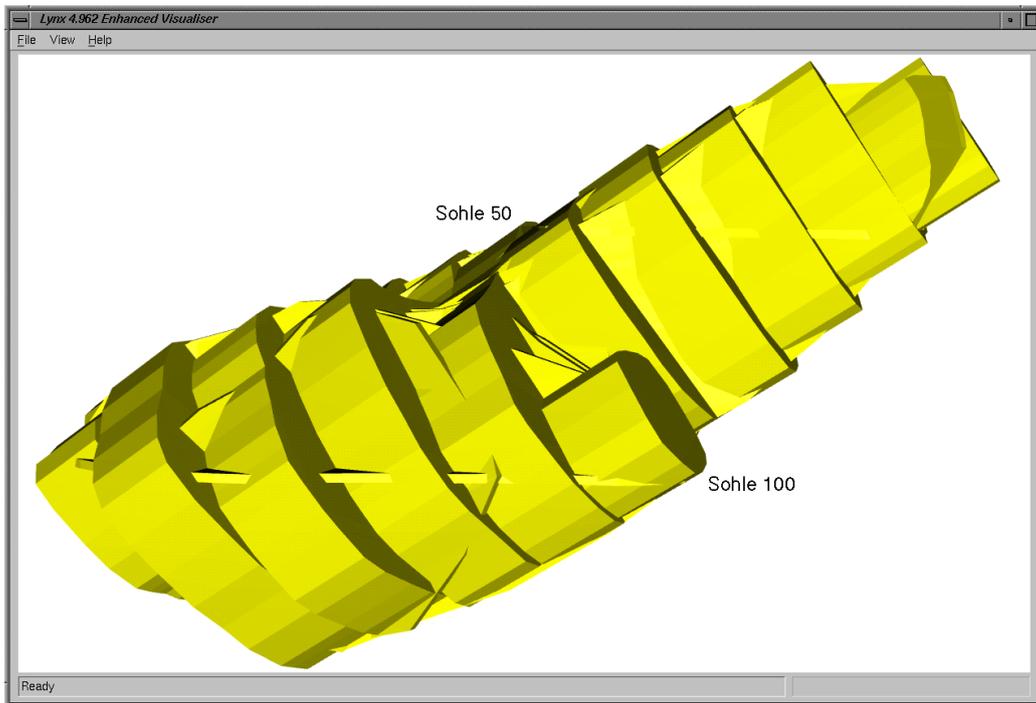


Abbildung 6.7: Der Magnesitkörper HB 100 ist in parallelen Scheiben abgebildet; die ursprünglichen Schnitte sind zusätzlich eingeblendet

