

B. Siemon, W. Voß, M. Ibs-von Seht,
J. Pielawa, B. Röttger†

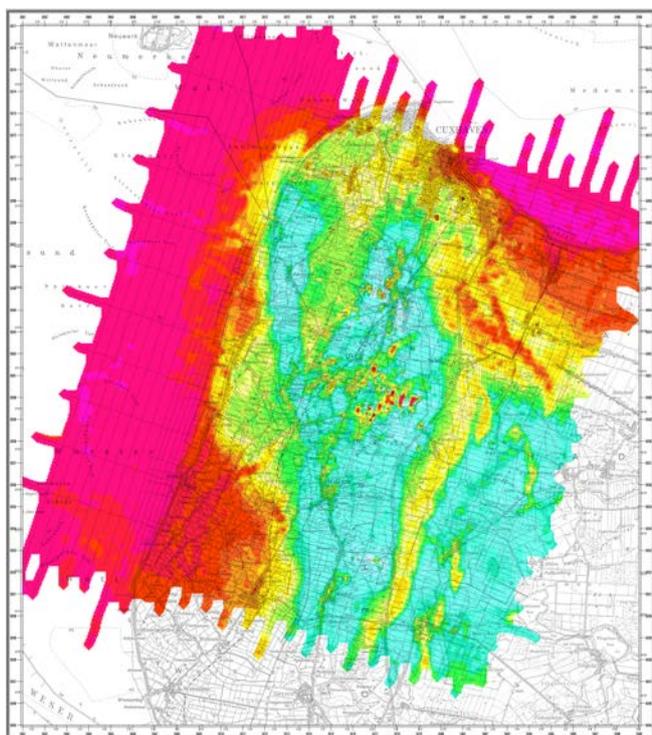


Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Technischer Bericht Hubschrauber-Geophysik Cuxhaven

Mai 2000

(Revision 2013)





**Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe**

**Technischer Bericht
Hubschrauber-Geophysik
Cuxhaven**

Mai 2000

(Revision 2013)



Autoren: B. Siemon
W. Voß
M. Ibs-von Seht
J. Pielawa
B. Röttger†

Datum: 15.04.2013

Inhaltsverzeichnis

Personal	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
Kartenverzeichnis	V
Liste der Vertikalsektionen	VI
Abkürzungen	VII
1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	3
3. Aerogeophysikalische Vermessung	5
3.1. Das Messgebiet	5
3.2. Durchführung der aerogeophysikalischen Messungen.....	6
3.3. Das aerogeophysikalische Messsystem der BGR.....	8
3.3.1. Messhubschrauber	8
3.3.2. Messausrüstung.....	9
3.4. Funktionsweise des aerogeophysikalischen Messsystems	15
3.4.1. Elektromagnetik	17
3.4.2. Magnetik	18
3.4.3. Radiometrie	18
3.4.4. Navigations- und Positionierungssystem	19
3.4.5. Datenaufzeichnung	20
3.4.6. Videosystem.....	20
4. Verarbeitung und Darstellung der Messdaten	21
4.1. Prozessabläufe	21
4.2. Datenverarbeitung in der Elektromagnetik	21
4.2.1. Datenkorrektur.....	22
4.2.2. Phasenüberprüfung.....	22
4.2.3. Nullniveaubestimmung.....	22
4.2.4. Kalibrierung des HEM-Systems.....	23
4.2.5. Transformation der Sekundärfeldwerte in Halbraumparameter	23
4.2.6. 1D-Inversion der HEM-Daten	24
4.2.7. Auswirkung von anthropogenen Einflüssen auf die HEM-Daten.....	24
4.2.8. Statistische Niveauanpassung	25
4.2.9. Präsentation der Ergebnisse	27

4.3. Datenverarbeitung in der Magnetik	27
4.3.1. Magnetisches Totalfeld	27
4.3.2. Berechnung des IGRF	28
4.3.3. Berücksichtigung der Tagesvariationen	28
4.3.4. Statistische Niveauanpassung	28
4.3.5. Präsentation der Ergebnisse	29
4.4. Datenverarbeitung in der Radiometrie	29
4.4.1. Energiekalibrierung	30
4.4.2. Verminderung des Rauschens	30
4.4.3. Detektorhöhe über Grund und effektive Höhe	30
4.4.4. Registrierzeitkorrektur	31
4.4.5. Hintergrundstrahlung	32
4.4.6. Compton-Korrektur	32
4.4.7. Zählraten in Standardflughöhe	33
4.4.8. Berechnung von Radioelement-Konzentrationen und Strahlungsrate	34
4.4.9. Statistische Niveauanpassung und Glättung	36
4.4.10. Präsentation der Ergebnisse	36
4.5. Kartenherstellung mit GEOSOFT-Software	36
5. Kartographische Arbeiten	37
5.1. Topographische Karten 1:50.000	37
5.2. Ergebniskarten	37
6. Archivierung	38
7. Literatur	39
Unterschriften	40
Anhang I: Befliegungsdaten Messgebiet Cuxhaven	41
Anhang II: Beschreibung der Datenformate	46
Anhang III: DVD-Inhalt	55
Anhang IV: Karten	58
Anhang V: Vertikalsektionen	86
Anlage: DVD	

Personal:

Management, Auswertung und Interpretation

Dr. Uwe **Meyer**, Fachbereichsleiter, B2.1, BGR

Bernd **Röttger**[†], Mineraloge, Management und Datenauswertung, 2000: B3.14, BGR

Dr. Bernhard **Siemon**, Arbeitsbereichsleiter, HEM-Datenauswertung, B2.1 BGR, (2000: GGD)

Dr. Malte **Ibs-von Seht**, Geologe, HMG- und HRD-Datenauswertung, B2.1, BGR

Jens **Pielawa**, Kartograf, B2.1 (2000: B3.14), BGR

Messgruppe

Hans-Joachim **Rehli**, Elektrotechnikingenieur, Messgruppenleiter, 2000: B3.14, BGR

Wolfgang **Voß**, Vermessungsingenieur, B2.1 (2000: B3.14), BGR

Karl-Heinz **Meinhardt**, Operator, Systembetreuer, B2.1 (2000: B3.14), BGR

Josef **Scheiwein**, Hubschrauberingenieur, B2.1 (2000: B3.14), BGR

Helmut **Walther**, Pilot, Wiking Helikopter Service GmbH

Adresse: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Fachbereich B2.1

„Geophysikalische Erkundung – Technische Mineralogie“

Stilleweg 2

D-30655 Hannover

Tel.: (0511) 643 3212 (Meyer)

3488 (Siemon)

Fax: (0511) 643 3662

Email: heli@bgr.de, Uwe.Meyer@bgr.de, Bernhard.Siemon@bgr.de

Abbildungsverzeichnis:

1. Messhubschrauber der BGR und Messgruppe im Jahr 2000
2. Lageskizze des Messgebietes Cuxhaven
3. Der Messhubschrauber vor dem BGR-Gebäude in Hannover-Buchholz
4. Prinzipskizze des Hubschrauber-Messsystems
5. Vereinfachtes Blockdiagramm des Hubschrauber-Messsystems
6. Beispiel für eine Vertikalsektion

Tabellenverzeichnis:

1. Technische Daten der Befliegung Cuxhaven
 2. Technische Spezifikationen des BGR-Messhubschraubers mit der Kennung D-HBGR
 3. Komponenten des Hubschrauber-Messsystems
 4. Messfrequenzen und Spulenabstände der 5-Frequenz-HEM-Sonde BKS 48
 5. Energiebereiche registrierter Strahlungsquellen
 6. Kalibrierfaktoren für Inphase R und Quadrature Q des 5-Frequenz-HEM-Systems
 7. Korrekturfaktoren Hintergrundstrahlung
 8. Koeffizienten der Einstreuratzen
 9. Absorptionskonstanten
 10. Sensitivitäten
 11. Linearere Abschwächungskoeffizienten μ_V von Vegetation
 12. Eckpunktkoordinaten des Blattschnittes Cuxhaven
 13. Inhalt der DVD im Überblick
- A-1:** Flugprotokoll

Kartenverzeichnis (1:50.000):

1. Topografie und Fluglinien
2. Digitales Höhenmodell in m NN
3. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 192.600 Hz (ρ_{oa5}) in Ωm
4. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 41.300 Hz (ρ_{oa4}) in Ωm
5. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 8.610 Hz (ρ_{oa3}) in Ωm
6. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 1.830 Hz (ρ_{oa2}) in Ωm
7. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 384 Hz (ρ_{oa1}) in Ωm
8. Schwerpunktstiefe bei 192.600 Hz (z_{st5}) in m unter GOK
9. Schwerpunktstiefe bei 41.300 Hz (z_{st4}) in m unter GOK
10. Schwerpunktstiefe bei 8.610 Hz (z_{st3}) in m unter GOK
11. Schwerpunktstiefe bei 1.830 Hz (z_{st2}) in m unter GOK
12. Schwerpunktstiefe bei 384 Hz (z_{st1}) in m unter GOK
13. Spezifischer Widerstand bei 5 m unter NHN
14. Spezifischer Widerstand bei 10 m unter NHN
15. Spezifischer Widerstand bei 15 m unter NHN
16. Spezifischer Widerstand bei 20 m unter NHN
17. Spezifischer Widerstand bei 30 m unter NHN
18. Spezifischer Widerstand bei 40 m unter NHN
19. Spezifischer Widerstand bei 50 m unter NHN
20. Spezifischer Widerstand bei 60 m unter NHN
21. Spezifischer Widerstand bei 80 m unter NHN
22. Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes in nT
23. Gehalte von Kalium im Boden in %
24. Äquivalentkonzentration von Thorium im Boden in ppm
25. Äquivalentkonzentration von Uran im Boden in ppm
26. Gesamtstrahlung in cps
27. Strahlungsrate am Boden in $\mu\text{R/h}$

Liste der Vertikalsektionen:

Messprofile:

1. VRS 1.1
2. VRS 2.1
3. VRS 3.1
4. VRS 4.1
5. VRS 5.1
6. VRS 6.1
7. VRS 7.1
8. VRS 8.1
9. VRS 9.1
10. VRS 10.1
11. VRS 11.1
12. VRS 213.1
13. VRS 214.1
14. VRS 215.1
15. VRS 216.1
16. VRS 217.1
17. VRS 218.1
18. VRS 219.1
19. VRS 220.1
20. VRS 221.1
21. VRS 222.1
22. VRS 22.1
23. VRS 23.1
24. VRS 24.1
25. VRS 25.1
26. VRS 26.1
27. VRS 27.1
28. VRS 28.1
29. VRS 29.1
30. VRS 30.1
31. VRS 31.1
32. VRS 32.1
33. VRS 33.1
34. VRS 34.1
35. VRS 35.1
36. VRS 36.1
37. VRS 37.1
38. VRS 38.1
39. VRS 39.1
40. VRS 40.1
41. VRS 41.1
42. VRS 42.1
43. VRS 43.1
44. VRS 44.1
45. VRS 45.1
46. VRS 46.1
47. VRS 47.1
48. VRS 48.1
49. VRS 49.1
50. VRS 50.1
51. VRS 51.1
52. VRS 52.1
53. VRS 53.1
54. VRS 54.1
55. VRS 55.1
56. VRS 56.1
57. VRS 57.1
58. VRS 58.1
59. VRS 59.1
60. VRS 60.1
61. VRS 61.1
62. VRS 62.1

Kontrollprofile:

92. VRS 1.5
93. VRS 2.5
94. VRS 3.5
95. VRS 4.5
96. VRS 5.5
97. VRS 6.5
98. VRS 7.5
99. VRS 8.5
100. VRS 9.5
101. VRS 10.5
102. VRS 1.9
103. VRS 2.9
104. VRS 3.9
105. VRS 4.9
106. VRS 5.9
107. VRS 6.9
108. VRS 7.9
109. VRS 8.9
110. VRS 9.9
111. VRS 10.9
112. VRS 11.9
113. VRS 12.9
114. VRS 13.9
115. VRS 14.9
116. VRS 15.9
117. VRS 16.9
118. VRS 17.9
119. VRS 18.9
120. VRS 19.9
121. VRS 20.9
122. VRS 21.9
123. VRS 22.9
124. VRS 23.9
125. VRS 24.9
126. VRS 25.9
127. VRS 26.9
128. VRS 27.9
129. VRS 28.9
130. VRS 29.9
131. VRS 30.9
132. VRS 31.9
133. VRS 32.9

Abkürzungen

°	Grad
°C	Grad Celsius
%	Prozent
1D	eindimensional
α, β, γ, a	Einstreuratzen
a	Hintergrundstrahlung vom Hubschrauber
A, A'	Amplituden
Abb.	Abbildung
b	kosmische Einstreuung
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Bi	Wismut
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
C	Konzentrationen
C_H	Zählrate für Höhenstrahlung
cps	counts per second
Cs	Cäsium
ΔT	Anomalien des magnetischen Feldes
ΔV	(magnetische) Tagesvariationen
δ_T	Residual (Magnetik)
d_a	scheinbare Tiefe
D_a	scheinbarer Abstand
DAGLA	Pilotstudie zu einer detaillierten aerogeophysikalischen Landesaufnahme
DVD	Digital Versatile Disc
ESE	Ostsüdost
EM	Elektromagnetik
eTh	Äquivalentkonzentration von Thorium am Boden
eU	Äquivalentkonzentration von Uran am Boden
f	Frequenz
F	Magnetisches Hauptfeld
FAS	Fugro Airborne Surveys
Fid	Zeitmarke (fiducial), entspricht 10 s bzw. 100 Werte (Records)
FIS-GP	Fachinformationssystem Geophysik
GGA	Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben
GOK	Geländeoberkante
GPS	Global Positioning System
h	Höhe des EM-Systems über Grund (Birdhöhe)
h_e	effektive Höhe des Hubschraubers
HEM	Hubschrauber-Elektromagnetik

