



Projekt ÜLG-073/19

Zwischenbericht über den Projektzeitraum 07.2018 - 12.2019

MAGNETIK INVERSIONSRECHNUNG FÜR ROHSTOFFRELEVANTE FRAGESTELLUNGEN

von

A. AHL, P. SLAPANSKY

27 S., 23 Abb., 1 Tab.

Wien, Jänner 2020

PROJEKTLEITUNG

Dr. Andreas AHL, Mag. Klaus MOTSCHKA

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER

Dr. Andreas AHL	Geophysik
Dipl. Ing. Bernhard ATZENHOFER	GIS-Bearbeitung
cand.geol. Heinz REITNER	GIS-Spezialdienste
Dr. Albert SCHEDL	Rohstoffgeologie
Dr. Peter SLAPANSKY	Rohstoffgeologie

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sei herzlich für die gute Zusammenarbeit gedankt! Die Projektdurchführung erfolgte im Rahmen des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung und des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
1. 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität im Messgebiet Eisenerz	2
2. 3D-Modell der Geologie im Messgebiet Eisenerz	13
3. In-situ gemessene magnetische Suszeptibilitäten	16
3.1. Suszeptibilitätswerte aus der Literatur	17
3.2. In-Situ gemessene Suszeptibilitätswerte im Messgebiet Eisenerz	18
4. Ausblick	25
5. Literaturverzeichnis	26

Zusammenfassung

Dieser Bericht ist der zweite Zwischenbericht des für 5,5 Jahre angesetzten Projekts zur 3D-Modellrechnung an aeromagnetischen Daten für rohstoffrelevante Fragestellungen und umfasst den Zeitraum von Juli 2018 bis Dezember 2019.

Nachdem im ersten Projektjahr das Zusammenstellen eines Werkzeugkastens mit Software und dazugehörigen Verfahrensabläufen erfolgt war, konnte in der zweiten Hälfte des Jahres 2018 die Neubearbeitung der aeromagnetischen Daten des Messgebiets „Eisenerz“ aus den Jahren 1999 und 2000 fertig gestellt werden. Basierend auf der so ermittelten Verteilung der magnetischen Totalintensität, wurde im Projektjahr 2019 intensiv an einem 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität gearbeitet. Dabei wurde die zu Beginn des Projekts entwickelte Software getestet und in der Folge teilweise überarbeitet. Im Vordergrund dieser Untersuchungen stand die Entwicklung eines möglichst effizienten Verfahrensablaufs und der dafür zusätzlich notwendigen Computerprogramme.

Parallel dazu wurde die Erstellung eines 3-dimensionalen Modells der Geologie des Messgebiets Eisenerz vorangetrieben. Diese Arbeiten nahmen mehr Zeit in Anspruch als ursprünglich geplant, was auf die stellenweise komplizierte Geologie, auf z. T. widersprüchliche Kartengrundlagen und auf Softwareprobleme zurückzuführen ist.

Zur Verifizierung des berechneten 3D-Modells der magnetischen Suszeptibilität wurden Ende September bzw. Anfang Oktober Geländearbeiten im Gebiet um Kalwang durchgeführt. Dabei wurden In-Situ-Messungen der magnetischen Suszeptibilität vorgenommen und einige Gesteinsproben gesammelt. Diese Gesteinsproben sollen im nächsten Projektjahr untersucht werden. Die Geländearbeiten dienten auch dazu, dem bearbeitenden Geologen einen unmittelbaren Eindruck der Geländesituation und der auftretenden Lithologien zu verschaffen. An dieser Stelle bedanken wir uns bei den lokalen Forstbetrieben für die Erlaubnis zur Benutzung deren Forstwege.

Schließlich wurde Anfang Mai 2019 damit begonnen, die Ergebnisse der Messungen der magnetischen Totalintensität im Messgebiet Gmünd für eine 3D-Modellrechnung aufzubereiten.

1. 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität im Messgebiet Eisenerz

Bei der Inversion aeromagnetischer Daten hinsichtlich rohstoffrelevanter Fragestellungen stellt sich immer wieder das Problem, dass das gemessene Magnetfeld teilweise von Quellen außerhalb des Untersuchungsgebiets verursacht wird. Dazu kommen auch Feldanteile, deren Quellen zwar innerhalb des Untersuchungsgebiets, jedoch in großer Tiefe liegen.

Um das gemessene Magnetfeld zu erklären muss daher ein 3D-Modell erstellt werden, welches deutlich größer ist als das Untersuchungsgebiet und dessen Tiefenerstreckung deutlich über Tiefen wirtschaftlicher Rohstoffgewinnung hinaus geht. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einen vergleichsweise großen Bereich zu modellieren.

Bei der Verwendung der Software „Mag3D“ zur Inversion der aeromagnetischen Daten wird der Untersuchungsbereich dafür in eine große Anzahl von Kuben unterteilt. Verwendet man große Kuben, so ist die Inversion in der Regel numerisch stabil und die Rechenzeit akzeptabel. Leider ist eine zu große Dimension der Einzelkuben für die geologische Interpretation wenig hilfreich. Die Verwendung von kleinen Kuben für einen großen Modellbereich bedeutet jedoch einen enormen Rechenaufwand, bei dem man rasch an die Grenzen der technischen Möglichkeiten der Software und der Hardware stößt. Zudem wird die Inversion mit steigender Anzahl von Kuben zunehmend numerisch instabil.

Ein zusätzliches Problem bei der Verwendung von kleinen Kuben stellen Messfehler dar. Messungen sind grundsätzlich immer mit Fehlern behaftet. Im vorliegenden Fall sind das Fehler bei der Messung der magnetischen Totalintensität selbst und Fehler bei der Positionsbestimmung der Messpunkte. Bei älteren Datensätzen ist die Positionsbestimmung, speziell die Ermittlung der Flughöhe über Geoid, eine besondere Herausforderung. Trotz sorgfältiger Nachbearbeitung der Messdaten bleiben zumeist Restfehler. Für eine qualitative Interpretation stellen diese Restfehler kein Problem dar, da sie zumeist klein gegenüber der tatsächlichen geophysikalischen Anomalie sind. Bei einer quantitativen Interpretation verursachen diese Restfehler jedoch Probleme. Besonders bei der Verwendung von zu kleinen Kuben kommt es zu einer Überanpassung der Daten und damit zu, zumeist oberflächennahen, Suszeptibilitäts-verteilungen die nichts mit der tatsächlichen geologischen Situation zu tun haben.

Daher haben wir uns für eine kaskadenartige Vorgangsweise entschieden. Dabei wird sowohl der zu modellierende Bereich, als auch die Kubengröße, schrittweise verkleinert.

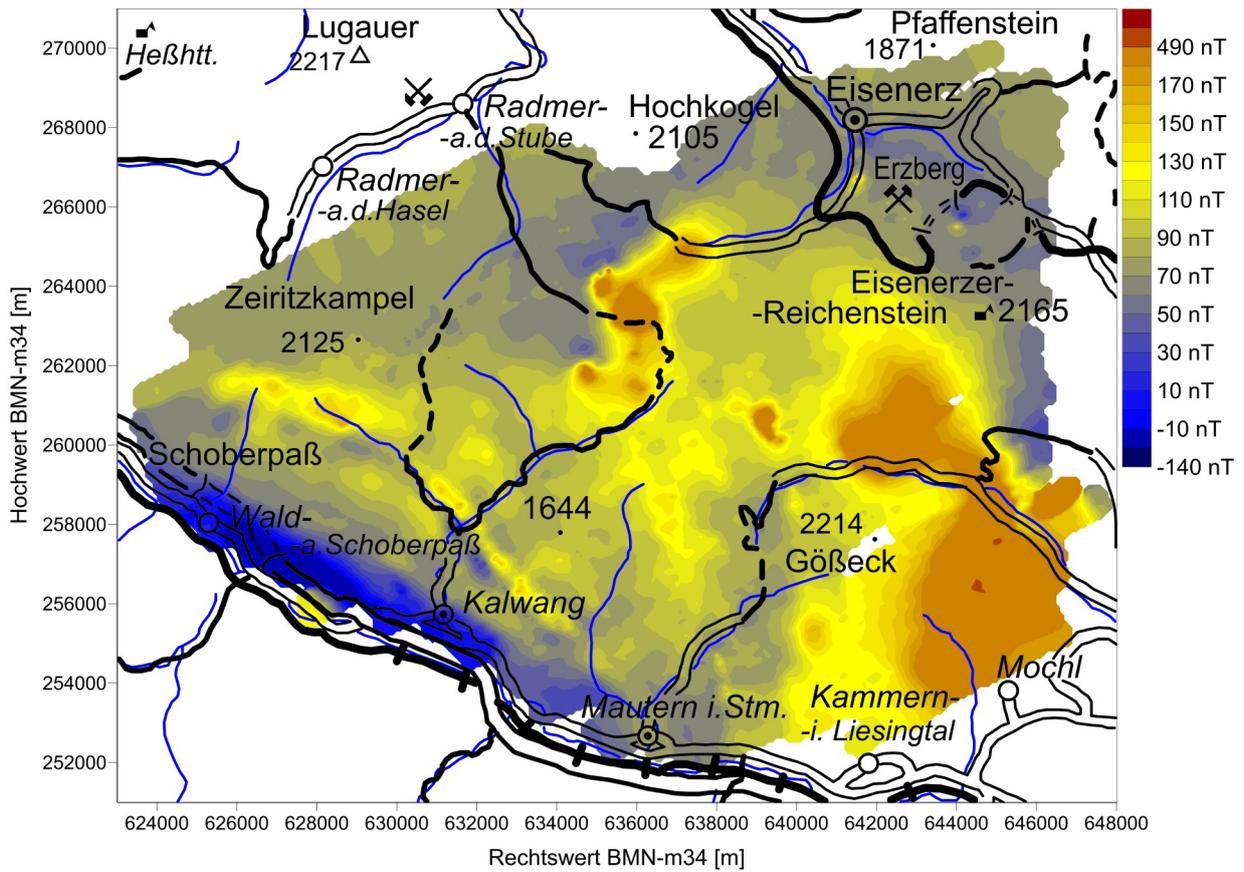


Abbildung 1: Gemessene und neu bearbeitete magnetische Totalintensität in nT.

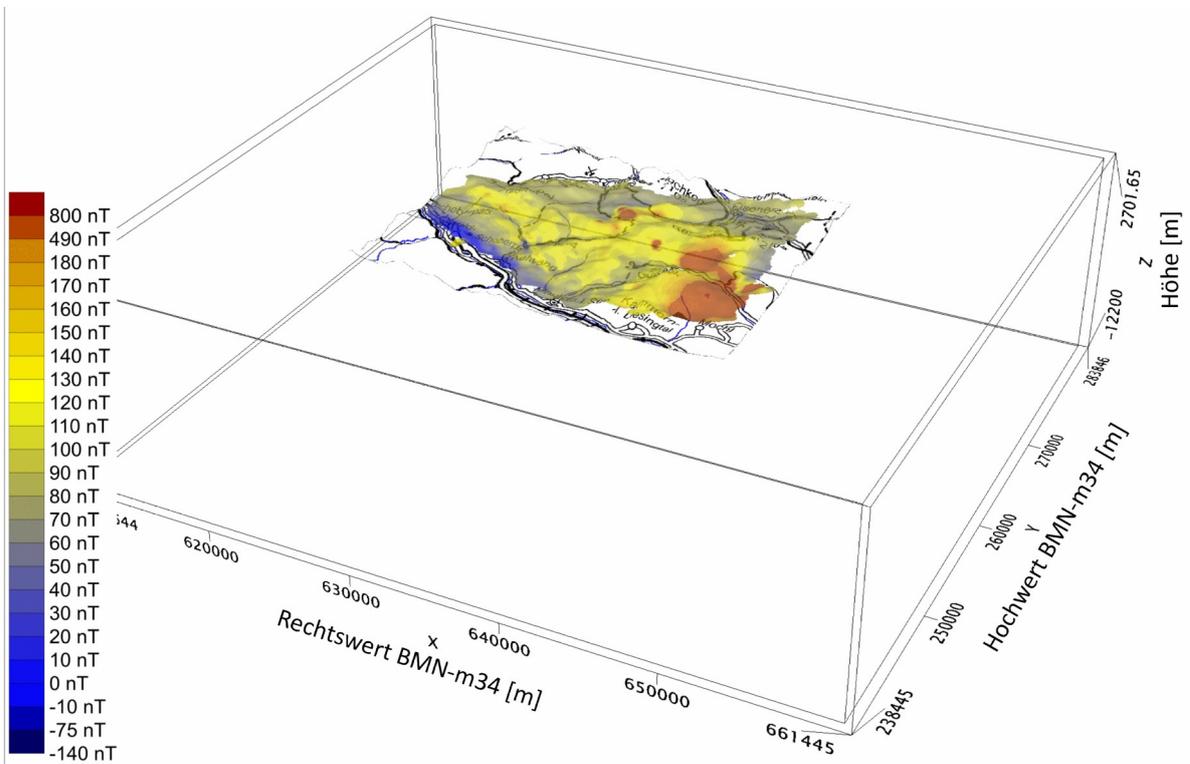


Abbildung 2: Gemessene magnetische Totalintensität in nT über dem zu modellierenden Bereich.