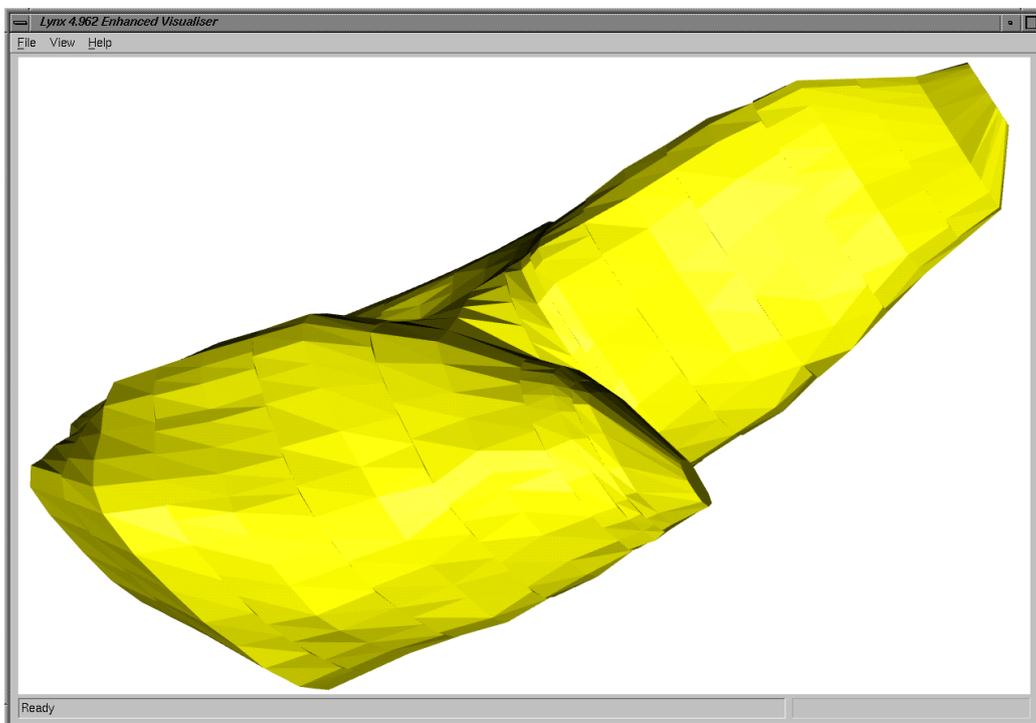


Abbildung 6.8: Der Magnesitkörper HB 100 ist vollständig modelliert

7. Das Modell

Mit vorliegender Arbeit existiert erstmals ein computergestütztes 3D-Modell der Lagerstätte Hohentauern. Die Integration unterschiedlicher Daten verschiedener Herkunftsquellen führt zu einem in sich stimmigen und geschlossenen Modell. Dabei werden aus den statistisch verteilten Bohrungen elektronisch verwertbare Daten gewonnen.

Durch die große Anzahl an getrennten Körpern, die durch die starke Durchbewegung zersplittert und abgeschert sind, ist aus den Rohdaten allein die Verteilung der einzelnen Körper schwer ermittelbar. Erst interpretative Zusatzinformationen wie handgezeichnete Pläne und mündliche Absprachen mit ortskundigen Personen ermöglichen die Bewältigung dieser Aufgabe. Dabei handelt es sich um eine qualitative Neuorientierung der Daten: Fehlstellen in den Datensätzen werden interpoliert, unwichtige oder irreführende Werte vernachlässigt.

7.1 Geometrie

Der modellierte Bereich erstreckt sich auf die elf als abbauwürdig betrachteten Körper. Während die an der Oberfläche ausbeißenden Körper durch die Morphologie des Geländes geprägt sind, reicht die Form der untertägigen Körper von kugelig (LBM 170 und LBM 250) über linsig (HB 100) beziehungsweise schüsselförmig (HB 170) bis hin zu langgezogenen Zylindern (LBN 100 und LBN 170).

In der Kartendarstellung des Modells (siehe Abbildung 7.1) sind die Ausmaße der Erzkörper veranschaulicht. Der Magnesitkomplex erstreckt sich in seiner Längsrichtung über 750 m¹, quer dazu misst er maximal 450 m. Der tiefste erbohrte Punkt im Magnesit hat eine Höhenlage von ungefähr 800 m Seehöhe, dadurch