HMG	Hubschrauber-Magnetik
HRD	Hubschrauber-Radiometrie
Hz	Hertz
IAEA	International Atomic Energy Agency
IAGA	International Association of Geomagnetism and Aeronomy
IGRF	International Geomagnetic Reference Field
K	Grad Kelvin
K	Kalium
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
kPa	Kilopascal
l	Liter
LEBG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LIAG	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
log	Logarithmus
m	Meter
MB	Megabyte
m NN	Meter über Normalnull
MeV	Megaelektronenvolt
ms	Millisekunde
mV	Millivolt
μ	Absorptionskonstante
μR/h	Mikroröntgen pro Stunde
N _c	Hintergrundstrahlung
n, N	Zählrate
N, NE, NW	Norden, Nord-Ost, Nord-West
NL	nicht-linear
NLFB	Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung
NN	Normalnull
nT	Nanotesla
Ωm	Ohmmeter (Ohm*m)
p	Skintiefe
P, P ₀	barometrischer Druck
PDF	Portable Document Format
ppm	parts per million
Q	Quadrature oder Out-of-phase-Komponente (Imaginärteil) der HEM-Daten
R	Inphase-Komponente (Realteil) der HEM-Daten

r	Abstandsparameter
ρ	spezifischer Widerstand
ρ_a	scheinbarer spezifischer Widerstand (Halbraumwiderstand)
S	Sensitivität
s	Sekunde
S, SO, SW	Süden, Südost, Südwest
STD	Standardtemperatur und -druck
t	Zeit
T	Totalintensität des magnetischen Feldes
T, T ₀	Temperaturen
Tab.	Tabelle
TC	Gesamtstrahlung
Th	Thorium
TK	Topographische Karte
Tl	Thallium
t _L	Lebenszeit
topo	Topografie
U	Uran
UTC	Universal Time Coordinated (Weltzeit)
VRS	Vertikalschnitt des spezifischen Widerstandes
V	Volt
W	Westen
z*	Schwerpunktstiefe

1. Zusammenfassung

In dem Forschungsvorhaben „Cuxhavener Rinne“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), sollten in einem für die Trinkwasserversorgung bedeutsamen Raum mit tiefen quartären Rinnensystemen und Kontakt zum im Untergrund eingedrungenen Meerwasser auf andere Gebiete übertragbare Untersuchungsverfahren und Beurteilungsgrundlagen erarbeitet werden. Hierzu führte die BGR, in 2000 Referat B 3.14, heute Fachbereich B 2.1, im Rahmen ihres Forschungsvorhabens „Pilotstudie zu einer detaillierten aerogeophysikalischen Landesaufnahme“ (DAGLA) im Mai 2000 eine aerogeophysikalische Vermessung im Raum Cuxhaven durch. Die Befliegung stand im Zusammenhang mit einem Forschungsvorhaben des Instituts für Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben (GGA), heute Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), zur Untersuchung von Transport- und Reaktionsprozessen im Küstennahbereich zwischen Cuxhaven und Bremerhaven. In beiden Gebieten zählten die Erprobung neuer geophysikalischer Untersuchungs-, Mess- und Interpretationstechniken zur Erfassung von Salzwasserintrusionen und Ablagerungen von tonigem Material zu den primären Zielen des Forschungsvorhabens.

Das Hubschrauber-Messsystem der BGR umfasst die Methoden Elektromagnetik (HEM), Magnetik (HMG) und Radiometrie (HRD). Die Elektromagnetik liefert die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit bis in maximal 150 m Tiefe, die Magnetik zeigt die Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes, deren Quellen sowohl oberflächennah als auch aus großer Tiefe stammen können, und in der Radiometrie werden die Verteilungen der Elemente Kalium, Uran und Thorium sowie die Gesamtstrahlung und die Strahlungsrate, die in der Regel aus dem oberflächennahen Bereich des Untergrundes herrühren, bestimmt.

Das Messsystem bestand in 2000 aus einem Hubschrauber als Systemträger, den simultan registrierenden geophysikalischen Messinstrumenten, die sich in einer nachgeschleppten Flugsonde (HEM und HMG) bzw. im Hubschrauber (HRD) befanden, den Navigations- und Positionierungsinstrumenten und einer Bodenstation zur Erfassung der zeitlich variablen Messgrößen (barometrischer Luftdruck, Variation des Magnetfeldes), die zur Korrektur der während des Fluges gemessenen Daten benötigt wurden.

Die mittlere Flughöhe der Messsensoren betrug 49 m für Elektromagnetik und Magnetik und 89 m für die Radiometrie. Während des Fluges wurden die Daten der HEM und HMG zehnmal pro Sekunde und die Daten der HRD einmal pro Sekunde aufgezeichnet, was bei einer Fluggeschwindigkeit von etwa 142 km/h auf einen mittleren Messpunktabstand von 4 m bzw. 40 m führte.

Die Messdaten und die dazugehörigen Positionsdaten wurden im Flug auf einer ZIP-Diskette (100 MB) gespeichert und unmittelbar nach der Befliegung einer ersten Kontrolle unterzogen. Eine weiterführende Bearbeitung aller Messdaten sowie der Daten der parallel registrierenden Bodenstation erfolgte im Feld bzw. nach Abschluss der Befliegung in der BGR in Hannover.

Das Messgebiet Cuxhaven hat eine Ausdehnung von 22 km in WNW-OSO- und 24 km in NNO-SSW-Richtung und ist etwa 18,5° gegenüber N nach O gedreht. Die nördliche Grenze des rechteckigen Gebietes verläuft durch das Stadtgebiet von Cuxhaven, während die westliche Grenze etwa 5 km von der Küste entfernt im Wattenmeer liegt und parallel zur Küste verläuft. Mit 15 Messflügen, die

133 Mess- bzw. Kontrollprofile mit einer Gesamtlänge von ca. 2430 Profilkilometer umfassen, wurde in dem Befliegungszeitraum vom 05. bis 19. Mai 2000 eine Fläche von etwa 530 km² vermessen. Der Sollabstand der WNW–OSO-Profile betrug über Land 250 m und über dem Watt 2250 m, derjenige der NNO–SSW-Profile variierte zwischen 250 (Watt) und 1000 m (Land).

Der vorliegende „Technische Bericht“ ist eine Revision eines Berichtes aus dem Jahr 2001, in dem bereits die Durchführung der aerogeophysikalischen Vermessung protokolliert und die verwendete Messausrüstung sowie die Bearbeitung der Daten und die Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten und Schnitten beschrieben worden sind. Da die HEM-Daten nochmals in 2006 niveauekorrigiert und invertiert sowie die HMG- und HRD-Daten in 2012/13 neu bearbeitet wurden, war eine Revision des Technischen Berichtes notwendig. Die prozessierten Daten und die thematischen Karten sind auf einer DVD abgelegt, die als **Anlage** diesem Bericht beigelegt ist.

Folgende Karten, die in Form von farbigen Isolinienplänen mit unterlegter Topographie und Fluglinien vorliegen, sind im Maßstab 1:50.000 erstellt worden:

- Fluglinienplan der vermessenen Profile (Ist-Flugwege),
- Digitales Höhenmodell,
- Scheinbare spezifische Widerstände (Halbraumwiderstände) und Schwerpunktstiefen für die fünf Messfrequenzen 384, 1830, 8610, 41.300 und 192.600 Hz,
- Horizontale Verteilung des spezifischen Widerstandes in verschiedenen Tiefen (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 und 80 m unter NHN),
- Anomalien der magnetischen Totalintensität,
- Totalstrahlung, die Gehalte von Kalium, die Äquivalentkonzentrationen von Uran und Thorium sowie die Strahlungsrate am Boden.

Ferner sind für alle Messprofile die Vertikalsektionen des spezifischen Widerstandes basierend auf den 1D-Inversionsmodellen für im Horizontalmaßstab von 1:50.000 produziert worden.

2. Einleitung

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Referat B 3.14, heute Fachbereich B 2.1, führte im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pilotstudie zu einer aerogeophysikalischen Landesaufnahme“ im Mai 2000 eine aerogeophysikalische Vermessung im Raum Cuxhaven durch. Die Befliegung stand im Zusammenhang mit einem Forschungsvorhaben des Instituts für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), heute Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), zur Untersuchung von Transport- und Reaktionsprozessen im Küstennahbereich zwischen Cuxhaven und Bremerhaven (Kessels et al., 2000). Von besonderem Interesse war die Erkundung der Bremerhaven-Cuxhavener Rinne und die Salzwasserintrusion.

Die Erprobung neuer geophysikalischer Untersuchungs-, Mess- und Interpretationstechniken zur Erfassung von Salzwasserintrusionen und Ablagerungen von tonigem Material zählten zu den primären Zielen des Forschungsvorhabens.

Das Hubschrauber-Messsystem der BGR (**Abb. 1**) umfasst die Methoden Elektromagnetik (HEM), Magnetik (HMG) und Radiometrie (HMG), auch als Gammastrahlenspektrometrie bzw. Szintillometrie bezeichnet. Die Elektromagnetik liefert die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit, die Magnetik zeigt die Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes und in der Radiometrie werden die Verteilungen der Elemente Kalium, Uran und Thorium sowie die Gesamtstrahlung und die Strahlungsrate bestimmt.

In einem „Technische Bericht“ aus dem Jahr 2001 sind die Durchführung der aerogeophysikalischen Vermessung protokolliert und die verwendete Messausrüstung sowie die Bearbeitung der Daten und die Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten und Schnitten beschrieben worden (Siemon et al., 2001). Die HEM-Auswertung und -Interpretation ist von der Geophysik GGD im Auftrage der BGR durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind in einem Bericht (Siemon, 2000) dargelegt. Sie liefern Aussagen zur Süß-/Salzwasserverteilung und geben Hinweise über die Verteilung von Tonen und Schluffen, die vor allem in eiszeitlichen Rinnen im Untergrund abgelagert wurden. Die Verifizierung dieser Ergebnisse anhand von Bohrungen und gleichstromgeoelektrischen Messungen ist in einem Bericht des GGA-Instituts beschrieben (Siemon, 2001b).

In den Jahren 2008–2009 wurden im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben im Projekt „D-AERO“ der BGR bzw. im Projekt „Flächenhafte Befliegungen“ des LIAG Hubschrauber-Befliegungen an der deutschen Nordseeküste durchgeführt (Wiederhold et al., 2010). Die Ergebnisse dieser sowie älterer Befliegungen in Deutschland sollen in ein Fachinformationssystem Geophysik (FIS-GP) des LIAG (https://www.fis-gp-appl.liag-hannover.de/app/fis_gp/start_language_select.htm) eingestellt werden. Ferner ist eine zusammenfassende Darstellung aller Befliegungsgebiete an der Nordseeküste geplant.

Die Revision des Technischen Berichtes (Siemon et al., 2001) ist erforderlich geworden, da die HEM-Daten nochmals in 2006 niveauekorrigiert und invertiert sowie die HMG- und HRD-Daten in 2012/13 neu bearbeitet wurden, bevor sie in FIS-GP eingestellt worden sind.

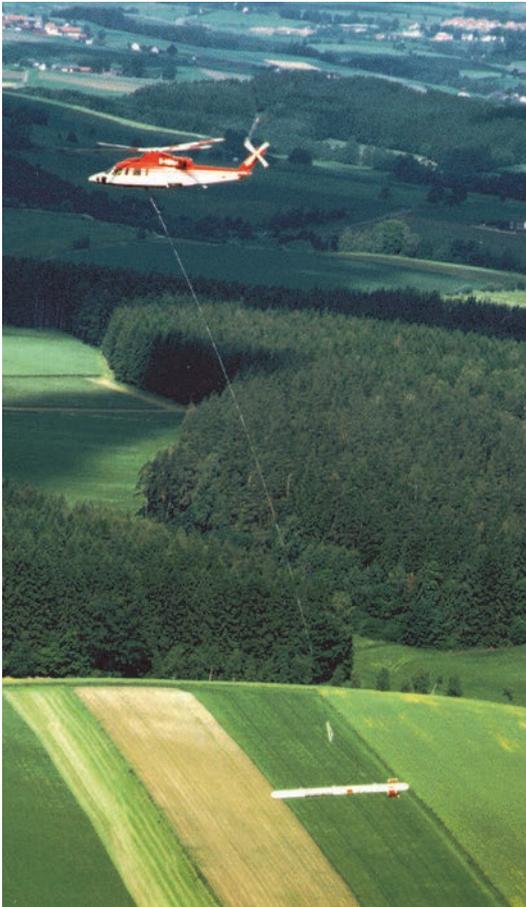


Abb. 1a: Messhubschrauber der BGR während eines Messfluges

b: Start zum Messflug

c: Messgruppe Aerogeophysik der BGR im Jahr 2000

3. Aerogeophysikalische Vermessung

3.1. Das Messgebiet

Das Messgebiet Cuxhaven hat eine Ausdehnung von ca. 22 km in WNW–OSO- und ca. 24 km in NNO–SSW-Richtung und ist $18,5^\circ$ gegenüber N nach O gedreht. Die nördliche Grenze des rechteckigen Gebietes verläuft durch das Stadtgebiet von Cuxhaven, während die westliche Grenze etwa 5 km von der Küste entfernt im Wattenmeer liegt und parallel zur Küste verläuft. **Tab. 1** enthält die Kenndaten für das Messgebiet und **Abb. 2** zeigt einen Lageplan des Messgebietes (mit roten Punkten umrandete Fläche) sowie den Blattschnitt der Topographischen Karte 1:50.000 zur Darstellung der Ergebnisse (gestrichelt eingerahmte Fläche). Das Messgebiet erstreckt sich über die TK25-Kartenblätter 2117, 2118, 2217, 2218 und überdeckt an seinen Rändern Teile der Blätter 2116, 2216, 2316, 2317 sowie 2318 (siehe **Abb. 2**).

