



# Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen Anhang 2.5

– Fachliche Hintergrundinformationen –  
Methodenvergleich zur Lokalisierung  
von Sprengtrichtern



# Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen Anhang 2.5

- Fachliche Hintergrundinformationen –  
Methodenvergleich zur Lokalisierung  
von Sprengtrichtern

## Impressum

Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen – Anhang 2.5 Methodenvergleich zur Lokalisierung von Sprengtrichtern

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: (08 21) 90 71-0  
Fax: (08 21) 90 71-55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

Alexander Schwendner  
LGA Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg  
Tel.: (0911 655-5620  
Fax: (0911) 655-5699  
E-Mail: [geo@lga.de](mailto:geo@lga.de)  
Internet: [www.lga-geo.de](http://www.lga-geo.de)

### Redaktion:

LfU Referat 95 "Altlasten, schädliche Bodenveränderungen"

### Bildnachweis:

siehe Bildnachweis auf Seite 45

### Stand:

September 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kernaussagen</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>6</b>
<b>2 Auswahl der Testplätze</b>	<b>8</b>
<b>3 Vorarbeiten</b>	<b>9</b>
<b>4 Feldversuche</b>	<b>10</b>
4.1 CIR-Befliegung	10
4.1.1 Methodik	10
4.1.2 Geländeaufnahme	10
4.1.3 Auswertung	11
4.1.4 Ergebnisse Standort SD	11
4.1.5 Ergebnisse Sprengplatz A	11
4.2 Geomagnetische Aufnahme	15
4.2.1 Methodik	15
4.2.2 Geländeaufnahme	15
4.2.3 Ergebnisse Standort SD	16
4.2.4 Ergebnisse Sprengplatz A	16
4.3 Vermessung mittels Georadar	19
4.3.1 Methodik	19
4.3.2 Feldarbeiten Standort SD	21
4.3.3 Ergebnisse Standort SD	22
4.3.4 Feldarbeiten Sprengplatz A	22
4.3.5 Ergebnisse Sprengplatz A	25
<b>5 Bewertung der Ergebnisse</b>	<b>34</b>
5.1 CIR-Aufnahme	34
5.2 Geomagnetik	35
5.3 Georadar	38
<b>6 Folgerungen</b>	<b>43</b>
<b>7 Fehlerbetrachtung</b>	<b>44</b>



## Kernaussagen

Sollte eine Lokalisierung von Sprengtrichtern an Hand von Luftbildern oder Archivalien nicht möglich sein, so scheinen geomagnetische Flächensondierungen eine verlässliche Alternative darzustellen. Georadar und IR-Aufnahme liefern dagegen offensichtlich keine belastbaren Ergebnisse.

## Zusammenfassung

Auf den meisten Sprengplätzen sind die entstandenen Trichter nach Beendigung der Vernichtungsarbeiten mit Auswurf und/oder anderem Fremdmaterial rückverfüllt worden. Danach wurden die Flächen im Regelfall entweder wieder landwirtschaftlich genutzt oder aufgeforstet. Beides hat dazu geführt, dass die ehemaligen Sprengtrichter im heutigen Gelände nicht mehr oder nicht mehr alle ersichtlich sind. Vom Kontaminationspotenzial stellen die Trichter jedoch die Verdachtsschwerpunkte eines Sprengplatzes dar, da die Rückstände durch die Rückverfüllung des belasteten Auswurfs hier aufkonzentriert worden sind. Vor bzw. im Rahmen einer Orientierenden Erkundung müssen daher alle Trichter exakt in Lage und Ausdehnung rekonstruiert werden, um eine Frachtbetrachtung erstellen zu können. Im Idealfall geschieht dies durch Auswertung von Luftbildern und/oder Archivalien. In Fällen, in welchen dies nicht Ziel führend war, müssen Alternativverfahren zur Lokalisierung eingesetzt werden. Hierfür kommen prinzipiell die **Infrarotaufnahme**, die Vermessung mittels **Georadar** und **geomagnetische Flächensondierungen** in Frage. Die drei Verfahren wurden im Rahmen des vorliegenden Teilberichts parallel an zwei Standorten auf ihre prinzipielle Eignung überprüft. Ein Sprengplatz ist heute mit Wald bestanden. Auf der Testfläche waren einst knapp 80 Sprengtrichter vorhanden. Das Sprengfeld des zweiten vermessenen Sprengplatzes wird heute als Grünland genutzt. Anzahl und genaue Lage der Trichter sind hier nicht exakt bekannt.

Unter der Voraussetzung, dass die vorliegenden Ergebnisse auch für andere Sprengplätze repräsentativ sind, ist die **IR-Aufnahme** zur Lokalisierung von Sprengtrichtern **ungeeignet**. Auf dem mit Wald bestandenem Platz konnten weder visuell noch computergestützt Strukturen erkannt werden. Auf dem Wiesenstandort wurden insgesamt 36 Verdachtsstrukturen auskartiert. Sie sind jedoch von Anordnung und Größe nicht für Trichter bzw. ein Trichterfeld charakteristisch und erscheinen daher unplausibel. Rückverfüllte Sprengtrichter verursachen offensichtlich keine Veränderungen im Chlorophyll-Gehalt, die sich in den IR-Aufnahmen abbilden.

Auch das **Georadar** ist zur Lokalisierung von Trichtern **ungeeignet**. Auf dem Waldstandort lag die Trefferquote bei lediglich bei 7 %. Auf dem Wiesenstandort wurden 80 unterschiedlich große Verdachtsstrukturen ausgewiesen. Auch hier erscheinen die Ergebnisse hinsichtlich Lage und Anordnung nicht plausibel, weshalb davon auszugehen ist, dass wie bereits beim Waldstandort die Belastbarkeit nicht ausreichend ist.

Nach den derzeitigen Erkenntnissen ist die **Geomagnetik** das einzige **empfehlenswerte Verfahren**. Die Erfolgsquote lag auf dem Waldstandort bei 75%. Auch beim Wiesen-Standort wurden plausible Ergebnisse erhalten. Die geomagnetischen Anomalien decken sich nicht mit den Ergebnissen des IR und des Georadars. Auf beiden Plätzen zeichnen sich die ehemaligen Sprengtrichter durch rundliche Bereiche mit deutlich erhöhten magnetischen Flussdichten aus (knapp 100 nT/m). Die Ursache hierfür ist derzeit noch unklar. In Frage kommen Kampfmittel, aufmagnetisierte, evtl. sehr kleine Munitionssplitter, nicht-kampfmittelbürtiger militärischer Müll oder Siedlungsabfälle.

## 1 Einführung

Auf den meisten Sprengplätzen in Bayern sind die entstandenen Trichter nach Beendigung der Vernichtungsarbeiten mit Auswurf und/oder anderem Fremdmaterial rückverfüllt worden. Danach wurden die Flächen im Regelfall entweder landwirtschaftlich genutzt oder aufgeforstet. Beides führte dazu, dass die ehemaligen Vertiefungen im heutigen Gelände nicht mehr oder nur noch teilweise ersichtlich sind. Auf vielen Standorten zeugt allein das Vorhandensein von Splintern (und gegebenenfalls Fundmunition) von den früheren Sprengungen.

Trichter stellen die Verdachtsschwerpunkte dar, da die Detonationsrückstände durch die Rückverfüllung des belasteten Auswurfs hier aufkonzentriert worden sind. Vor bzw. im Rahmen einer Erkundung gilt es daher, alle Trichter exakt in Lage und Ausdehnung zu rekonstruieren, um eine Frachtbetrachtung erstellen zu können. Dies geschieht durch Auswerten von **Luftbildern** und/oder **Archivalien**. Grenzen sind der **Luftbildauswertung** gesetzt, wenn

- keine Aufnahmen aus geeigneten Zeitschnitten vorhanden sind: (i. d. R. 1945 bis Mitte der 50er Jahre)
- die Bildqualität zu schlecht ist, d. h. zu helle Reflexionen vorliegen oder Sprengflächen bereits bewachsen sind,
- der Maßstab zu klein ist. Brauchbar sind Maßstäbe < 1:20.000, oder
- die Sprengstellen im Laufe der Vernichtungen (mehrmals) verlegt wurden bzw. Trichter „übersprengt“ wurden und deren Auswurfmassen sich überlagern.

In den Standortunterlagen ist zwar zum Teil die Anzahl der Sprengtrichter vermerkt, die dazugehörigen Handskizzen erlauben in der Regel jedoch keine ausreichende lagemäßige Bestimmung. Häufig weicht auch die bildliche von der textlichen Trichteranzahl ab.

Führen beide Methoden nicht zum Ziel, so blieb bisher nur das Anlegen von **Schürfgräben** zur Lokalisierung. Diese sind stets mit umfangreichen Eingriffen ins Erdreich und/oder den Baumbestand verbunden und zeitintensiv. Somit stellt sich die Frage, welche aussagekräftigen, praktikablen und kostengünstigen Alternativverfahren einsetzbar sind. Prinzipiell kommen hierfür geomagnetische und geoelektrische Messungen, Messungen mittels Georadar sowie die Aufnahme der Geländeoberfläche im Infrarot-Wellenlängenbereich in Frage.

Bei der **computergestützten geomagnetischen Geländeaufnahme**, der so genannten Flächensondierung, werden mittels einer Messsonde Abweichungen vom natürlichen magnetischen Feld der Erde aufgezeichnet und in farbigen Anomalieplänen dargestellt. Ursächlich für Abweichungen vom Magnetfeld können auf Sprengplätzen vor allem Blindgänger und Munitionssplinter sein. Ihre räumliche Verteilung oder Konzentrierung kann Hinweise auf Sprengtrichter geben.

Ein mögliches Verfahren zur Trichtererkennung ist das **Georadar**. Die Sprengungen haben zu einer Verdichtung des Trichteruntergrunds geführt. Die Wiederverfüllungen wurden dagegen unverdichtet eingebaut. Es ist möglich, dass sich der Grenzbereich zwischen den beiden Lagen durch Unterschiede im Wassergehalt oder der Durchlässigkeit für elektromagnetische Wellen auszeichnet. Beides wäre mittels Georadar nachweisbar.

Eine weitere Möglichkeit wäre die **CIR-Aufnahme (Color Infrarot)** der Geländeoberfläche vom Flugzeug aus. Die Aufnahme muss in der Vegetationsperiode erfolgen. Das Prinzip besteht darin, dass rückverfüllte Trichter unter Umständen eine andere Bodenfeuchte als das Umfeld aufweisen, was zu Unterschieden im Chlorophyll-Gehalt der Blättern oder Nadeln bzw. zu Änderungen in der Vitalität der Pflanzen führen kann. Dies lässt sich mittels CIR-Aufnahmen visualisieren.

Bei einer **geoelektrischen Geländeaufnahme** wird die Leitfähigkeit bzw. der Widerstand des Untergrunds gemessen. Sprengtrichter wurden jedoch meist mit Auswurf rückverfüllt, der die gleiche Leitfähigkeit wie das Umfeld besitzt. In Regelfall wird dieses Verfahren daher keine verwertbaren Ergebnisse liefern und kommt als Alternative nicht in Betracht.

Ziel des vorliegenden Teilprojektes war es, die drei prinzipiell geeigneten Verfahren „Geomagnetik“, „Georadar“ und „CIR-Aufnahme“ auf ihre Anwendbarkeit bzw. ihre Aussagekraft zu überprüfen. Dies erfolgte parallel an zwei Testplätzen

Die CIR-Befliegung mit Luftbildauswertung führte in unserem Auftrag die Firma *SLU, Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen*, Gräfelfing, durch. Die Vermessungen mittels Georadar übernahmen die *LGA Bautechnik GmbH*, Nürnberg (Standort SD) und die *analytec Dr. Steinhau, Ingenieurgesellschaft für Baugrund, Geophysik und Umweltengineering mbH*, Chemnitz (Standort A). Mit den geomagnetischen Untersuchungen war die *Fa. Schollenberger Kampfmittelsondierung*, Celle, betraut.

## 2 Auswahl der Testplätze

Bei der Auswahl der Testplätze waren folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Eine Testfläche sollte heute mit Bäumen bestanden sein (Wald), die andere sollte landwirtschaftlich genutzt sein.
- Um die Interpretationen validieren zu können, sollten von den Standorten repräsentative Luftbilder oder auswertbare Pläne vorliegen.
- Aus Kostengründen sollten die zu lokalisierenden Trichter nahe beieinander liegen.

**Sprengplatz A** wurde als Waldstandort ausgewählt. Er eignet sich in dreierlei Hinsicht gut für die Fragestellung:

- Es liegt ein Luftbild von 1952 vor, das in sehr guter Qualität ein großes Trichterfeld von über 100 Trichtern zeigt.
- Die Trichter liegen nahe beieinander.
- Im heutigen Gelände sind keine signifikanten Hinweise auf die ehemaligen Trichter zu erkennen.

**Sprengplatz SD** wird landwirtschaftlich genutzt. Er ist bisher kaum erkundet, wurde aber als einer der beiden im Rahmen der Arbeitshilfe modellhaft zu erkundenden Standorte ausgewählt. Laut Archivalien waren hier vermutlich mindestens 48 Trichter vorhanden. Auswertbare Luftbilder oder Planunterlagen liegen nicht vor. Die Luftbildaufnahme von 1959 lässt allenfalls vage einige Verdachtsstellen erahnen. Auch auf dem Standort SD sind keine signifikanten Geländemerkmale vorhanden, die auf die Lage der früheren Trichter schließen lassen. Mit der Projektleitung wurde vereinbart, diesen Platz trotz fehlender Luftbilder als zweiten Testplatz auszuwählen.

Beide Standorte werden in vorliegendem Bericht vereinbarungsgemäß anonymisiert.

### 3 Vorarbeiten

Am Standort A wurde das vorhandene Luftbild gescannt, georeferenziert und die identifizierbaren Trichter abdigitalisiert. Als Referenzierungsgrundlage diente die Flurkarte. Am Standort SD bildete die Luftaufnahme von 1959 die Arbeitsgrundlage. Die beiden Aufnahmen wurden mit den aktuellen Flurkarten überlagert. Pro Testplatz wurde sodann im GIS ein je 40.000 m<sup>2</sup> großes Testfeld ausgewiesen, dessen Lage sich mit dem Hauptsprengfeld (Standort A) bzw. dem vermuteten Sprengbereich (Standort SD) deckte. Begrenzungen bildeten, soweit möglich, Wald- oder Feldwege.

Die beauftragten Fachfirmen erhielten die Eckkoordinaten der Testflächen, die Flurkarte im geo-tif-Format und die Aufgabenstellung. Der Ergebnisbericht sollte folgende Aspekte enthalten:

- die Dokumentation der durchgeführten Arbeiten und der verwendeten Geräte,
- die Darstellung der angewendeten Methodik und des Auswerte-Modus,
- einen farbigen Plan mit Anzahl, Lage und Durchmesser der vermuteten Sprengtrichter,
- Erläuterungen zum Interpretationsansatz,
- die Infrarot-Aufnahme als georeferenzierter tif-file (*SLU*)
- die Geomagnetik-Messwerte als georeferenzierter tif-file (*Schollenberger*)
- die Georadar-Messwerte als georeferenzierter tif-file (*LGA Bautechnik GmbH bzw. analytec Dr. Steinhau*).
- die Auswerte-Ergebnisse als shape-file.

Das Verwenden von weiteren Hilfsmitteln zur Lokalisierung war bei der Bearbeitung nicht gestattet.

## 4 Feldversuche

### 4.1 CIR-Befliegung

Die hier angeführten zusammenfassenden Aussagen erfolgen in Anlehnung an den Abschlussbericht der *Fa. SLU*.

#### 4.1.1 Methodik

Für vorliegende Aufgabenstellung wurden Infrarotfilme verwendet, die im Wellenbereich des Nahen Infrarots (0,7 - 1,0  $\mu\text{m}$ ) empfindlich sind. In diesem Wellenbereich strahlt die Vegetation bzw. das Chlorophyll in Blättern und Nadeln das einfallende Sonnenlicht sehr stark zurück. Die Reflexion ist hierbei umso höher, je höher der Wassergehalt in Blättern bzw. Nadeln ist. Trichter sollten sich daher wegen ihren unterschiedlichen Wassergehalte und den damit verbundenen höheren Chlorophyllgehalten der Bäume im IR-Spektrum nachweisen lassen.

#### 4.1.2 Geländeaufnahme

Die Befliegung wurde am 01.09.2006 für beide Standorte durchgeführt. Für die Aufnahme wurde eine Zeiss-Reihenmesskamera RMK TOP 15/23 mit Farbinfrarot *Kodak III 1443* Dia-Film eingesetzt. Der Maßstab betrug 1:2.000, die Längsüberdeckung der Aufnahmen mindestens 60%, sodass eine stereoskopische Auswertung gewährleistet war.

Die digitalen Aufnahmen wurden mit einem photogrammetrischen Scanner bei einer Auflösung von 15  $\mu\text{m}$  erzeugt.

Die Georeferenzierung erfolgte mit *LEICA Photogrammetry Suite* (LPS). Das Aufsetzen eines Bildblocks bzw. einer so genannten Blockdatei (\*.blk) gliedert sich hierbei in die sechs Arbeitsschritte „Sensor Modellierung“, „Innere Orientierung“, „Automatische Verknüpfungspunktsuche“, „Passpunkt-messung“, „Aerotriangulation“ und „Orthophoto-Berechnung“.

Nach Einlesen der gescannten, digitalen Luftbilder in LPS werden die **Sensordaten** (Flug- und Kameradaten wie Flughöhe, Brennweite, Linsenverzerrung, Koordinaten der Rahmenmarken) eingegeben.

Bei der **inneren Orientierung** werden die Rahmenmarken in den einzelnen Luftbildern gemessen und in ein Bildkoordinatensystem überführt. Anschließend werden die Bilder manuell über zwei **Verknüpfungspunkte** pro Stereomodell miteinander verbunden. Weitere Verknüpfungspunkte pro Stereomodell werden dann automatisch vom Programm bestimmt.