Ausgehend von der Karte der gemessenen Totalintensität im Messgebiet Eisenerz (Abb. 1) wurde zunächst ein zu modellierender Bereich festgelegt, der deutlich über das Messgebiet hinausgeht und in bis zu -12km Tiefe reicht (Abb. 2 und 3). Der Modellbereich für das Messgebiet Eisenerz hat eine O-W-Erstreckung von 50,6 km, eine S-N-Erstreckung von 44,4 km und eine Tiefen-Erstreckung 14,4 km. Dieser Bereich wurde in 4.043.952 Kuben mit einer Seitenlänge von je 200 m unterteilt und mit Hilfe der Software „Mag3D“ modelliert. Daraus resultierte das Modell200A (Abb. 3).

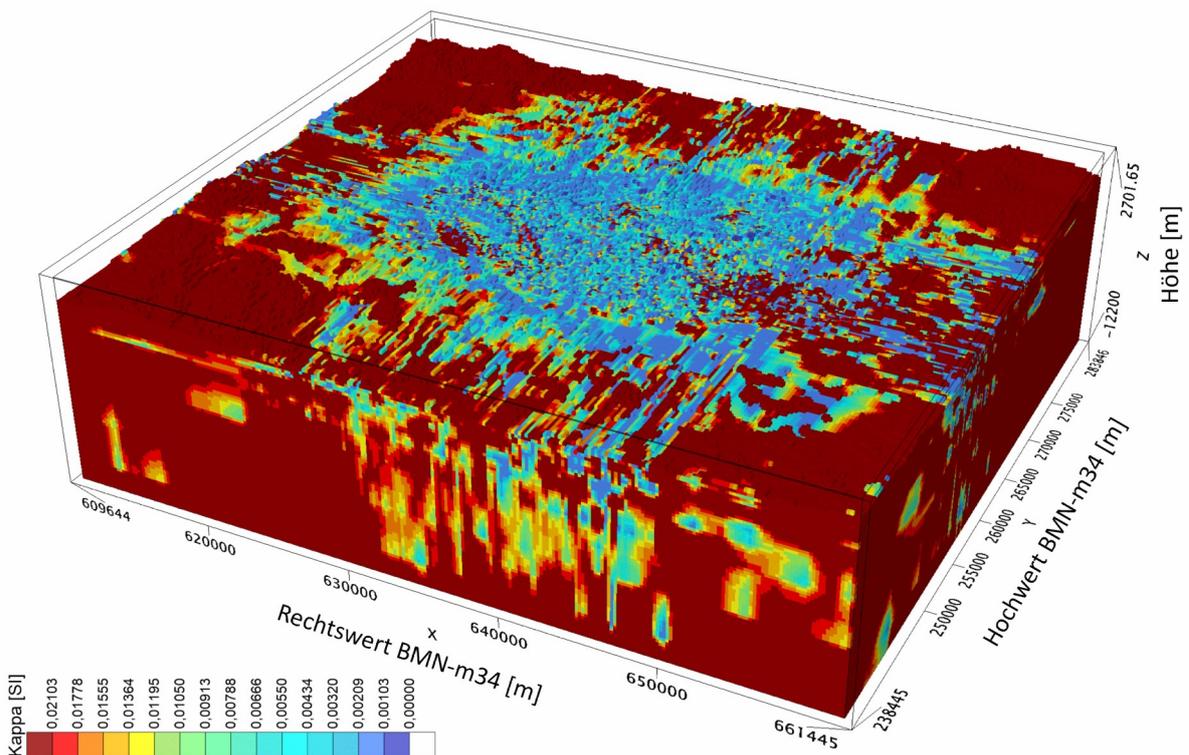


Abbildung 3: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität des gesamten Bereichs mit 200 m Kubengröße (Modell200A).

Aus diesem 3D-Modell, wurde ein zentraler Bereich mit einer O-W-Erstreckung von 34,6 km, einer S-N-Erstreckung von 28,4 km und einer Tiefen-Erstreckung von 6,4 km heraus geschnitten. Das daraus resultierende Modell soll hier als Modell200B bezeichnet werden (Abb. 4).

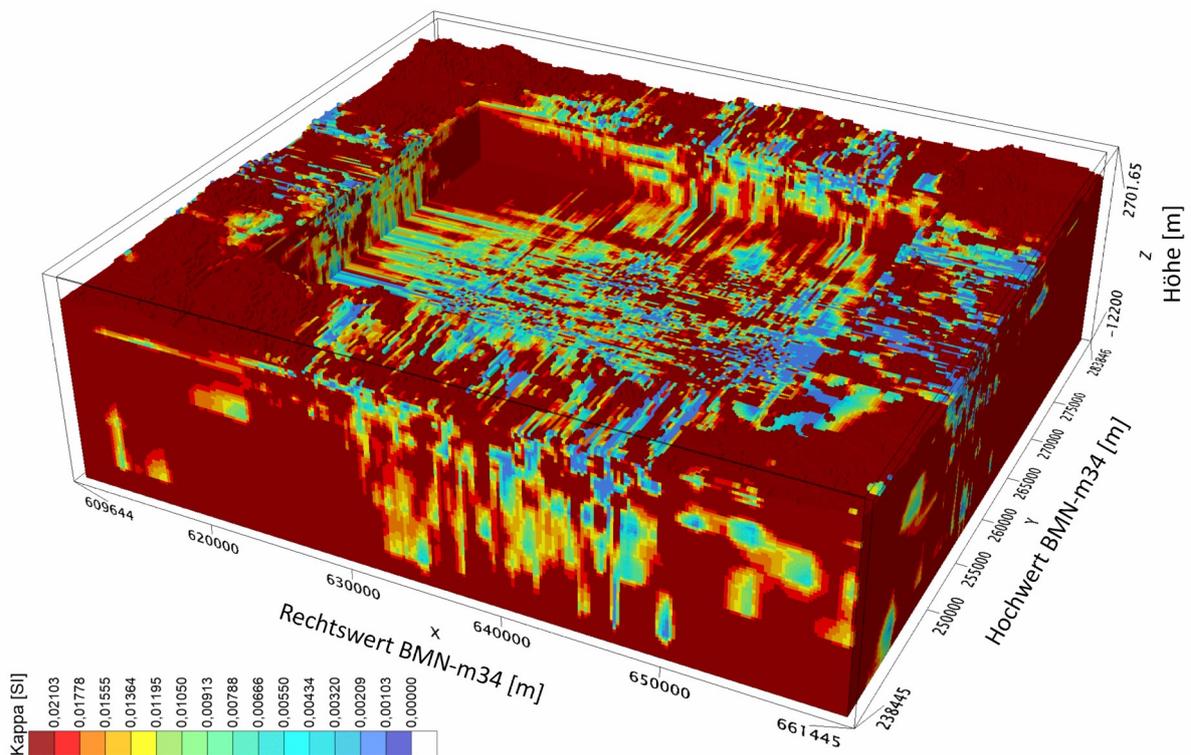


Abbildung 4: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität des gesamten Bereichs mit 200 m Kubengröße. Aus dem Gesamtmodell wurde ein zentraler Bereich heraus geschnitten (Modell200B).

Für das Modell200B wurde die theoretische magnetische Totalintensität berechnet (Abb. 5) und von der gemessenen Verteilung der magnetischen Totalintensität abgezogen.

Das daraus resultierende Restfeld (siehe Abb. 6) wurde in Folge in einem deutlich kleineren Bereich, welcher dem Ausschnitt in Modell200B entspricht, mit Hilfe von Kuben mit 100 m Seitenlänge modelliert (6.288.896 Kuben). Dabei wurde der aus dem Modell200A herausgeschnittene Teil in Kuben mit 100 m Seitenlänge unterteilt und als Start- bzw. Referenzmodell (Modell100A – Abb. 7) für die nächste Inversion in Mag3D verwendet. Im Zuge dieser Reduktion der Kubengröße wurde auch eine dreidimensionale Tiefpassfilterung der magnetischen Suszeptibilität vorgenommen. Das Ergebnis dieser Inversion (Modell100B) mit der Software Mag3D ist in Abbildung 8 dargestellt.

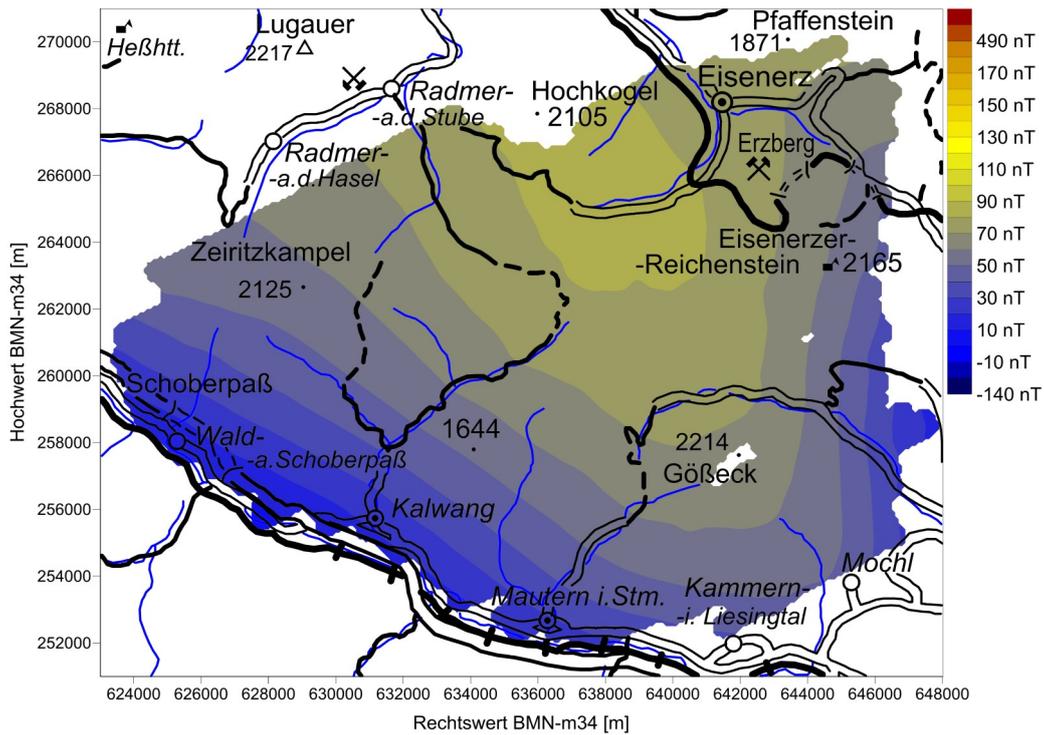


Abbildung 5: Berechnete magnetische Totalintensität in nT für das Modell200B (vgl. Abb. 4).

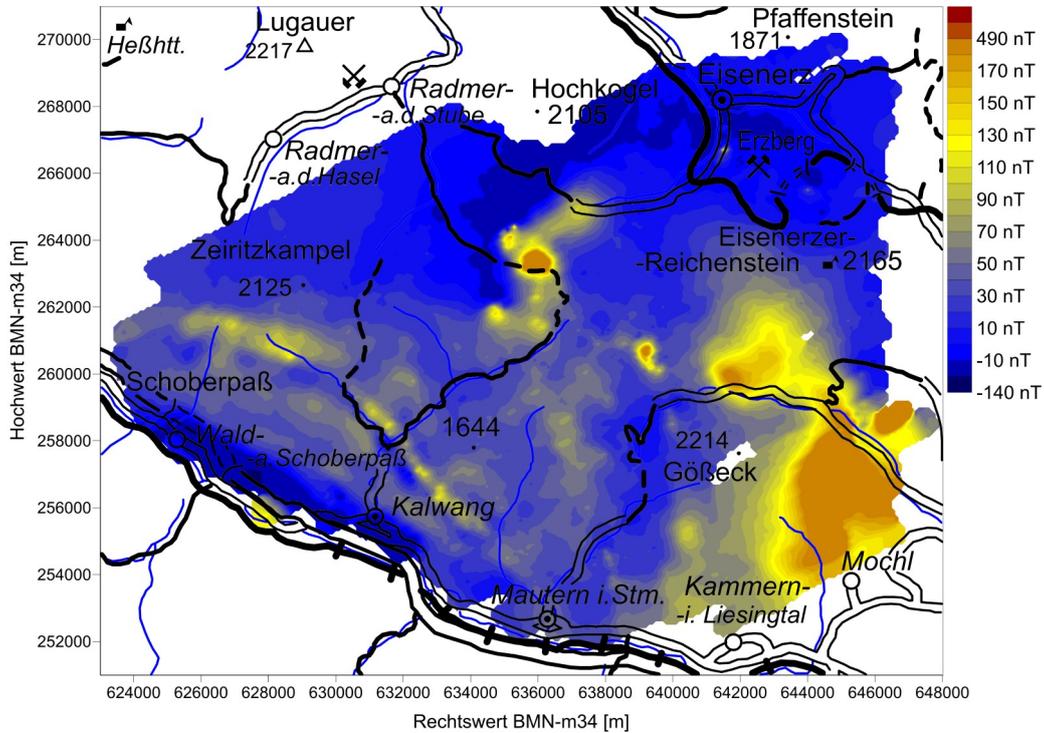


Abbildung 6: Restfeld aus gemessener abzüglich berechneter (Modell200B – Abb. 4 und 5) magnetischer Totalintensität.