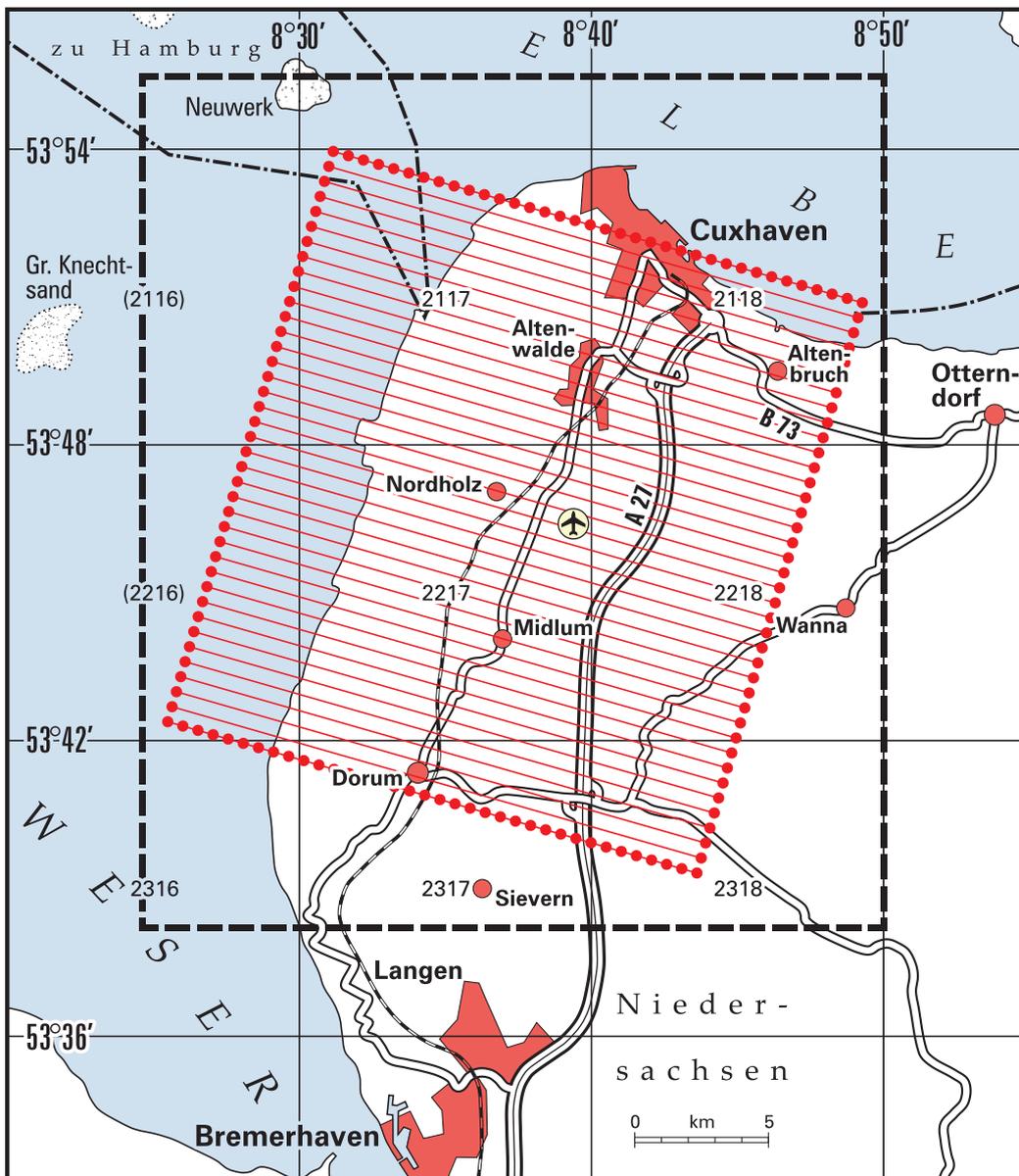


Abb. 2: Lageskizze des Messgebietes Cuxhaven

3.2. Durchführung der aerogeophysikalischen Messungen

Die geophysikalische Befliegung des Messgebietes Cuxhaven wurde im Zeitraum 05. Mai bis 19. Mai 2000 vom Flugplatz Nordholz-Spieka (Koordinaten: 53°46'02"N, 8°38'20"O; Höhe: 22 m über NHN) aus durchgeführt (Tab. 1). Die Betankung des Messhubschraubers erfolgte mit freundlicher Genehmigung der Bundeswehr auf dem benachbarten Marinefliegerhorst Nordholz.

Die Befliegung wurde auf parallelen Messprofilen zu einem vorgegebenen Profilabstand und senkrecht hierzu auf einigen Kontrollprofilen mit deutlich größerem Profilabstand durchgeführt. Während eines Messfluges, insbesondere vor dem ersten und nach dem letzten Profil, aber auch zwischen einigen Profilen, wird das Messsystem in große Höhen gebracht, um die notwendigen Kalibrierungen des HEM-Systems durchführen zu können.

Die bevorzugte Profilrichtung im Bereich „Land“ war WNW-ESO, im Bereich Watt NNO-SSW. Um Komplikationen bei der Datenverarbeitung zu vermeiden, wurden die WNW-OSO-Profile über Land mit *.1 und die über Watt mit *.2 sowie alle NNO-SSW-Profile mit *.9 gekennzeichnet. Da auch die 4 Wiederholungsprofile (81–84, vgl. Anhang) die Kennung *.2 erhielten, sind die Wattprofile in *.5 umbenannt worden. Eine weitere Konvention ist, dass die Profile mit Flugrichtung nach Norden bzw. Osten gerade Profildnummern bekommen, die in entgegengesetzter Richtung ungerade. Bei einem Messflug wurde diese Konvention versehentlich nicht beachtet. Daher sind die Profile 12–21 (vgl. Anhang) in 213–222 umbenannt worden. Ferner sind die Flugnummern intern von 810xx auf 081xx umgestellt worden, um eine dreistellige Gebietsnummer nutzen zu können.

Aufgrund der besonders während der ersten Hälfte des Messeinsatzes guten Wetterbedingungen konnten die Messflüge zügig und ohne nennenswerte Probleme durchgeführt werden. Selbst die Windverhältnisse waren für eine Küstenregion ausgesprochen günstig. Der Wind kam meistens aus Westen und die Windgeschwindigkeiten lagen in der Regel unterhalb von 10 Knoten (5 m/s). Nur bei zwei Flügen erreichten sie Werte von 20 bis 40 Knoten (10–20 m/s) und lagen damit in einem für die Durchführung von Messflügen kritischen Bereich. Jedoch war auch bei diesen Flügen eine deutliche Beeinflussung der Qualität der Messergebnisse nicht zu erkennen.

Über dem Stadtgebiet von Cuxhaven musste aus Sicherheitsgründen die Flughöhe des Hubschraubers, die während des Messfluges bei etwa 75 m (250 Fuß) liegt, auf 150 m (500 Fuß) erhöht werden. Flüge über dem Truppenübungsplatz Altenwalde durften nur nach vorheriger Genehmigung durch die Bundeswehr durchgeführt werden, da hier häufig Schießübungen mit scharfer Munition stattfinden.

Aus fliegerischer Sicht bereitet die aerogeophysikalische Vermessung des Gebietes Cuxhaven keine Schwierigkeiten, da das Gelände insgesamt relativ flach ist. Störungen der Messungen durch Starkstromleitungen, elektrische Eisenbahnstrecken, Windräder oder starke Sender sind zwar vorhanden, dennoch konnten die Messungen weitestgehend wie geplant durchgeführt werden.

Aus organisatorischen Gründen wurde das Messgebiet in die Bereiche „Land“ und „Watt“ unterteilt. Der Bereich „Land“ konnte zu jeder beliebigen Zeit befliegen werden. Im Bereich „Watt“ dagegen mussten bei der Flugplanung die Gezeiten berücksichtigt werden. Messflüge durften hier nur bei

Ebbe durchgeführt werden, um die Aussagetiefe für das elektromagnetische System nicht unnötig einzuschränken.

Einzelheiten zum Messgebiet und den Messflügen können **Tab. 1** und dem **Anhang** entnommen werden.

Messgebiet Cuxhaven: BGR-Gebietsnummer:	Cuxhaven 81
Befliegungszeitraum	05.05.–19.05.2000
Größe des Messgebietes	530 km ²
Gesamt-Profilkilometer	2430 km
Zahl der Messflüge	18
Bezeichnung der Messflüge	81000–81017
Mittlere Flughöhe der Messsonde über Grund	49 m
Mittlere Messfluggeschwindigkeit	142 km/h
Zahl der Messprofilflüge	11
Zahl der Messprofile	101
Länge der Messprofile	16 km (Land), 9 km (Watt)
Richtung der Messprofile	108,5° bzw. Gegenrichtung
Abstand der Messprofile	250 m (Land), 2250 (Watt)
Zahl der Kontrollprofilflüge	4
Zahl der Kontrollprofile	32
Länge der Kontrollprofile	25 km
Richtung der Kontrollprofile	18,5° bzw. Gegenrichtung
Abstand der Kontrollprofile	1000 (Land), 250/500 m (Watt)
Spektrometer-Steigflüge	2 (über Land / Wasser)
Sonderflüge (Kalibrierflug EM)	1 (über Nordsee)

Tab. 1: Technische Daten der Befliegung Cuxhaven.

3.3. Das aerogeophysikalische Messsystem der BGR

Das aerogeophysikalische Messsystem der BGR erfasst Daten für die drei Methoden Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie (Gammastrahlenspektrometrie, Szintillometrie). Die dafür erforderliche Messtechnik ist zusammen mit den zur Durchführung von Messflügen erforderlichen Navigations- und Positionierungssystemen, der analogen und digitalen Messwertaufzeichnung sowie den übrigen für die Durchführung der Messungen benötigten Geräten zu einem integrierten Messsystem zusammengefasst (**Tab. 3**), welches sich in einer Flugsonde oder im Hubschrauber (**Abb. 3**) bzw. in einer Referenzstation am Boden befindet.

3.3.1. Messhubschrauber

Im Jahre 1986 wurde vom Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) der eingesetzte Hubschrauber vom Typ Sikorsky S-76B (siehe **Tab. 2**) angeschafft und der BGR als Messhubschrauber zur Verfügung gestellt.

Typ	Sikorsky S-76B (Hersteller: Sikorsky, USA)
Baujahr	1986
Antrieb	2 Turbinen Pratt & Whitney PT6B-36A mit je 1033 SHP (shaft horse power)
Maximales Abfluggewicht	11.700 pounds (5363 kg)
Maximales Gewicht der Außenlast	3300 pounds (1500 kg)
Maximale Messflugzeit	2 h 45
Kerosinverbrauch pro Stunde	350–400 l

Tab. 2: Technische Spezifikationen des BGR-Messhubschraubers mit der Kennung D-HBGR.



Abb. 3: Der Messhubschrauber vor dem BGR-Gebäude in Hannover-Buchholz

3.3.2. Messausrüstung

Tab. 3: Komponenten des Hubschrauber-Messsystems

Geophysikalische Messsysteme	
I. Elektromagnetisches 5-Frequenz-Messsystem (HEM)	
<i>Flugsonde</i> ▶	
Aufgabe	Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes bis zu Tiefen von etwa 150 m
Kurzbeschreibung	Analoges elektromagnetisches Messsystem mit fünf diskreten Frequenzen; die Messdaten werden zehnmal pro Sekunde erfasst. Die Spulensysteme sind in eine aus Kevlar gefertigte, ca. 10 m lange Flugsonde eingebaut.
Abstand Sende- Empfangsspulen	6,6–6,9 m (für jede Frequenz verschieden)
Sendefrequenzen	384 Hz; 1830 Hz; 8610 Hz; 41.300 Hz; 192.600 Hz
Spulenkongfiguration	Horizontal-koplanar für alle Frequenzen
Hersteller	Geotrex-Dighem, Kanada (heute: Fugro Airborne Surveys, FAS), in Zusammenarbeit mit der BGR
Gerätebezeichnung	DIGHEM V (BGR), BKS 48
II. Magnetometer	
Aufgabe	Messung des magnetischen Totalfeldes
Kurzbeschreibung	Mit einem optisch gepumpten Cs-Magnetometer werden die Messdaten zehnmal pro Sekunde erfasst.
Einbauort des Sensors	Im hinteren Teil der Flugsonde
Hersteller	Sensor: Geometrics, USA; Konsole: Scintrex, Kanada
Gerätebezeichnung	Sensor: G-822A; Konsole: MEP 410
III. Gammastrahlen-Spektrometer	
Aufgabe	Messung der natürlichen und künstlichen Gammastrahlung im Energiebereich von 0 bis 3 MeV
Kurzbeschreibung	Spektrometer mit 256 Kanälen und 16,8 l Kristallvolumen; die Stabilisierung erfolgt über die natürliche Thoriumstrahlung; die Messdaten werden einmal pro Sekunde erfasst.
Hersteller	Exploranium, Kanada
Gerätebezeichnung	Spektrometer: GR-820; Kristalldetektor: GPX-1024

Flugsonde

Hubschrauber

Höhenmesser		
Hubschrauber	Radarhöhenmesser	
	Aufgabe	Bestimmung der Höhe des Hubschraubers über Grund
	Kurzbeschreibung	Über eine im Boden des Hubschraubers fest installierte Antenne werden Radarimpulse ausgesandt. Durch Messung (zehnmal pro Sekunde) der Laufzeit der Reflexionen dieser Impulse wird die Höhe bestimmt. Der Radarhöhenmesser reagiert auf die als erste eintreffenden Reflexionen, d. h. auch über einem lichten Wald wird der Abstand zu den Baumkronen gemessen und nicht die Entfernung bis zum Boden.
	Hersteller	Sperry, USA
	Gerätebezeichnung	AA-200
Flugsonde	Barometrischer Höhenmesser	
	Aufgabe	Bestimmung der Höhe des Hubschraubers über NHN
	Kurzbeschreibung	Der Luftdruck wird zehnmal pro Sekunde gemessen und in Höheneinheiten (Fuß) umgerechnet.
	Hersteller	Rosemount, USA
	Gerätebezeichnung	1241A5B
	Laserhöhenmesser	
	Aufgabe	Präzise Bestimmung der Flughöhe der Messsonde über Grund
	Kurzbeschreibung	Der in der Flugsonde eingebaute Laserhöhenmesser sendet Impulse in Richtung Erdboden aus und bestimmt zehnmal pro Sekunde aus der Laufzeit der Reflexionen die Entfernung. Aufgrund des geringen Durchmessers des Laserstrahls ist dieser in der Lage, über lichten Wäldern häufig bis zum Erdboden durchzudringen und damit die Höhe der Sonde über Grund zu bestimmen.
	Hersteller	Riegl, Österreich
Gerätebezeichnung	LD90-31K	