Die geometrische Beziehung zwischen den Luftbildern und der Erdoberfläche bzw. dem Koordinatensystem (im vorliegenden Fall Gauß-Krüger) erfolgt über **3D-Geländepasspunkte**. Als horizontale (X-, Y-) Referenz dienten digitale Grundkartenblätter im tif-Format. Aufgrund der geschlossenen Waldbedeckung am Sprengplatz A waren hier zusätzlich digitale Orthophotos des Landesvermessungsamtes erforderlich. Die entsprechenden Höhen- (Z-) Werte bezog *SLU* aus dem so genannten SRTM-Geländemodell. Die Rohdaten in geographischen Koordinaten und mit dem Geoid WGS84 EGM96 als Referenz hat *SLU* in das Gauß-Krüger-System umgerechnet.

In der abschließenden **Aerotriangulation** werden die Parameter der äußeren Orientierung sowie die Geländekoordinaten aller in den Bildern gemessenen Punkte (Verknüpfungspunkte) in einer Ausgleichung bestimmt. Anhand eines rechnerischen und graphischen Fehlerprotokolls lassen sich fehlerhafte Pass- und Verknüpfungspunkte eliminieren. Mit Hilfe der in der Aerotriangulation bestimmten Orientierungsparameter (X-, Y-, Z-Wert, Omega, Phi und Kappa) und des Geländemodells wird dann für jedes Luftbild das entsprechende **Orthophoto** berechnet.

### 4.1.3 Auswertung

Die digitale, stereoskopische dreidimensionale **Luftbildauswertung** erfolgte an einem photogrammetrischen Arbeitsplatz mit dem *ERDAS-Modul StereoAnalyst*, in dem die in LPS erstellten Blockfiles direkt eingelesen werden.

Neben der unterschiedlichen Bodenfeuchte kann die heutige Geländemorphologie ein zusätzliches Indiz sein. In der 3D-Betrachtung waren zum Teil flachen Mulden ersichtlich, die als nicht vollständig rückverfüllte Trichter oder als Folge von Setzungen rückverfüllten Materials interpretiert wurden. Somit waren eindeutige **Farbänderungen<sup>1</sup> und Reliefabweichungen** die Hauptentscheidungskriterien zur Identifizierung von Sprengtrichtern. Um Farbänderungen besser hervorzuheben wurden verschiedene digitale Kontrastverbesserungsmöglichkeiten getestet.

### 4.1.4 Ergebnisse Standort SD

Abb. 1 und Tab. 1 zeigen die Ergebnisse für den Standort SD. Der südliche Teil der Testfläche konnte nicht ausgewertet werden, da kurz vor dem Befliegungszeitpunkt Gülle ausgebracht worden war. Dies hat zu einer Vergleichmäßigung des Reflexionsverhaltens in diesem Bereich geführt.

Im nördlichen Bereich konnten mehr oder weniger kreisrunde, im CIR-Luftbild dunkler als die Umgebung erscheinende „Objekte“ identifiziert werden. Nach der Anwendung unterschiedlicher Kontrastverbesserungen zeichneten sich 13 Objekte **eindeutig** von der Umgebung ab und wurden daher als Sprengtrichter eingestuft.

Auf der östlichen Teilfläche wurden 23 „Verdachtsobjekte“ lokalisiert. Sie unterschieden sich nicht nur farblich sondern bei dreidimensionaler Betrachtung zusätzlich in der vertikalen Struktur.

Somit wurden insgesamt 36 potenzielle Verdachtsbereiche lokalisiert. Die Durchmesser der Objekte liegen zwischen rund einem und neun Metern.

### 4.1.5 Ergebnisse Sprengplatz A

Die Testfläche ist vollständig mit Wald bestockt. Zunächst wurde untersucht, ob sich aus dem **Bestandsbild** evtl. Rückschlüsse auf vermutete Sprengtrichter ziehen lassen. Jedoch ließen weder die Verteilung der Baumarten noch die vertikale und horizontale Bestandsstruktur (z. B. Bestandslücken) eindeutigen Zusammenhänge zu Sprengtrichtern erkennen. Diese Merkmale können zudem durch die Waldbewirtschaftung überprägt sein.

Als zweites Merkmal wurden räumliche Änderungen in der **Baumvitalität** überprüft. Hierbei ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Strukturen.

Nachdem die visuelle Interpretation erfolglos geblieben war, wurden die Aufnahmen mit einem Segmentierungsprogramm (Testversion *Ecognition*) ausgewertet. Das Programm versucht rechnergestützt **Textur- und Farbmerkmale** zu erkennen, die evtl. für einen Luftbildinterpretieren nicht sichtbar sind. Dieses Verfahren ergab jedoch auch keine plausiblen Strukturen.

Zusammenfassend konnte die Auswertung der CIR-Aufnahme des Sprengplatzes A keine Hinweise auf das Vorhandensein von Sprengtrichtern liefern.

---

<sup>1</sup> Im SLU-Bericht wurden nur dunkle Stellen als relevant eingestuft.

Objekt-Nr.	Fläche in [m <sup>2</sup> ]	Mittlerer Ø [m]
1	8,21	3,5
2	28,37	6,8
3	10,50	3,8
4	12,36	4,1
5	16,83	4,8
6	13,09	4,3
7	25,74	6,4
8	15,73	4,6
9	9,77	3,7
10	54,73	9,0
11	6,56	3,0
12	13,39	4,4
13	3,13	2,1
14	3,29	2,2
15	1,64	1,5
16	0,86	1,1
17	1,49	1,4
18	1,30	1,3
19	1,27	1,3
20	2,85	2,0
21	1,28	1,3
22	3,46	2,2
23	0,99	1,2
24	1,35	1,4
25	1,08	1,2
26	1,61	1,5
27	1,24	1,3
28	1,40	1,4
29	4,59	2,5
30	1,15	1,3
31	0,52	0,9
32	2,01	1,7
33	1,26	1,3
34	1,84	1,6
35	2,71	1,9
36	1,85	1,6

Tab. 1: Identifizierte mögliche Sprengtrichter, Sprengplatz SD.

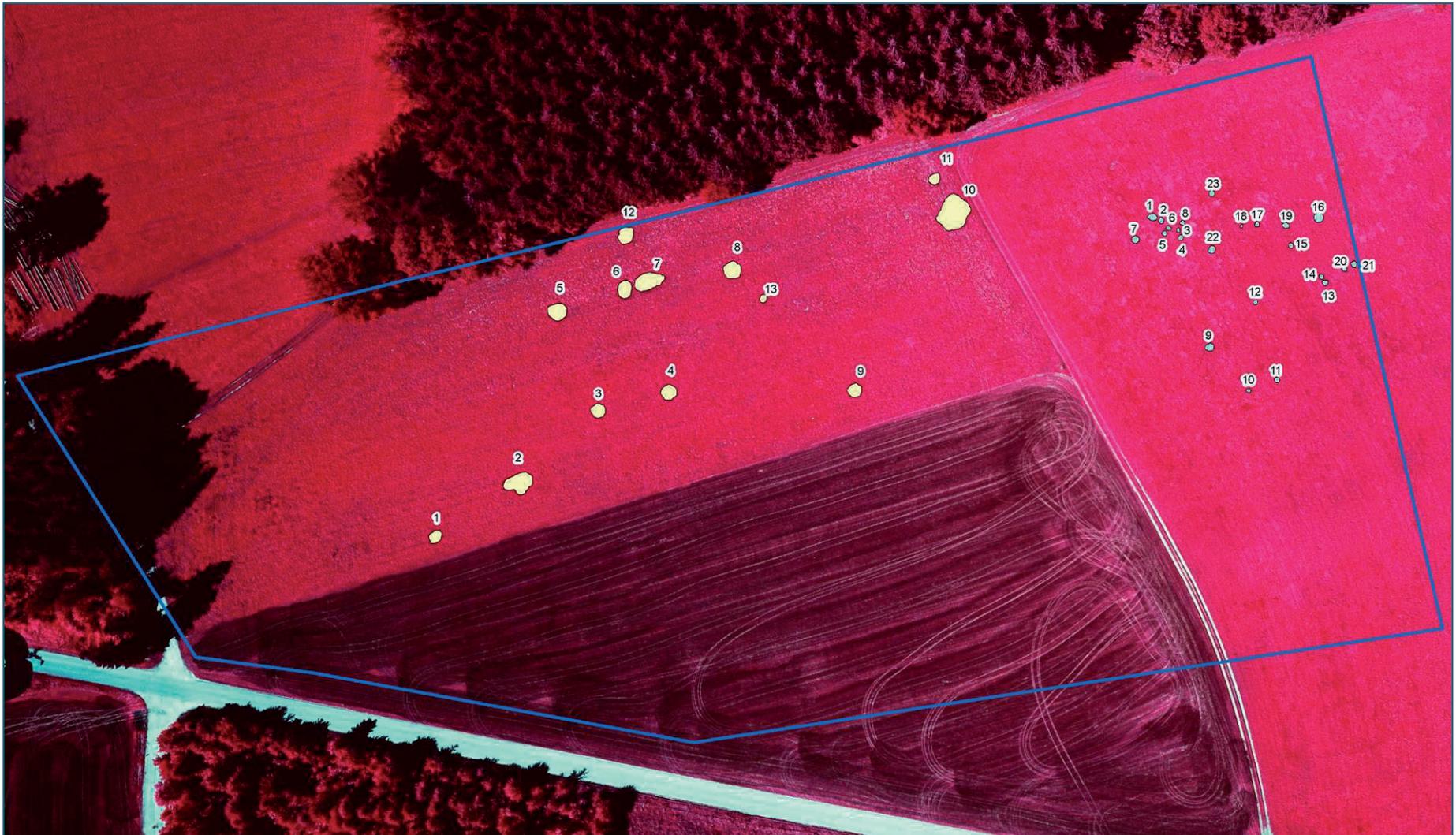


Abb. 1: Identifizierte Verdachtsobjekte auf dem 4 ha großen Testfeld auf dem Platz SD. Der dunkle Bereich im Süden wurde vor der Aufnahme gedüngt und war nicht auswertbar.

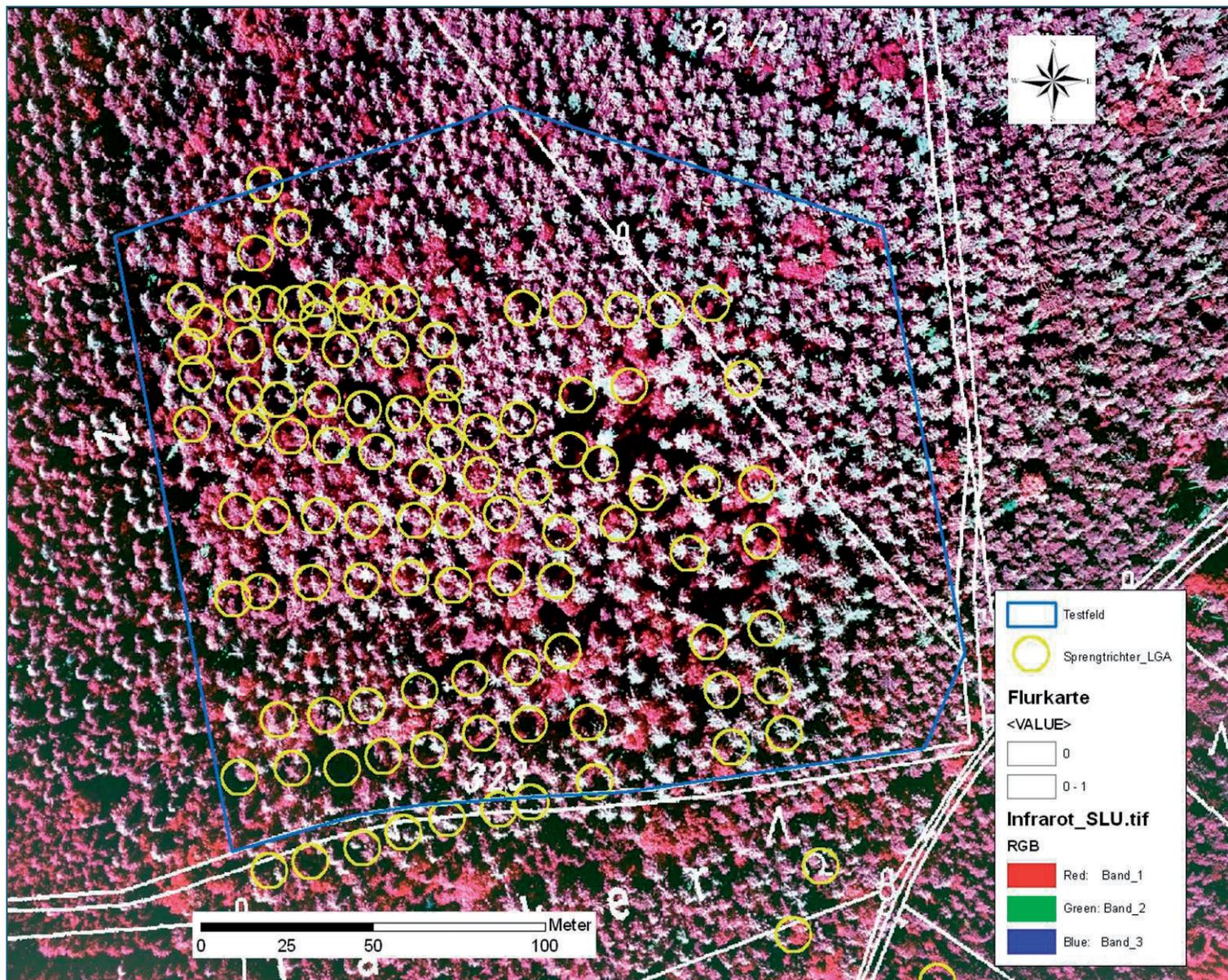


Abb. 2:  
CIR-Aufnahme des Platzes A. Die Testfläche ist blau umrandet. Die gelben Kreise sind die aus der Luftaufnahme von 1952 abgegriffenen, heute vollständig rückverfüllten Trichter, sie bilden sich nicht im IR-Spektrum ab.

## 4.2 Geomagnetische Aufnahme

### 4.2.1 Methodik

Die Erde besitzt ein Magnetfeld. Seine Stärke<sup>2</sup> variiert mit der Position des Beobachters auf der Erdoberfläche. Neben der Totalintensität ist das Feld durch seine Lage im Raum durch die Winkel definiert, die es mit der Horizontalen und der Vertikalen bildet (Inklination und Deklination). Das Feld weist ein Eigenrauschen in der Größenordnung von ein bis zwei nT auf. Geomagnetische Störkörper im Untergrund, wie z. B. Munition oder Splitteransammlungen, beeinflussen das Erdmagnetfeld bzw. verändern seine Parameter. Ausschlaggebend für die Charakteristik einer Anomalie ist neben der Masse und ggf. der Eigenmagnetisierung des Störkörpers seine Lage im Raum. Je nach Lage kann die Eigenmagnetisierung das Erdmagnetfeld verstärken oder abschwächen. In Fachkreisen wird berichtet, dass Munition durch Sprengung „aufmagnetisiert“ werden kann. Publikationen hierzu sind uns nicht bekannt.

### 4.2.2 Geländeaufnahme

Die Fa. Schollenberger führte die geomagnetische Geländeaufnahmen der beiden Testflächen im Sommer 2007 durch.

Beim Sprengplatz A (Wald) wurde das Testfeld auf Basis der zur Verfügung gestellten Koordinaten zunächst in visuell überschaubare, dem Gelände angepasste, 20 m x 30 m große Teilflächen untergliedert. Der Bereich einer Schonung blieb ausgespart, da hier kein Zugang möglich war. Nach Eingabe der Anfangs- und Endpunkte wurden einzelne Spuren mit gleich bleibender Geschwindigkeit begangen. Der Gradiometer CON 650 mit Datalogger DLG 4.032 (beide Institut Dr. Foerster) zeichneten hierbei den Vertikalgradienten der magnetischen Flussdichte T in nT/m auf. Der Messpunktabstand betrug 2 m, der Profilabstand 5 m (Spurbreite). Das Gerät errechnet aus der Spurlänge und der Aufnahmezeit Weginkremente, in denen die ermittelten Messwerte rechnerisch verteilt werden.

Beim Standort SD (befahrbare Wiese) kam für die Messungen das Mehrkanalsystem MonMX16 von Sensys zur Anwendung, bei dem 16 Sonden vom Typ CON 650 mit Basisabstand 650 mm an einem metallfreien Rahmen justiert sind. Der Rahmen wird von einem Fahrzeug bewegt. Die Geschwindigkeit betrug hierbei etwa 4 m/s. Bei einer Abtastrate von 20 Hz liegt der Punktabstand unter 20 cm. Zur Messdatenverortung wurde die Wiesenfläche streifenweise abgefahren. Dabei werden die von den Gradiometern gemessenen Daten des Vertikalgradienten der Magnetischen Flussdichte im MonMX mit den DGPS-Positionsdaten unter zu Hilfenahme des PPS Signals des GPS-Empfängers verknüpft. Die Lagedaten der einzelnen Sonden werden dabei rechnerisch aus den vorher festgelegten Positionen zur GPS-Antenne ermittelt. Der so erzeugte Datenstrom wird dann als File in einem Laptop abgespeichert. Die Verortung erfolgte „online“ mittels DGPS Trimble 7400 Msi und Trimtalk Satel Modem als Basisstation.

Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte mit der Software OASIS Montaj (Software zur Darstellung, Sicherung, Projektverwaltung und Konvertierung von GPS-Daten; Suchprogramm für Metallkörper).

Bei der Auswertung werden die reinen Daten in ein 2 m x 2 m großes Raster extrapoliert. Die Fa. Schollenberger hat die Ergebnisse bzw. Messdaten auf vier Arten dargestellt:

---

<sup>2</sup> Die magnetische Feldstärke wird in nanoTesla (nT) ausgedrückt.

- als Messwertdarstellung DZ in nT/m
- als Messwertdarstellung DZ in nT/m (erhöhte Darstellung)
- als Messwertdarstellung – Analytisches Signal und
- als Messwertdarstellung 9 x 9 Symmetric Convolution Grid (nur Standort Sprengplatz A).