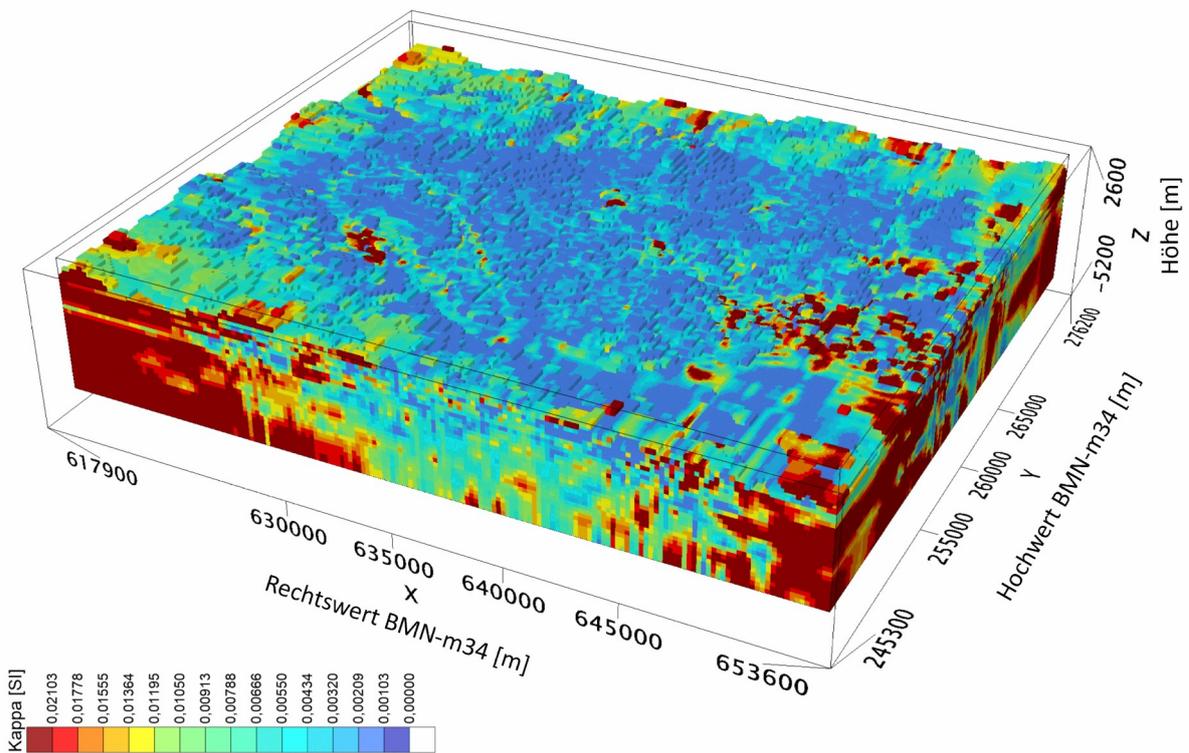


Abbildung 7: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa) des aus dem Modell200A herausgeschnittenen Teils (Modell100A). Die einzelnen Kuben mit 200 m Seitenlänge wurden in je 8 Kuben mit 100 m Seitenlänge geteilt.

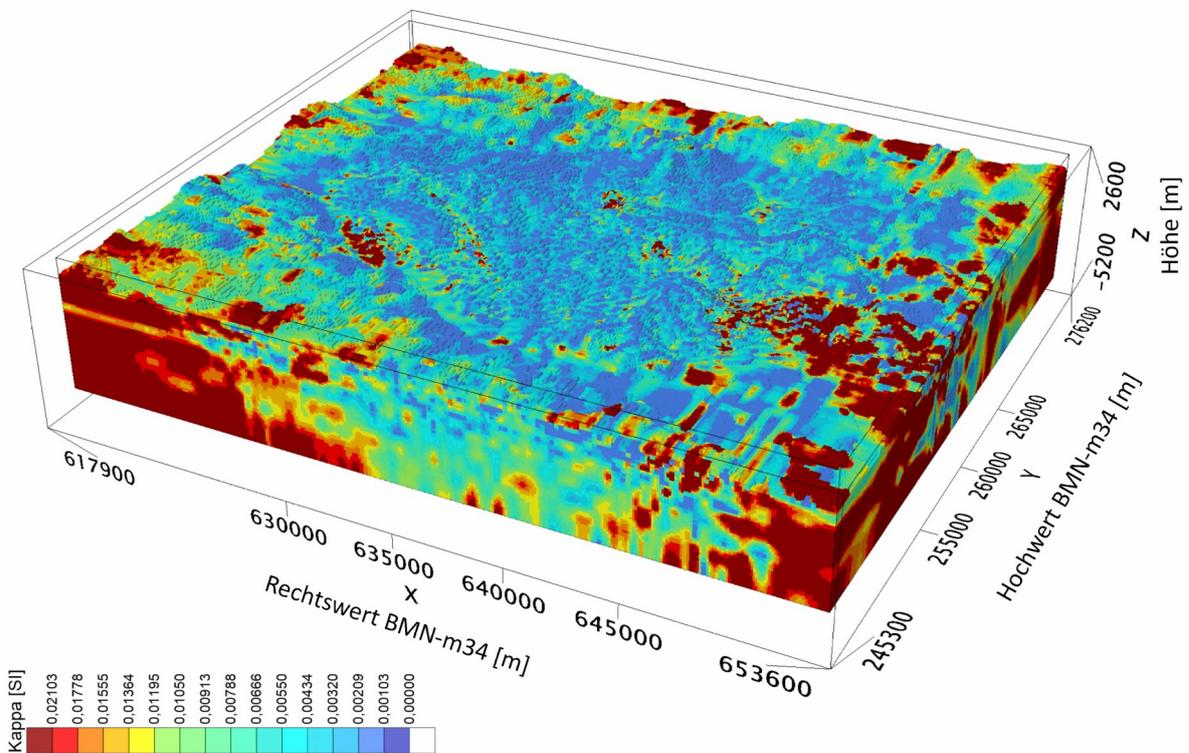


Abbildung 8: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa). Ergebnis der Inversion mit Kuben von 100 m Seitenlänge (Modell100B).

Auch aus diesem 3D-Modell, wurde ein zentraler Bereich mit einer O-W-Erstreckung von 26,6 km, einer S-N-Erstreckung von 20,3 km und einer Tiefen-Erstreckung von 2,4 km heraus geschnitten (Modell100C, Abb. 9).

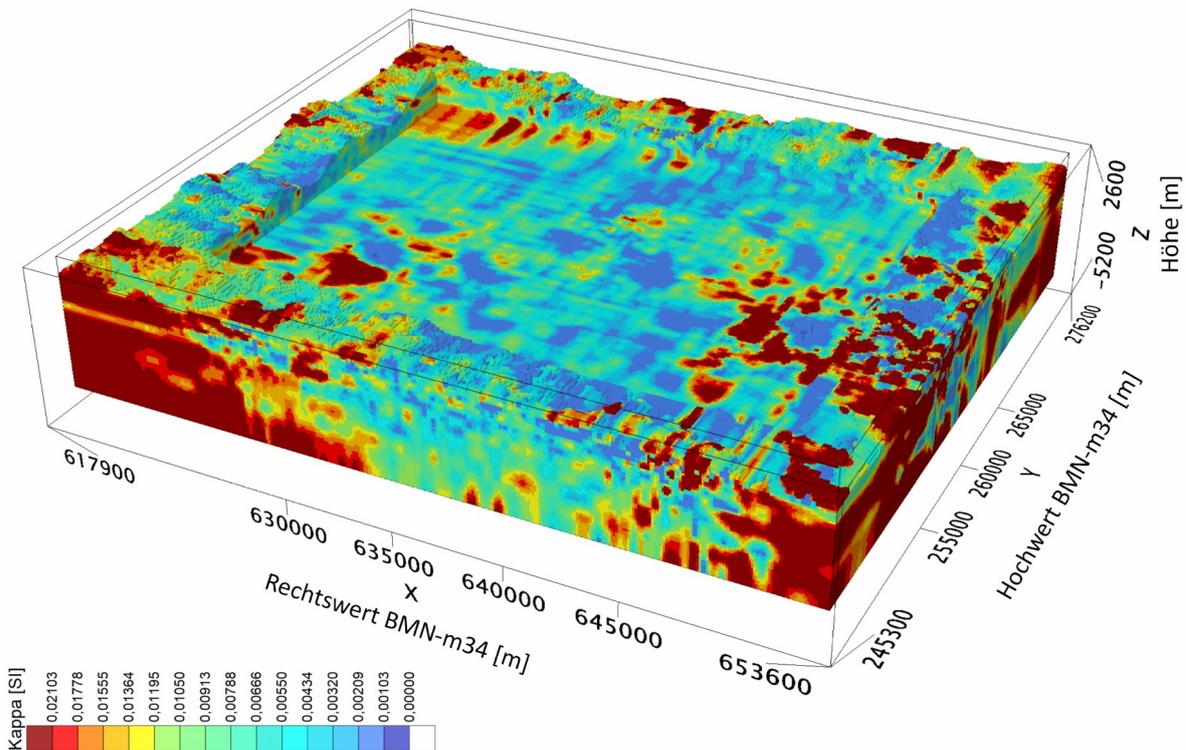


Abbildung 9: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa). Ergebnis der Inversion mit Kuben von 100 m Seitenlänge. Aus dem Modell wurde ein zentraler Bereich heraus geschnitten (Modell100C).

Zieht man die berechneten magnetischen Totalintensitäten für das Modell200B (Abb. 5) und für das Modell100C (Abb. 10) von der gemessenen magnetischen Totalintensität (Abb. 1) ab, so erhält man ein Restfeld, das hauptsächlich Feldanteile enthält deren Quellen innerhalb des Messgebiets liegen (Abb. 11).

Dieses Restfeld wurde schließlich in dem relativ kleinen Bereich, welcher dem aus dem Modell100B herausgeschnittenen Bereich entspricht, mit Hilfe von Kuben mit 50 m Seitenlänge modelliert (10.367.616 Kuben). Dabei wurde der aus Modell100B herausgeschnittene Teil in Kuben mit 50 m Seitenlänge unterteilt, einer Tiefpassfilterung unterzogen und als Startmodell für die nächste Inversion in Mag3D verwendet (Modell50A, Abb. 12).

Das Ergebnis der Inversion mit Mag3D ist in Abbildung 13 dargestellt (Modell50B).

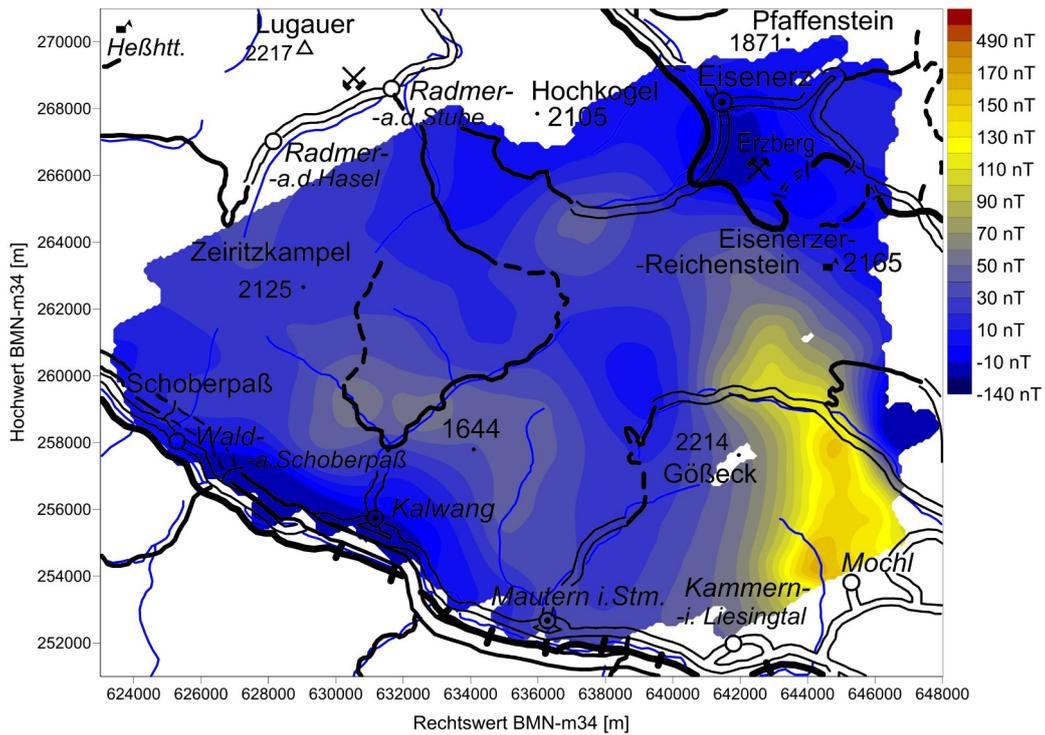


Abbildung 10: Berechnete magnetische Totalintensität für das Modell100C (vgl. Abb. 9).