¹das Ende der Lagerstätte am Körper LBN 170 ist noch nicht erreicht

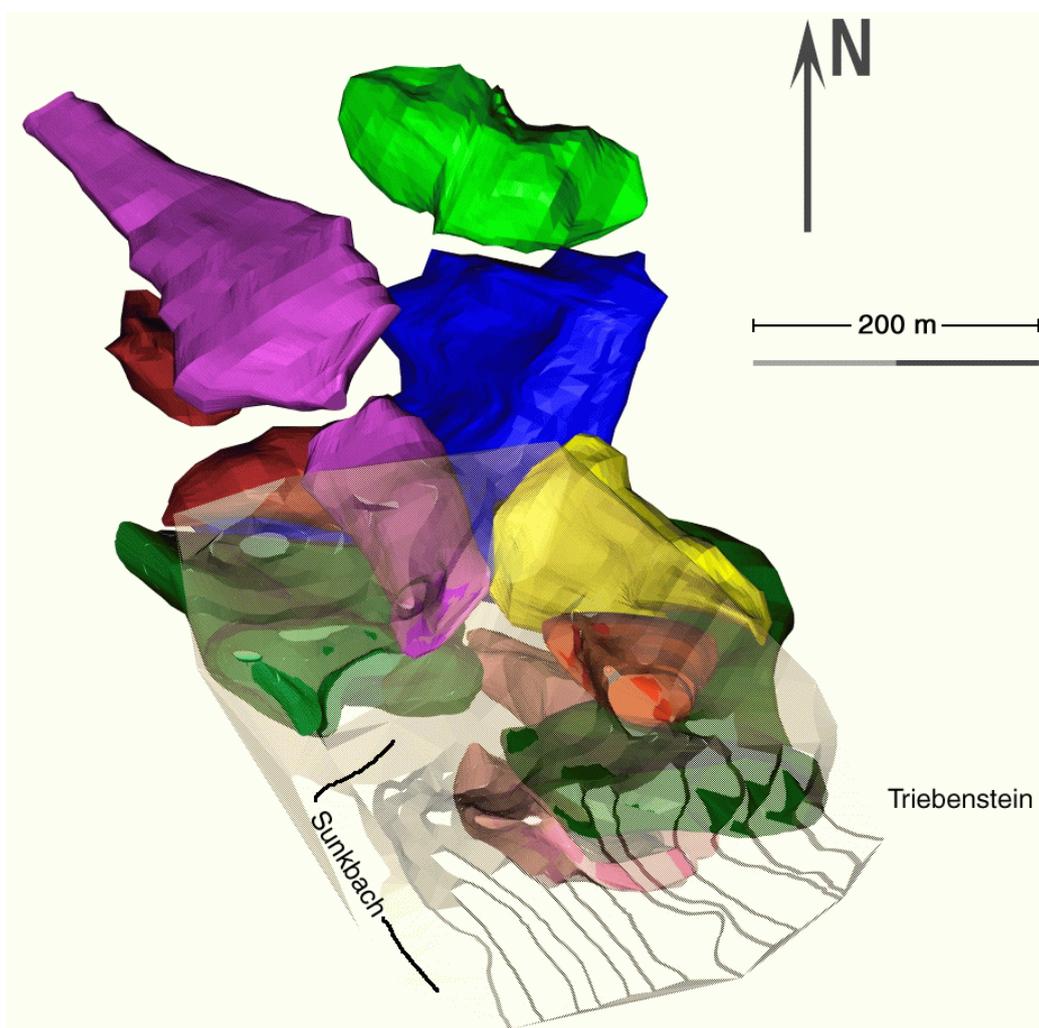


Abbildung 7.1: Das Modell in der Kartendarstellung

ergibt sich eine Tiefenerstreckung von zirka 500 m. Das Gesamtvolumen der modellierten Erzkörper beträgt etwa $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, das entspricht einem Durchschnitt von zirka $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pro Körper. Eine Übersicht der einzelnen Körper und ihrer Volumina ist in Tabelle 7.1 dargestellt.

Körper	Form	Farbe	V/[10 ³ m ³]
HB	Schicht	Orange	438
MB	Schicht	Dunkelgrün	1819
LB	Schicht	Rosa	1428
HB 100	Schüssel	Gelb	776
HB 170	Schicht/Tropfen	Blau	2336
LBS	Schicht	Grün	2166
LBN 100	Zylinder	Violett	625
LBN 170	Zylinder	Violett	1452
LBM 170	Kugel	Rot	407
LBM 250	Kugel	Rot	228
HBN	Knolle	Hellgrün	1381

Tabelle 7.1: Übersicht über die modellierten Erzkörper

7.2 Vergleich mit Befunden aus vorhandenen Geländeuntersuchungen

Die in Kapitel 3 dargestellten bisherigen Ergebnisse basieren auf geologischen Geländeaufnahmen. Diese Aussagen sollen hier mit den Erkenntnissen des Modells verglichen werden.