#### 4.2.3 Ergebnisse Standort SD

Insgesamt konnten 19 Verdachtsstrukturen identifiziert werden. Sie alle konzentrieren sich auf den südwestlichen Teil der Untersuchungsfläche und zeichnen sich durch rundliche Anomalien höherer Flussdichte aus (maximal knapp 100 nT/m an der Erdoberfläche). *Schollenberger* geht davon aus, dass es sich um ehemalige Sprengtrichter handelt, die noch große Mengen an ferromagnetischen Materialien im Untergrund enthalten. Die Durchmesser der Anomalien betragen 20 m (ein Trichter), 15 m (zwei Trichter) bzw. 10 m (16 Trichter). Einige Anomalien überlappen sich.

Der Rest der Untersuchungsfläche zeigt lediglich einzelne sehr kleinräumige Anomalien. *Schollenberger* interpretiert sie als Teile von landwirtschaftlichen Geräten oder als versprengte Munitionsteile bzw. -splitter.

#### 4.2.4 Ergebnisse Sprengplatz A

Die Testfläche zeichnet sich durch eine sehr hohe Störkörperdichte aus. Durch entsprechendes Processing der Rohdaten konnten jedoch großräumige Strukturen sichtbar gemacht werden.

Die Fläche zeigt räumlich Unterschiede: Im Süden lassen sich die Signaturen von Trichtern durch hohe Anomalienwerte (bis ca. 90 nT/m) sehr deutlich erkennen. Dies führt *Schollenberger* darauf zurück, dass die Trichter noch große Mengen an ferromagnetischen Materialien beherbergen. Die Anomalienwerte nehmen nach Norden hin ab. *Schollenberger* vermutet, dass die Trichter hier geräumt wurden. Im Westen der Untersuchungsfläche konnten keine Strukturen erkannt werden.

Insgesamt hat *Schollenberger* 50 Trichter mit deutlicher Signatur und 17 Trichter mit schwacher Signatur ausgewiesen.

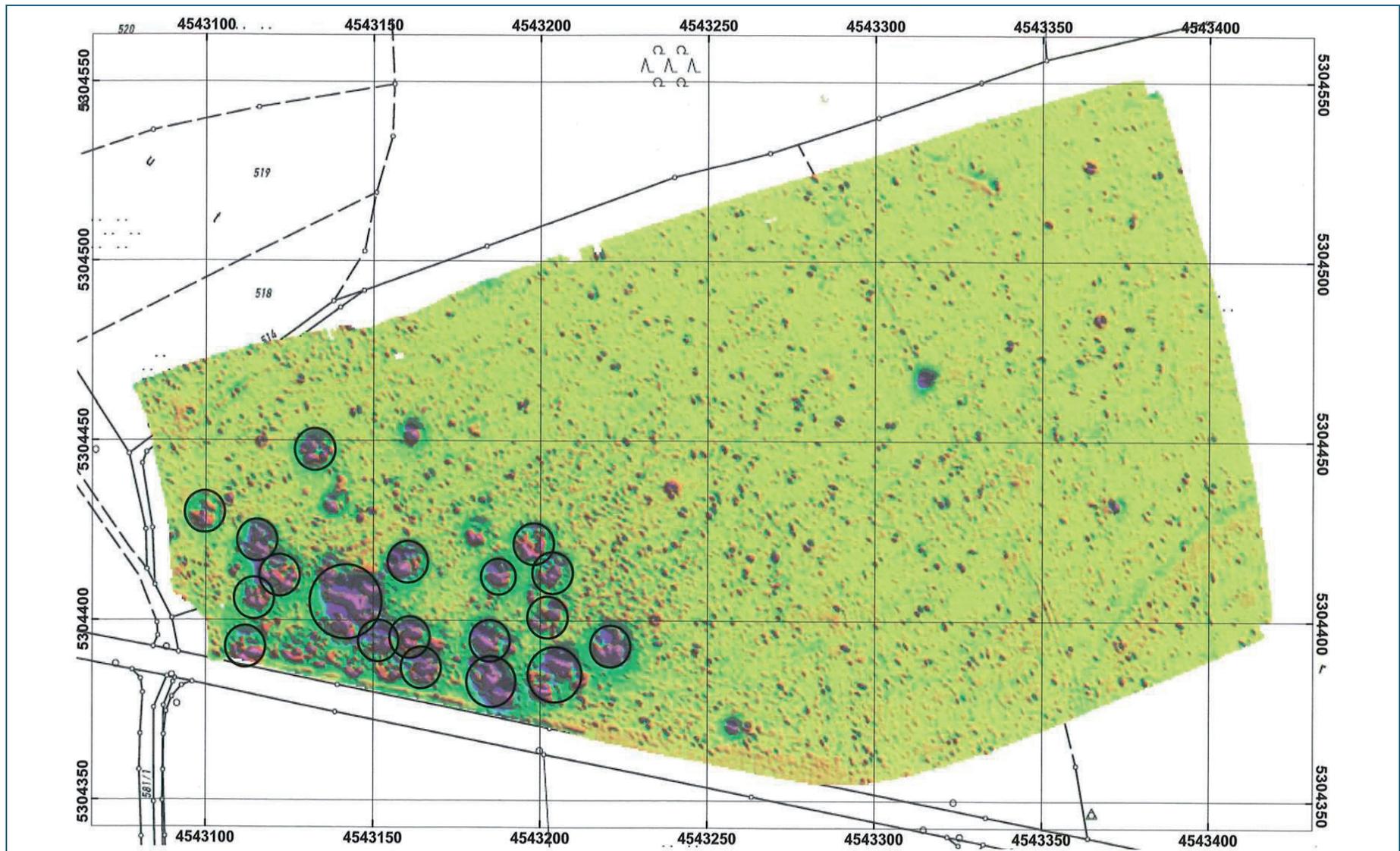


Abb. 3: Geomagnetische Aufnahme Standort SD (Rasterweite 50x50 m). Das Sprengfeld zeichnet sich deutlich vom übrigen Bereich durch hohe magnetische Flussdichten ab (rotviolette Bereiche). Der übrige Teil der Fläche zeigt kaum Auffälligkeiten.

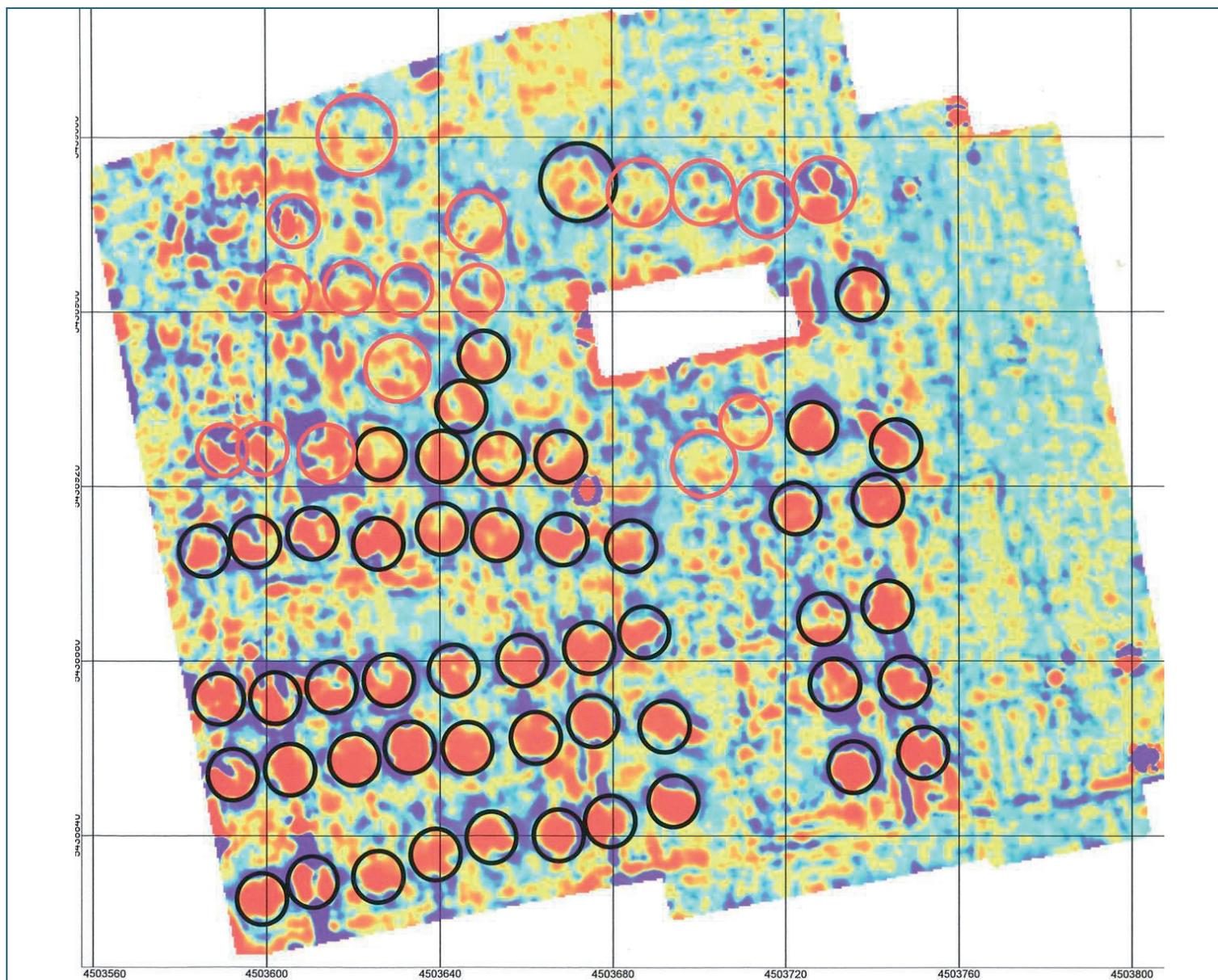


Abb. 4:  
Geomagnetische Aufnahme  
Standort Sprengplatz A.  
Die Rasterweite beträgt  
40x40 m. Schwarze Kreise  
entsprechen Trichtern mit  
deutlicher Trichtersignatur,  
die roten Kreise Trichtern  
mit schwacher Trichtersig-  
natur. Das weiße Rechteck  
ist eine Schonung und  
konnte nicht vermessen  
werden.

## 4.3 Vermessung mittels Georadar

### 4.3.1 Methodik

Das Georadar ist ein elektromagnetisches Impulsreflexionsverfahren. Es nutzt als oberflächengeophysikalisches Messverfahren die Eigenschaft der Reflexion abgestrahlter hoch frequenter elektromagnetischer Wellen an Medien mit ausreichendem Impedanzkontrast, d. h. Unterschieden in der Durchlässigkeit der Materie für elektrische Felder. Diese Eigenschaft wird auch als Permittivität bezeichnet. Folglich werden nicht nur Störkörper im Untergrund detektiert sondern auch Veränderungen in der Bodenzusammensetzung. Die größte Bedeutung haben hierbei Unterschiede im Wassergehalt. Steht z. B. Schichtwasser im Bereich des Trichtergrunds, so kann die Wasseroberfläche mittels Radar visualisiert werden.

Eine Radar-Messapparatur besteht aus einer Sende- und einer Empfangseinheit (Antennen), die mit einem Datenspeicher und ggf. einem Drucker verbunden sind. Die Antennen werden per Hand oder mittels Fahrzeug über die Erdoberfläche gezogen. Die von einem Suchobjekt reflektierten und bei der Empfangsantenne eintreffenden Echosignale werden vorverstärkt, frequenztransformiert und dann zwecks Darstellung der Kontrolleinheit zugeführt. Dort werden die Signale gefiltert und weiter verstärkt.

Von der klassischen Radaranwendung unterscheidet sich dieses Kurzpulsradar-Verfahren in folgenden Aspekten:

- Die Messfrequenzen liegen im Bereich von 10 bis > 1 000 MHz und damit unterhalb des klassischen Radarfrequenzbereiches. Um die notwendige Eindringtiefe und Auflösung im Erdboden zu erzielen, sind diese Wellenlängen erforderlich.
- Zum Erreichen eines hohen Auflösungsvermögens müssen extrem kurze Impulslängen  $\leq 12$  ns für die Sendesignale realisiert werden.
- Zur möglichst verlustfreien Energieübertragung in den Untergrund kommen Spezialantennen mit Zentralfrequenzen zwischen 10 MHz und 1 GHz zum Einsatz.

Beim Messvorgang werden die Laufzeiten der Wellen bis zu den Reflexionshorizonten ermittelt. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Untergrund bekannt ist, kann aus der Doppellaufzeit der Welle die Tiefenlage eines Horizonts oder eines Objekts ermittelt werden. Durch den unterschiedlichen Aufbau des Bodens ist die Wellengeschwindigkeit jedoch nur ansatzweise konstant. Die Tiefenachse stellt folglich nur eine Näherung dar.

Die Transformation der erhaltenen Zeitschnitte in Tiefenprofile erfolgt bei einfacher Profilsituation durch maßstabsgerechte Streckung der Radargramme mit der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Untergrund. Bei einem komplizierteren Schichtaufbau muss entweder ein Geschwindigkeitsmodell angewendet werden oder es sind ergänzende Messungen zur Ableitung der Schichtgeschwindigkeiten (CMP-Messungen) erforderlich.

Zur detaillierten Interpretation der Georadar-Rohdaten muss meist ein umfangreiches Datenprozessing mit dem Ziel der Verbesserung des Nutzsignal-Stör-Verhältnisses vorgenommen werden. Hierbei findet systemspezifische Bearbeitungs- und Darstellungssoftware Verwendung.

Durch die Bewegung der Sende – Empfangseinheit über ein Objekt hinweg empfängt die Antenne bereits Reflexionssignale bevor sie über dem Reflektor steht. Da der Abstand zunächst (noch) größer ist als die tatsächliche Tiefenlage, werden zunächst zu große Tiefen errechnet. Daher gleicht die grafische Darstellung der Messwerte beim Überfahren eines Objekts einer Hyperbel. Seine tatsächliche

Tiefenlage entspricht hierbei dem Scheitelpunkt der Hyperbel.

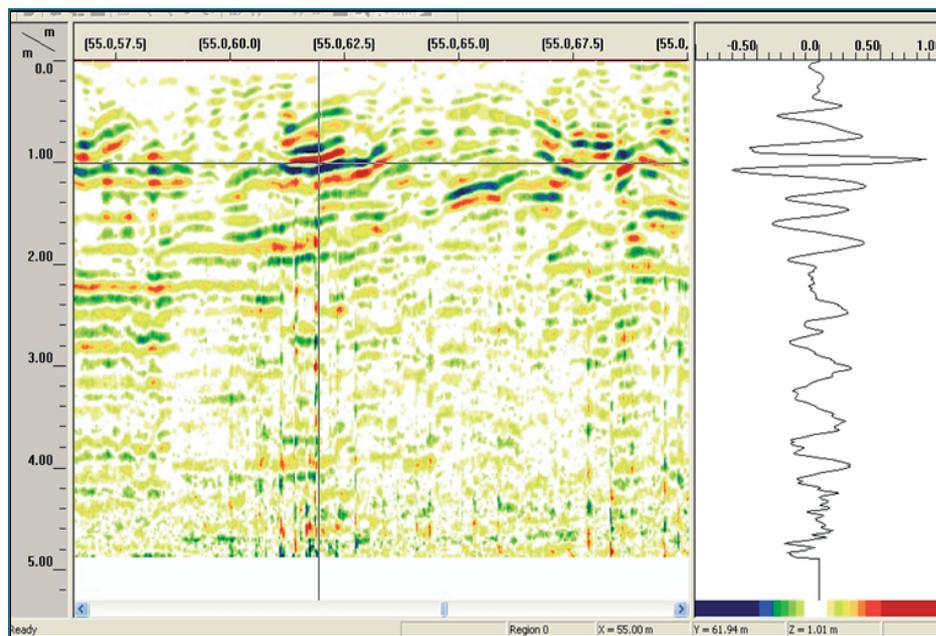


Abb. 5:  
Radargramm mit Zeit-signal als Wechselsignal, Farbcodierung rechts am Zeitsignal (Standort SD);

Signal-/ Amplitudenhöhe: hoch negativ niedrig hoch positiv

Farbcodierung: blau, grün, weiß, gelb, rot

Durch eine Aneinanderreihung der Einzelmessungen zu einer Messlinie entstehen Radargramme. Sie stellen einen Tiefenschnitt entlang einer Messlinie dar. Die Laufzeit der reflektierten Signale wird auf der vertikalen Achse aufgetragen, während auf der Horizontalen die Metrierung des von der Antenne zurückgelegten Weges erfolgt.

Die Amplitudenwerte der Stützstellen werden auf den Spuren entweder farblich codiert oder als Schwingungszüge dargestellt, wobei häufig eine Halbwelle geschwärzt wird („wiggle-trace“).

Bei der Geländeaufnahme können entweder manuell Marken fixiert werden, um eine Zuordnung von Örtlichkeiten zu dem Radargramm vorzunehmen oder das Markengeben erfolgt äquidistant über ein an der Antenne mitlaufendes Messrad („survey wheel“).