Systeme zur Navigation und Positionierung	
GPS/GLONASS-Navigationssystem zur Durchführung von Messflügen	
Aufgabe	Anzeige der für den Piloten zur Durchführung von Messflügen wichtigen Informationen in grafischer und digitaler Form (Position, Abweichung von der Sollfluglinie, Entfernung bis zum nächsten Fixpunkt)
Kurzbeschreibung	Ein 24-Kanal-Satellitennavigationsempfänger zum gleichzeitigen Empfang von GPS- und GLONASS-Satelliten berechnet fünfmal pro Sekunde die genaue Position des Hubschraubers. Diese Position wird mit Hilfe eines Navigationsrechners zusammen mit den Messfluglinien auf einem Display angezeigt. Auf einer zweiten, kleineren Anzeige erhält der Pilot in grafischer und digitaler Form die augenblickliche seitliche Abweichung von der eingestellten Sollfluglinie sowie weitere, für den Messflug wichtige Informationen.
Hersteller	Picodas, Kanada
Gerätebezeichnung	PNAV 2100
GPS-Navigationssystem	
Aufgabe	Redundantes Navigationssystem, überwiegend bei Überführungsflügen eingesetzt
Kurzbeschreibung	12-Kanal-GPS-Navigationssystem älterer Bauart
Hersteller	SEL, Deutschland
Gerätebezeichnung	GLOBOS 2000
GPS/GLONASS-Positionierungssystem	
Aufgabe	Bestimmung der Position der EM-Sonde bzw. – bei Flügen ohne Messsonde – der Position des Hubschraubers
Kurzbeschreibung	Ein 24-Kanal-Satellitennavigationsempfänger zum gleichzeitigen Empfang von GPS- und GLONASS-Satelliten errechnet fünfmal pro Sekunde die genaue Position der Messsonde oder des Hubschraubers (abhängig davon, welche Antenne angeschlossen ist). Diese Position wird zusammen mit den Messdaten digital aufgezeichnet.
Hersteller	MAN, Deutschland
Gerätebezeichnung	NR-STA 124

Datenerfassung / Datenaufzeichnung	
Datenerfassungssystem	
Aufgabe	Digitalisierung analoger Signale; Zwischenspeicherung digitaler Daten; Zusammenstellung ausgewählter Daten zu Datenblöcken; Übertragung von Datenblöcken zum digitalen Datenrekorder sowie zum Analogrekorder
Kurzbeschreibung	Sämtliche zu registrierenden Daten sind auf das Datenerfassungssystem geschaltet. Per Programm werden die Reihenfolge und der zeitliche Zyklus festgelegt, in welchem die Daten abgefragt werden. Danach werden diese zu Datenblöcken zusammengefasst, wobei für jeden Datenausgang ein eigener Datenblock definiert werden kann. In festgelegten Intervallen werden diese Datenblöcke zum digitalen Datenrekorder (ZIP-Drive), zum Analogrekorder sowie zu einer digitalen Datenanzeige übertragen.
Hersteller	RMS, Kanada
Gerätebezeichnung	DAS 8
Digitaler Datenrekorder	
Aufgabe	Speicherung der Messdaten auf einem digitalen Datenträger
Kurzbeschreibung	Die Datenblöcke, die sowohl Daten im ASCII-Format als auch im binären Format enthalten, werden einmal pro Sekunde auf einer ZIP-Diskette gespeichert.
Hersteller	RMS, modifiziert durch BGR
Gerätebezeichnung	—
Analogrekorder	
Aufgabe	Analoge Aufzeichnung aller wichtigen Daten während des Messfluges
Kurzbeschreibung	Bis zu 32 analoge und digitale Datenkanäle werden von einem hochauflösenden Thermodrucker in Form von Signalkurven auf 321 mm breitem Endlospapier ausgedruckt und beschriftet.
Hersteller	RMS, Kanada
Gerätebezeichnung	GR33A

Hubschrauber

Sonstige Ausrüstung	
Videosystem	
Aufgabe	Aufzeichnung des Flugweges sowie über einen Monitor, Kontrolle der Messsonde bei Start und Landung und während des Messfluges
Kurzbeschreibung	Durch eine im Boden des Hubschraubers fest installierte Videokamera wird der Flugweg aufgenommen und über Videorekorder auf Band aufgezeichnet. Über zwei Monitore, von denen der eine im Cockpit und der zweite im Geräteschrank installiert ist, kann sowohl der Pilot als auch der Flugmessingenieur jederzeit das Flugverhalten der Messsonde beobachten.
Hersteller	Farbkamera: Grundig, Deutschland Videorekorder: Panasonic, Japan
Gerätebezeichnung	Farbkamera: FA 76; Videorekorder: VS 120
Zentrale Spannungsversorgung	
Kurzbeschreibung	Die 28 V DC Bordspannung des Hubschraubers wird über eine Pufferbatterie geglättet und anschließend über Sicherungen auf die einzelnen Geräte des Messsystems verteilt.
Zentrale Signalverteilung	
Kurzbeschreibung	Schaltung der Analogsignale auf die digitalen und analogen Aufzeichnungssysteme; digitale Anzeige wichtiger Messwerte
Geräteschrank	
<p><i>Messgeräteschrank und Box mit Spektrometerkristallen (rot).</i></p> <p style="text-align: right;">▶</p>	
Kurzbeschreibung	19-Zoll Geräteschrank zur Aufnahme von Steuerungs- und Aufzeichnungsgeräten des aerogeophysikalischen Messsystems. Der Geräteschrank ist über Stoßdämpfer mit einer Holzplatte verbunden, die fest mit dem Boden des Hubschraubers verschraubt ist.

Sonstige Ausrüstung	
Magnetik- und Luftdruck-Bodenstation	
<p><i>Bodenstation zur Messung magnetischer und barometrischer Tagesvariationen.</i></p> <p style="text-align: right;">▶</p>	
Bodenstation	<p>Aufgabe</p> <p>Automatische Registrierung des magnetischen Totalfeldes sowie des barometrischen Drucks zwecks späterer Korrektur der im Hubschrauber aufgezeichneten Daten</p>
Bodenstation	<p>Kurzbeschreibung</p> <p>Die Bodenstation ist ein mobiles, wetterfestes System mit eigener Stromversorgung zur automatischen Erfassung und Speicherung der Daten des magnetischen Totalfeldes sowie des barometrischen Drucks. Die Messfrequenz beträgt normalerweise zehn Messungen pro Sekunde. Zwecks Korrelation dieser Messungen mit den Hubschrauber-Messwerten wird zu jeder Messung die GPS-Uhrzeit aufgezeichnet.</p>
Bodenstation	<p>Hersteller</p> <p>Bodenstation: Eigenentwicklung der BGR</p> <p>Magnetometer: Sensor – Cs-Sensor H-8, Scintrex, Kanada</p> <p>Zähler: CM-201, Geometrics, USA</p> <p>Barometrischer Druckmesser: 1241A5B, Rosemount, USA</p>
Bodenstation	<p>Gerätebezeichnung</p> <p>BOKI</p>

Blockdiagramm des aerogeophysikalischen Messsystems

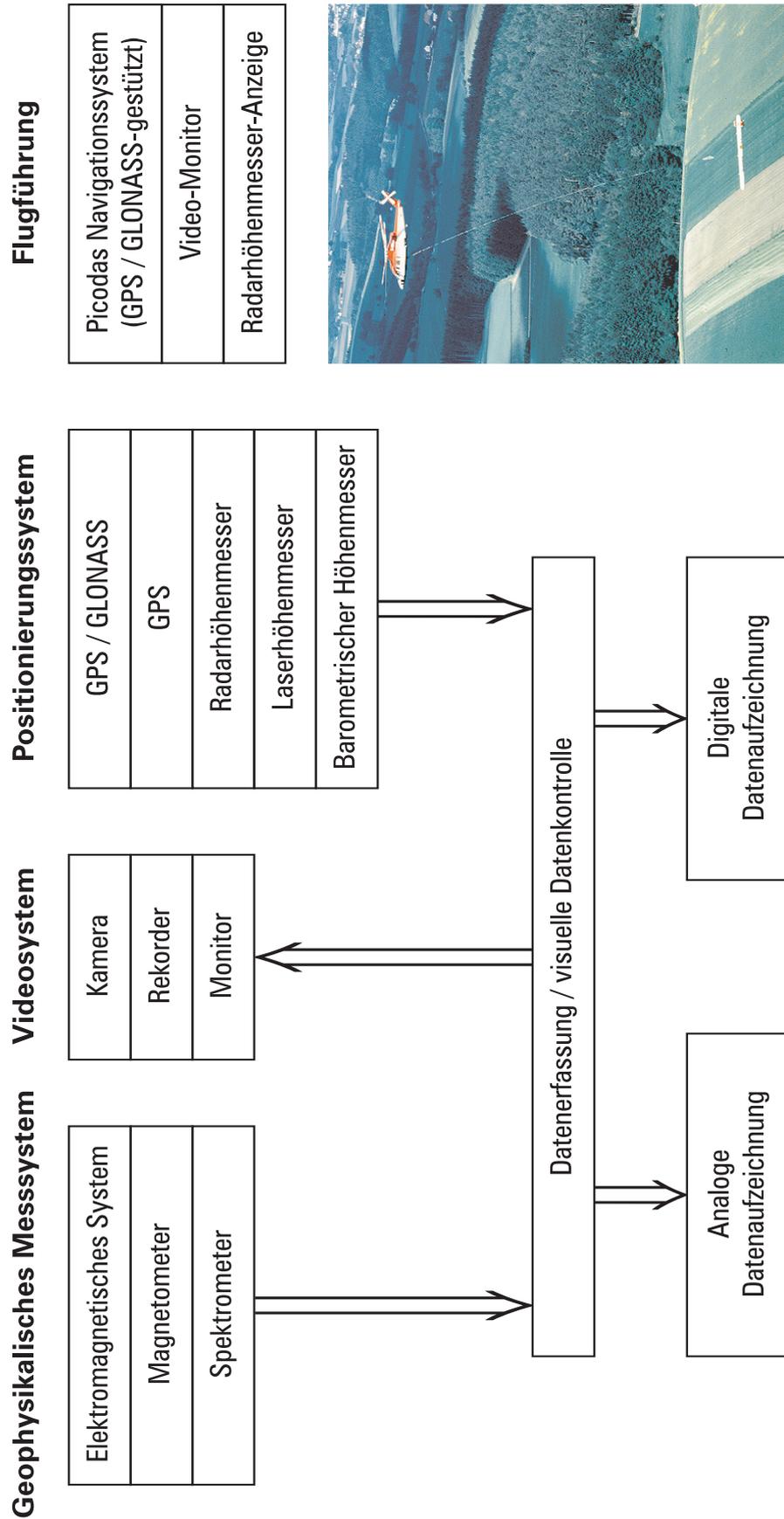


Abb. 5: Vereinfachtes Blockdiagramm des Hubschrauber-Messsystems

3.4.1. Elektromagnetik

Bei dem elektromagnetischen (EM) Messverfahren werden von den Sendespulen sinusförmig variierende magnetische Felder, die Primärfelder, mit diskreten Sendefrequenzen abgestrahlt. Die magnetischen Felder dringen in den Erduntergrund ein und induzieren dort, abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes, elektrische Wirbelströme. Die magnetischen Felder dieser Wirbelströme, die Sekundärfelder, induzieren ihrerseits sehr schwache Spannungen in den zugeordneten Empfängerspulen des EM-Systems (vgl. **Abb. 4**).

Bei dem hier verwendeten HEM-System wird für jede der fünf Messfrequenzen im Bereich von 384 Hz bis 192 kHz (**Tab. 4**) ein eigenes Spulensystem benutzt, das aus horizontal-koplanar angeordneten Sende-, Empfangs-, Kompensations- und Kalibrierspulen besteht.

Tab. 4: Messfrequenzen und Spulenabstände der 5-Frequenz-HEM-Sonde BKS 48

Parameter	BKS 48				
	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅
Mittlere Frequenz [Hz]	384	1830	8610	41.300	192.600
Spulenabstand [m]	6,87	6,73	6,59	6,68	6,64
Spulenkongfiguration	Horizontal koplanar				

Die Kompensationsspulen sind so dimensioniert und platziert, dass die durch die Primärfelder in ihnen induzierten Spannungen denen in den Empfangsspulen entsprechen. Durch die Hintereinanderschaltung der Spulen wird die durch das Primärfeld in der Empfangsspule induzierte Spannung nahezu kompensiert. Mit Hilfe der Kalibrierspulen werden definierte Ausschläge im Messsignal erzeugt und daraus die Umrechnungsfaktoren von mV in ppm bestimmt. Die Einheit ppm wird benutzt, da das Sekundärfeld sehr viel kleiner ist als das direkt vom Sender abgestrahlte Primärfeld.

Die Größe der empfangenen Sekundärfelder sowie ihre zeitliche Verzögerung gegenüber den erzeugenden Primärfeldern werden bestimmt und aufgezeichnet. Aus diesen beiden Größen, Amplitude und Phasenverschiebung oder Real- und Imaginärteil, kann die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes bzw. deren Kehrwert, der spezifische Widerstand, berechnet werden, wobei die verschiedenen Frequenzen unterschiedliche Eindring- oder Aussagetiefen haben. Je niedriger die Frequenz ist, umso tiefer dringen die elektromagnetischen Felder in den Untergrund ein. Die Eindringtiefe hängt aber auch vom spezifischen Widerstand im Untergrund ab. Je höher er ist, desto größer ist auch das Eindringen der Felder. Mit der niedrigsten Frequenz von 384 Hz lassen sich unter günstigen Voraussetzungen Erkundungstiefen bis zu 150 m erreichen.

Das HEM-Messsystem ist nicht nur gegenüber dem elektrisch leitenden Untergrund empfindlich, sondern auch gegenüber anthropogenen Objekten, wie z. B. Bebauungen, metallischen Körpern und elektrischen Installationen, welche sich insbesondere bei den niedrigen Frequenzen bemerkbar machen können. Da der Hubschrauber auch als ein solches Objekt anzusehen ist, ist das HEM-System in einer Flugsonde eingebaut und wird in genügend großem Abstand (>40 m) unterhalb des Hubschraubers nachgeschleppt.

3.4.2. Magnetik

Die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes wird mit Hilfe eines in der Flugsonde montierten hochempfindlichen Cäsium-Magnetometers (**Tab. 3**) gemessen und in der Einheit Nanotesla (nT) angegeben. Die Funktion eines Cäsium-Magnetometers basiert auf der Messung der sogenannten Larmor-Frequenz, welche sich in einem speziellen optisch gepumpten System einstellt. Diese Frequenz ist direkt proportional zur magnetischen Feldstärke und lässt sich mit hoher Genauigkeit bestimmen. Die Auflösung der magnetischen Registrierungen beträgt 0,01 nT.