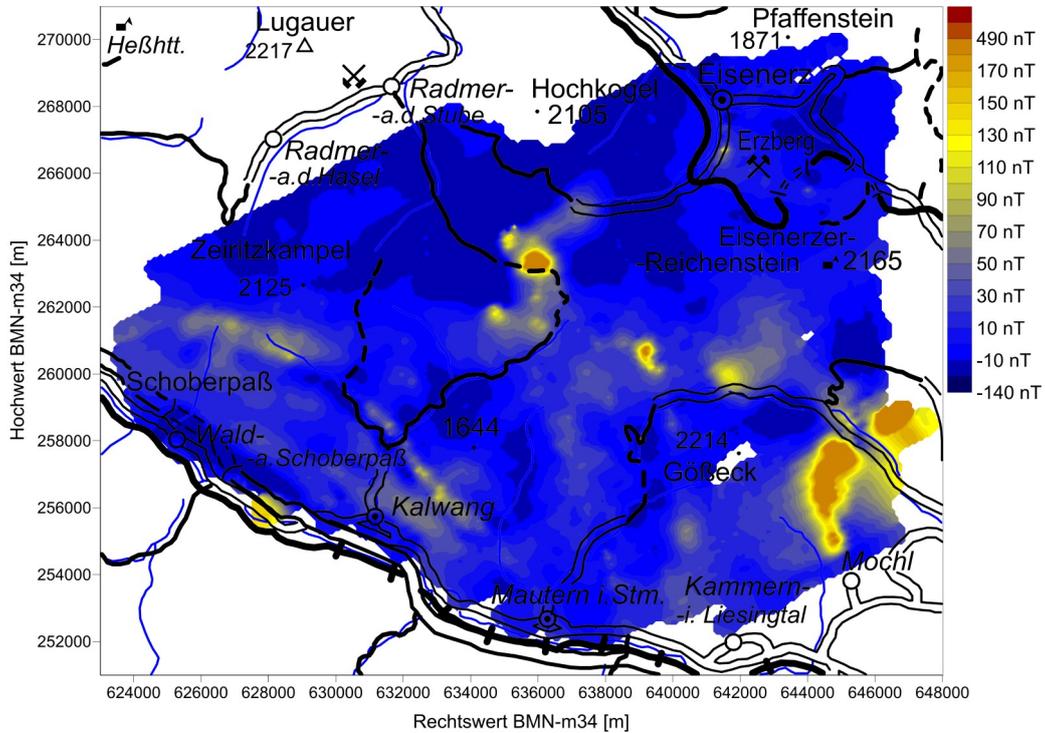


Abbildung 11: Restfeld aus gemessener abzüglich berechneter (Modell200B und Modell100C) magnetischer Totalintensität.

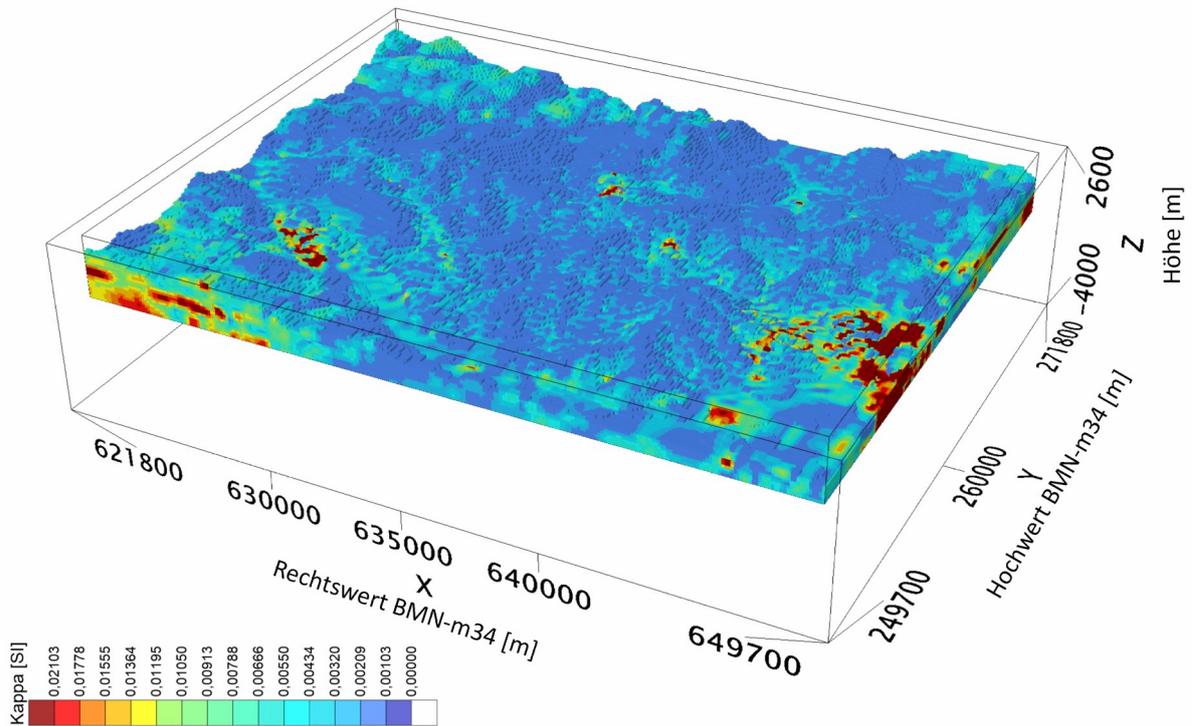


Abbildung 12: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa). Aus dem Modell100B herausgeschnittener Teil (Modell50A). Die einzelnen Kuben mit 100 m Seitenlänge wurden in je 8 Kuben mit 50 m Seitenlänge geteilt und einer Tiefpassfilterung unterzogen.

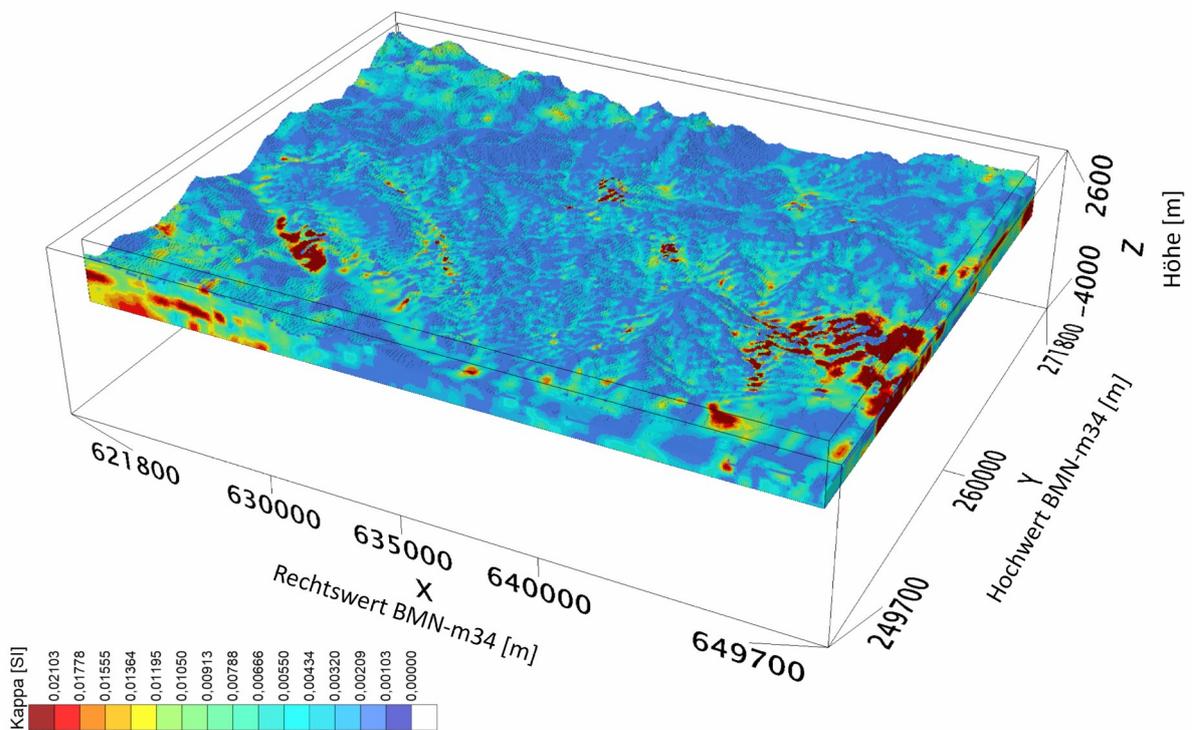


Abbildung 13: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa). Ergebnis der Inversion mit Kuben von 50 m Seitenlänge (Modell50B).

Setzt man Modell200B, Modell100C und Modell50B zusammen (Abb. 14), so erhält man ein 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität, dessen theoretische magnetische Totalfeldstärke (Abb. 15) gut der gemessenen magnetischen Totalfeldstärke entspricht.

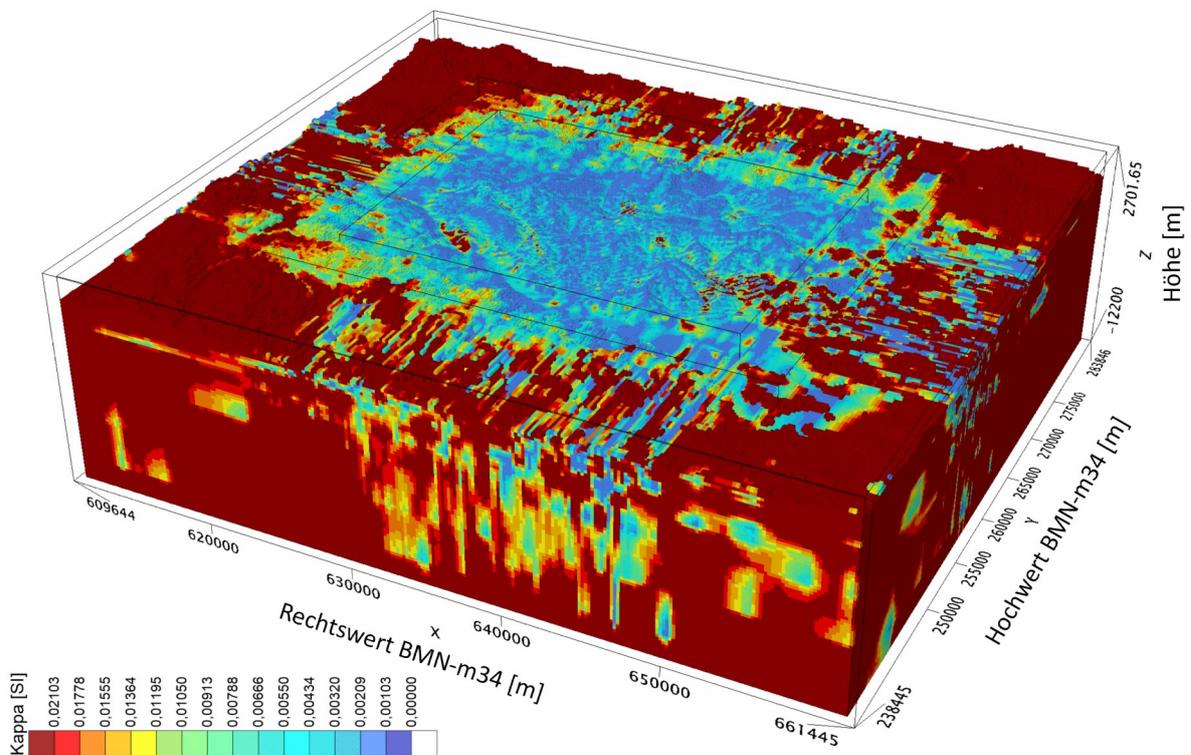


Abbildung 14: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität, zusammengesetzt aus Modell200B, Modell100C und Modell50B.

Das Restfeld zur gemessenen magnetischen Totalintensität (Abb. 1) hat einen Medianwert von 0,39 nT. 98 % aller Abweichungen liegen zwischen -6,22 nT und 5,32 nT. Die maximalen Abweichungen liegen bei -75,58 nT bzw. 66,16 nT.

Würde man den gesamten Modellbereich mit Kuben mit 50 m Seitenlänge modellieren, wären dafür ca. 250 Millionen Kuben notwendig. Eine derartige Inversion wäre, falls überhaupt möglich, extrem zeitaufwendig und höchstwahrscheinlich sehr instabil. Dass man jene Kuben, welche außerhalb des eigentlichen Messgebiets liegen, größer macht als innerhalb des Messgebiets, ist eine durchaus übliche Vorgehensweise. Durch die stufenweise Verringerung der Kubengröße und der Verwendung des Vorgängermodells für die Inversion mit der nächstkleineren Kubengröße wird außerdem eine Überanpassung des 3D-Modells an Artefakte in den Messdaten eingedämmt. Bei dieser Vorgangsweise wird jedoch angenommen, dass langwellige Anomalie-Anteile von weit entfernten bzw. tiefen Quellen stammen. Hat man Grund zur Annahme, dass langwellige Anomalien-Anteile von oberflächennahen, aber lateral graduellen Änderungen der Suszeptibilität

innerhalb des Messgebiets verursacht werden, müsste die hier beschriebene Vorgangsweise entsprechend angepasst werden.