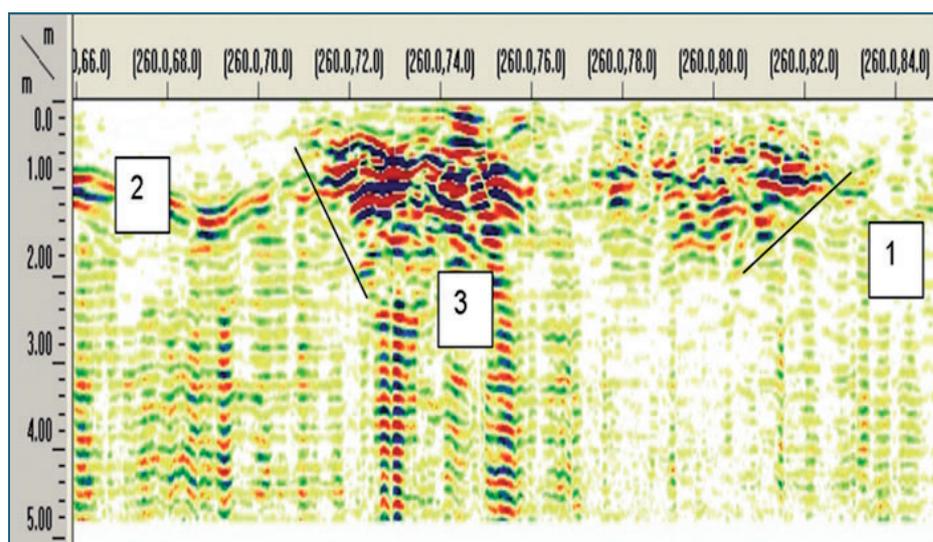


Abb. 6:  
Beispielhaftes Radargramm vom Standort SD. Bereich 1 ohne Reflexionen; Bereich 2 Änderungen im Bodenaufbau zu erkennen; Bereich 3 Inhomogenitäten, nach unten verjüngend, daher als Trichter interpretiert.

Reflektierende Schichtgrenzen und lokale Einlagerungen bildeten sich durch ein zwei- bis vierphasiges Echosignal auf dem Radargramm ab.

Starke Reflektoren direkt an der Oberfläche oder ein Abheben der Radarantenne (in unebenen Bereichen) können zu sehr starken Signalen führen, die tiefere Reflexion überlagern können. Der Ankopplungsgrad wird bei der Interpretation der Messwerte berücksichtigt.

Die verwendeten Messfrequenzen liegen im Bereich von 10 bis > 1.000 MHz. Generell gilt zweierlei:

- Je niedriger die verwendete Sendefrequenz desto höher ist die Eindringtiefe in den Untergrund.
- Je niedriger die Frequenz desto geringer ist die Auflösung.

In Böden mit guter elektrischer Leitfähigkeit, wie z. B. Tonen oder bei Böden mit hoher Feuchte erfolgt eine Dämpfung der abgestrahlten Welle. Die erzielbaren Erkundungstiefen sind hier gering. Die Höhe der Dämpfung ist von der Sendefrequenz abhängig.

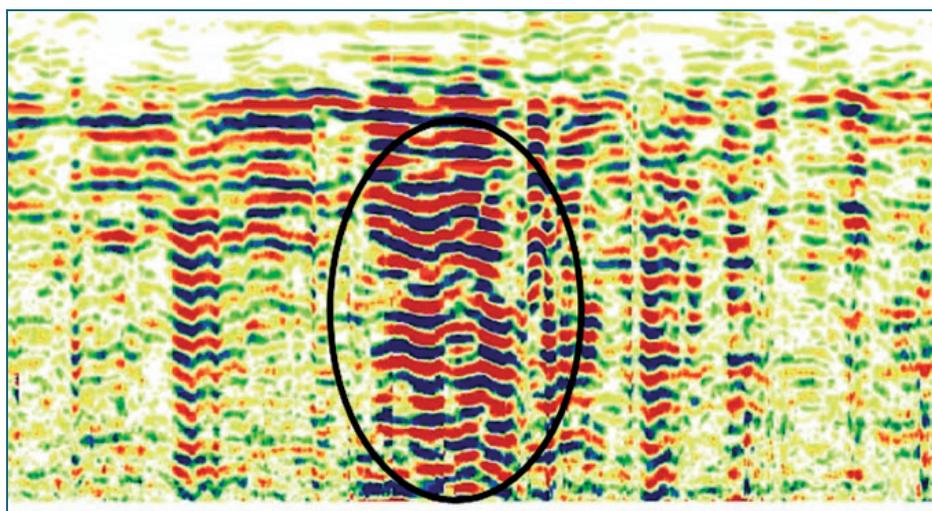


Abb. 7:  
Beispiel für eine oberflächennahe Reflexion oder ein Abheben der Antenne. Evtl. zur Tiefe folgenden Signale werden überlagert. Standort SD.

Durch das Anlegen von parallelen Messprofilen wird es möglich, eine flächige Darstellung der Reflexionsamplituden eines Laufzeitbereiches zu berechnen. Auf diesen grundrissähnlichen Plänen (Zeitscheiben) werden Bereiche mit gleichen Reflexionszeiten, d. h. gleicher Tiefenlage sichtbar.

#### 4.3.2 Feldarbeiten Standort SD

Die folgende (verkürzte) Darstellung erfolgt in Anlehnung an den Bericht der *LGA Bautechnik GmbH*.

Der wesentliche Teil der Testfläche SD ist Wiese. Eine kleine Teilfläche ist mit Wald bestanden. Für die Messungen wurde eine Radarantenne vom Typ GSSI SIR20 verwendet. Die Sendefrequenz lag bei 270 MHz. Bei der Aufnahme des Wiesenbereichs wurden Antenne und Messrechner mit Hilfe eines PKW entlang von Messlinien im Raster von 5 x 5 m-Abstand über den Boden gezogen. Die Linien waren mit farbigen Pflöcken (Wiese) bzw. Bändern (Wald) markiert. Bei der gewählten Rasterweite werden Trichter mit einem Durchmesser größer 5 m sicher erfasst. Kleinere Trichter werden nur erfasst, wenn sie auf einer Messspur liegen.

Die Anfangs- und Endpunkte wurden mit einem GPS-Empfänger aufgenommen und registriert. Die Wegaufnahme erfolgte über ein Laufrad mit Drehinkrementgeber. Die Registrierlänge (Länge des aufgenommenen Signals) betrug 100 ns. Dies entspricht bei den gegebenen geologischen Verhältnisse einer Tiefenreichweite von etwa 5 m. Der Messpunktstand lag bei etwa 1 cm.

Der Grad der Ankopplung war im Wiesenbereich hoch. Im Waldbereich fand eine tragbare Messeinrichtung Anwendung. Auf Grund von Unebenheiten waren hier Störungen festzustellen. Die Witterung war vor und während der Geländeaufnahme trocken. Es kann von einer geringen bis mittleren Boden-

feuchte mit entsprechend hoher Eindringtiefe der Radarwellen von 5 bis 6 m ausgegangen werden.

#### 4.3.3 Ergebnisse Standort SD

Die Hauptkriterien für die Ausweisung einer Auffälligkeit als Trichter waren die „Inhomogenität“ und eine trichterähnliche Anomalienform. Fanden sich in einem Radargramm derartige Auffälligkeiten, so wurde stets durch Analyse der benachbarten Profile die horizontale und vertikale Ausdehnung der Anomalie überprüft.

Mit diesem Auswertemodus wurden insgesamt rund **80 Objekte als Trichter ausgewiesen** (Abb. 8 und Abb. 9). Sie sind unregelmäßig über die Fläche verteilt. Ihre Durchmesser schwanken von 5 m bis 25 m, wobei kleinere Strukturen vorherrschen.

Zur Verdeutlichung der Interpretation der Messwerte wurden meterweise Tiefenschnitte mit einer Streifendicke von 1 m durch das Messfeld gelegt. Bereiche mit Inhomogenitäten sind hierauf rot markiert. Als Beispiel ist auf Abb. 9 eine Zeitscheibe aus der Tiefenlage 1,5 bis 2,5 m dargestellt. Parallel erstellte Tiefenprofile verdeutlichen die Ausdehnung der Inhomogenitäten. Die angezeigte Tiefe reicht nur bis etwa 3,5 m. Dies liegt daran, dass die eingebrachte Energie hier bereits in den ersten Metern reflektiert und tiefere Bereiche so abgeschattet sind.

#### 4.3.4 Feldarbeiten Sprengplatz A

Die folgenden Ausführungen erfolgen in verkürzter Form in Anlehnung an den Bericht der *Ingenieurgesellschaft analytec Dr. Steinhau*.

Die abschnittsweise sehr unebene Testfläche liegt in einem Hochwald mit teilweise dichtem Unterholz, quer liegenden Bäumen, Asthaufen und Baumstümpfen. Das damit verbundene Anheben bzw. Ankippen der Georadarantenne war ein erschwerender Faktor bei der Ausführung und der Interpretation der Messungen. Zwei Bereiche mussten wegen Unzugänglichkeit (dichtes Unterholz, umgestürzte Bäume, Asthaufen) ausgespart werden.

Bei der Interpretation wurde von einer vermutlich mehrere Meter mächtigen Decke von gemischtkörnigen (sandig-schluffigen) Böden über dem Festgestein ausgegangen. Die Lagerungsverhältnisse in den obersten Dezimetern – im Bereich von Sprengtrichtern bis 3 m – können als anthropogen verändert angenommen werden.

Die Messungen erfolgten im Sommer 2007 mit der Anlage *SIR-20* der Fa. *Geophysical Survey Systems Inc.* Nach Vortests mit verschiedenen Antennen und Frequenzen fiel die Wahl auf eine 200 MHz-Antenne. Sie weist bei oberflächlich feuchten Böden den Vorzug einer relativ großen Tiefenreichweite bei nur wenig verringertem Auflösungsvermögen gegenüber höher frequenten Antennen auf.

Zunächst wurde ein lokales Koordinatensystem angelegt. Die Profile wurden im seitlichen Abstand von 5 m zueinander angelegt und bezüglich der vorhandenen Wirtschaftswege örtlich eingemessen. Ergänzend wurde eine CMP-Messung (**common midpoint**) im nordwestlichen Bereich der Testfläche zur Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen für die Bodenschichten unter den gegebenen Boden- und Witterungsverhältnissen durchgeführt. Hierbei ergab sich eine mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit von 0,096 m/ns. Das Zeitfenster des Aufzeichnungsbereiches für das Georadarmesssystem wurde mit 115 ns so gewählt, dass bei der ermittelten mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit im aufgezeichneten Zeitbereich von 0,096 m/ns ein Tiefenbereich von ca. 5 bis 6 m erfasst werden konnte. Das Auflösungsvermögen der gewählten 200-MHz-Antenne beträgt für Einzelobjekte etwa 0,20 m.

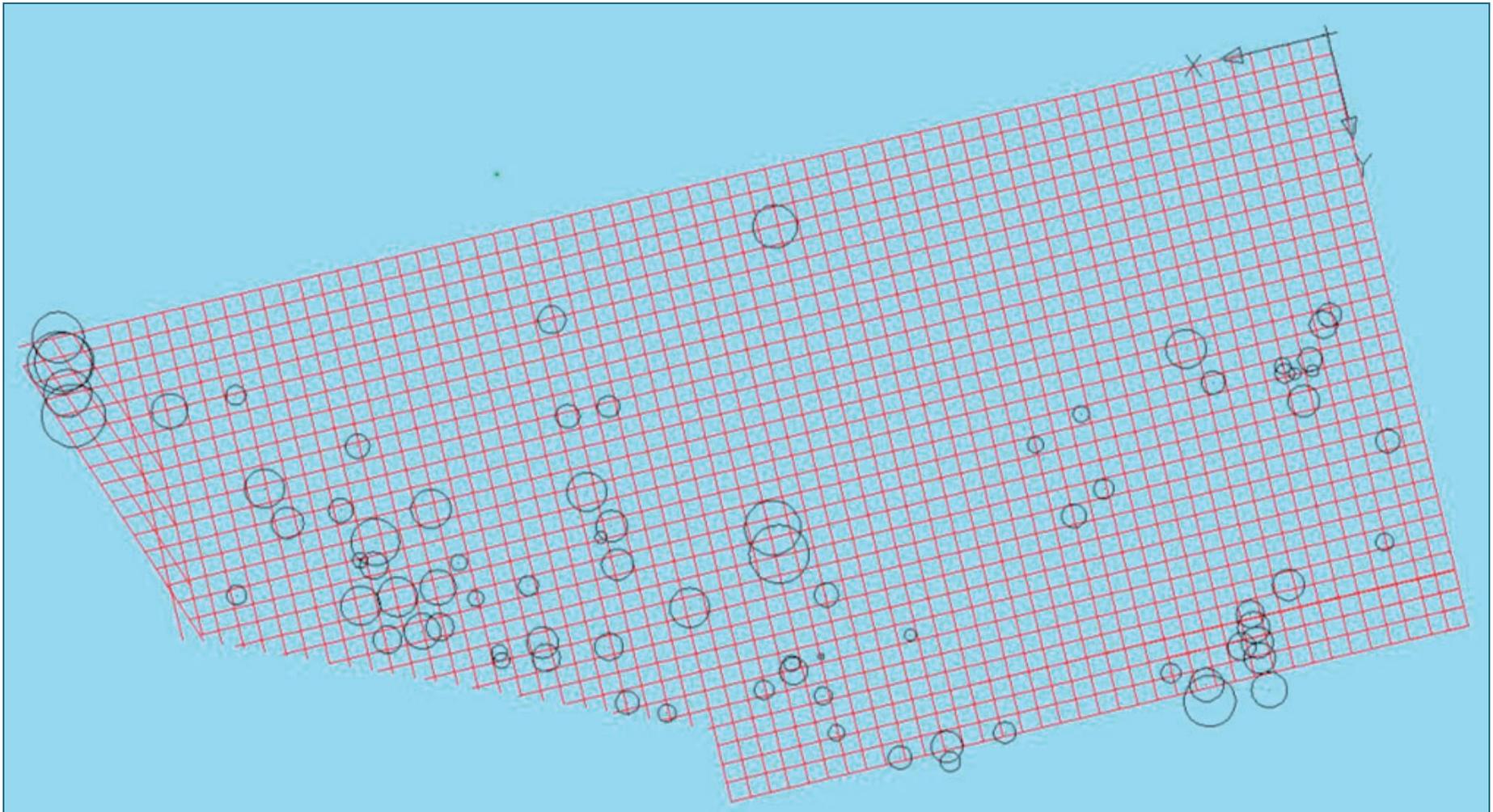


Abb. 8: Lage der Sprengtrichter im Messraster mit maßstäblichen Durchmessern (durch die Neigung der Messfläche erscheinen die Trichter in der untersten Reihe zu tief). Die Rasterweite beträgt 5 m.

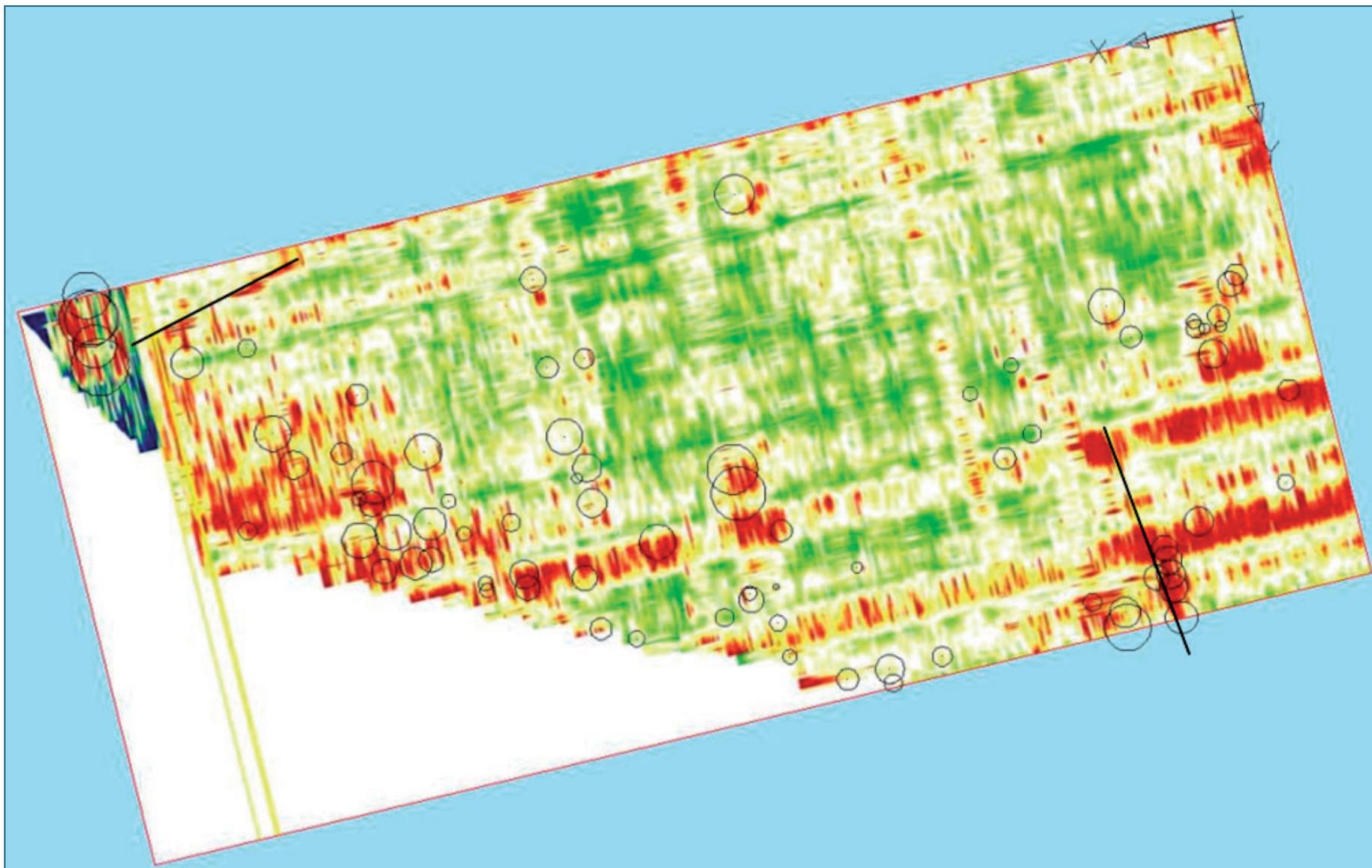


Abb. 9: Tiefenprofil der Tiefe 2 m (Daten 1,5 m-2,5 m), schwarze Linien sind Forstwege, Inhomogenitäten sind rot dargestellt.