Das gemessene Magnetfeld setzt sich aus verschiedenen Beiträgen zusammen. Das magnetische Normalfeld der Erde hat seine Ursache im Erdinneren und weist eine vom Äquator zu den Polen hin zunehmende Intensität auf. In Deutschland hat es eine Stärke von etwa 48.000 nT. Es wird überlagert vom Krustefeld, dessen Quellen in Gesteinen mit Anteilen an ferromagnetischen Mineralien liegen. Diese bilden Anomalien in einer Größenordnung von wenigen bis zu einigen hundert nT. In besiedelten Gebieten führen zusätzlich anthropogene Quellen wie Gebäude, Stromleitungen oder Industrieanlagen zu Anomalien im gemessenen Magnetfeld. Schließlich unterliegt das geogene Magnetfeld auf Grund von Schwankungen im Zustand der Ionosphäre einem Tagesgang. In Deutschland liegt dieser im Bereich von etwa 10 bis 20 nT.

Während geogene Anomalien im Allgemeinen eine große räumliche Ausdehnung aufweisen, sind anthropogene Störungen des Magnetfeldes meist örtlich begrenzt und lassen sich daher sicher identifizieren. Zur Erfassung des magnetischen Tagesganges wird eine ebenfalls mit einem Cäsium-Magnetometer bestückte Bodenstation betrieben. Sie zeichnet an einem magnetisch ruhigen Ort in der Nähe des Messgebietes die tageszeitlichen Variationen auf, welche zur Korrektur der in der Flugsonde aufgenommenen magnetischen Daten verwendet werden. Zur zeitlichen Synchronisation der Messreihen wird an der Basisstation die GPS-Zeit mitregistriert.

3.4.3. Radiometrie

Die von natürlichen und künstlichen Radionukliden ausgehende Gammastrahlung wird mit Hilfe eines Kristalldetektors gemessen (**Tab. 3**). Der Detektor besteht aus insgesamt vier Natrium-Jodid-Kristallen, die in einer Aluminiumbox zusammengefasst im Hubschrauber montiert sind. Jeder der Kristalle hat ein Volumen von vier Litern und registriert die einfallende Strahlung. Eintretende Gammastrahlung wird durch die Kristalle absorbiert und dabei in Lichtimpulse umgewandelt. Diese werden über Photovervielfacherröhren in elektrische Impulse gewandelt, wobei die Amplitude der elektrischen Impulse proportional zur Energie der einfallenden Gammastrahlung ist.

Das Gammastrahlenspektrometer besitzt einen Spektralbereich von 0 bis 3 MeV, der in 255 Kanäle aufgeteilt ist. Jeder Impuls des Detektors wird dem entsprechenden Spektralkanal zugeordnet und gezählt. Zusätzlich wird die Intensität der Höhenstrahlung (3 bis 6 MeV) in einem separaten Kanal registriert. Für geowissenschaftliche Untersuchungen sind insbesondere die Zählraten der natürlich vorkommenden Radionuklide (bzw. deren Isotope oder Tochterprodukte) Kalium (K-40), Uran (Bi-214) und Thorium (Tl-208) von Interesse. **Tab. 5** zeigt die Zuordnung der Strahlungsquellen zu den einzelnen Energiefenstern.

In der Registrierapparatur werden die Spektren über jeweils eine Sekunde aufsummiert und gespeichert. Zusätzlich werden die Zählraten in den interessierenden Energiebereichen (vgl. **Tab. 5**) bestimmt und gespeichert. Das Spektrometer wird laufend für jeden der Kristalle einzeln mit Hilfe der natürlichen Thoriumstrahlung intern stabilisiert: Verschiebungen des Thoriumpeaks (2,62 MeV) gegenüber dem Sollwert werden erkannt und die Verstärkung der Photovervielfacherröhre des entsprechenden Kristalls automatisch korrigiert.

Tab. 5: *Energiebereiche registrierter Strahlungsquellen*

Strahlungsquelle	Energiebereich in MeV	Energie Peak in MeV	Kanäle
Gesamtstrahlung	0,41–2,81	—	34–233
Kalium (K-40)	1,37–1,57	1,46	115–131
Uran (Bi-214)	1,66–1,86	1,76	139–155
Thorium (Tl-208)	2,41–2,81	2,62	202–233
Höhenstrahlung	3,0–6,0	—	255

3.4.4. Navigations- und Positionierungssystem

Aufgabe des Navigationssystems ist es, dem Piloten alle zur Durchführung eines Messfluges notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen. Ein Navigationsrechner berechnet aus den Eckpunktkoordinaten des Messgebietes, der Profilrichtung und dem Abstand der Messprofile die Koordinaten der Anfangs- und Endpunkte sämtlicher Messprofile. Diese werden auf einem Display dargestellt, wobei das jeweils aktuelle Messprofil grafisch hervorgehoben wird.

Über eine separate Anzeige erhält der Pilot alle erforderlichen Informationen, um dieses Messprofil so genau wie möglich abzufliegen. Die wichtigste Information ist dabei die jeweilige seitliche Abweichung von dieser Linie, die sowohl digital als Meterangabe als auch linear in Form eines Balkendiagramms erscheint. Die Positionsangaben erhält der Navigationsrechner von einem GPS/GLONASS-Navigationsempfänger, dessen Antenne außen am Hubschrauber angebracht ist. Der Fehler des Navigationssystems bei der Bestimmung der geographischen Koordinaten beträgt in 95 % aller Fälle weniger als 10 m.

Aufgabe des Positionierungssystems ist es, zu jeder geophysikalischen Messung die Koordinaten zu liefern. Dafür wird ein zweiter GPS/GLONASS-Navigationsempfänger verwendet, dessen Antenne an der Flugsonde angebracht ist, und der damit die Position der Messsensoren bestimmt. Auch hier liegt der Fehler der Koordinaten in der Regel unterhalb von 10 m.

Die Flughöhe des Hubschraubers über Grund bzw. über Hindernissen (z. B. Wäldern und Gebäuden) wird zur Auswertung der radiometrischen Daten benötigt. Sie wird über einen im Hubschrauber eingebauten Radarhöhenmesser mit einer Genauigkeit von ± 3 m bestimmt. Zusätzlich wird mit Hilfe eines barometrischen Höhenmessers die Höhe des Hubschraubers über NHN gemessen.

Die genaue Höhe der Messsonde über Grund wird zur Auswertung der elektromagnetischen Daten und zur Erstellung eines digitalen Geländemodells benötigt. Durch einen in die Flugsonde eingebauten Laserhöhenmesser wird diese Höhe auf $\pm 0,2$ m genau bestimmt. Ein weiterer Vorteil des Laserhöhenmessers ist neben seiner Genauigkeit der fokussierte Durchmesser des Laserstrahls, der es ermöglicht, über lichten Wäldern häufig die Entfernung bis zum Boden zu erfassen und nicht nur, wie beim Radarhöhenmesser, den Abstand bis zu den Baumkronen.

3.4.5. Datenaufzeichnung

Sämtliche Daten werden während eines Messfluges digital auf einer ZIP-Diskette gespeichert. Gleichzeitig werden die wichtigsten Informationen auch analog aufgezeichnet, um während des Fluges eine ständige Datenkontrolle zu ermöglichen. Unmittelbar nach Beendigung eines Fluges dienen diese analogen Aufzeichnungen der Kontrolle der Messungen und liefern erste Hinweise auf interessante geophysikalische Ergebnisse, aber auch über technische Mängel am Messsystem. Im Anschluss an den Messflug werden die gespeicherten Daten auf einen PC überspielt, dort überprüft und weiterverarbeitet.

3.4.6. Videosystem

Die im Boden des Hubschraubers fest installierte Videokamera ermöglicht in Verbindung mit den im Cockpit und in der Hubschrauberkabine eingebauten Videomonitoren die Kontrolle der Flugsonde bei Start und Landung sowie während des Fluges.

Die Videoaufzeichnung des Flugweges, die durch Einblendung der GPS-Zeit und eines Recordzählers in das Videobild direkt mit der analogen und digitalen Messdatenaufzeichnung korreliert werden kann, wird für das Auffinden von oberflächennahen Anomalien direkt aus der Luft oder im Falle von Störungen in den Messdaten für deren Überprüfung mit herangezogen.

4. Verarbeitung und Darstellung der Messdaten

Die Ziele der Datenverarbeitung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Entfernung von Störungen aus den Messdaten;
- Umrechnung der Rohdaten in physikalische Parameter;
- Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten und Schnitten.

4.1. Prozessabläufe

Die aerogeophysikalischen Daten des Messgebietes wurden bereits während des Feldbetriebes und anschließend noch einmal in der BGR auf Plausibilität sowie technische und formale Korrektheit überprüft. Danach waren im Wesentlichen die folgenden Datenverarbeitungsschritte anzuwenden, die für alle Methoden gelten:

- Festlegung von Profilabgrenzungen;
- Entfernung von offensichtlichen Ausreißern (Spikes);
- Digitale Filterung um hochfrequentes Rauschen zu unterdrücken;
- Umrechnung der Messdaten in die jeweiligen darzustellenden Parameter;
- Zusammenführung der Profildaten aller Messflüge zu einem Gesamtgebietsdatei;
- Kreuzungspunktstatistik für die Daten der Mess- und Kontrollprofile zur Bestimmung und Korrektur möglicher Niveaufehler in den Daten;
- Herstellung von Isolinienplänen und thematischen Karten und Schnitten.

Methodenspezifisch sind vor allem die Umrechnungen der jeweiligen Messdaten in die gewünschten geophysikalischen Parameter, die im Folgenden ausführlicher beschrieben werden.

4.2. Datenverarbeitung in der Elektromagnetik

Die Aufbereitung und Transformation der Messwerte R (mV) und Q (mV), d. h. des Realteils (Inphase oder 0°-Phase) und des Imaginärteils (Quadrature oder 90°-Phase), in Werte des sekundären magnetischen Feldes R (ppm) und Q (ppm) erfolgt in vier Schritten, die nacheinander für beide Komponenten aller Frequenzen durchzuführen sind:

- Korrektur von fehlerhaften Messdaten;
- Überprüfung der Phaseneinstellung und evtl. Korrektur;
- Nullniveaubestimmung und Korrektur;
- Kalibrierung und Transformation der Daten.

Anschließend werden aus den Sekundärfeld Datensatz die scheinbaren spezifischen Widerstände und Schwerpunktstiefen bzw. die 1D-Inversionsmodelle abgeleitet.

4.2.1. Datenkorrektur

Zur Vermeidung von hochfrequentem Rauschen werden die HEM-Daten geglättet, zunächst durch Einsatz eines gleitenden gewichteten Mittelwertes, was auch zur Spike-Eliminierung dient, und bei Bedarf noch mit einem symmetrischen Tiefpassfilter behandelt. Störungen, die durch externe EM-Signale hervorgerufen werden (z. B. Funkverkehr, Hochspannungsleitungen), werden durch geeignete Filterung bzw. Interpolation unterdrückt, wobei Störeinflüsse, die auf dem Induktionseffekt aufgrund von Bebauung und anderen elektrischen Installationen beruhen (vgl. 4.2.7), in der Regel in den Daten belassen werden.

4.2.2. Phasenüberprüfung

Zu Beginn jedes Messfluges erfolgt eine Überprüfung der Phaseeinstellung für alle fünf Frequenzen durch Einschalten der jeweiligen Eichspule. Bei korrekt eingestellter Phase bleibt der angezeigte Inphase-Wert der betreffenden Frequenz unverändert, während sich für den Quadrature-Wert ein Maximum ergeben muss. Ist dies nicht der Fall, wird die Phaseeinstellung des Systems so verändert, dass der angezeigte Inphase-Wert sich bei Ein- oder Ausschalten der Eichspule nicht weiter verändert.

Temperaturbedingt ändern sich die Messfrequenzen während des Messfluges geringfügig, was wiederum eine Phasenverschiebung zur Folge hat. Mit den Mittelwerten der mehrmals während des Fluges protokollierten Messfrequenzen werden die Phasenlagen für alle fünf Frequenzen bei der Datenverarbeitung überprüft und korrigiert.

4.2.3. Nullniveaubestimmung

Das Nullniveau der HEM-Daten wird in der Regel in Flughöhen >350 m bestimmt, da in diesen Höhen das Sekundärfeld weitgehend abgeklungen ist. In den Bereichen mit großer Flughöhe und möglichst ruhigem Messsignalverlauf werden sogenannte Stützstellen markiert. An diesen Stellen werden die Messwerte erfasst, die noch die nicht-kompensierten Primärfeldanteile enthalten. Die Interpolationsgeraden zwischen jeweils benachbarten Stützstellen liefern die Bezugsniveaus (Nullniveaus), von denen aus die Messamplituden der Sekundärfelder zu bestimmen sind. Diese Prozedur erfolgt für jeden Messkanal mehrmals pro Flug, da das Nullniveau sich mit der Zeit ändert.

Mit der oben beschriebenen Vorgehensweise lassen sich die langfristigen, quasi-linearen Driften in den Nullniveaus beseitigen. Kurzfristige Schwankungen des Nullniveaus, die besonders in der höchsten Messfrequenz zu beobachten sind, können damit nicht vollständig erfasst werden. Daher müssen zusätzliche Stützstellen – auch auf dem Profil – bestimmt werden, an denen die Sekundärfelder zwar klein (z. B. beim Überfliegen von Hindernissen wie Wäldern und Hochspannungsleitungen), aber nicht vernachlässigbar sind. An diesen Stellen werden die auf Basis der zu erwartenden Halbraumparameter (scheinbarer spezifischer Widerstand und scheinbare Tiefe, vgl. 4.2.5) berechneten Sekundärfelder als Bezugsniveau herangezogen.

4.2.4. Kalibrierung des HEM-Systems

Mit großen, rechteckigen Eichspulen in der Flugsonde lassen sich während des Messfluges Eichsignale bekannter Größe am Empfänger erzeugen. Die in großer Flughöhe mehrmals aufgezeichneten Eichsignale werden automatisch bei der Datenverarbeitung in den Messdaten erkannt und ihre relativen Amplituden (in mV) mit statistischen Verfahren bestimmt. Aus den gemessenen Amplituden und den aus den Spulenparametern berechneten ppm-Werten der Eichsignale erhält man für jeden Messkanal einen über den gesamten Flug gemittelten Eichfaktor (in ppm/mV), mit dem die Rohdaten (in mV) in ppm-Werte transformiert werden (vgl. **Tab. 6**).