Den mittleren Bereich der rechten Bachseite hat bereits REDLICH (1935) dargestellt (siehe Abbildung 3.6 auf Seite 21). Zwischen den Körpern MB und LB postulierte er eine Störung (siehe Abschnitt 3.2). Nach heutigen Erkenntnissen ist nicht von einer einzelnen Störung auszugehen, da bei den ersichtlichen Kompetenzkontrasten die Scherzone mit zunehmender Tiefe breiter beziehungsweise die Verformung duktiler wird. Aus Redlichs Zeichnung lässt sich erkennen, dass die weicheren Schiefer förmlich um den Magnesit fließen. In Abbildung 7.2 ist dieser Ausschnitt des 3D-Modells dargestellt. Der Körper MB biegt auf Höhe der 50 m-Sohle um und wird an dieser Stelle ausgedünnt. Das Umbiegen ist auch am Körper LB zu beobachten. In diesem Bereich ist von einem Zerreißen der Körper

auszugehen, ein viskoses Verhalten ist durch die starken Kompetenzkontraste unwahrscheinlich. Die Zerschierung ist im Modell nicht dargestellt, weil die Datenlage im zerscherten Bereich nicht ausreicht, um die Größenordnung der Teilkörper zu erfassen.

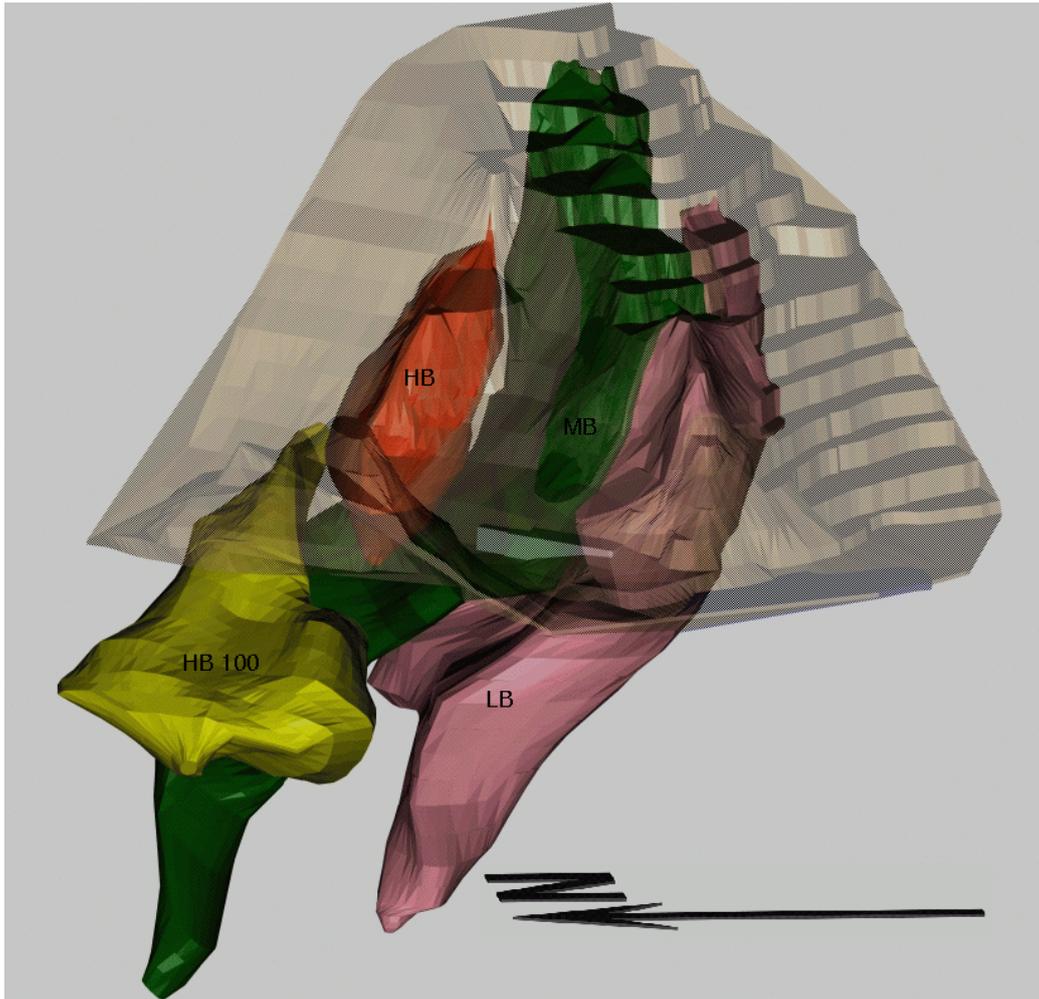


Abbildung 7.2: Die Körper der rechten Bachseite