Die Aufnahme erfolgte durch manuelles Ziehen der Sende- und Empfangsantenne hinter einem Raupenfahrzeug in Schrittgeschwindigkeit ohne Stapelung der Messdaten. Die Aufzeichnung der Marken zur Metrierung auf den Messprofilen wurde durch ein mitlaufendes Messrad gesteuert. Die Daten der Profile wurden parallel zur Ausgabe auf dem Farbmonitor auch auf Festplatte digital aufgezeichnet und zur Verbesserung des Nutz/Stör-Signal-Verhältnisses mit *RADAN* (Version 6.5) bearbeitet.

Mit einem GPS (*Lowrance LMS-522c*) wurde nach Messende versucht, die Eckpunkte der Testfläche einzumessen. Auf Grund des Baumbestandes und der damit nur unzureichenden Anzahl empfangbarer Satelliten war jedoch die erforderliche Genauigkeit nicht ausreichend.

#### 4.3.5 Ergebnisse Sprengplatz A

Der Interpretation der Daten stellt *analytec* sinngemäß folgende Überlegungen voran:

Die ehemaligen Sprengtrichter sind im geophysikalischen Sinne im Hinblick auf die **Interpretation der geophysikalischen Messdaten** vor allem durch zwei Merkmale nachweisbar:

Es muss durch die Sprengwirkung eine Verdichtung des um den Explosionsherd befindlichen Bodenmaterials stattgefunden haben. Diese verdichteten Bodenbereiche wirken bei eindringender Feuchtigkeit (Niederschläge, Tau) gegenüber dem unverdichteten Bodenmaterial als Wasser stauende Horizontale. Das Georadarverfahren, welches im vereinfachten Sinne Änderungen in den Leitfähigkeiten der untersuchten Medien registriert, kann somit diese trichterförmigen Strukturen in den Messwertdarstellungen (Radargrammen) wiedergeben.

Im Umkreis der ehemaligen Explosionsherde kann darüber hinaus mit einem erhöhten Anteil metallischer Kleinkörper (Splitter u. ä.) gerechnet werden. Aus den Georadarmessergebnissen allein ist zwar die Bestimmung der stofflichen Eigenschaft eines (Stör)körpers nicht sicher möglich, jedoch ist zu erwarten, dass sich die metallischen Kleinkörper auf Grund ihrer guten Leitfähigkeit gegenüber dem Waldbodenmaterial als Anomalien in den Radargrammen abbilden. Im Bereich der Sprengtrichter ist demzufolge mit einer Konzentration von räumlich eng begrenzten Signalanomalien von Kleinkörpern („Wirbelsäulemuster“) zu rechnen.

In Wäldern erzeugen zwar auch die Baumwurzeln kleinräumige Signalanomalien, da Wurzeln eine höhere Feuchte aufweisen. Die Wurzeln sind in Waldgebieten aber gleichmäßiger verteilt, weshalb sie von Splitteranhäufungen unterscheidbar sein sollten.

Auf Grund dieser Vorüberlegungen sind vor allem **trichter- bzw. muldenförmige Reflexionshorizonte** in den Radargrammen die Hauptentscheidungskriterien bei der Ausweisung eines Objekts als Trichter. Weitere Bedingung ist, dass die Signalstrukturen auf mindestens zwei - aber nicht mehr als auf fünf - Messprofilen erkennbar sind und bis in einen Tiefenbereich von mindestens 2 m reichen.

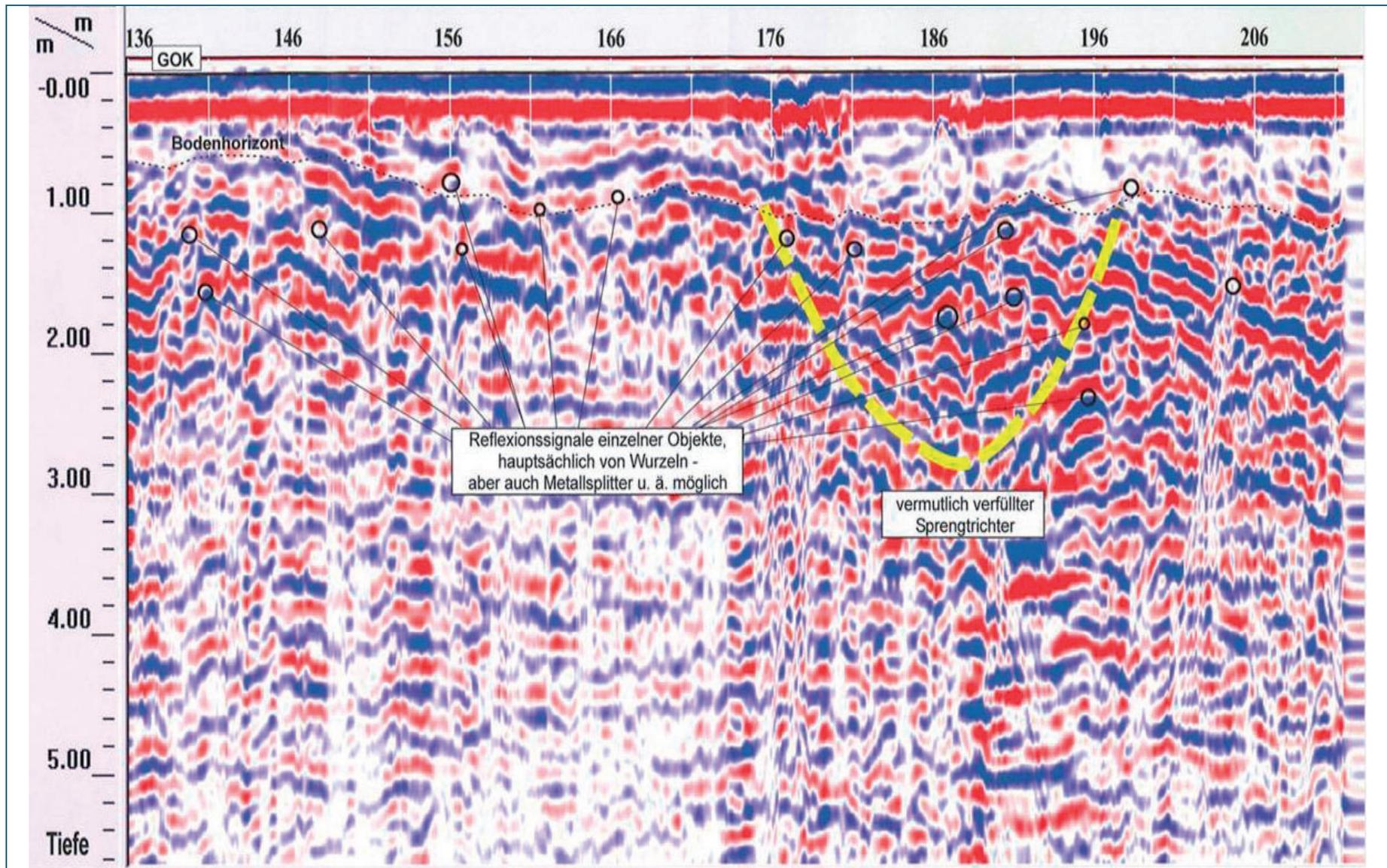


Abb. 10: Exemplarischer Interpretationsansatz für einen Sprengtrichter. (x=110 y=136 bis 211).

Insgesamt konnten in den Radargrammen **elf Anomaliebereiche** korreliert und als Sprengtrichter ausgewiesen werden. Abb. 11 zeigt die Trichter idealisiert als Kreise, Abb. 12 enthält die Radargramme der Anomalien.

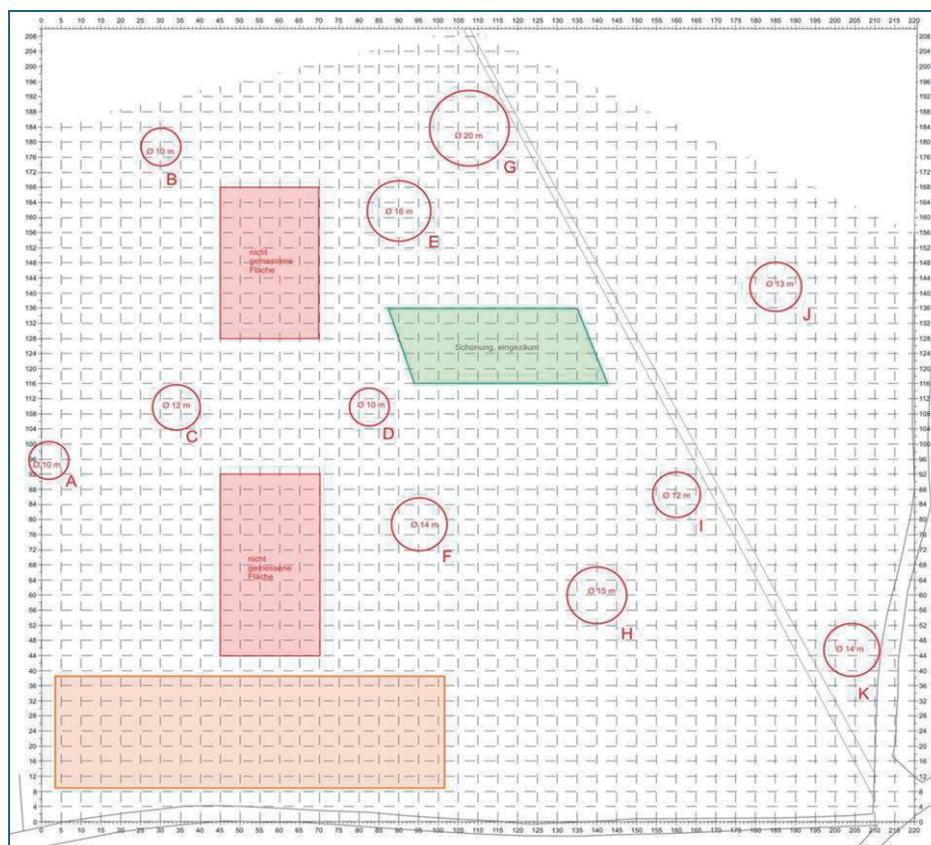


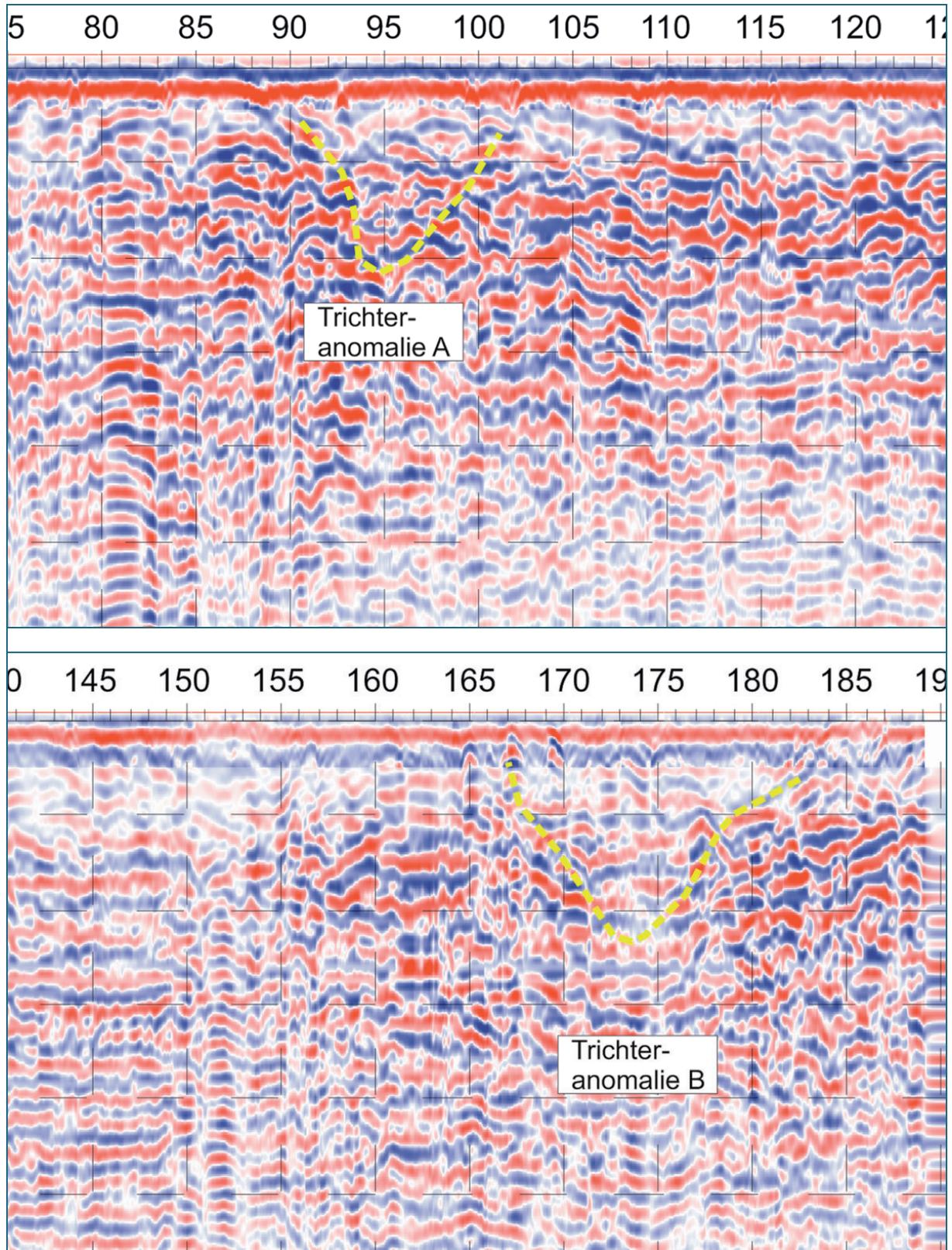
Abb. 11:  
Lokalisierte Sprengtrichter (Kreise). Braun – Bereich mit Grabenstrukturen; rot – nicht gemessene Flächen (zu dichtes Unterholz); grün - Schonung

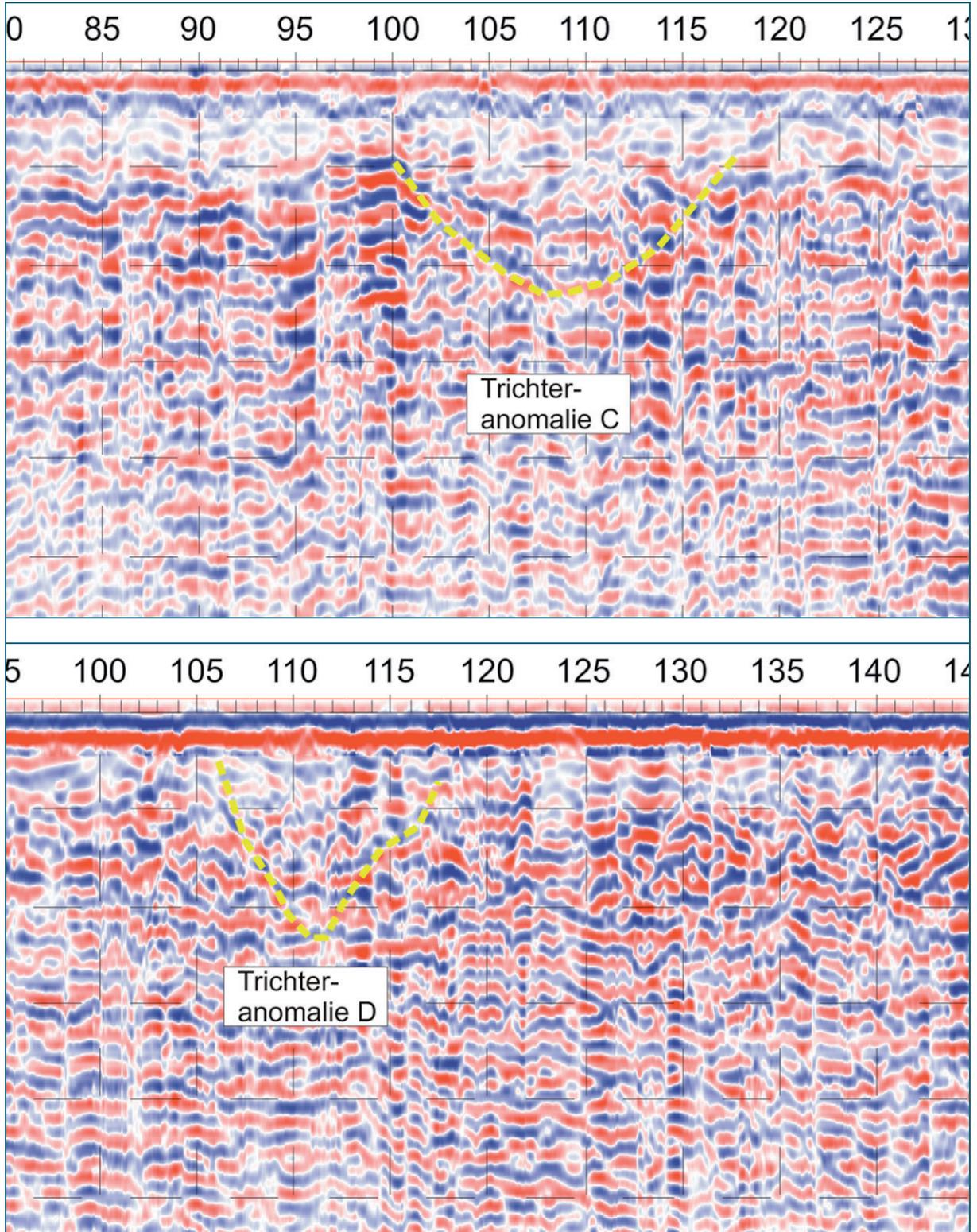
In der Tab. 2 sind die die Koordinaten und Durchmesser zusammengestellt. Die absoluten Koordinaten sind aus Datenschutzgründen nicht angegeben.