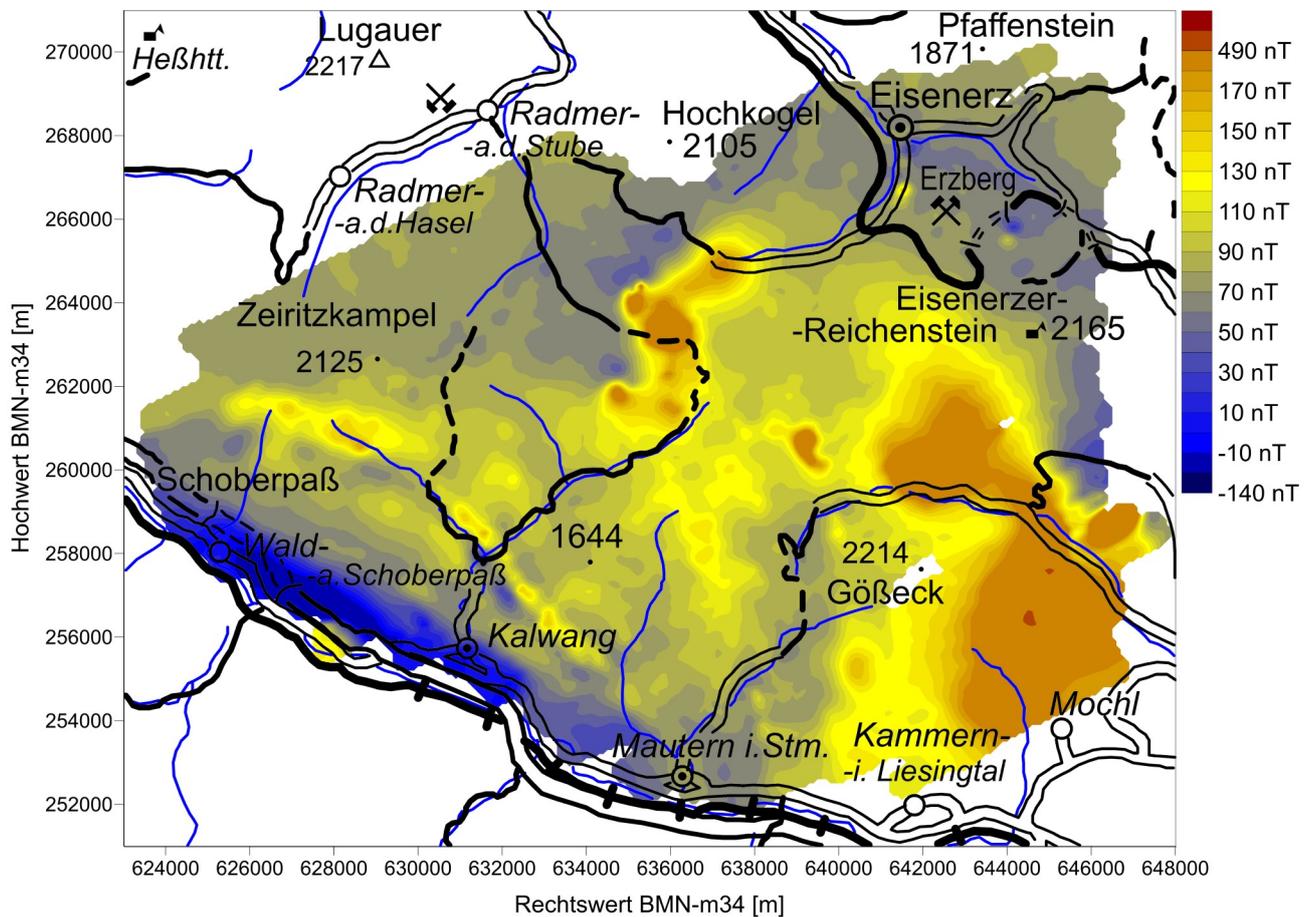


Abbildung 15: Berechnete magnetische Totalintensität des aus Modell200B, Modell100C und Modell50B zusammengesetzten Gesamtmodells der magnetischen Suszeptibilität (vgl. Abb. 14).

Ein geologische Interpretation des 3D-Modells der magnetischen Suszeptibilität sollte natürlich nur für das Modell50B und hier nur innerhalb jenes Gebietes erfolgen, in dem das Magnetfeld gemessen wurde (Modell50C, Abb. 16).

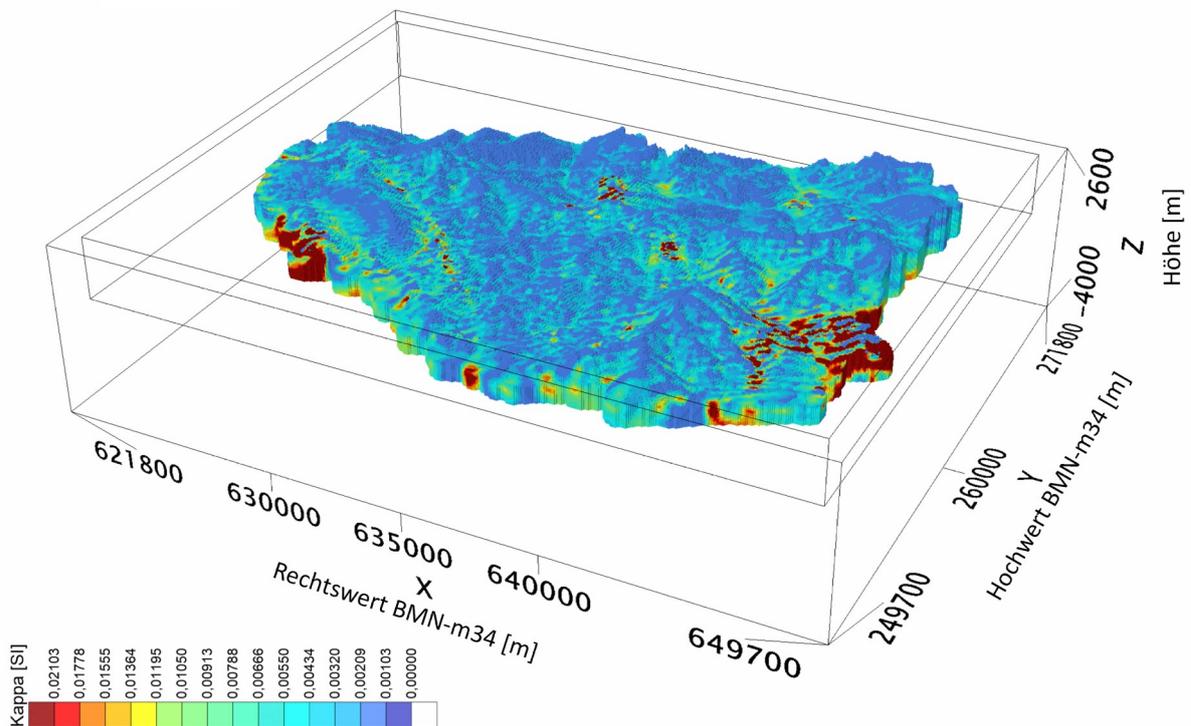


Abbildung 16: 3D-Modell der magnetischen Suszeptibilität (Kappa). Ergebnis der Inversion mit Kuben von 50 m Seitenlänge. Dargestellt sind nur jene Bereiche, in denen Messwerte vorliegen (Modell50C).

2. 3D-Modell der Geologie im Messgebiet Eisenerz

Es wurden 22 parallele geologische S-N Profile mit weitestgehend regelmäßigen Abständen von zumeist 1 km durch das Untersuchungsgebiet konstruiert (Abb. 17 bis 19).

Als Profillinien wurden zumeist die Gitterlinien des österreichischen BMN-M34 zwischen Rechtswert 625000 und Rechtswert 646000 gewählt. Die Topographie (Verschnitt mit der Geländeoberfläche) der Profillinien wurde mittels der Software „Arc Hydro Groundwater Tools 3.4“ aus dem digitalen Geländemodell der Steiermark entnommen. Als geologische Kartengrundlage dienen im Wesentlichen die geologische Karte 1:50 000 ÖK 101 – Eisenerz (BRYDA & VAN HUSEN, 2010), sowie die Geofast Karten 1:50 000 ÖK 100 – Hieflau (KREUSS, 2014), ÖK 131 – Kalwang (JOANNEUM RESEARCH, 1999) und ÖK 132 – Trofaiach (MOSER, 2015). Bei den, für die Erstellung der Profillinien notwendigen, Geofast-Karten stellte sich die Tatsache, dass geologische Karten verschiedenster Autoren und unterschiedlichen Alters als Grundlage dienen, als sehr problematisch heraus. Es war in einigen Fällen nicht von Vornherein klar, ob mit derselben Bezeichnung auch immer dasselbe gemeint ist. Andererseits wird gelegentlich ein und dasselbe Schichtglied unter verschiedenen Bezeichnungen geführt. Hier musste in Einzelfällen auf die

handkolorierten Originalkarten des Archivs der GBA zurückgegriffen werden, bei denen allerdings altersbedingte Farbveränderungen die Interpretation deutlich erschweren.

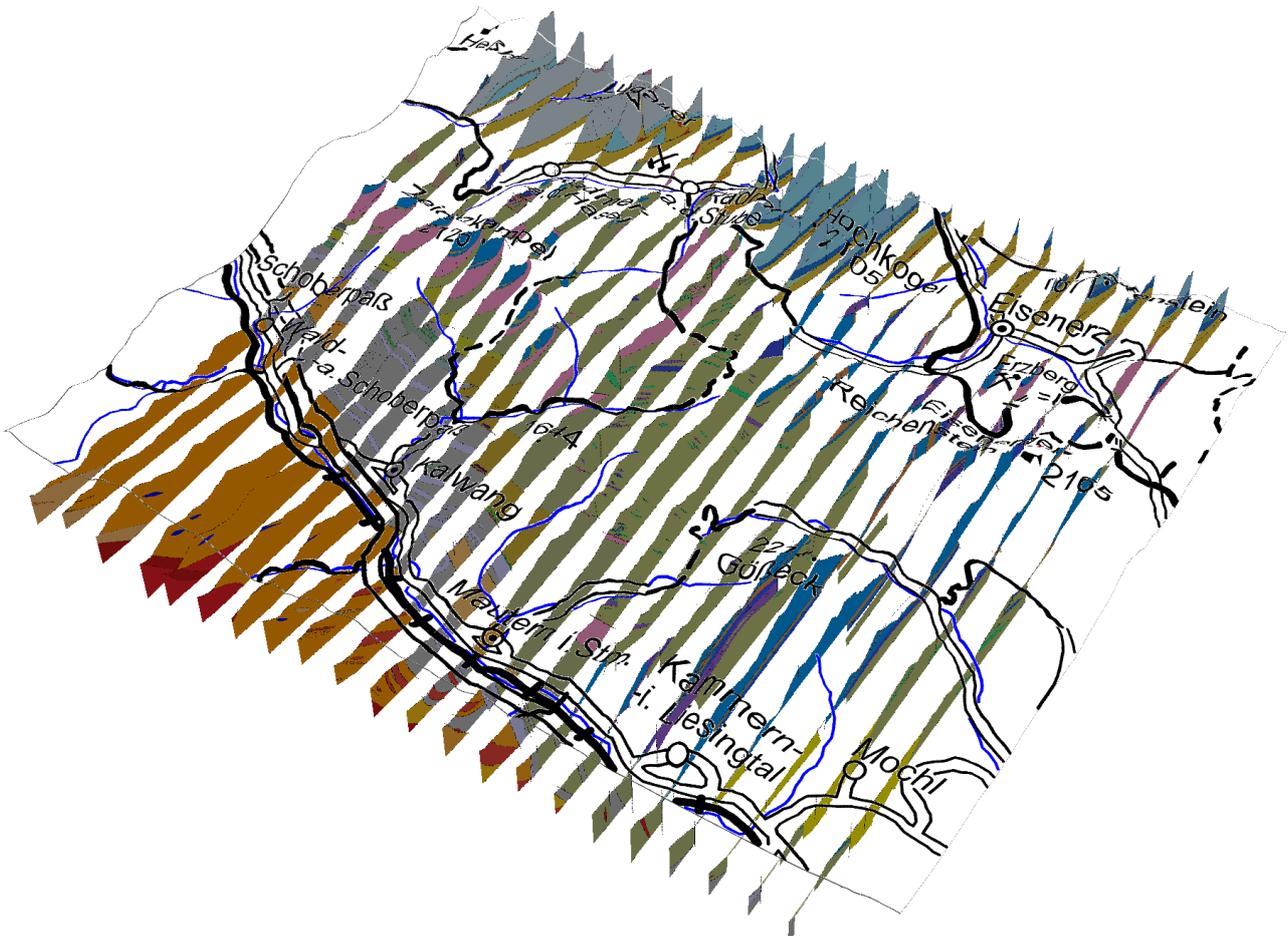


Abbildung 17: S-N-Profilschnitte der Geologie. Die Legende dazu ist in Abbildung 19 dargestellt.

Zur Verifizierung wurden zusätzlich zahlreiche publizierte geologische Karten, nicht publizierte Karten aus dem Archiv der Geologischen Bundesanstalt sowie die in der Literatur zugänglichen geologischen Profile herangezogen. Aus den Profilen der Literatur konnten jedenfalls Hinweise auf das Einfallen der Schichten abgelesen werden, auch wenn die Geologie heute z. T. deutlich anders interpretiert wird. Es waren vor Allem die Profilserien von K. METZ (1938, 1940, 1953 und 1976), H. P. SCHÖNLAUB (1982) und J. LOESCHKE et al. (1990), die verlässlich und sehr hilfreich waren.

Überholte Definitionen von Serien, insbesondere der Rannach-Formation, die älteren Karten zugrunde liegen, machten andere Zuordnungen der Schichtglieder notwendig.

Unsicherheiten ergaben sich manchmal an den Blattgrenzen, wo stellenweise die Fortsetzung mancher Schichtfolge am Nachbarblatt alles andere als klar war. Unklar war auch des öfteren die stratigraphische Einstufung einzelner siliziklastischer Schichtglieder, wie z. B. die Einstufung als Gerichtsgraben-Gruppe (Ordovizium) oder Eisenerzer Schichten (Karbon), oder die teilweise



Abbildung 19: Darstellung der geologischen Schichtfolge im Untersuchungsbereich und Legende zu den S-N-Profilschnitten in den Abbildungen 17 und 18.

Außerdem brachten Probleme mit Teilen der verwendeten Software (ArcGIS bzw. Aquaveo) und in der Folge langwierige Fehlersuche die Projektabwicklung in Verzug.