Diese Störungszone übt ihren Einfluss auf den gesamten Magnesitkomplex aus. Im oberen Bereich der Lagerstätte ist noch eine generelle Einfallrichtung der Körper zu erkennen, die mit den von MEIXNER und CLAR (1953) ermittelten Daten des Nebengesteins übereinstimmt. Aus Abbildung 3.7 auf Seite 22 lässt sich ein Einfallen von zirka 70° in Richtung West-Nord-West ermitteln. In Abbil-

Abbildung 7.3 zeigt die generelle Einfallrichtung der Körper im Modell erkennbar. Ungefähr ab Sohle 50 m (Pfeil) knicken die Körper einheitlich ab und der Einfallswinkel verringert sich auf etwa 37° . Diese Änderung des Einfallens ist in der Literatur bisher nicht erwähnt. MEIXNER und CLAR (1953) schreiben, das „völlig gleichsinnige achsiale Absinken der einzelnen Lagerstättenkörper“ sei „1945 durch Tiefbohrungen [...] bestätigt“ worden. Es liegt jedoch kein einheitliches Einfallen vor. Der Einfallswinkel im unteren Bereich stimmt mit der Bahn der Basisüberschiebung des Oberostalpins überein (siehe Abbildung 3.4 auf Seite 19); die Magnesitkörper könnten von der Überschiebung beeinflusst worden sein. Diese Annahme ist hypothetisch; bisher gibt es keine geologische Untertage-Aufnahme der Störungen und in den existierenden Profilen wurde der Magnesitbruch stets ausgespart.