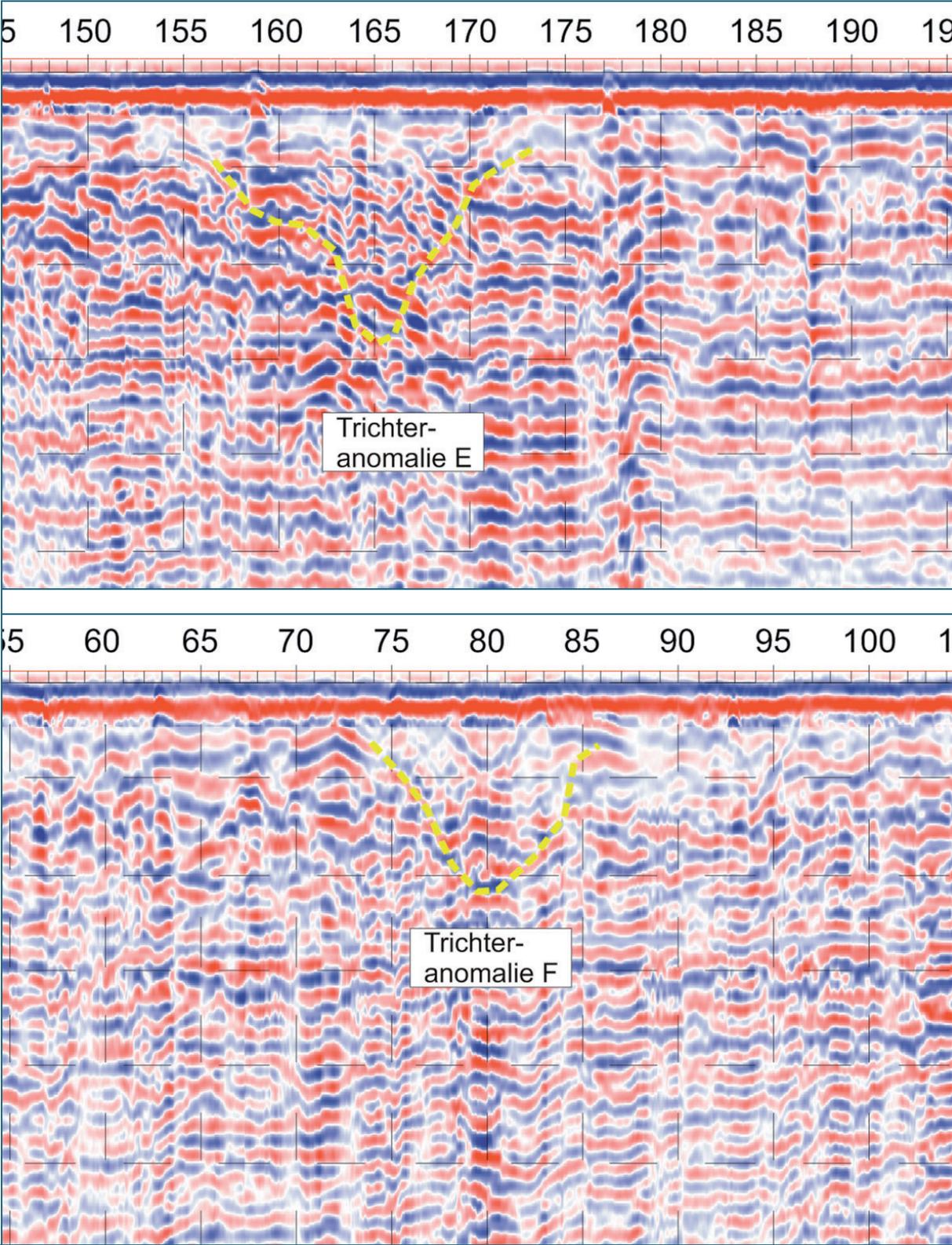
Zentrum des Anomaliebereichs Koordinaten x y [m]			Durchmesser (gerundet)
A	3,0	96,0	10 m
B	30,0	178,0	10 m
C	34,0	110,0	12 m
D	83,0	109,0	10 m
E	90,0	162,0	16 m
F	95,0	78,0	14 m
G	108,0	182,0	20 m
H	140,0	60,0	15 m
I	160,0	87,0	12 m
J	185,0	141,0	13 m
K	204,0	46,0	14 m

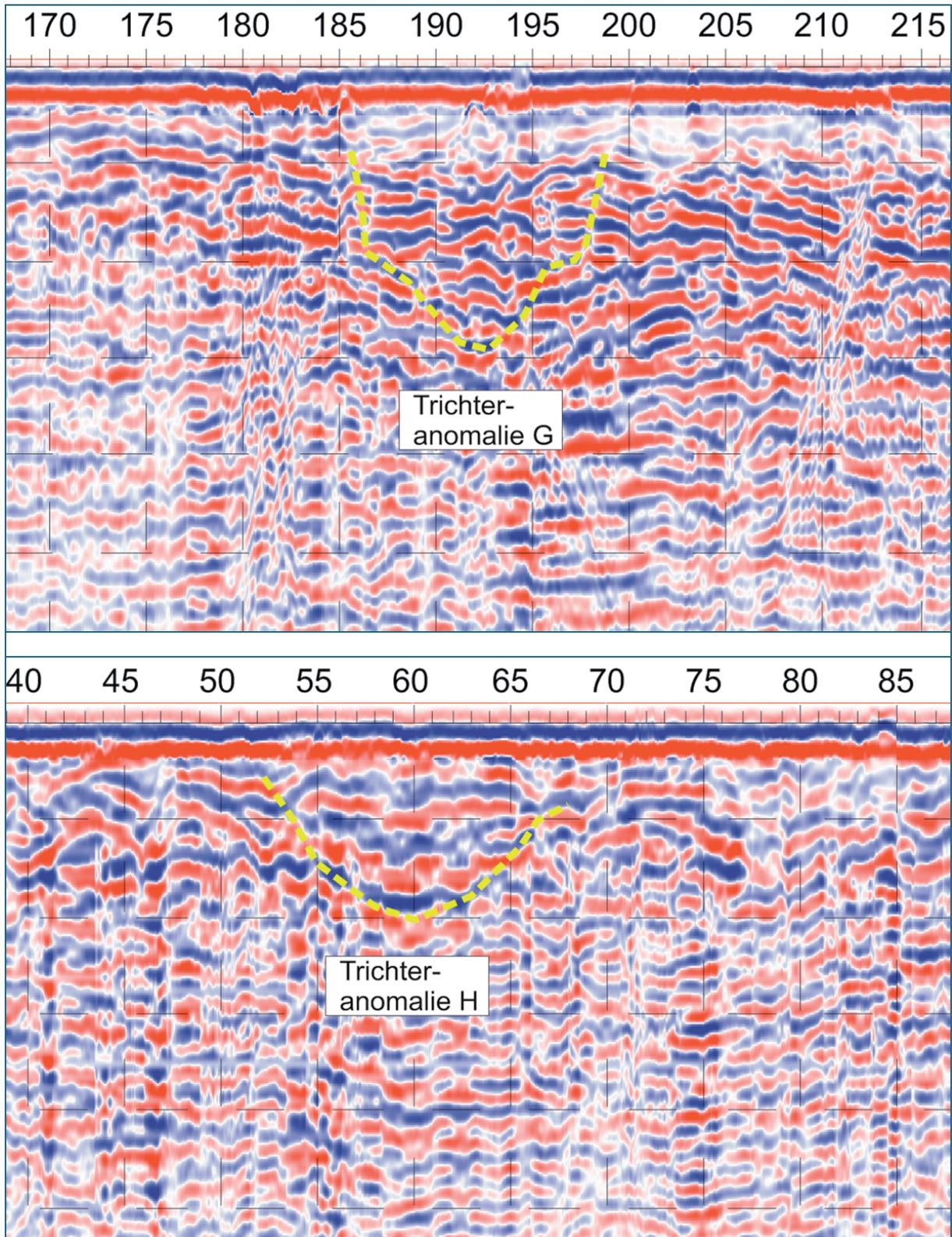
Tab. 2: Anomaliebereiche, die ehemaligen Sprengtrichtern entsprechen können

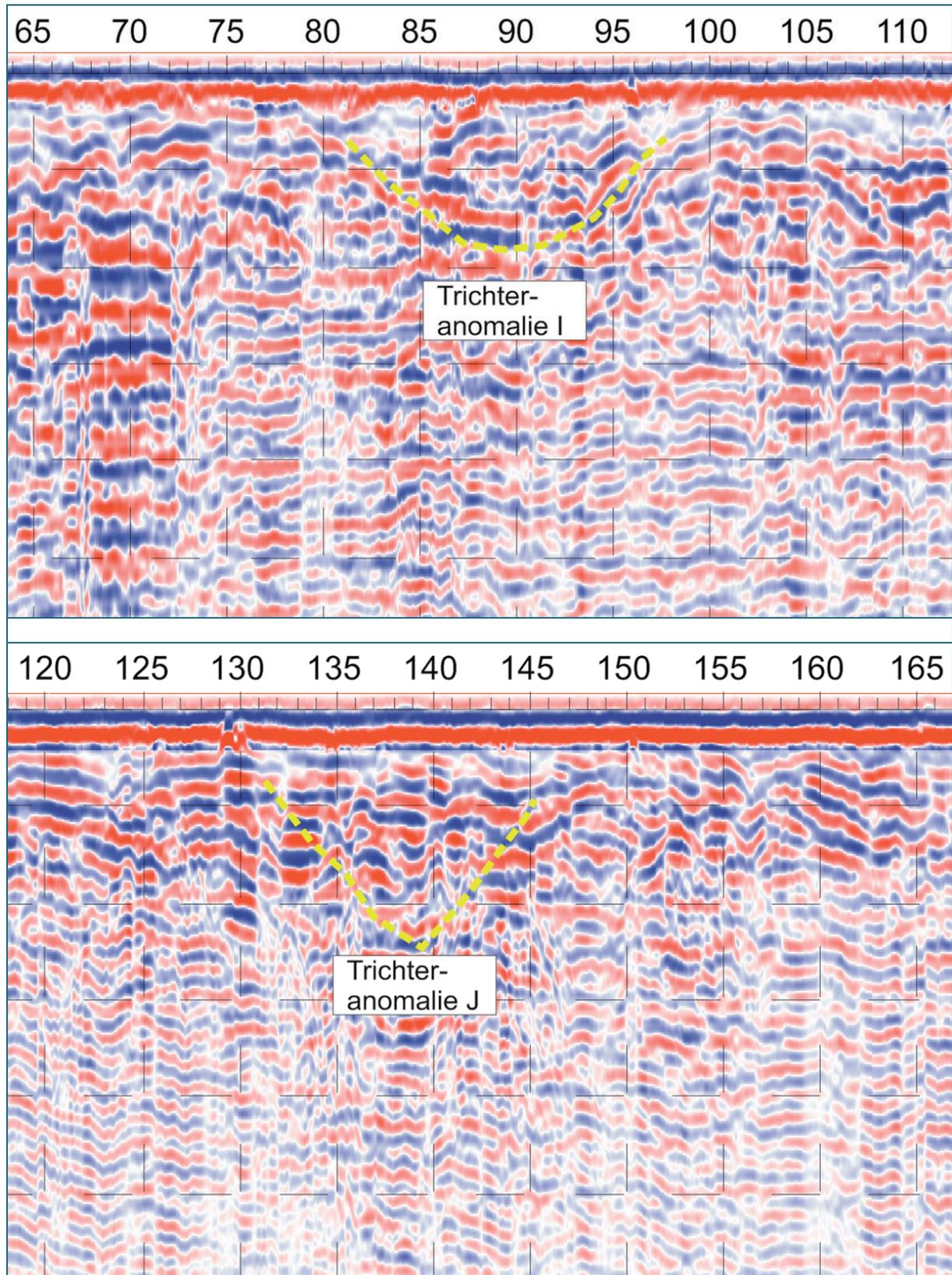
Auf Grund eingeschränkter Ankopplung der Antenne an den Untergrund sind Verzerrungen bezüglich der tatsächlichen Lage der georteten Sprengtrichter nicht auszuschließen. Ferner ist anzumerken, dass hierdurch auch die Wahrnehmung von Signalstrukturen in den Radargrammen erschwert war.











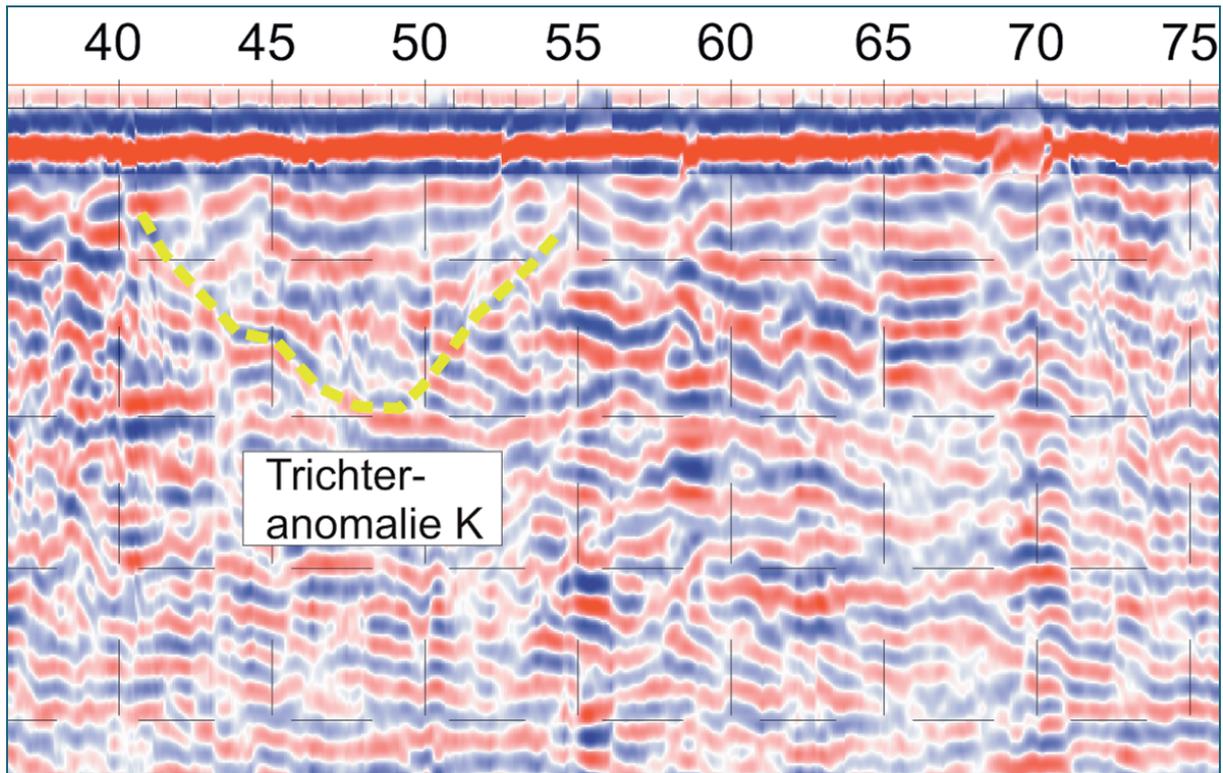


Abb. 12: Standort Sprengplatz A; als Trichter interpretierte Anomalien A bis K.

## 5 Bewertung der Ergebnisse

### 5.1 CIR-Aufnahme

Auf dem Sprengplatz A (Waldstandort) konnte mittels CIR keiner der über 100 vorhandenen Sprengtrichter lokalisiert werden. Trichter bzw. Trichterfüllungen führen offensichtlich zu keinen physiologischen Veränderungen im Nadel-/Mischwald, die über das IR-Spektrum identifiziert oder lokalisiert werden könnten.

Auf dem Platz SD ist nur eine indirekte Überprüfung der Ergebnisse im Vergleich mit den anderen Verfahren möglich, da keine aussagekräftigen Luftbilder aus dieser Zeit vorliegen.

Der südliche Bereich war vor dem Aufnahmezeitpunkt gedüngt worden. Durch die damit verbundene Vergleichmäßigung der Reflexion waren keinerlei Strukturen sichtbar. Mittels Geomagnetik konnte in einem Teilbereich des gedüngten Felds ein Sprengfeld lokalisiert werden. Auf der restlichen Fläche fanden sich keine weiteren Anomalien, die als Trichter interpretiert wurden. Die Resultate der Geomagnetik erscheinen auf diesem Standort dagegen plausibel.

Im übrigen, nicht gedüngten Bereich, konnte *SLU* insgesamt 36 Trichter ausweisen. Teilweise erfolgte die Identifizierung über Verfärbungen, bei anderen waren in erster Linie im 3D-Blick erkennbare Vertiefungen ausschlaggebendes Kriterium. Dies ist jedoch streng genommen kein CIR-spezifisches Merkmal.