3. In-situ gemessene magnetische Suszeptibilitäten

Die gesteinsbildenden Minerale mit der stärksten Magnetisierung sind die ferrimagnetischen Minerale Magnetit ($\kappa = 10^{-1}$ bis 25 SI) und Pyrrhotin ($\kappa = 10^{-2}$ bis 10^{-1} SI). Die häufigsten gesteinsbildenden Minerale weisen wesentlich geringere κ -Werte auf. Das sind diamagnetische Minerale wie z.B. Quarz, Feldspat oder Kalzit mit negativen κ -Werten um -10^{-5} SI sowie paramagnetische Minerale wie z.B. Glimmer, Amphibol oder Pyroxen mit κ -Werten von 10^{-5} bis 10^{-3} SI. Aufgrund der gegenüber den meisten gesteinsbildenden Mineralen deutlich höheren κ -Werte des Magnetit, können schon Gesteine mit relativ geringen Magnetitgehalten erhöhte magnetische Suszeptibilitäten aufweisen. Dasselbe gilt für Pyrrhotin ($\kappa = 10^{-3}$ bis 1 SI), allerdings in

geringerem Ausmaß (κ etwa 1/5 gegenüber Magnetit). Die Oxidation von Magnetit zu Hämatit im Zuge von Verwitterung reduziert die κ -Werte. Die Eisenkarbonate Siderit, Ankerit, Rohwand, die vielfach das Haupterz in zahlreichen Mineralisationen und Vererzungen im Untersuchungsgebiet darstellen (Sideritlagerstätte Erzberg, Lagerstätten in der Radmer) weisen nur geringe magnetische Suszeptibilität auf (κ -Werte im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-3} SI). Dementsprechend treten diese Vererzungen magnetisch nicht in Erscheinung. Markante magnetische Anomalien finden sich hingegen in Zusammenhang mit sulfidischen und oxidischen Mineralisationen des Untersuchungsgebiets.

Die Verteilung magnetischer Minerale innerhalb eines Gesteins ist vielfach sehr inhomogen, sodass die Suszeptibilitätsverteilung oft bis in den Kleinbereich sehr stark schwanken kann, was besonders bei Proben mit hoher Suszeptibilität ausgeprägt ist.

3.1. Suszeptibilitätswerte aus der Literatur

Das Untersuchungsgebiet Eisenerz umfasst eine geologische Abfolge vom Kristallin des Silvretta-Seckau-Deckensystems im Liegenden, über das Grauwackenzone-Deckensystem (Veitsch-Decke, Silbersberg-Decke) bis zum Tirolisch–Norischen-Deckensystem mit den basalen Schichten des kalkalpinen Mesozoikums im Hangenden.

Für das Untersuchungsgebiet bzw. dessen Nahbereich liegen aus der Literatur umfangreiche Messserien vor (MAURITSCH, 1987; METZ et al., 1978; METZ et al., 1980). Da die westliche Grauwackenzone in Salzburg und Tirol in weiten Teilen eine ähnliche Lithologie aufweist wie die „Norische Decke“ der östlichen Grauwackenzone, können auch Messergebnisse berücksichtigt werden, die im Raum St. Johann i. T. - Kitzbühel – Wörgl – Jenbach im Rahmen des Projekts TRANSALP ermittelt wurden (AHL et al., 2007).

Im Untersuchungsgebiet „Seckauer Tauern und Umrandung“ zeigen Serpentin und Chloritfels die höchsten Werte, wobei allerdings auch die größte Inhomogenität der magnetischen Eigenschaften und damit verbunden eine extreme Streuung der Suszeptibilität festgestellt wurde. Ebenfalls hohe Werte besitzen Grünschiefer, Amphibolitschiefer und reiner Amphibolit im Kristallin. Geringe Suszeptibilitätswerte haben die übrigen Gesteine des Seckauer Kristallins, mit Ausnahme einzelner Handstücke, welche Werte bis $4,0 \times 10^{-3}$ SI ergaben (METZ et al., 1980). Die Gesteine der Rannach-Formation (Serizitphyllit und Quarzit) können lokal beträchtliche Suszeptibilitäten aufweisen und sind oft die Hauptursache magnetischer Anomalien im Silvretta-Seckau-Deckensystem (MAURITSCH, 1987).

Im Grauwackenzone-Deckensystem und im Tirolisch-Norischen Deckensystem sind die basischen Vulkanite die Hauptträgergesteine hoher Suszeptibilitäten, daneben verursacht aber auch der „Erzkalk“ signifikante magnetische Anomalien (MAURITSCH, 1987). Auffallend niedrige Werte liefern hingegen manche Grüngesteine dieses Raumes, die wohl gemischt vulkanogener und siliziklastischer Bildung sind.

Von den übrigen Gesteinen des Untersuchungsgebietes zeigen nur noch einzelne Gneise und Phyllitschiefer κ -Werte, die über $1,0 \times 10^{-3}$ SI liegen (METZ et al., 1980).

3.2. In-Situ gemessene Suszeptibilitätswerte im Messgebiet Eisenerz

Die Ergebnisse der 3D-Modellierung der magnetischen Suszeptibilität sollten in lokal begrenzten Ausschnitten des Untersuchungsgebietes im Gelände verifiziert werden. Die Geländearbeiten sollten auch dazu dienen dem bearbeitenden Geologen einen unmittelbaren Eindruck der Geländesituation und der auftretenden Lithologien zu verschaffen. Es wurden zwei Detailgebiete in Aussicht genommen: Einerseits eine markante Anomalie im Talschluss des Finstergrabens (südöstlich von Radmer an der Stube – Abb. 1) im Bereich um den Ochsenkogel, wo in der geologischen Karte silurische Radschiefer mit häufigen Einschaltungen von basischen Metavulkaniten eingetragen sind. Andererseits eine langgestreckte Kette kleiner magnetischer Anomalien nördlich von Kalwang, die genau im Bereich des ehemaligen Bergbaus von „Kallwang in Obersteier“ (CANAVAL, 1895) streicht und sich darüber hinaus in beide Richtungen fortsetzt.

Da die Geländearbeit im Bereich des Finstergrabens vorerst aus jagdlichen Gründen nicht möglich war (in Absprache mit der Hohenbergischen Forstverwaltung soll das im Frühjahr 2020 nachgeholt werden), wurde im Projektjahr 2019 nur das Gebiet um Kalwang bearbeitet.

Die Geländearbeiten in der Umgebung von Kalwang fanden Ende September bzw. Anfang Oktober 2019 statt. Im Zuge dieser Arbeiten wurden an verschiedenen Stellen Messungen der magnetischen Suszeptibilität durchgeführt und teilweise Gesteinsproben genommen (Abb. 20).

Die gemessenen magnetischen Anomalien (Abb. 1) bzw. die Bereiche erhöhter magnetischer Suszeptibilität (Abb. 21) folgen hier in auffälliger Weise der sogenannten „Norischen Überschiebung“, an der die unterlagernde karbone Veitsch-Decke von ordovizisch bis permischen Schichtfolgen (möglicherweise Silbersberg-Decke) überlagert wird (Abb. 22). In den untersten Abschnitten der überschobenen Einheit liegt eine stratiforme sulfidische Vererzung auf die früher ein Bergbau ausgerichtet war.

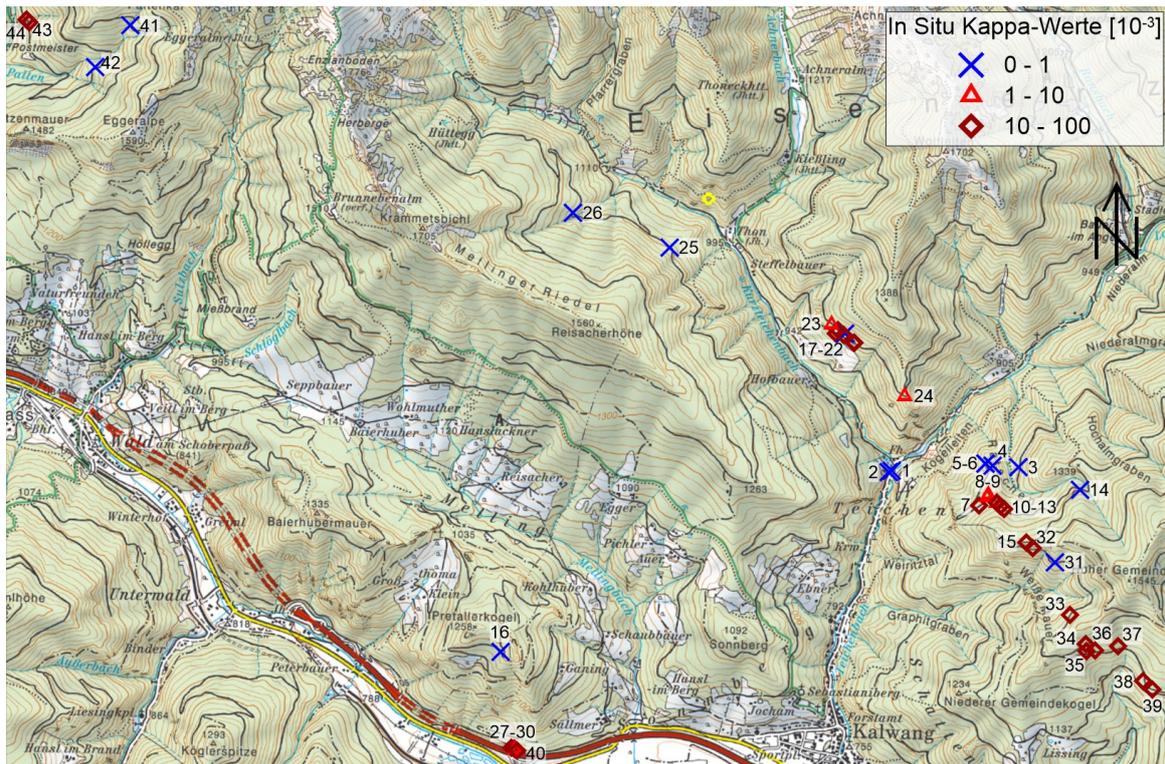


Abbildung 20: Lage der Messpunkte im Untersuchungsbereich Kalwang. Die Bezeichnungen der Messpunkte entsprechen jenen in Tabelle 1.

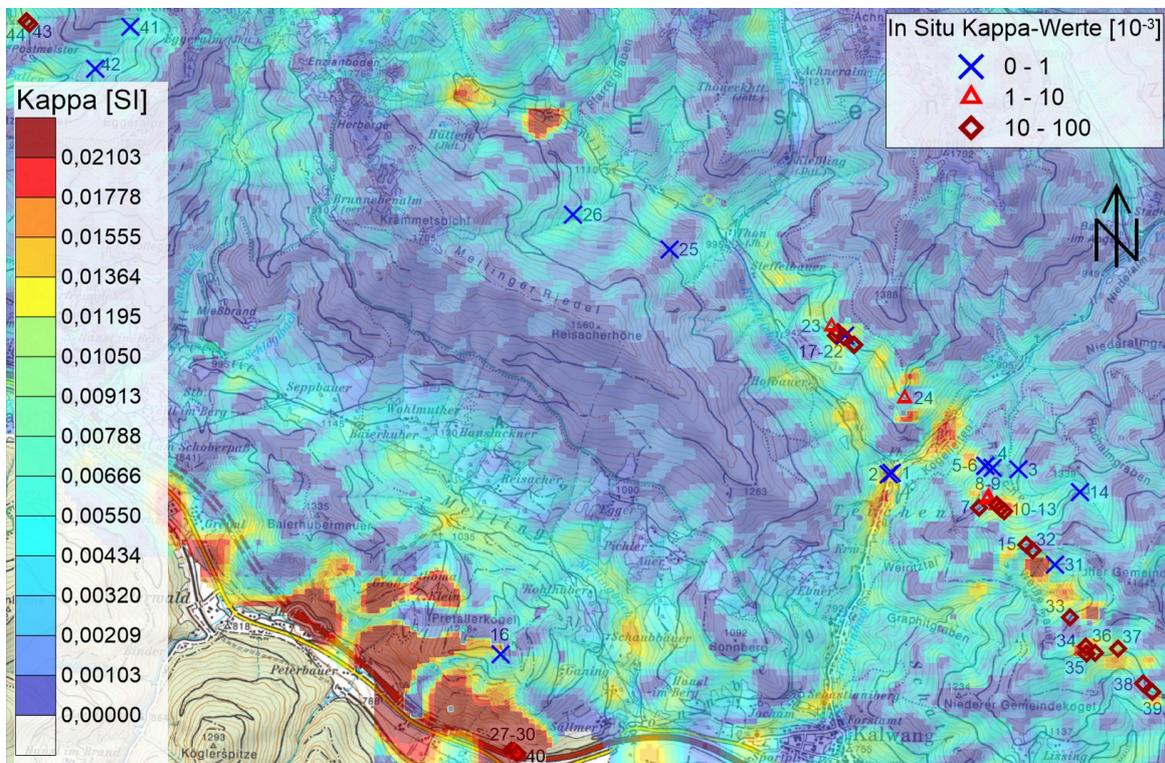
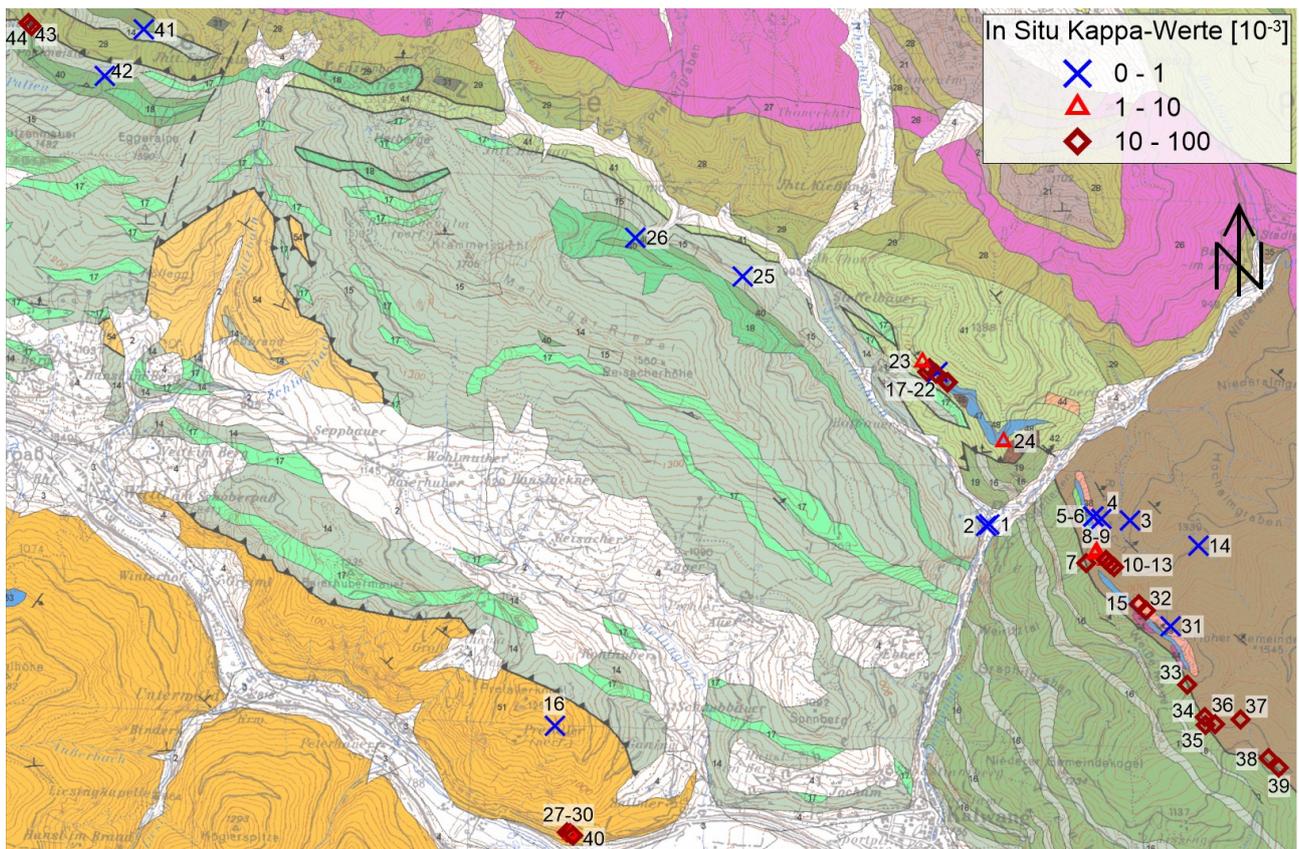