Bei der Befliegung im Messgebiet Cuxhaven bestand die Möglichkeit, die Kalibrierung durch Messflüge über Meerwasser zu überprüfen. Hierzu wurde in Bereichen, wo die Nordsee ausreichend (>30 m) tief war, die Halbraumwiderstände für alle Messfrequenzen bestimmt. Unter der Annahme, dass das Meerwasser als homogener Halbraum mit einem spezifischen Widerstand von $0,3 \Omega\text{m}$ anzusehen ist, sind die Eichfaktoren überprüft und Korrekturfaktoren für die Kalibrierung bestimmt und – falls erforderlich – angebracht worden.

Tab. 6: Kalibrierfaktoren für Inphase R und Quadrature Q des 5-Frequenz-HEM-Systems

Parameter	Kalibrierfaktoren									
	R ₁	Q ₁	R ₂	Q ₂	R ₃	Q ₃	R ₄	Q ₄	R ₅	Q ₅
Berechnete Eichsignale [ppm]	369,9	369,9	517,8	517,8	504,8	504,8	662,7	662,7	1356	1356
Korrekturfaktoren	1,00	1,00	0,86	0,86	1,00	1,00	1,05	0,98	2,40	1,50

4.2.5. Transformation der Sekundärfeldwerte in Halbraumparameter

Die kalibrierten Werte des Sekundärfeldes R und Q (in ppm) werden in einem ersten Schritt für alle Frequenzen in die Parameter eines homogenen Halbraums,

- scheinbarer spezifischer Widerstand (Halbraumwiderstand) $\rho_a [\Omega\text{m}]$ und
- scheinbarer Abstand $D_a [\text{m}]$ des Sensors von der Oberkante des leitenden Halbraums,

transformiert (Siemon, 2001a). Die berechnete Höhe D_a kann von der gemessenen HEM-Sensorhöhe h (in m über Grund) abweichen. Der Abstand zwischen der Halbraumoberfläche und der aus den Laser- bzw. Radarhöhenmessungen bestimmten Erdoberfläche wird als scheinbare Tiefe $d_a = D_a - h$ definiert. Falls d_a positiv ist, wird über dem Halbraum eine „schlecht leitende“, bei negativem d_a eine „gut leitende“ Deckschicht angenommen.

Neben dem scheinbaren spezifischen Widerstand ρ_a und dem scheinbaren Abstand D_a wird ebenfalls für alle Frequenzen der Parameter Schwerpunktstiefe z_p^* (Siemon, 2001a) bestimmt. Die Schwerpunktstiefe ist ein Maß für das Eindringen der induzierten Ströme in den leitenden Erduntergrund. Damit ist es möglich, $\rho_a(z_p^*)$ -Sondierungskurven für eine erste Approximation der vertikalen Widerstandsverteilung zu berechnen.

Die finalen Halbraumparameter sind iterativ optimiert worden, indem die scheinbaren spezifischen Widerstände ρ_a und die scheinbaren Abstände D_a so lange minimal vergrößert bzw. verkleinert werden, bis der Unterschied zwischenprozessierten HEM-Daten und den aus den Halbraumparametern berechneten HEM-Daten eine vorgegebene Toleranzgrenze unterschreitet. Für die Berechnung der synthetischen HEM-Daten ist ein Algorithmus verwendet worden, der auf der quasi-stationären Näherung beruht und für hohe Frequenzen (oberhalb 10 kHz) ungenau wird (Siemon, 2012). Da aber auch die Kalibrierung wie auch die Inversion der Daten auf diesem Algorithmus beruhen, ist auf die exakte Berechnung verzichtet worden.

4.2.6. 1D-Inversion der HEM-Daten

Die HEM-Daten zu allen Messfrequenzen können auch in die Parameter eines geschichteten Halbraums, spezifischer Widerstand und Mächtigkeit, invertiert werden. Da der hier verwendete Inversionsalgorithmus (Sengpiel & Siemon, 2000) auf dem Marquardt-Verfahren beruht, ist ein Startmodell notwendig, das iterativ verbessert wird, bis die Anpassung der Modelldaten und die Messdaten ein vorgegebenes Abbruchkriterium erfüllt. Das Startmodell wird automatisch aus den $\rho_a(z_p^*)$ -Sondierungskurven für jeden Messpunkt neu berechnet, wobei standardmäßig die Schichtgrenzen zwischen die jeweiligen (logarithmierten) Schwerpunktstiefen z_p^* gelegt und die zugehörigen Halbraumwiderstände ρ_a als Schichtwiderstände herangezogen werden. Daraus ergeben sich ebenso viel Modellschichten wie verwendete Messfrequenzen. Zusätzlich wird eine Deckschicht vorgegeben, deren Widerstand sehr hoch angesetzt wird und deren Mächtigkeit sich aus der scheinbaren Tiefe d_a der höchsten Frequenz ergibt. Mit diesem Ansatz ist es möglich, auch die nahezu nicht leitenden Bereiche mit Bewuchs (Wald, Felder, etc.) zu erfassen. Dies ist notwendig, da die (scheinbare) Erdoberfläche aus den Laser- bzw. Radarhöhenmessungen abgeleitet wird, die den Abstand zum ersten Reflektor (z. B. Baumkronen) erfassen (vgl. 3.4.4). Abweichend von diesem Standardstartmodell wurden hier die Schichtgrenzen tiefer gelegt, wobei die kleinste Schwerpunktstiefe nicht und die größte um den Faktor 1,5 bzw. die übrigen anteilig erhöht wurden.

Die Inversionen sind zunächst analog zu dem benachbarten Messgebiet Cuxhaven für vier Frequenzen, d. h. ohne die höchste Messfrequenz, durchgeführt worden. Die Ergebnisse hierzu sind auf beiliegender DVD enthalten. Des Weiteren liegen auch Inversionsergebnisse zu dem Standardstartmodell, zu einem extremen Startmodell (schärferes Abbruchkriterium und größere Tiefen, vgl. Siemon, 2000) sowie für fünf Messfrequenzen vor. Diese Ergebnisse sind nicht auf der DVD abgelegt, können aber im Fachbereich 2.1 eingesehen werden.

4.2.7. Auswirkung von anthropogenen Einflüssen auf die HEM-Daten

Die Sekundärfelder enthalten in dicht besiedelten Gebieten neben dem geogenen Anteil oft auch anthropogene Anteile, die von Bebauungen und elektrischen Installationen wie z. B. Elektrokabel, Metallzäunen und Eisenbahnschienen herrühren können. Im Allgemeinen sind diese Einflüsse auf die HEM-Daten gering und können mit der Standarddatenverarbeitung weitgehend eliminiert werden. In einigen Fällen, wie beispielsweise bei Ortschaften oder großen Bauwerken mit einem hohen Metallanteil, ist der anthropogene Anteil in den HEM-Daten nicht mehr vernachlässigbar. Dies ist insbesondere bei den niedrigen Messfrequenzen zu beobachten, da dort der geogene Anteil des Se-

kundärfeldes deutlich kleiner ist als bei den höheren Messfrequenzen, sodass der anthropogene Anteil, der oft nur eine geringe Frequenzabhängigkeit aufweist, überwiegen kann.

Der anthropogene Einfluss wirkt sich bei den Halbraumparametern durch eine Verringerung des Halbraumwiderstandes und der Schwerpunktstiefe aus. In den Karten ist daher oft eine Korrelation von niedrigen Halbraumwiderständen bzw. geringeren Schwerpunktstiefen mit Ortschaften oder Straßen zu beobachten, die wegen der Zunahme des anthropogenen Einflusses mit abnehmender Frequenz vor allem in den Karten der niedrigen Frequenzen auftreten.

Auch bei der 1D-Inversion treten anthropogenen Effekte auf, da mit dem verwendeten Modell (geschichteter Halbraum) diese dreidimensionalen Effekte nicht ausreichend erklärt werden können (Sengpiel & Siemon, 1998). In den Vertikalschnitten (siehe 4.2.9) äußern sich diese Effekte aufgrund der begrenzten Ausdehnung und der Zunahme des anthropogenen Einflusses mit abnehmender Frequenz meist als seitlich abtauchende Bereiche (siehe **Abb. 6** zwischen den Zeitmarken 312 und 314) mit sehr niedrigen spezifischen Widerständen. Die anthropogenen Quellen, die sich im Allgemeinen nahe der Erdoberfläche befinden, erscheinen daher in die Tiefe projiziert.

Die Erkennung von anthropogen beeinflussten HEM-Daten ist durch deren typische Form oder durch Korrelation mit den Magnetikdaten möglich. Die Identifizierung kann durch einen Vergleich mit topographischen Karten, einer Videofilmauswertung oder einer Ortsbegehung erfolgen.

4.2.8. Statistische Niveauanpassung

Zur Erkennung von möglichen Niveaufehlern in den Daten der verschiedenen Messflüge können die Differenzen der Halbraumparameter (hier: logarithmierte Halbraumwiderstände und scheinbare Tiefen) sowie der topographischen Höhen an den Schnittpunkten der Messprofile mit den Kontrollprofilen bestimmt und statistisch bearbeitet werden. Durch Anbringung der Korrekturwerte wird eine Niveauanpassung der Daten eines Messfluges oder von einzelnen Profilen erreicht.

Im Messgebiet Cuxhaven war eine statistische Niveauanpassung der Halbraumparameter nicht notwendig. Es musste nur eine statistische Niveauanpassung für die topographischen Höhen durchgeführt werden, wobei die Korrekturen profilweise erfolgte. Darüber hinaus war aufgrund eines Vergleichs mit den Höhenwerten der topographischen Karten eine Anhebung aller topographischen Höhen um 2 m erforderlich. Verbliebene kleinräumige Niveauunterschiede der Linien ohne Kontrollprofile wurden mit einem Micro-Levelling (wie 4.3.4 beschrieben) behoben.

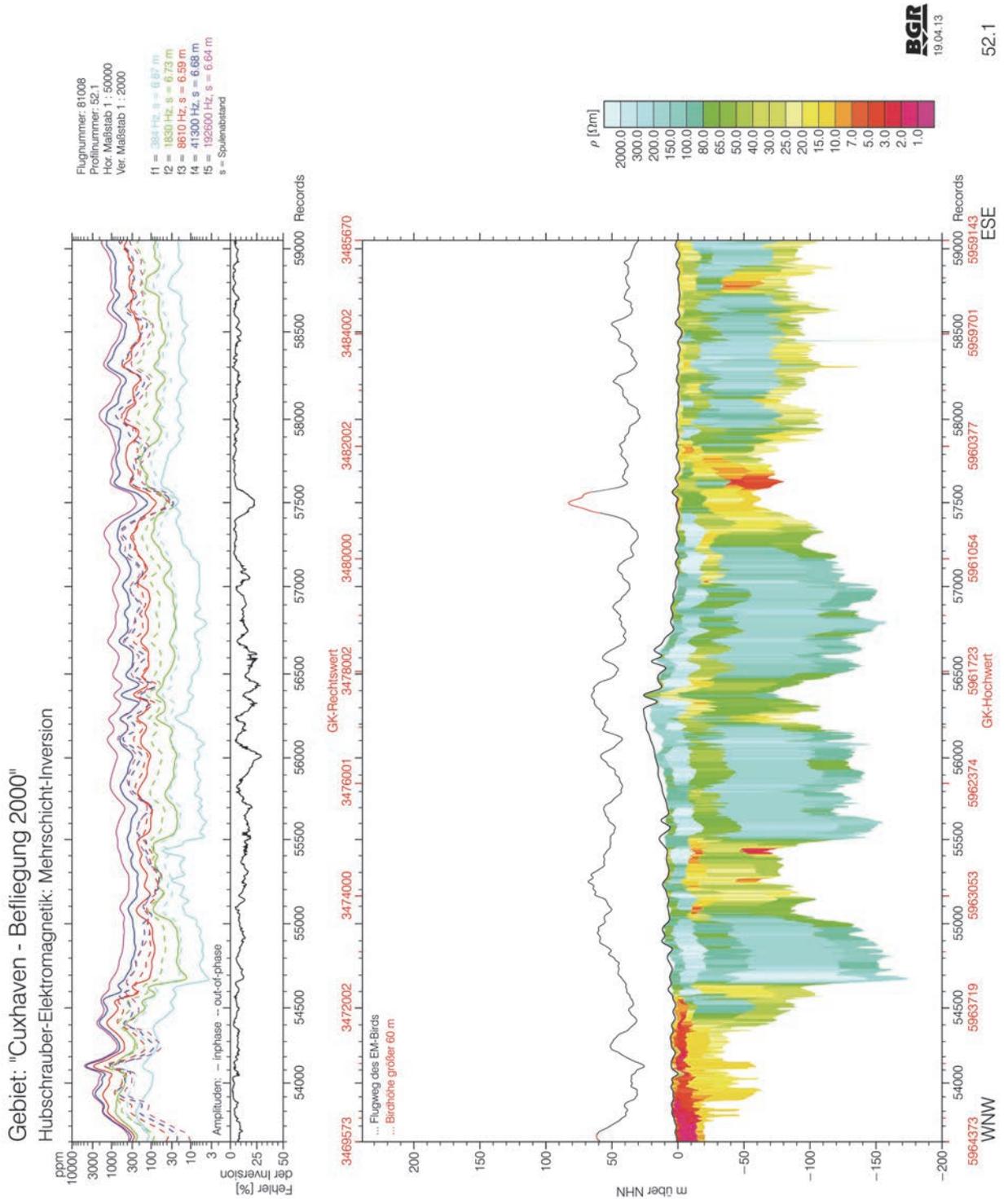


Abb. 6: Beispiel für eine Vertikalsektion. Dargestellt sind oben die HEM-Daten für vier Messfrequenzen (f1 bis f4) und unten 1D-Inversionsmodelle für jeden der etwa 1500 Messpunkte des mehr als 13 km langen Profils 94.1. Die Zuordnung der Farben zu den spezifischen Widerständen ist der nebenstehenden Legende zu entnehmen. Die Inversionsmodelle sind bezüglich ihrer topographischen Höhe von W nach O angeordnet. Über den Modellen ist der Flugweg des HEM-Sensors und darüber der Anpassungsfehler der Inversion aufgetragen.