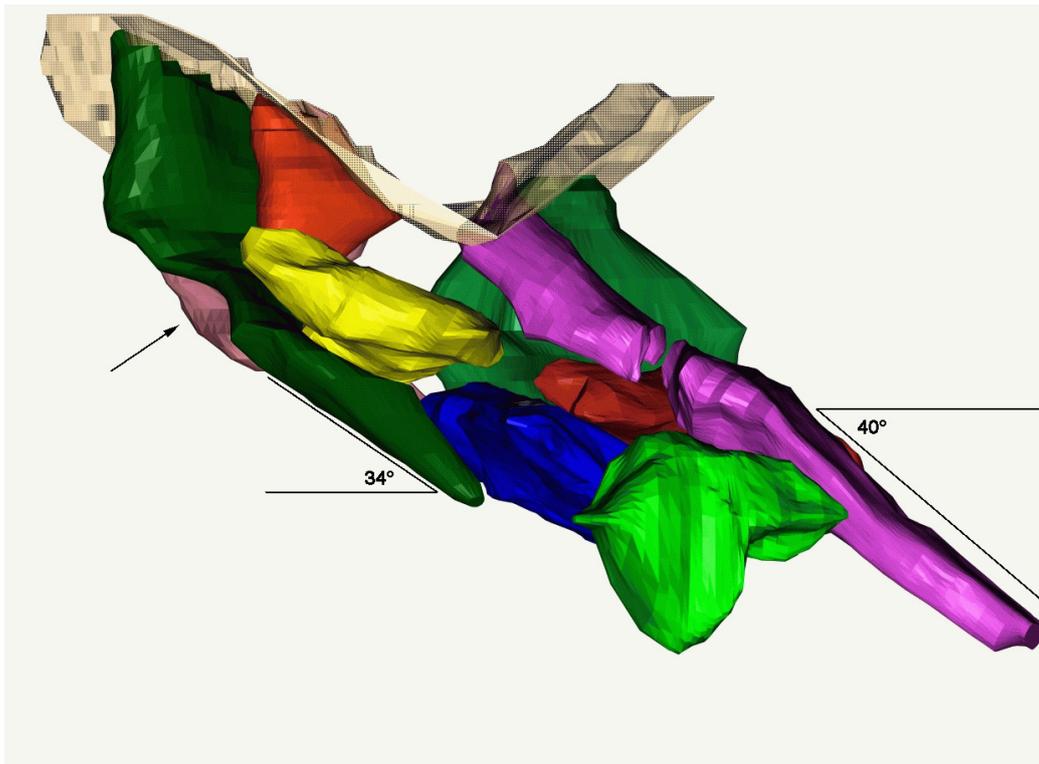


Abbildung 7.3: Die Erzkörper von Ost-Nord-Ost betrachtet

Die von METZ (1940) aufgestellte Hypothese durchstreichender Magnesitkörper wird zugunsten der Vorstellung einzelner Körper aufgegeben. Der Körper

LBN weist zwar schwache, aber dennoch gut ersichtliche Einflüsse der Boudinage auf. Der ursprünglich lange Zylinder ist in die zwei Teile LBN 100 und LBN 170 zerrissen (siehe Abbildung 7.4). Das größere Achsenverhältnis dieses Körpers verhält sich gemäß der in die Tiefe zunehmenden Duktilität der Scherzone. Die Boudinage macht eine tektonische Zerteilung der Körper wahrscheinlich. Ob ursprünglich ein einziger Körper sedimentiert wurde oder ob mehrere Körper vor der tektonischen Beeinflussung vorgelegen haben, lässt sich durch das Modell nicht klären. Sicherlich wurden alle Körper nachträglich von der Boudinage geprägt.