Abbildung 21: Verteilung der magnetischen Suszeptibilität an der Erdoberfläche gemäß dem 3D-Modell50C (siehe Abb. 16). Die Bezeichnungen der Messpunkte entsprechen jenen in Tabelle 1.

Tabelle 1: In-Situ gemessene magnetische Suszeptibilität [10^{-3} SI]. Die Lage der Messpunkte kann der Abbildung 20 entnommen werden. Q1...1.Quartile, Q3...3.Quartile.

Messpunkt Nr.	Anzahl Messungen	Min.	Q1	Median (Q2)	Q3	Max.	Mittelwert	Std. Abw.
1	38	-0,02	0,12	0,19	0,27	0,43	0,19	0,1
2	38	0,08	0,15	0,16	0,18	0,2	0,16	0,03
3	13	0,1	0,18	0,19	0,2	0,35	0,2	0,07
4	12	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,24	0,01
5	13	0,21	0,24	0,25	0,27	0,3	0,25	0,03
6	13	0,21	0,3	0,33	0,38	0,4	0,33	0,05
7	27	23,6	25,88	29,4	34,13	42,1	30,17	5,36
8	22	0,55	1,98	3,23	3,47	4,06	2,72	1,08
9	27	0,41	1,52	1,77	2,88	35,3	7,08	11,39
10	12	1,5	4,83	6,8	9,95	16,1	7,5	3,94
11	12	3,37	3,77	9	15,65	22,5	10,09	6,72
12	13	4,5	8,79	43,7	47,6	57	33,18	19,46
13	12	35,6	43,1	45,45	47,85	49,9	44,56	4,43
14	12	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,13	0,02
15	27	3,71	10,45	17,8	23,8	30,2	16,86	8,36
16	23	0,08	0,24	0,29	0,34	0,57	0,3	0,11
17	27	12,3	19,05	22,2	24,53	27,7	21,71	3,85
18	39	21,1	28,13	30,4	31,55	41,2	30,61	4,11
19	39	0,22	0,35	0,39	0,44	0,54	0,39	0,07
20	53	0,21	24,08	34,1	39,48	48,3	28,35	16,3
21	41	1,07	3,82	15,2	55,88	79,8	30,93	28,26
22	13	11,4	17,15	22,3	24,93	31,5	21,62	5,6
23	9	0,72	0,97	1,22	1,42	2,6	1,31	0,56
24	13	1,62	1,85	2,15	2,46	2,75	2,16	0,39
25	41	0	0,02	0,03	0,04	0,1	0,03	0,02
26	41	0,11	0,16	0,18	0,2	0,25	0,18	0,03
27	11	11,3	12,38	14	18,3	19,8	15,04	3,13
28	13	25,5	27,93	32,2	35,83	38	31,98	4,26
29	13	26,6	33,48	40,5	47,95	52,1	39,89	8,69
30	41	4,28	5,2	5,66	6,22	7	5,71	0,67
31	25	0,04	0,18	0,22	0,24	0,27	0,21	0,06
32	66	0,44	34,3	45,35	51,7	73	43,42	13,79
33	51	9,59	30,43	40,4	45,35	65,3	38,14	11,96
34	13	28,1	30,7	32,7	38,23	40,1	34	4,26
35	12	17,3	27,85	32,1	41	48,3	33,38	9,9
36	3	25,7		30,4		34,4	30,17	4,35
37	38	12,6	18,9	29,8	49,6	87,6	34,37	19,42
38	13	46,1	49,55	56,3	60,08	65,4	55,78	6,32
39	13	11,3	15,18	17,6	19,93	20,7	17,03	3,18
40	8	12,3	17	22,2	37,7	56,1	27,78	15,97
41	13	0,17	0,21	0,24	0,27	0,3	0,24	0,04
42	13	0,55	0,59	0,61	0,64	0,66	0,61	0,03
43	25	0,66	4,71	10,3	14,1	35,3	12,38	11,59
44	39	0,26	8,97	15,2	25,85	51,2	18,52	13,86



Quartär	
	2 Alluvionen, Kolluvionen, Wildbachschutt
	3 Schwemmfächer, Schwemmkegel, Murenkegel (z.T. spät- postglazial)
	4 Hangschutt, Schutthalden (teilw. Würm)
Silbersberg-Decke und Norische Decke	
	21 Erzführender Kalk (Kalk mit Siderit-Ankerit-Vererzung), Altpaläozoischer Banderkalk
	26 Radschiefer
	27 Blasseneck-Porphyrroid
	28 stärker metamorphe Randzone des Blasseneckporphyroids
	29 Grauwackenschiefer
	30 Grauwackenschiefer stärker phyllitisch metamorph, örtlich phyllonitisch
	31 graphitische Lagen in Grauwackenschiefer
	34 Kalwanger Gneiskonglomerat
	35 Schiefer, Sandstein, Serizitquarzit, Grauwacke (Schichten unter dem Porphyroid)
	36 Marmor in den Schichten unter dem Porphyroid
	37 Grünschiefer in den Schichten unter dem Porphyroid
	38 granatführende Partie unter den Schichten unter dem Porphyroid
	40 Grünschiefer
	41 höher metamorphe Gesteinsserie, z. T. postkristallin
	44 feinkörnige Plagioklasgneise, höher metamorph
	45 feinkörnige Quarzite mit Geröllen, höher metamorph
	46 grobkristalline Marmore, höher metamorph
	48 Grünschiefer in Verbindung mit grobkristallinen Marmoren
Veitsch-Decke	
	14 Sandstein, Phyllit (mit Graphit) = Graphitkarbon
	15 Konglomerat
	16 Bänderkalk
	17 helle gebänderte marmorisierte Kalke
	18 helle Kalke mit grünen Schiefen
	19 graphitischer Schiefer, Sandstein, Konglomerat
	20 Triebensteinkalk
Alpiner Verrucano (Silvretta-Seckau-Deckensystem)	
	51 Rannachserie i. A., Quarzite, Serizitquarzit, Serizitphyllit
	52 Marmorlinsen
	54 plattige Quarzite

Abbildung 22: Geologische Karte (Geofast ÖK 131 Kalwang) im Untersuchungsbereich Kalwang. Die Bezeichnungen der Messpunkte entsprechen jenen in Tabelle 1.

Eine Aneinanderreihung relativ kleiner und oberflächennaher Bereiche mit stark erhöhter magnetischer Suszeptibilität (Abb. 21 und Abb. 23 oberes Bild) folgt ziemlich genau dieser Vererzung, die durch die Lage der ehemaligen Stollenmundlöcher parallel zur Kurzen Teichen

bestens verfolgbar ist. Die meisten von uns durchgeführten in-situ Messungen der magnetischen Suszeptibilität liegen in diesem Bereich.

Die sulfidische Mineralisation im Bereich der Teichen nördlich von Kalwang liegt im Grenzbereich von Veitsch-Decke und Silbersberg-Decke (Nomenklatur nach SCHUSTER, 2016). Die Mineralisationen streichen im Hang nördlich der Kurzen Teichen von nördlich des Jagdhaus Thon gegen Südosten, queren den Graben der Langen Teichen im Bereich Kogelleiten und setzen sich in den Gräben südöstlich davon fort. Der Grenzbereich zwischen Veitsch- und Silbersberg-Decke ist durch Verschuppungen kompliziert gestaltet. Im Grenzbereich dieser Decken liegt oft eine Scherzone vor, für die eine mehrphasige Bildung von der Kreide bis ins Neogen vermutet wird (SCHUSTER, 2016).

Die Mineralisationen waren im 18. und 19. Jh. Ziel eines wirtschaftlich bedeutenden Bergbaues. Der überwiegende Teil der Bergbaue liegt in einer stark vulkanisch beeinflussten Phyllitserie („Grüngesteine“ bzw. „Höher metamorphe Gesteinsgruppe“ nach METZ, 1940) oberhalb der Deckengrenze zur Veitsch-Decke, südöstlich Kogelleiten jedoch auf beiden Seiten der kartierten Deckengrenze auch innerhalb der Veitsch-Decke.

Im Bergbau-/Haldenkataster der GBA sind Bergbaue der Kurzen und Langen Teichen zu fünf Revieren zusammengefasst: Das größte ist das Vorkommen Kalwang – Teichen mit einer Fläche von mehr als 0,5 km². Es handelt sich um eine Komplexsulfidlagerstätte mit Pyrit, Chalkopyrit und Pyrrhotin als Hauptminerale. Der Bergbau war hauptsächlich von 1662 bis 1867 und dann nochmals von 1916 bis 1928 aktiv. Die gewonnenen Rohstoffe waren Cu, Fe und Au. Nordwestlich davon liegt das Vorkommen Kurze Teichen/Thon, südöstlich davon die Vorkommen Lange Teichen/Frauenberg-Stollen, Kogelleiten/Bartolomäi-Stollen und Kleiner Puchgraben, die alle wesentlich kleiner sind. Es sind ebenfalls Komplexsulfidlagerstätten mit Pyrit, Chalkopyrit und Pyrrhotin als Hauptminerale, gewonnen wurde hauptsächlich im 18. und 19. Jh. Eisen und Kupfer. Eine neuere Bearbeitung der Lagerstättengeneese erfolgte durch SCHÄFFER und TARKIAN (1984). Weitere Informationen und ein umfassendes Literaturverzeichnis finden sich im Bergbau-/Haldenkataster der GBA.

Dieser etwa 4 km lange und 500 bis 800 m breite Zug von Mineralisationen ist durch eine Kette von Bereichen erhöhter magnetischer Suszeptibilität gekennzeichnet (siehe Abb. 21). Gegen Südosten setzt sich der Zug magnetischer Anomalien noch etwa drei Kilometer weiter fort. In diesem Bereich sind keine Bergbauaktivitäten bekannt. Auch gegen Nordwesten liegen, zwar nicht so kontinuierlich aber doch in direkter Fortsetzung des Anomalienzuges, markante magnetische Anomalien am Ende der Kurzen Teichen im Bereich der Jagdhütten Hüttegg und Pfarrergaben.

Die Messungen der magnetischen Suszeptibilität wurden mittels Kappameter vom Typ KT-5 (Geofyzika Brno) bzw. SM-20 (Gf Instruments, Brno) vorgenommen. Die eher schlechten Aufschlussverhältnisse (die Böschungen der Forststraßen waren größtenteils dick mit Moos überwachsen) machten es notwendig, die Messungen zum Großteil an Lesesteinen aus der Schuttbedeckung durchzuführen. Dabei wurde natürlich darauf geachtet, möglichst Bereiche mit Lokalschutt ohne größere Verfrachtungsweiten zu erfassen. Im Zuge dieser Messungen wurden an den Messpunkten auch insgesamt 29 Gesteinsproben genommen. Diese sollen Auskunft über den Mineralbestand, insbesondere der opaken Minerale, liefern. Es ist geplant vorläufig nur 13 dieser 29 Gesteinsproben mit Mikroskopie, Mikrosonden-Analysen und eventuell Röntgendiffraktometrie zu untersuchen. Diese Untersuchungen sollen im Projektjahr 2020 durchgeführt werden.