4.2.9. Präsentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der HEM werden als Karten und Vertikalschnitte präsentiert. Die Kartenproduktion ist in **Kapitel 5** beschrieben. Je zwei Karten der Halbraumparameter scheinbarer spezifischer Widerstand und Schwerpunkstiefe sind für jede der fünf Messfrequenzen erstellt worden. Die Karten der spezifischen Widerstände für acht Tiefen unter NHN sind aus den Inversionsergebnissen abgeleitet worden.

Die Inversionsmodelle sind auch entlang der Fluglinien als Vertikalschnitte dargestellt. Hierzu wurden von jedem der regulären 101 Messprofile und 32 Querprofile Vertikalsektionen des spezifischen Widerstandes mit einem Horizontalmaßstab von 1:50.000 und einem Vertikalmaßstab von 1:2000 hergestellt. Diese Vertikalsektionen sind aufgebaut aus den einzelnen Modellen mit fünf Schichten des spezifischen Widerstandes, die als Farbsäulen entsprechend ihrer topographischen Höhe längs eines Profils nebeneinander gestellt werden. Die topographische Höhe ergibt sich aus der barometrischen Höhe des Messhubschraubers abzüglich der Summe aus der mittleren effektiven Kabellänge und der Laserhöhe des EM-Sensors über Grund bzw. abzüglich der Radarhöhe des Hubschraubers über Grund, falls die Laserhöhenmessung gestört sein sollte. Über den Modellen sind zusätzlich der Flugweg des EM-Sensors, Informationen zur Datenbearbeitung, der Anpassungsfehler der Inversion und die Messdaten dargestellt, die in einer Legende erklärt werden (**Abb. 6**).

4.3. Datenverarbeitung in der Magnetik

4.3.1. Magnetisches Totalfeld

Die mit dem Cs-Magnetometer in der Flugsonde gemessene Totalintensität des erdmagnetischen Feldes T setzt sich an einem Ort r zum Zeitpunkt t aus folgenden Anteilen zusammen:

$$T(r,t) = F(r) + \Delta T(r) + \Delta V(t) + \delta_T(r,t)$$

mit:

$F(r)$ = magnetisches Hauptfeld (IGRF = International Geomagnetic Reference Field)

$\Delta T(r)$ = anomaler, lokaler Anteil des erdmagnetischen Feldes im Messgebiet

$\Delta V(t)$ = Tagesvariation des erdmagnetischen Feldes während der Messung

$\delta_T(r,t)$ = anthropogener Anteil des magnetischen Feldes.

Gesucht werden die Anomalien des magnetischen Totalfeldes $\Delta T(r)$. Während das IGRF $F(r)$, das anhand von Tabellenwerten berechnet werden kann, und die Tagesvariationen $\Delta V(t)$, die in der Bodenstation registriert werden, von der gemessenen Totalintensität subtrahiert werden können, sind die anthropogenen Anteile $\delta_T(r,t)$ nicht isoliert zu erfassen. Sie sind den Anomalien $\Delta T(r)$ überlagert, d. h. in den abgeleiteten ΔT -Werten sind sowohl die gesuchten geogenen als auch die störenden anthropogenen Anteile enthalten, deren Quellen (z. B. Gebäude, Stromleitungen, Industrieanlagen) sich meist an der Erdoberfläche befinden.

4.3.2. Berechnung des IGRF

Für die Bestimmung der Anomalien der Totalintensität des erdmagnetischen Feldes (ΔT) wird das alle fünf Jahre von der IAGA (1992) in Kugelfunktionsdarstellung zur Verfügung gestellte „International Geomagnetic Reference Field“ (IGRF) verwendet, mit dem für jeden Punkt auf und oberhalb der Erdoberfläche und für einen bestimmten Zeitpunkt ein Feldwert berechnet werden kann. Das aktuell gültige Modell IGRF-10 aus dem Jahre 2005 (IAGA, 2005) diente zur Berechnung des magnetischen Hauptfeldes an jedem Messpunkt zur entsprechen Messzeit.

4.3.3. Berücksichtigung der Tagesvariationen

Die Referenzstation zur Erfassung der magnetischen Tagesvariationen $\Delta V(t)$ befand sich auf dem Flugplatzes Nordholz. $\Delta V(t)$ ergibt sich aus dem Messwert der Basisstation abzüglich dem IGRF-Feld am Ort der Basisstation zum Zeitpunkt der Messung. Kurzzeitige Störeinflüsse in den Daten der Basisstation werden durch Anwendung eines Tiefpassfilters beseitigt (Filterbreite 20).

4.3.4. Statistische Niveaueinpassung

Nach Abzug des Hauptfeldes und der Tagesvariationen von den gemessenen magnetischen Werten wird eine statistische Niveaueinpassung vorgenommen. Dazu werden die Differenzen an den Kreuzungspunkten zwischen Fluglinien und Kontrolllinien berechnet und flugweise gemittelt. Die gemittelten Werte werden zur Korrektur von Niveauunterschieden verwendet. Solche können auftreten wenn sich während der Kampagne Änderungen in der Konfiguration der Sensoren von Basisstation oder der Flugsonde ergeben haben.

Verbleibende, meist geringe Niveauunterschiede können, abhängig von der Flugrichtung, durch das Eigenfeld des Hubschraubers auftreten (heading error). Diese werden durch ein nachfolgendes Micro-Levelling eliminiert. Das Micro-Levelling basiert auf dem Gitter der Fluglinien-Daten, in welchem Niveaufehler durch Anwendung eines Butterworth-Hochpassfilters (Wellenlänge 1600 m, Grad 4) und eines direktionalen Kosinusfilters (Azimuth $108,5^\circ$, Grad 1) identifiziert werden. Ergebnis der Filterung ist ein Fehler-Gitter, welches entlang der Fluglinien abgetastet wird. Die abgetasteten Fehlerwerte werden mit einem Spline-Filter (Glätte 1,05, Spannung 0,5) stark geglättet und dann von den Originaldaten abgezogen. Das resultierende ΔT -Gitter aus den niveaueingeregten Daten weist praktisch keine Niveaufehler mehr auf. Schließlich werden die Daten der Kontrollprofile an das Gitter der niveaueingeregten Fluglinien-Daten angepasst. Hierzu werden Fehlerwerte über ein Polynom ersten Grades angenähert und von den Kontrollprofil-Daten abgezogen.

In (teilweise) besiedelten Gebieten sind Karten der magnetischen Anomalien oft durch anthropogene Anomalien großer Amplitude dominiert. Diese starken Anomalien wirken störend während des Micro-Levellings und bei der Identifizierung schwacher geogener Anomalien. Daher wird vor dem Micro-Levelling ein halbautomatischer Filterprozess zur Identifizierung anomaler Daten im ΔT -Gitter angewendet. Anomalien werden detektiert wenn die Differenz zwischen Median-gefiltertem Gitter und Original-Gitter einen bestimmten Schwellwert überschreitet, wobei ein manuelles Eingreifen in den Prozess möglich ist. Das resultierende Gitter ist weitgehend von anthropogenen Anomalien befreit und dient als Ausgangsbasis für den Micro-Levelling Prozess. Bereiche, die während

der Filterung entfernt wurden, können nach dem Micro-Levelling wieder eingefügt werden, indem aus umliegenden Bereichen interpolierte Fehlerwerte auf sie angewendet werden.

Aus den niveauekorrigierten Daten wird ein finales ΔT -Gitter erstellt, das auf sämtlichen Daten einschließlich der anthropogenen Anomalien basiert.

4.3.5. Präsentation der Ergebnisse

Die Kartendarstellungen der Magnetfeldanomalien sind in **Kapitel 5** beschrieben. Die für die Produktion der Karte verwendeten Datenpunkte sind als schwarze Punkte (Fluglinie) dargestellt. Die weißen Punkte markieren Bereiche, in denen die Daten interpoliert worden sind.

4.4. Datenverarbeitung in der Radiometrie

Die natürliche Gammastrahlung der Gesteine und Böden beruht im Wesentlichen auf den Radioelementen Kalium (K), Uran (U) und Thorium (Th). Entsprechend den Empfehlungen der IAEA (1991) sind die mit dem Gammastrahlenspektrometer im Hubschrauber gemessenen Zählraten in Konzentrationen von K, U und Th im oberen Erdreich umzurechnen. Die Radioisotope U und Th selbst emittieren keine Gammastrahlen. Um eine Abschätzung der Konzentrationen für U und Th zu erhalten, wird mit dem Gammastrahlenspektrometer die abgegebene Gammastrahlung ihrer radioaktiven Tochterprodukte Bi-214 (Uran) und Tl-208 (Thorium) gemessen. Da diese Abschätzung unter der Annahme vorgenommen wird, dass zwischen den Elementen U bzw. Th und ihren Tochterprodukten ein Gleichgewicht vorhanden ist, werden die berechneten Konzentrationen als Äquivalentgehalte von Uran (eU) und Thorium (eTh) bezeichnet. Für die Ermittlung der Konzentrationen aus den Rohzählraten sind eine Reihe von Arbeiten zur Kalibrierung des Spektrometers sowie in der Datenverarbeitung erforderlich:

Spektrometerkalibrierung:

- Bestimmung der Hintergrundzählraten durch Flüge über ausgedehnten Wasserflächen
- Bestimmung von Einstreuraten zur Compton-Korrektur mit Hilfe von Kalibrierkörpern
- Bestimmung von Absorptionskoeffizienten und Detektor-Empfindlichkeiten mit Hilfe von Flügen über Kalibrierstrecken
- Bestimmung von Vegetations-Abschwächungskoeffizienten

Datenverarbeitung:

- Energiekalibrierung
- Verminderung des Rauschens
- Bestimmung der Detektorhöhe über Grund und der effektiven Höhe
- Registrierzeitkorrektur
- Korrektur der Hintergrundstrahlung
- Compton (Stripping) Korrektur
- Reduktion auf Standardflughöhe
- Berechnung von Radioelement-Konzentrationen und Strahlungsrate

4.4.1. Energiekalibrierung

Die spektrale Stabilität von Gammaskpektrometern ist nicht perfekt. Auf Grund von Temperatureffekten kann die Energie-Kanal-Zuordnung während eines Fluges leicht driften. Es wird daher in der Datenverarbeitung eine Energiekalibrierung der aufgezeichneten Spektren vorgenommen. Die Energie-Kanal-Zuordnung eines Spektrometers wird folgendermaßen ausgedrückt:

$$ch = E / G + offs,$$

mit

ch = Kanalnummer,

E = Energie in keV,

G = Verstärkungskonstante des Spektrometers in keV/Kanal,

offs = Kanal-Offset.

Ein 256-Kanal-Spektrometer besitzt eine nominelle Verstärkung von 12 keV/Kanal und einen Offset von 0 Kanälen. Um die aktuelle Verstärkung und den aktuellen Offset des Spektrometers zu ermitteln, wird für jede Fluglinie ein mittleres Spektrum berechnet. Die Kanal-Positionen der bekannten Energiemaxima im gemittelten Spektrum (K, U, Th) können dann zur Berechnung von aktueller Verstärkung und Offset des Instrumentes für das analysierte Zeitfenster (Fluglinie) verwendet werden. Auf diesen Werten basierend werden die Spektren auf ein nominelles 12 keV/Kanal-Raster abgebildet.

4.4.2. Verminderung des Rauschens

Auf Grund des relativ großen Abstandes zwischen den Quellen der radioaktiven Strahlung an der Erdoberfläche und dem Strahlungsdetektor im Hubschrauber sind die Zählraten in der Aerogamma-spektrometrie allgemein gering. Dies führt dazu, dass die aufgenommenen Gammaskpektren, und damit auch die daraus ermittelten Radionuklidgehalte entlang der Profillinien, starkes statistisches Rauschen aufweisen. In der Datenaufbereitung kommt daher ein von Hovgaard & Grasty (1997) entwickeltes Verfahren zur Reduktion des Rauschens zur Anwendung. Das NASVD-Verfahren (noise adjusted singular value decomposition) basiert auf einer statistischen Analyse sämtlicher Spektren eines Messgebietes und einer Rekonstruktion von Spektren mit vermindertem Rauschen über Hauptkomponentenanalyse. Als Ergebnis erhält man geglättete Spektren, aus denen die Zählraten der drei interessierenden Energiefenster (vgl. Tab. 6) neu bestimmt werden. Weiterhin kommt ein von Mathis (1987) vorgestellter adaptiver Filter zur Glättung der Zählraten-Kanäle zur Anwendung.

4.4.3. Detektorhöhe über Grund und effektive Höhe

Für die korrekte Bestimmung von Radioelement-Konzentrationen aus Hubschrauber-Radiometrie-messungen ist die Kenntnis des Abstandes zwischen der Strahlungsquelle am Boden und dem Detektor im Hubschrauber von entscheidender Bedeutung. Das von der BGR verwendete Hubschrauber-Messsystem ist mit zwei Höhenmessern ausgestattet: einem Radarhöhenmesser im Hubschrauber und einem Laserhöhenmesser in der Flugsonde. Grundsätzlich werden die Daten des Radarhöhenmessers zur Bestimmung der Detektorhöhe über Grund verwendet, da dieser sich auf der gleichen Plattform wie der Detektor befindet. Allerdings sind die Daten des Laserhöhenmessers genauer und enthalten auch Informationen über das Vorhandensein und ggf. die Dicke von Vegetationsschichten

(meist Wald) am Boden unterhalb des Systems. Während der Radarhöhenmesser in bewaldeten Gebieten die Höhe der Baumkronen anzeigt und den Abstand zum Boden unterschätzt, erlaubt der Laserhöhenmesser sowohl eine Bestimmung des wahren Abstandes zum Boden als auch eine Abschätzung der Vegetationsdicke. Diese Informationen sind für die Anwendung einer Vegetationskorrektur auf die gemessenen Zählraten erforderlich. In der Datenverarbeitung erfolgt daher eine Zusammenführung der Daten von Radar- und Laserhöhenmesser, wodurch eine genauere Bestimmung der Detektorhöhe über Grund und der Vegetationsdicke ermöglicht wird.