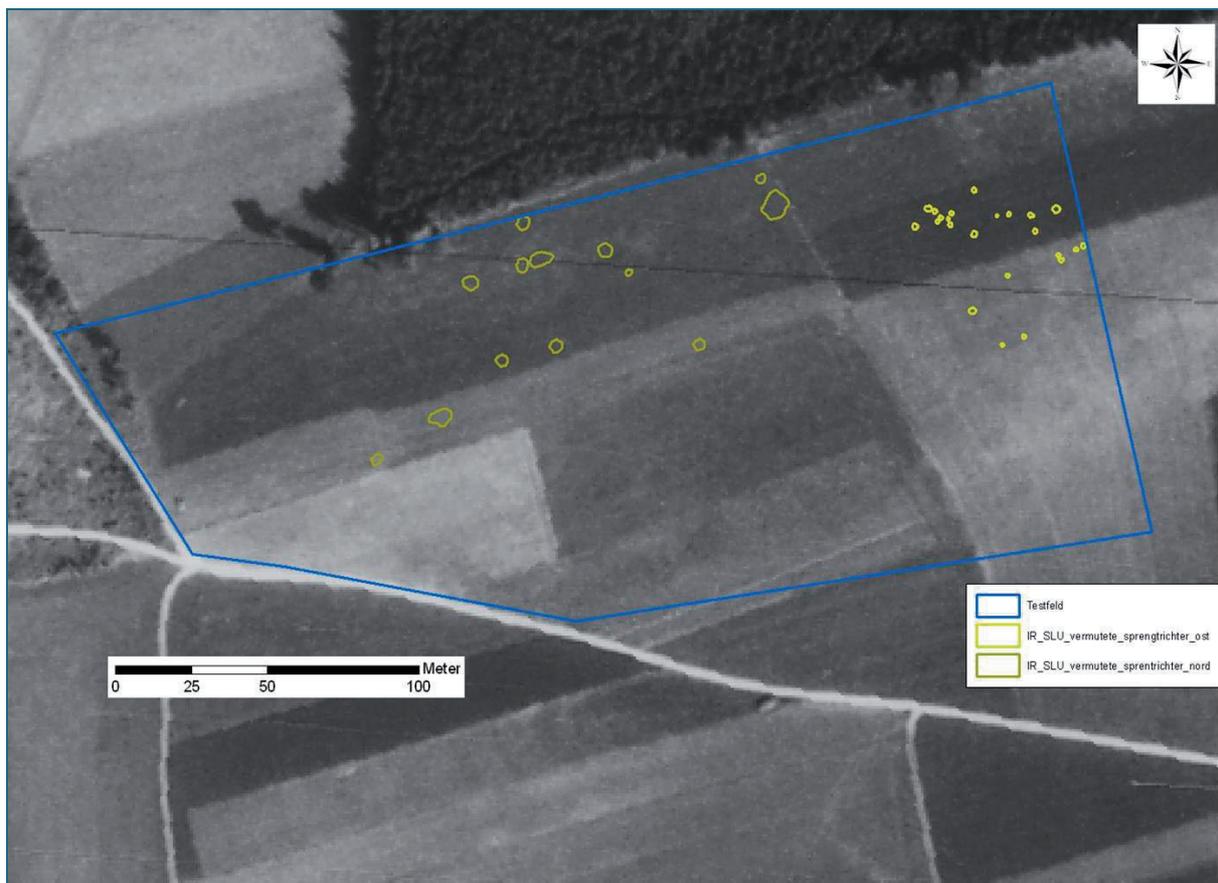


Abb. 13: Vergleich von Luftaufnahme 1959 und Trichtern (gelb), die von SLU mittels IR identifiziert wurden. Das Erscheinungsbild ist sehr untypisch für ein Sprengfeld. Das tatsächliche Sprengfeld liegt im Bereich der westlichen Wegkreuzung.

Die ausgewiesenen Trichter halten wird jedoch aus folgenden Gründen für nicht plausibel:

- ihre Verteilung bzw. Anordnung ist untypisch für einen Sprengplatz,
- ihre Durchmesser sind sehr klein, was ebenfalls untypisch wäre,
- ihre Lage wird nicht durch die geomagnetischen Messungen bestätigt.

Es ist daher zusammenfassend davon auszugehen, dass es sich bei den ausgewiesenen Objekten nicht um Trichter handelt. Die IR-Aufnahme scheint daher keine Methode zu sein, die zur Trichterlokalisierung geeignet ist.

## 5.2 Geomagnetik

Die Luftaufnahme von 1952 lässt auf dem Waldstandort **Sprengplatz A** im Bereich der Testfläche 86 mehr oder minder deutliche Trichterstrukturen erkennen (ohne Schonung, da diese für die Fa. *Schollenberger* nicht zugänglich war).

Die Rohdaten der Fa. *Schollenberger* zeigen, dass das gesamte Testfeld extrem stark gestört ist. Erst durch Anwendung von Filtertechniken konnten 67 Trichterstrukturen identifiziert werden, also rund drei Viertel der 86 vorhandenen. Die Lagen decken sich bei fast allen exakt mit den Trichtern auf dem Luftbild. 20 Trichter (rund ein Viertel) blieben unerkant.

Der Auswertepan von *Schollenberger* enthält weitere rundliche Strukturen, die jedoch nicht als Trichter interpretiert worden sind. Der Vergleich mit dem Luftbild zeigt, dass es sich auch hierbei um Trichter handelt. Die Zahl der verfahrensbedingt prinzipiell erkennbaren Trichter liegt also über 75%. Nur wenige hinterließen folglich keine geomagnetisch signifikante Signatur. Die Abbildung 14 vergleicht das Luftbild von 1952 mit den von *Schollenberger* lokalisierten Trichtern.

Die Trichter ohne deutliche Signatur liegen meist im Nordteil des Sprengfelds. Sie sind auch auf dem Luftbild schwächer zu erkennen. Offensichtlich wurden sie extensiver genutzt.

Ob die deutlichen geomagnetischen Anomalien der Trichter ein generelles Merkmal sind, das auch auf andere Sprengplätze übertragen werden kann, ist unklar, da die Ursache nicht definitiv geklärt ist. Folgende Erklärungen kommen Betracht:

- Die Trichter enthalten noch größere Mengen an Munition.
- Die Signaturen werden durch größere Ansammlungen von Splittern verursacht.
- Der Auswurf / und oder die Splitter wurden durch die Sprengung teilweise magnetisiert.

Bei der orientierenden Erkundung des Standorts im Jahr 2002 waren acht der von *Schollenberger* lokalisierten Trichter mittels Bagger geöffnet worden. Drei davon lagen im südlichen Teil, der sich durch größere Anomalien auszeichnet. Nennenswerte Mengen an Munition (knapp 1 t) wurden lediglich in einem der drei Trichter geborgen. Er zeigt im *Schollenberger*-Plan – trotzdem, dass bei der Erkundung 2002 die (erschlossene) Munition abtransportiert worden war - keine schwächere Signatur als die direkt umgebenden Trichter. Splitter waren bei den Aufschlüssen ebenfalls nicht in signifikant auffälligen Mengen zu Tage getreten.

Zusammenfassend ist nicht bekannt, was die ausgedehnten Anomaliensignale erzeugt. Dies könnte nur geklärt werden, wenn einige Trichter mittels Bagger geöffnet werden.

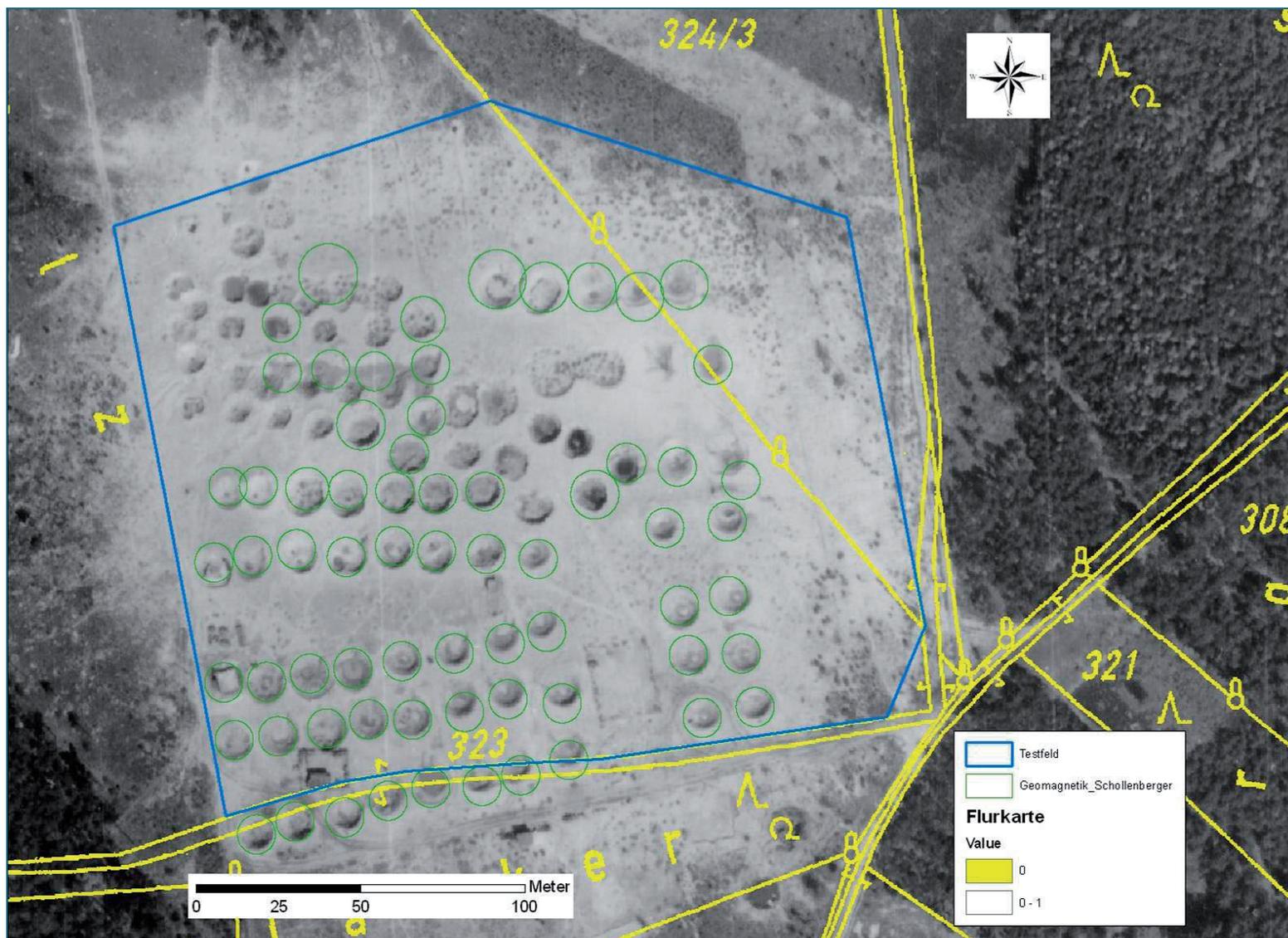


Abb. 14:  
Vergleich von Luftaufnahme 1952 und Trichtern (grün), die von Schollenberger mittels Geomagnetik auf dem Platz A identifiziert wurden. Die Trefferquote liegt bei 75%.

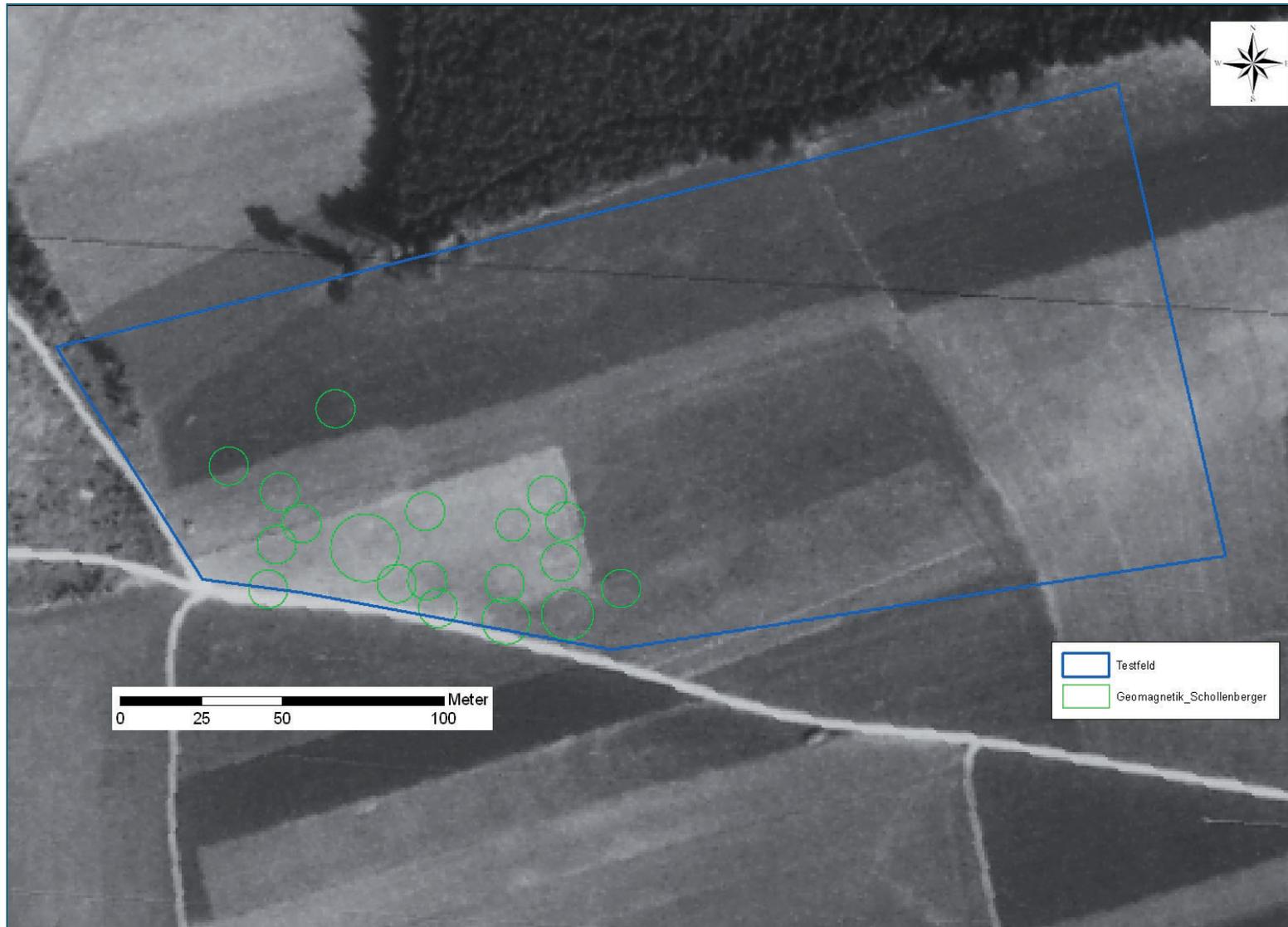


Abb. 15: Standort SD; Vergleich von Luftaufnahme 1959 und Trichtern (grün), die von Schollenberger mittels Geomagnetik identifiziert wurden. Auf dem Bild sind keine signifikanten Hinweise auf die Vernichtungen, die 1949, ca. 10 Jahre vor der Aufnahme abgeschlossen waren, mehr zu erkennen.

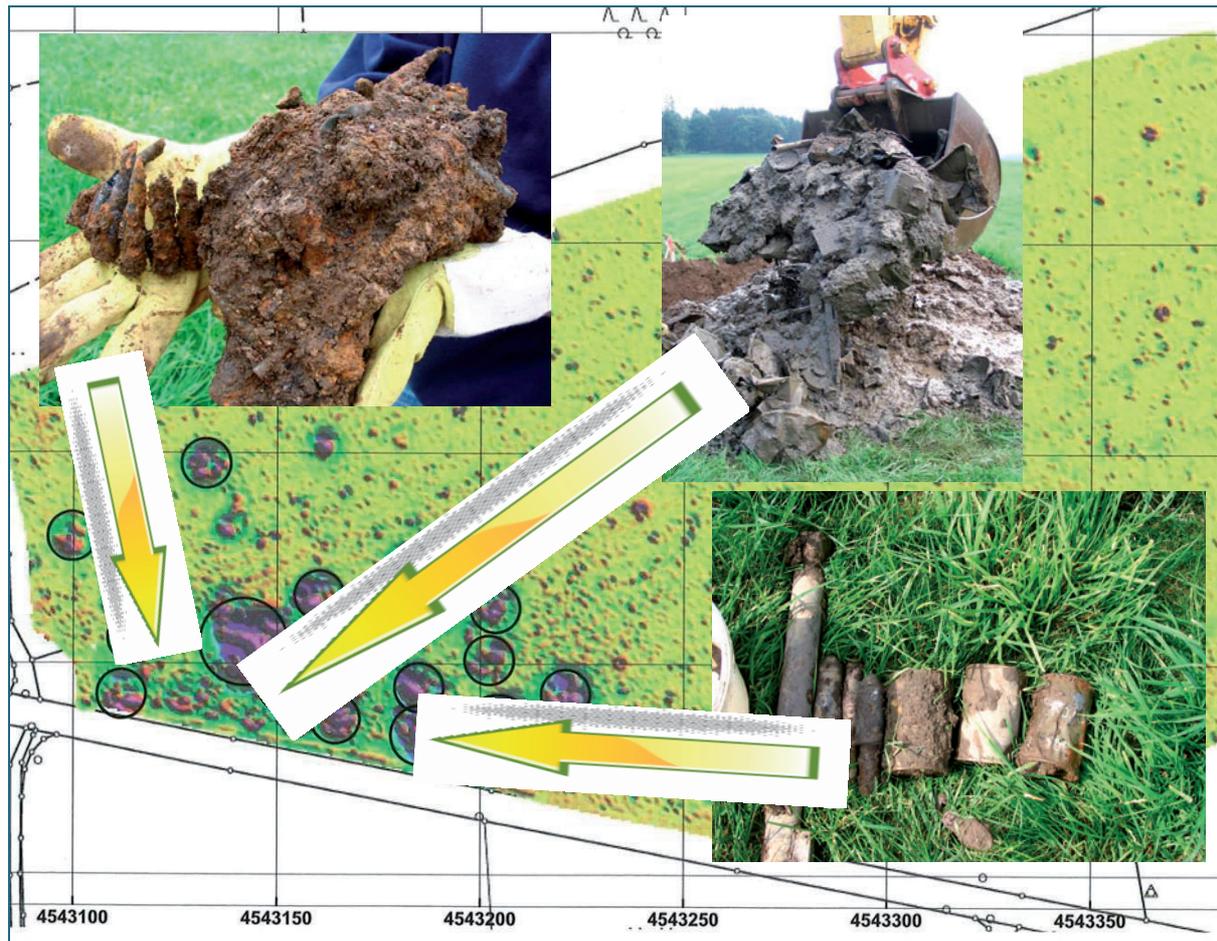


Abb. 16: Standort SD; drei Objekte wurden geöffnet, die von Schollenberger als Trichter auskartiert worden sind. Alle drei erwiesen sich als rückverfüllte Trichter. In einem Fall war Erdreich rückverfüllt, das mit großen Mengen an Infanteriemunition verbacken war (links oben). Der große Trichter enthielt vorrangig Wehrmachtsmüll (rechts oben). Im dritten Trichter wurden größere Mengen an Nebelkörpern sowie diverse Kampfmittel erschlossen (rechts unten).