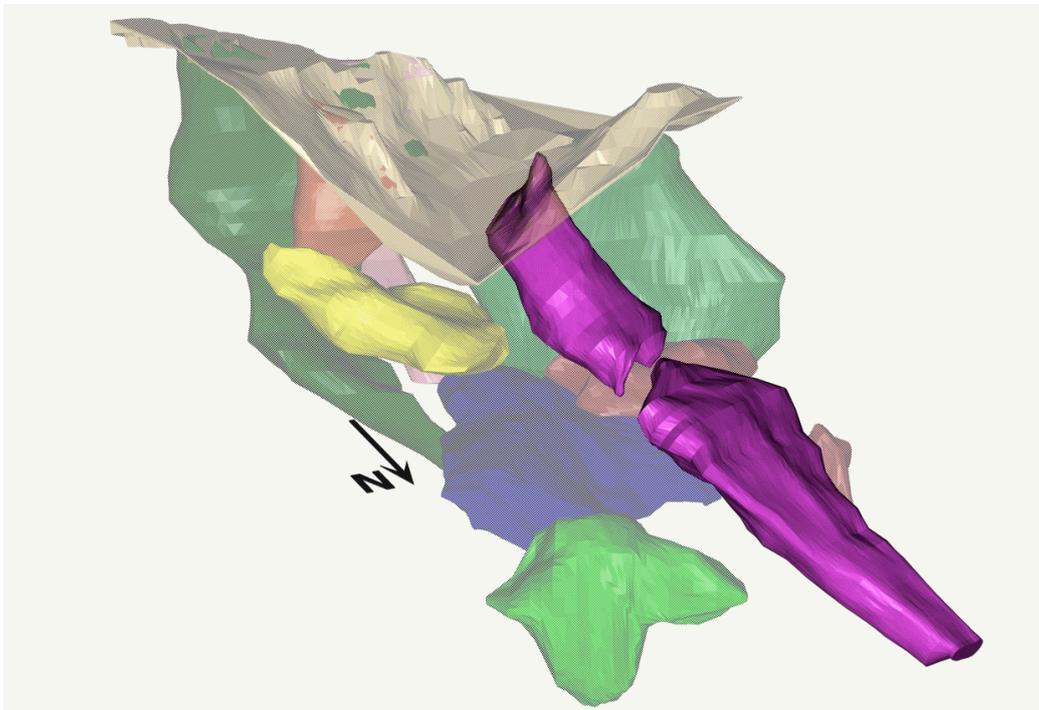


Abbildung 7.4: Die Körper LBN 100 und LBN 170

8. Ausblick

Die Magnesitkörper weisen eine beeindruckende Komplexität auf, die erst im Verlauf des Modellierungsprozesses ersichtlich wird. Über die prätektonischen Lagerungsverhältnisse liefert das 3D-Modell die Aussage, dass die heute vorliegende Form der Körper sicherlich von den tektonischen Vorgängen geprägt wurde. Die aus dem Modell ersichtlichen Zusammenhänge zwischen der Geometrie der Lagerstättenkörper und einzelnen Teilkörpern helfen, die Lagebeziehungen des Magnesits besser zu durchleuchten. Diese Arbeit schafft wichtige Vorbedingungen für die weitergehende Bearbeitung der Lagerstätte, insbesondere der Ermittlung der räumlichen Variation der Gehaltswerte.

Durch den Vergleich der Erkenntnisse des Modells mit den vorhandenen Geländebefunden ergeben sich weiterführende Fragestellungen. Die Streich- und Fallorientierungen des Magnesits stimmen an der Oberfläche mit denen des Nebengesteins überein, die Erzkörper ändern jedoch mit fortschreitender Tiefe ihre Richtung. Schließt sich das Nebengestein dieser Änderung an? Können dadurch weitere Aussagen über die prätektonische Lagerung gefällt werden? Das Modell ermöglicht erstmalig einen Vergleich der tatsächlichen Lagerstättengeometrie mit der Oberflächengeologie. Kann eine Modellierung des Nebengesteins zur vollständigen Klärung der Genese verhelfen? Ist dieser große Aufwand gerechtfertigt und ist die Auflösung und Dichte der Bohrdaten für diesen Zweck ausreichend?

Literaturverzeichnis

- CLAR, E., FRIEDRICH, O. M. und MEIXNER, H. (1965): Steirische Lagerstätten. *Fortschritte der Mineralogie* **42**, 1, S. 173-183
- FELSER, K. (1977): Die stratigraphische Stellung der Magnesitvorkommen in der östlichen Grauwackenzone (Steiermark, Österreich). *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* **122**, 2a, S. 17-23
- FELSER, K. und SIEGL, W. (1977): Die Magnesite in der steirischen Grauwackenzone und die Auswahl geeigneter Prospektionsgebiete nach geologisch-faziellen und lagerstättenkundlichen Kriterien. *Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum* **38**, S. 41-46
- FRÖMMER (2000): Darstellung des Abbaufahrens, unveröffentlicht. VRD-Europa, Wien
- GOEBL, R. W. (1992): Computer Aided Design. Wissenschaftsverlag, Mannheim – Wien – Zürich
- HADITSCH, J. G. (1968): Beiträge über das Gefüge von Spatlagerstätten. Bemerkungen zur Genese des „Kokardendolomites“ der Magnesitlagerstätte Sunk bei Trieben. *Sonderdruck aus „Radex-Rundschau“* **1968**, 3, S. 188-193
- HADITSCH, J. G. und MOSTLER, H. (1979): Genese und Altersstellung der Magnesitlagerstätten in den Ostalpen. *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* **1978**, 3, S. 357-367