Die Messungen zeigten, dass hier Gesteine mit z. T. erhöhter Suszeptibilität vorliegen (siehe Tabelle 1). Zumeist konnten die im Modell50C ausgewiesenen magnetischen Suszeptibilitäten an der Oberfläche direkt im Gelände nachgewiesen werden (Abb. 21 und Tab. 1). Auch die Fortsetzung der Zone (gegen Südwesten) mit höherer Suszeptibilität (über den bekannten Bereich der Mineralisationen hinaus) konnte verifiziert werden.

Gänzlich anders war die Lage im Talschluss der Kurzen Teichen, westlich des Pfarrgrabens. Dort findet sich ein Bereich mit sehr stark erhöhter magnetischer Suszeptibilität (Abb. 21), welcher in der NW- bis WNW-Fortsetzung des Anomalienzuges der Lagerstätte Kalwang liegt. Hier befindet sich jedoch ein mehrere Meter mächtiger Schuttkörper, welcher von mehreren reichlich Wasser führenden Rinnen gespeist wird. Im Bereich der stark erhöhten magnetischen Suszeptibilität konnte kein anstehendes Gestein aufgefunden werden.

Nicht im Gelände verifiziert werden konnte auch ein zweiter Zug stark erhöhter magnetischer Suszeptibilität, der in wenigen 100 m Entfernung parallel zum oben beschriebenen Zug südwestlich von diesem verläuft (Abb. 21 und 23). Er streicht im Taleinschnitt der Kurzen Teichen und südlich davon und liegt innerhalb des graphitführenden Karbons der Veitsch-Decke. Hier waren die Aufschlussverhältnisse sehr schlecht, sodass z. T. sogar Lesesteine selten waren. Es konnten hier keine Hinweise auf Gesteine mit erhöhter magnetischer Suszeptibilität an der Oberfläche gefunden werden. Die 3D-Modellierung der magnetischen Suszeptibilität zeigt hier allerdings, dass diese Strukturen deutlich tiefer in den Untergrund verfolgbar sind und offenbar recht steil abtauchen. Das entspricht auch dem allgemeinen Schichteinfallen in diesem Gebiet. Die Abbildung 23 zeigt horizontale Schnitte durch das 3D-Modell in einer Höhe von 825 m (Nahe der Geländeoberkante) bzw. 575 m über Geoid. In beiden Horizontal-Schnitten ist dieser Bereich erhöhter Suszeptibilität jeweils im selben Gebiet klar erkennbar, was auf eine Mächtigkeit von mindestens 250 m schließen lässt. Hingegen ist diese Struktur in der berechneten Suszeptibilität an der Erdoberfläche deutlich weniger ausgeprägt.

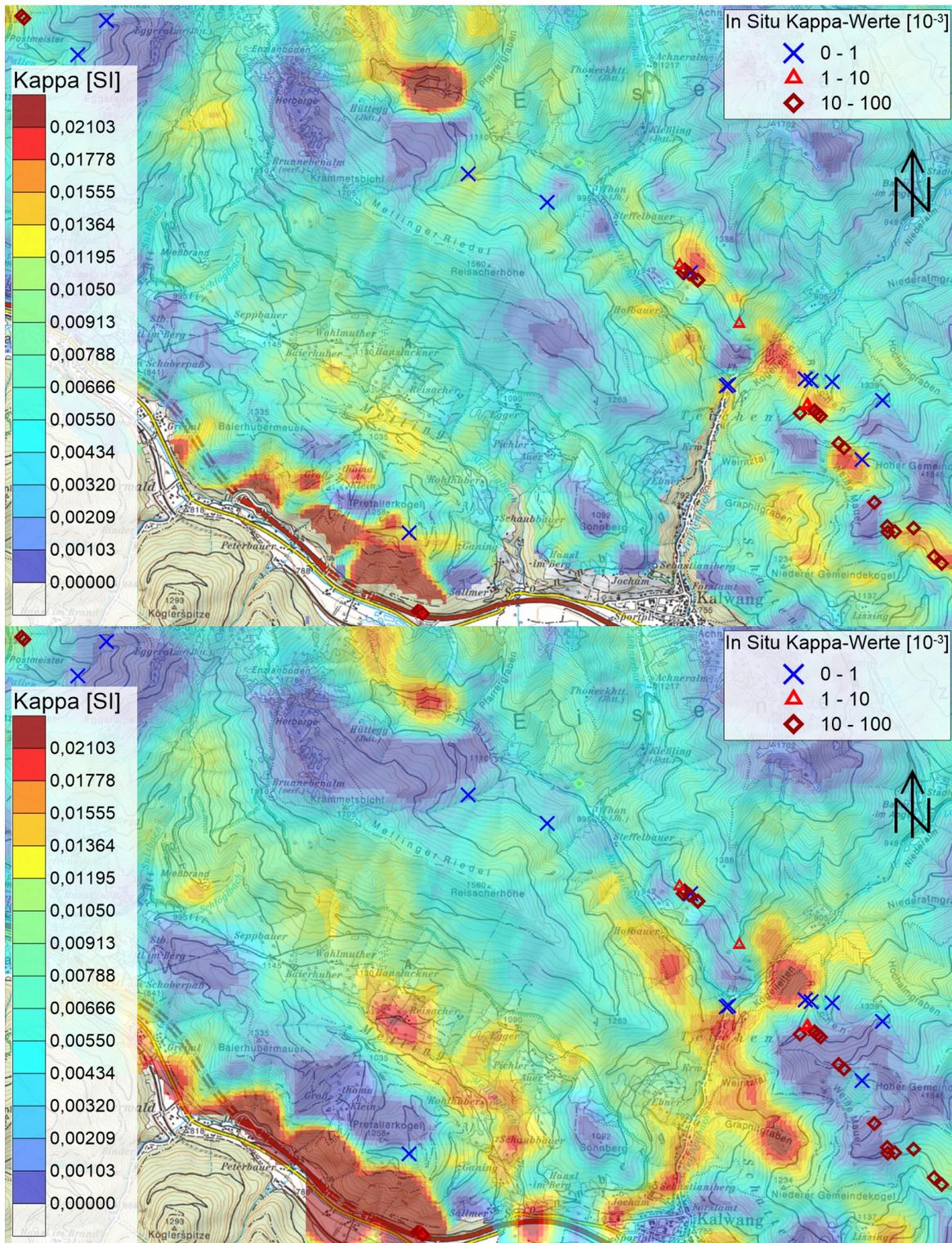


Abbildung 23: Verteilung der magnetischen Suszeptibilität in einer Höhe von 825 m (oberes Bild) bzw. 575 m (unteres Bild) über Geoid gemäß dem 3D-Modell50C (Abb. 16). Horizontale Schnitte durch das 3D-Modell.

Dies legt nahe, dass stärker magnetisierte Gesteine hier tiefer im Untergrund stecken und möglicherweise nicht ganz bis an die Oberfläche reichen. Als plausible Ursache der erhöhten

magnetischen Suszeptibilität könnte eventuell eine Mineralisation ähnlich der oben erwähnten angenommen werden. Andererseits könnten auch basische Metavulkanite innerhalb der Karbonschichtfolge, die hier an der Oberfläche nicht auftreten, im Untergrund verborgen sein. Zu Vergleichszwecken wurden im Rahmen der Geländetätigkeit als Karbon eingestufte basische Metavulkanite im Paltenkar nördlich der Eggeralpe (nördlich Wald am Schoberpaß, Messpunkte 41 bis 44) untersucht, wobei dort lokal durchaus sehr hohe Werte der magnetischen Suszeptibilität festgestellt wurden.

Weiters wurde der Bereich erhöhter magnetischer Suszeptibilität westlich von Kalwang, direkt im Liesingtal, begangen. Im Bereich des Pretallerkogels konnten keine erhöhten Werte der magnetischen Suszeptibilität festgestellt werden. Am südlichen Hangfuß des Pretallerkogels wurden in gut gerundeten Geröllen (< 10 cm) immer wieder hohe Suszeptibilitäten gemessen. Die magnetisierten Gerölle waren alle vom lithologischen Typ des Alpenen Verrucano (Serizitquarzite bis -phyllite der Rannach-Formation). Bei den Ablagerungen handelt es sich vermutlich um eine Mischung von glazialen Sedimenten und Hangschutt.

4. Ausblick

Im Projektjahr 2020 soll die Bearbeitung der gemessenen magnetischen Totalintensität im Messgebiet Gmünd abgeschlossen werden. Im Anschluss daran soll der am Messgebiet Eisenerz entwickelte Verfahrensablauf übernommen und erprobt werden. Parallel zur Bearbeitung der geophysikalischen Daten soll auch hier ein 3D-Modell der bekannten Geologie erstellt werden.

Sobald die Witterung es zulässt und es im fraglichen Gebiet auch keine Jagdaktivitäten mehr gibt, sollen im Messgebiet Eisenerz die Geländearbeiten im Bereich des Finstergrabens bzw. des Ochsenkogels durchgeführt werden. Darüber hinaus sollen noch Gesteinsproben aus dem Messgebiet Eisenerz näher untersucht werden. Dazu sind mikroskopische Untersuchungen an Dünnschliffen und Messungen mittels Mikrosonde angedacht. Nach Abschluss dieser Arbeiten kann für das Messgebiet Eisenerz eine Gesamtinterpretation des 3D-Modells der magnetischen Suszeptibilität erfolgen.

5. Literaturverzeichnis

- AHL, A., SLAPANSKY, P., BELOCKY, R., PIBER, A., SEIBERL, W., ZECHNER, M. & MAURITSCH, H. J. (2007): Regional Distribution of Magnetic Susceptibilities and 3 D Modelling of Aeromagnetic Anomalies in the Central Eastern Alps (Western Tauern Window), Austria. - Austrian Journal of Earth Sciences, **100**, 138-151, Wien.
- BRYDA, G. & VAN HUSEN, D. (2010): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, ÖK 101 Eisenerz. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- CANAVAL, R. (1895): Das Kiesvorkommen von Kallwang in Obersteier und der darauf bestandene Bergbau. - Mittheilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark, 31, 3-109, Graz.
- JOANNEUM RESEARCH (1999): Geofast - Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 - ÖK 131 Kalwang: Stand 1999, 1 Bl., Wien.
- KREUSS, O. (2014): Geofast - Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der GBA 1:50.000 – ÖK 100 Hieflau: Stand 2014, 1 Bl., Wien (GBA).
- LOESCHKE, J., KRETZSCHMAR, TH., LANGER, V & STRECK, M. (1990): Zur Geologie der Norischen Decke nordwestlich von Kalwang (Eisenerzer Alpen, Steirische Grauwackenzone / Österreich). - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 133, 345-363, Wien.
- MAURITSCH, H. J. (1987): Bodengeophysikalische Identifizierung von aeromagnetischen Anomalien im Bereich der östlichen Grauwackenzone sowie der Fischbacher Alpen. - Endbericht 1987. - Unveröffentlichter Bericht Projekt St-C-027/86, 23 Bl., Leoben.
- METZ, K. (1938): Die Geologie der Grauwackenzone von Leoben bis Mautern, - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 88, 165-193, Wien.
- METZ, K. (1940): Die Geologie der Grauwackenzone von Mautern bis Trieben. – Mitteilungen der Reichsstelle für Bodenforschung, Zweigstelle Wien, 1, 161-220, Wien.
- METZ, K. (1953): Die stratigraphische und tektonische Baugeschichte der steirischen Grauwackenzone. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 44, 1-84, Wien.
- METZ, K. (1976): Der geologische Bau der Seckauer und Rottenmanner Tauern. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 119, 151-205, Wien.

- METZ, K., SCHMID, CH. & WEBER, F. (1978): Magnetische Messung im Fohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbecken und seiner Umrahmung. - Mitteilungen der Österreichischen geologischen Gesellschaft, 69, 49-75, Wien.
- METZ, K., SCHMID, CH., SCHMÖLLER, R., STRÖBL, E., WALACH, G. & WEBER, F. (1980): Geophysikalische Untersuchungen im Gebiet Seetaler Alpen – Niedere Tauern – Eisenerzer Alpen. - Mitteilungen der Österreichischen geologischen Gesellschaft, 71/72, 213-259, Wien.
- MOSER, M. (2015): Geofast - Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der GBA 1:50.000 – ÖK 132 Trofaiach: Stand 2015, 1 Bl., Wien (GBA).
- SCHÄFFER, U. & TARKIAN, M. (1984): Die Genese der stratiformen Sulfidlagerstätte Kalwang (Steiermark), der Grünsteinserie und einer assoziierten silikatreichen Eisenformation. - Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **33**, 169-186.
- SCHÖNLAUB, H. P. (1982): Die Grauwackenzone in den Eisenerzer Alpen. - Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 124, 361-423, Wien.
- SCHUSTER, R. (2016): Grauwackenzone und Veitsch-Silbersberg-Deckensystem. - Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Geologie der Kartenblätter GK50 ÖK 103 Kindberg und ÖK 135 Birkfeld, Mitterdorf im Mürztal 21.–25. September 2015, 2. Auflage, 38–43, Wien.