Am **Sprengplatz SD** konnte *Schollenberger* einen relativ kleinen Bereich mit starken Störungen ausweisen. Je nach Filtertechnik und Zusammenlegung der sich teilweise überlappenden Strukturen zeichnen sich rund 19 Trichter ab. Der übrige Teil der Fläche scheint nur gering mit Splintern oder anderen magnetischen Objekten belegt zu sein. Dies ist ein deutlicher Unterschied zur Fläche Sprengplatz A.

Drei der ausgewiesenen Trichter wurden im Rahmen der modellhaften Erkundung des Sprengplatzes im Sommer 2007 geöffnet. In allen drei Fällen wurden Sprengtrichter unterschiedlicher Tiefe angetroffen. Die Anomalien wurden durch Kampfmittel oder militärische Abfälle (Munitionstransportbehälter, Stahlhelme u. a.) verursacht.

Unter der Voraussetzung, dass sich auch auf anderen Sprengplätzen Trichter durch Anomalien auszeichnen, ist die Geomagnetik zur Trichterlokalisierung gut bis sehr gut geeignet. Lediglich wenig genutzte, flache Trichter scheinen keine messbaren Anomalien zu generieren.

### 5.3 Georadar

Mittels Georadar konnte auf dem **Sprengplatz A** elf Trichter lokalisiert werden. Nur sechs decken sich mit tatsächlichen Trichtern. Dies entspricht einer Erfolgsquote von knapp 7%.

Zusammenfassend scheinen die auf dem Sprengplatz A vorhandenen Trichter keine Merkmale aufzuweisen, die mittels Georadar lokalisierbar wären. Ob dieser Sachverhalt auch auf andere Sprengplätze übertragbar ist, könnte nur durch weitere Messungen geklärt werden.

Am Standort SD wurden 80, sich teils überlappende Trichter ausgewiesen. Eine Verifizierungsmöglichkeit besteht, wie bereits eingangs ausgeführt, nicht. Einige wenige Stellen decken sich mit den Trichtern, die mittels Magnetik ausgewiesen wurden. Dies erscheint jedoch eher zufällig bedingt zu sein. Mit den Trichtern aus der IR-Auswertung sind keine Überschneidungen gegeben.

Da auf beiden Standorten auch in Bereichen ohne nachweisliches Sprenggeschehen Reflexionen gemessen und als Trichter interpretiert wurden, scheint das Radar als Verfahren zur Trichterlokalisierung eher ungeeignet zu sein.

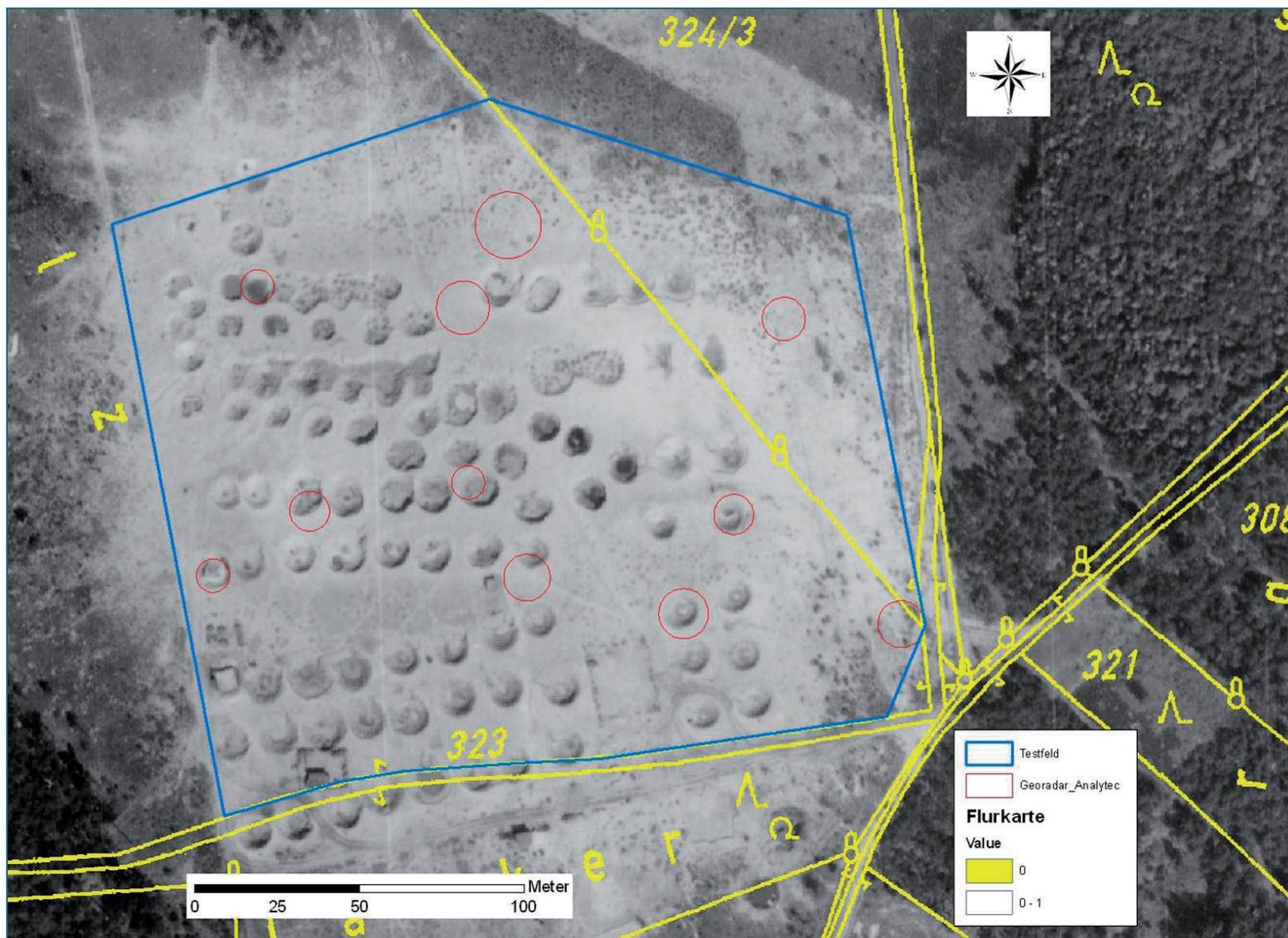


Abb. 17:  
Sprengplatz A  
Vergleich von Luftbild  
1952 und Trichtern  
(rot), die von *analytec*  
mittels Georadar  
identifiziert werden  
konnten. Die Treffer-  
quote liegt bei 7%.

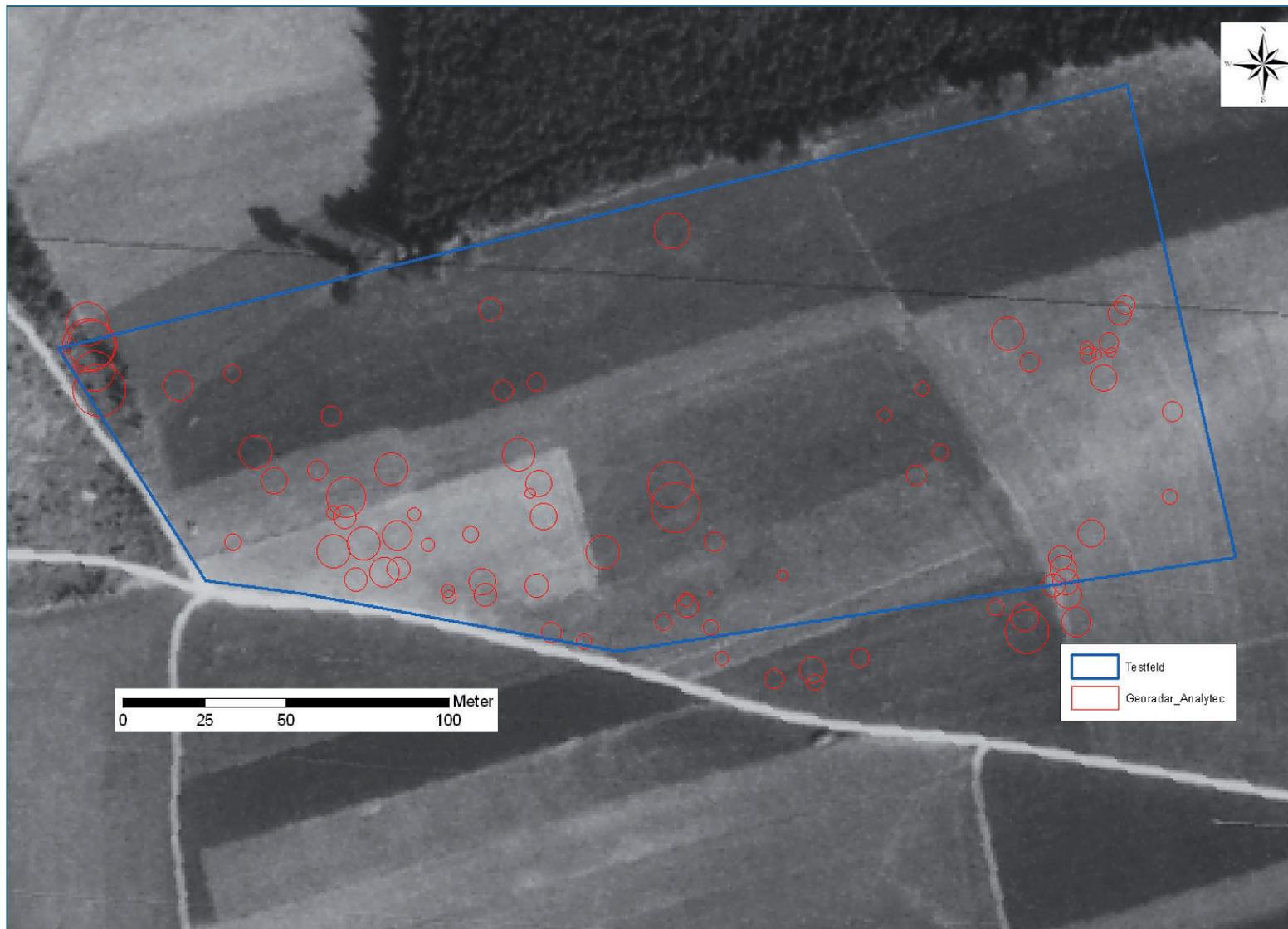


Abb. 18:  
Standort SD; Vergleich  
von Luftbild 1959 und  
Trichtern (rot), die von  
LGA BT mittels Georadar  
identifiziert wurden.  
Die Größen und die  
Anordnung sind eher  
untypisch für Spreng-  
plätze.

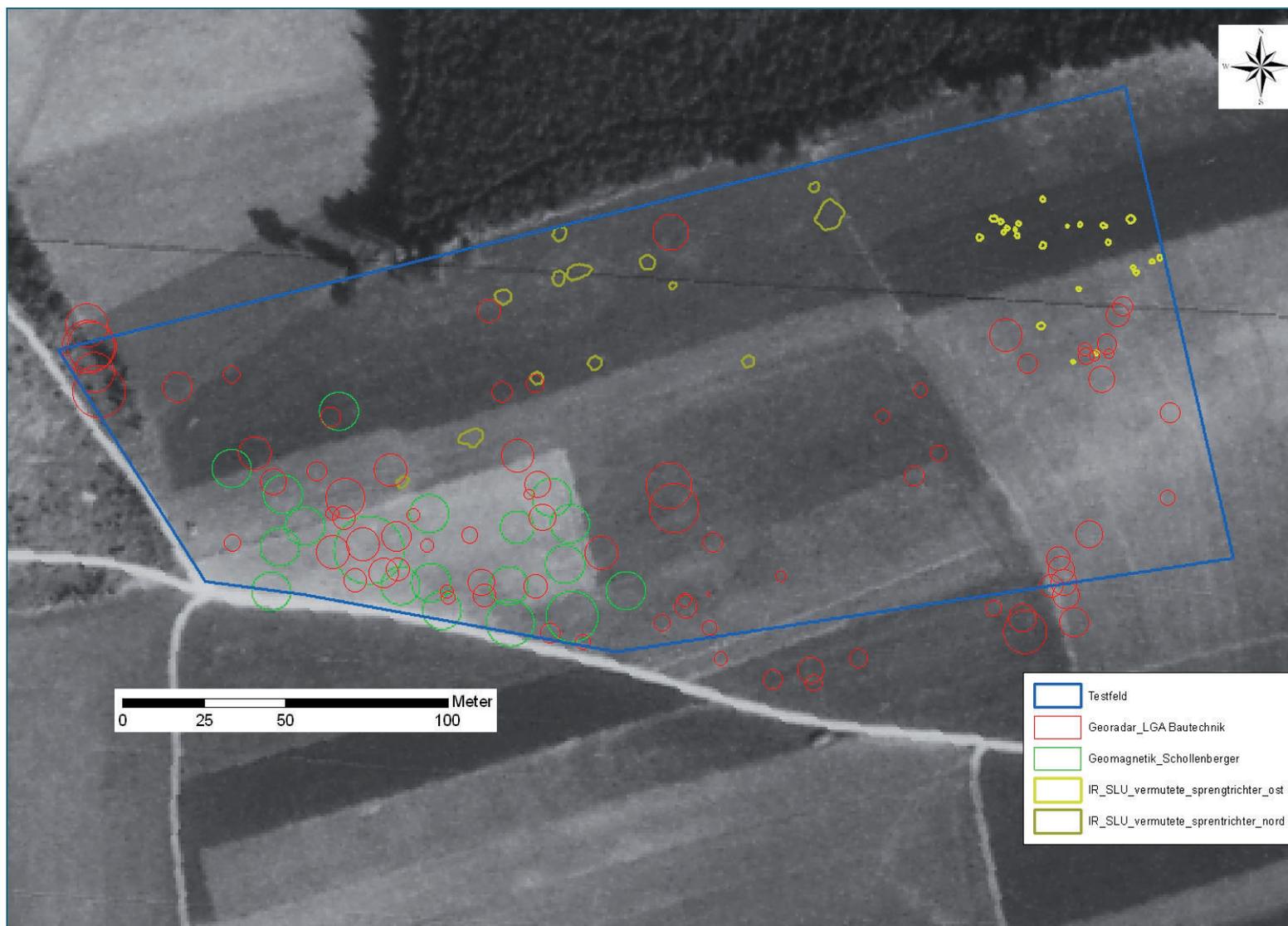


Abb. 19: Standort SD; Vergleich der Methoden zur Trichterlokalisierung; IR (gelb), Geomagnetik (grün) und Georadar (rot). Die Trichtervorschläge der drei Verfahren decken sich kaum. Die mittels Geomagnetik erhaltenen Ergebnisse erscheinen am plausibelsten.

## 6 Folgerungen

Sofern die Verhältnisse auf den beiden ausgewählten Standorten für Sprengplätze repräsentativ sind, eignen sich IR-Aufnahme und Georadar nicht zur Lokalisierung von Sprengtrichtern.

Rückverfüllte Sprengtrichter stellen pflanzenphysiologisch offensichtlich kein Medium dar, das Veränderungen im Chlorophyll-Gehalt gegenüber der Umgebung verursacht. Somit dürften Sprengtrichter mittels IR nicht detektierbar sein. Nach [463] zeigen Nadelgehölze eine Toleranzgrenze von rund 15 mg/l für Nitroaromaten, ab deren Überschreitung eine Minderung des Wachstums zu beobachten ist. Diese Werte werden im Sickerwasser von Sprengplätzen im Regelfall um ein bis mehrere Zehnerpotenzen unterschritten.

Der Untergrund von Sprengfeldern mit ihren oft dicht stehenden Trichterketten wurde durch die Sprengungen vermutlich so stark gestört, dass komplexe Reflexionshorizonte entstanden sind, die offensichtlich mittels Georadar nicht schlüssig interpretierbar sind. Zudem kann offensichtlich auch der Untergrund, der nicht vom Sprenggeschehen beeinflusst ist, Reflexionen zeigen, die Trichtern ähneln. Daher ist auch das Georadar nicht als Verfahren zur Trichterlokalisierung zu empfehlen.

Die Geomagnetik lieferte dagegen auf beiden Standorten plausible Ergebnisse. Am Standort SD lag die Ursache der Anomalien in Kampfmitteln bzw. Wehrmachtsmüll, die in die Trichter rückverfüllt worden sind. Am Sprengplatz A ist die Ursache der Störungen nicht bekannt.

Zusammenfassend scheint nach den derzeitigen Erkenntnissen die Geomagnetik die einzige anwendbare Methode zur Trichterlokalisierung zu sein. Eine generelle Aussage, ob die Ursachen für die Anomalien und damit die Lokalisierung von Sprengtrichtern auch auf anderen Plätzen gegeben sind, ist abschließend nicht möglich.

## **7 Fehlerbetrachtung**

Die Methoden wurden lediglich auf zwei exemplarisch ausgewählten Plätzen verglichen. Es ist zwar unwahrscheinlich, jedoch nicht völlig auszuschließen, dass hier „besondere“ Verhältnisse vorliegen.

Um auf dem Standort Sprengplatz A die Ursache der Anomalien zu klären, müssten etwa zehn Trichter geöffnet und visuell überprüft werden.

Zur Erhöhung der Aussagesicherheit müssten weitere Testflächen auf Sprengplätzen mit unterschiedlichen Charakteren geomagnetisch vermessen werden.

**Bildnachweis:**

Luftbild veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr, 2009	Seite 34 Seite 37 Seite 41 Seite 42
[Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung ( <a href="http://www.geodaten.bayern.de">www.geodaten.bayern.de</a> )]	Seite 36 Seite 40
SCHWENDNER, A.	Seite 38