- KIM, Y. C. (1979): Open-Pit Limits Analysis. In WEISS, A. (Hrsg.): Computer Methods for the 80's in the Mineral Industry, S. 297-303. Society of Mining Engineers, New York
- KRAUSE, A. (1968): Der Bergbau des Stiftes Admont. *Katalog der 4. Landesausstellung 1968*
- LYNX GEOSYSTEMS S. A. PTY. LTD. (Hrsg.) (1999): Lynx 4 User's Guide
- MEIXNER, H. und CLAR, E. (1953): Die Magnesitlagerstätte im Sunk bei Trieben. *Joanneum, Mineralogisches Mitteilungsblatt* **1953**, 1, S. 1-6
- METZ, K. (1940): Die Geologie der Grauwackenzone von Mautern bis Trieben. *Mitteilungen der Reichsstelle für Bodenforschung, Zweigstelle Wien* **1**, 3, S. 11-220
- METZ, K. (1951): Die stratigraphische und tektonische Baugeschichte der steirischen Grauwackenzone. *Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien* **44**, S. 1-84
- MÖBUS, G. (1997): Geologie der Alpen. Verlag Sven von Loga
- MÖHLER, D. (1981): Die Magnesitlagerstätte Sunk bei Hohentauern und ihre Mineralien. *Die Eisenblüte, Graz*
- MORTEANI, G. und NEUGEBAUER, H. (1990): Chemical and tectonic controls on the formation of sparry magnesite deposits - the deposits of the northern Greywacke Zone (Austria). *Geologische Rundschau* **79**, 2, S. 337-344
- PRISSANG, R., SPYRIDONOS, E., SKALA, W. und FRÖMMER, T. (1996): Operational Grade Modeling at the Breitenau Magnesite Mine. In RAMANI, R. V. (Hrsg.): Proceedings of the 26th International APCOM Symposium, S. 101-106. Society of Mining Engineers, Littleton, CO
- RAMSAY, J. G. und HUBER, M. (1987): Modern Structural Geology, Bd. 2: Folds and Fractures. Academic Press

- RATSCHBACHER, L. (1984): Beitrag zur Neugliederung der Veitscher Decke (Grauwackenzone) in ihrem Westabschnitt. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* **127**, 3, S. 423-453
- REDLICH, K. A. (1909): Die Typen der Magnesitlagerstätten. *Zeitschrift für praktische Geologie* **17**, 7, S. 300-310
- REDLICH, K. A. (1935): Über einige wenig bekannte kristalline Magnesitlagerstätten Österreichs. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* **85**, S. 101-133
- REQUICHA, A. A. G. (1980): Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems. *ACM Computing Surveys* **12**, 4, S. 437-464
- REQUICHA, A. A. G. und VOELCKER, H. B. (1982): Solid Modeling: a Historical Summary and Contemporary Assessment. *IEEE computer graphics and applications* **2**, 2, S. 9-20
- REQUICHA, A. A. G. und VOELCKER, H. B. (1983): Solid Modeling: Current Status and Research Directions. *IEEE computer graphics and applications* **3**, 7, S. 25-37
- RUMPF, J. (1873): Ueber krystallisirte Magnesite und ihre Lagerstätten in den nordöstlichen Alpen. *Verhandlungen der K.K. Geologischen Reichsanstalt* **1873**, 17, S. 312-315
- RUMPF, J. (1876): Ueber steirische Magnesite. *Mitt. Naturw. Ver. f. Steiermark* **13**, S. 91-96
- SCHÖNLAUB, H. P. (1980): Die Grauwackenzone. In OBERHAUSER, R. (Hrsg.): *Der geologische Aufbau Österreichs*, S. 265-289. Springer, Wien - New York
- SIEGL, W. und FELSER, K. O. (1973): Der Kokardendolomit und seine Stellung im Magnesit von Hohentauern (Sunk bei Trieben). *Sonderabdruck der Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* **118**, 8, S. 251-256
- TOLLMANN, A. (1977): *Geologie von Österreich, Bd. 1: Die Zentralalpen*. Franz Deuticke, Wien

WALTER, F. (1951): Veitscher Magnesitwerke Actien-Gesellschaft 1881-1951.
Wien