Für die Anwendung der Datenanalysetechniken der Radiometrie ist es notwendig, die gemessenen Daten an Standardbedingungen anzupassen. Dies schließt die Anpassung der gemessenen Höhe des Hubschraubers, und damit des Detektors, über Grund an Standardtemperatur und -druck (STD) ein. Die Höhenkorrektur wird nach der Empfehlungen der IAEA (2003) durchgeführt:

$$h_e = (h_r \cdot P \cdot T_0) / (P_0 \cdot (T + T_0)),$$

mit:

- h_e = effektive Höhe über Grund (in m) unter STD-Bedingungen,
- h_r = Höhe des Hubschraubers über Grund (in m),
- T_0 = 273,15 K, Gefrierpunkt des Wassers auf Kelvin-Skala,
- T = Lufttemperatur (in °C),
- P_0 = 101,325 kPa; mittlerer Luftdruck der Atmosphäre auf Meereshöhe,
- P = im Hubschrauber gemessener barometrischer Druck (in kPa).

4.4.4. Registrierzeitkorrektur

Ein Spektrometer benötigt eine bestimmte Zeit, um einen Impuls vom Detektor zu verarbeiten. Währenddessen werden eingehende Impulse zurückgewiesen. Die als „Live-time“ bezeichnete Zeit, in der das Spektrometer für eingehende Impulse empfangsbereit ist, wird durch das System mitregistriert und dient zur Korrektur der aufgenommenen Zählraten. Die Korrektur ist gewöhnlich klein, kann aber bedeutend in Gebieten mit hoher Radioaktivität sein. Die Registrierzeitkorrektur wird durchgeführt, indem die gemessenen Zählraten auf den Messzyklus von einer Sekunde hochgerechnet werden (IAEA, 2003):

$$N = n \cdot 10^3 / t_L$$

mit:

- N = korrigierte Zählrate,
- n = registrierte Roh-Zählrate,
- t_L = Live-Time (in ms)

4.4.5. Hintergrundstrahlung

Die kosmische Strahlung (Höhenstrahlung) ist eine hochenergetische (>3 MeV) Partikelstrahlung aus dem Weltall, die auf die äußere Erdatmosphäre auftrifft und dort durch Wechselwirkung mit Gasmolekülen Partikelschauer mit einer hohen Anzahl von Sekundärteilchen auslöst. Die Strahlung dieser Teilchen streut in das gemessene Gammaskpektrum ein. Weiterhin geht vom Hubschrauber und vom Messsystem eine geringe, als konstant angenommene radioaktive Strahlung aus. Die Summe der Strahlung dieser beiden Komponenten bezeichnet man als Hintergrundstrahlung. Sie verfälscht die Messung der vom Erdboden ausgehenden Gammastrahlung und muss korrigiert werden. Die erforderlichen Korrekturfaktoren werden durch Messflüge in unterschiedlichen Höhen zwischen etwa 100 und 3500 m über ausgedehnten Wasserflächen ermittelt. Die Korrektur der Hintergrundstrahlung erfolgt nach:

$$N_c = a + b \cdot C_H$$

mit:

- N_c = kosmische und Messsystem-Hintergrundstrahlung für jeden Messkanal,
- a = Hintergrundstrahlung des Hubschraubers inkl. des Messsystems für jeden Messkanal,
- b = kosmische Einstreuung für jeden Messkanal,
- C_H = Zählrate im Höhenstrahlungskanal.

Zur Bestimmung der Werte a und b wurde im Jahre 2008 Messflüge in verschiedenen Höhen über der Nordsee durchgeführt (Tab. 7). Mit den Messdaten wurden die Korrekturgrößen für die Kanäle K, U, Th und TC (Gesamtstrahlung) mittels linearer Regression der Zählraten dieser Kanäle gegen die Zählraten der kosmischen Strahlung bestimmt.

Tab. 7: Korrekturfaktoren Hintergrundstrahlung

Kanal	Messsystem a [cps]	kosmische Einstreuung b
TC	31,09	0,7224
K	5,51	0,0405
U	0,48	0,0326
Th	0,33	0,0412

4.4.6. Compton-Korrektur

Die Streuung von Gammaquanten beim Durchgang von Materie wird als Compton-Effekt bezeichnet. Praktisch hat dies zur Folge, dass ein bestimmter Anteil z. B. von der Thorium-Strahlung in die niedrigeren Energiebereiche des Uran- und Kalium-Fensters einstreut. Ebenso streuen Uran-Anteile in den Kalium-Kanal. Der umgekehrte Effekt, d. h. die Einstreuung in höhere Energiekanäle existiert auch, ist aber deutlich geringer. Die Koeffizienten der Einstreueraten (stripping ratios) wurden im Jahre 2008 über Kalibrierkörper der BGR (Grasty et al., 1991) bestimmt und entsprechend den Empfehlungen der IAEA (2003) angebracht. Die Werte sind in Tab. 8 aufgelistet.

Tab. 8: Koeffizienten der Einstreuratzen

	Einstreurate	Wert
Th → U	α	0,2485
Th → K	β	0,3852
U → K	γ	0,6599
U → Th	a	0,0395

Die Werte von α , β , γ steigen mit der Höhe des Hubschraubers über Grund an und müssen daher unter STD-Bedingungen korrigiert werden:

$$\alpha_e = \alpha + 0,00049 \cdot h_e$$

$$\beta_e = \beta + 0,00065 \cdot h_e$$

$$\gamma_e = \gamma + 0,00069 \cdot h_e$$

wobei h_e die äquivalente Höhe über Grund (in m) unter STD-Bedingungen ist. Um die Netto-Zählraten der jeweiligen Kanäle zu erhalten, muss von den gemessenen Werten der eingestreute Anteil abgezogen werden:

$$N_{Th(corr)} = (N_{Th} - aN_U) / (1 - a\alpha)$$

$$N_{U(corr)} = (N_U - \alpha N_{Th}) / (1 - a\alpha)$$

$$N_{K(corr)} = N_K - \beta N_{Th(corr)} - \gamma N_{U(corr)}$$

Dabei repräsentieren N_{Th} , N_K und N_U die bezüglich der Hintergrundstrahlung unter STD-Bedingungen korrigierten Netto-Zählraten, $N_{Th(corr)}$, $N_{U(corr)}$ und $N_{K(corr)}$ die bezüglich der Einstreuratzen korrigierten Zählraten und α , β , γ und a die Einstreuratzen unter STD-Bedingungen. Für die Gesamtstrahlung wird keine Compton-Korrektur durchgeführt (vgl. IAEA, 2003).

4.4.7. Zählraten in Standardflughöhe

Die Intensität der vom Boden stammenden Gammastrahlung nimmt durch Absorption in der Luft mit der Höhe über Grund ab. Die energieabhängige Absorptionskonstante μ der Luft wird bestimmt wie in IAEA (1991) beschrieben. Die Absorption hängt hauptsächlich von der Dichte und Feuchtigkeit der Luft ab. Im Uran-Kanal ist sie zusätzlich von veränderlichen Radon-Konzentrationen in Luft beeinflusst.

Mit den Absorptionskonstanten μ werden die in einer Höhe h gemessenen Zählraten N_m (nach Berücksichtigung der Hintergrundstrahlung und der der Einstreuratzen) umgewandelt in Strahlungsintensitäten bei einer Normhöhe von $h_0 = 80$ m:

$$N_s = N_m \cdot e^{-\mu(h_0 - h_e)}$$

mit:

μ = Absorptionskoeffizient für das jeweilige spektrale Fenster,

N_m = beobachtete Zählrate bei effektiver Höhe h_e .

N_s = korrigierte Zählrate bezogen auf die Standardhöhe h_0 .

Die Absorptionskoeffizienten μ (**Tab. 9**) wurden über einer Teststrecke in Allensteig, Österreich, im Jahre 2003 mit Hilfe von Testflügen in unterschiedlichen Höhen bestimmt.

Tab. 9: Absorptionskoeffizienten

Spektralfenster	Absorptionskoeffizienten μ (in 1/m bei STP)
K	0,007733
U	0,008132
Th	0,005784
TC	0,006468

4.4.8. Berechnung von Radioelement-Konzentrationen und Strahlungsrate

IAEA (2003) empfiehlt die Umrechnung der Zählraten der drei Gammastrahler in Äquivalentkonzentrationen am Boden sowie die Angabe der Strahlungsrate (Exposure Rate) am Boden. Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse von Messungen verschiedener Instrumente (z. B. mit unterschiedlichem Kristallvolumen) untereinander vergleichbar sind. Als Ergebnis erhält man den Gehalt des Radioelementes K (in %) und die Äquivalentgehalte der beiden Radioelemente eU (in ppm) und eTh (in ppm) in den oberflächennahen Bodenschichten. Die Umwandlung der Zählraten in Konzentrationen am Boden erfolgt nach folgender Beziehung:

$$C = N_s/S$$

mit:

- C = Konzentrationen der Elemente (K in %, eU in ppm, eTh in ppm)
- N_s = korrigierte Zählrate im jeweiligen Energiefenster
- S = Sensitivität der Strahlungsquelle im Energiefenster (vgl. **Tab. 6**)

Die erforderlichen Eichfaktoren (Sensitivitäten S, **Tab. 10**) wurden mit Hilfe von Testmessungen über einer Eichstrecke in Allensteig, Österreich ermittelt.

Tab. 10: Sensitivitäten

Sensitivität	
1 % K	= 28,42 cps
1 ppm eU	= 2,916 cps
1 ppm eTh	= 1,962 cps

Die so ermittelten Äquivalentgehalte beziehen sich auf eine unendlich ausgedehnte, gleichmäßig strahlende Ebene. Sie können sich von den wahren Konzentrationen der Elemente im Boden unterscheiden, insbesondere wenn die strahlenden Flächen unregelmäßig verteilt sind oder durch Einfluss von Bodenfeuchte. Weiterhin kann der Radongehalt der Luft während einer Messung stark schwan-

ken. Radon wirkt störend bei radiometrischen Messungen, insbesondere bei der Bestimmung von Urangelhalten, da Radon-Strahlung im Uran-Energiefenster registriert wird. Aktuell ist in der Datenverarbeitung keine Korrektur der Radonstrahlung implementiert, in den Karten der Urangelhalte angegebene Absolutwerte sind daher unter Vorbehalt zu betrachten.

Fehler in den errechneten Radionuklidkonzentrationen ergeben sich auch in Gebieten wo eine Vegetationsbedeckung (meist in Form von Bäumen in bewaldeten Gebieten) einen Teil der vom Boden stammenden Strahlung absorbiert. Eine Korrektur des Vegetationseinflusses ist möglich unter der Annahme, dass die Absorption exponentiell mit der Dicke der Vegetation zunimmt und Vegetationsdicken bekannt sind:

$$C_D = C_0 \cdot e^{-\mu_V D}$$

mit:

- C_0 = Element-Konzentration am Boden,
- C_D = Element-Konzentration bestimmt in Anwesenheit von Vegetation,
- D = Vegetationsdicke,
- μ_V = linearer Abschwächungskoeffizient der Vegetation.

Werte für μ_V (Tab. 11) wurden empirisch bestimmt unter Verwendung umfangreicher Datensätze aus Norddeutschland. Die Vegetationsdicken wurden aus Daten des Laserhöhenmessers ermittelt. Zusätzlich zu den drei Radionukliden wurde ein Abschwächungskoeffizient für die Totalstrahlung empirisch ermittelt.

Tab. 11: Lineare Abschwächungskoeffizienten μ_V von Vegetation

Element	μ_V
K	0,012
U	0,012
Th	0,011
TC	0,010

Die Strahlungsrate am Erdboden wird berechnet als Funktion der K-, U-, and Th-Konzentrationen:

$$E = 1,505 \cdot K + 0,653 \cdot eU + 0,287 \cdot eTh$$

E = Strahlungsrate am Erdboden [$\mu\text{R}/\text{h}$]

mit:

- 1 % K = 1,505 $\mu\text{R}/\text{h}$,
- 1 ppm eU = 0,653 $\mu\text{R}/\text{h}$,
- 1 ppm eTh = 0,287 $\mu\text{R}/\text{h}$.

4.4.9. Statistische Niveauanpassung und Glättung

Vor der Vegetationskorrektur wird eine statistische Niveauanpassung der Konzentrations- und Totalstrahlungs-Daten vorgenommen. Dazu werden die Differenzen an den Kreuzungspunkten zwischen Fluglinien und Kontrolllinien berechnet und flugweise gemittelt. Die gemittelten Werte werden zur Korrektur von Niveauunterschieden verwendet. Solche können auftreten, wenn sich während der Kampagne Änderungen in den Umweltbedingungen (z.B. Boden-, Luftfeuchte, Radongehalt der Luft) ergeben haben.

Verbleibende, meist geringe Niveauunterschiede werden durch ein nachfolgendes Micro-Levelling eliminiert. Das Micro-Levelling basiert auf dem Gitter der Flugliniendaten, in welchem Niveaufehler durch Anwendung eines Butterworth-Hochpassfilters (Wellenlänge 600 m, Grad 8) und eines direktionalen Kosinusfilters (Azimuth 108,5°, Grad 1) identifiziert werden. Ergebnis der Filterung ist ein Fehlergitter, welches entlang der Fluglinien abgetastet wird. Die abgetasteten Fehlerwerte werden mit einem Spline-Filter (Glätte 0,8 / 0,65, Spannung 0,5 / 0,5 für Fluglinien / Kontrollprofile) stark geglättet und dann von den Originaldaten abgezogen. Die resultierenden Gitter aus den niveauekorrigierten Daten weisen praktisch keine Niveaufehler mehr auf. Schließlich werden die Daten der Kontrollprofile an das Gitter der niveauekorrigierten Flugliniendaten angepasst. Hierzu werden Fehlerwerte über einen Spline angenähert und von den Kontrollprofil-Daten abgezogen.

Die aus den niveauekorrigierten Daten erzeugten Gitter werden schließlich durch Anwendung eines zweidimensionalen Medianfilters mit Radius 1 (für Kalium, Thorium und Totalstrahlung), bzw. 2 (für Uran) leicht geglättet. Die gefilterten Gitter werden entlang des Flugweges abgetastet und die abgetasteten Daten als Grundlage für die Vegetationskorrektur und die Berechnung der Strahlungsrate verwendet.

4.4.10. Präsentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der radiometrischen Messungen werden in Form von Karten der Äquivalentkonzentrationen der Radioelemente Kalium, Uran und Thorium sowie der Gesamtstrahlung und der Strahlungsrate am Erdboden (vgl. **Kapitel 5**) dargestellt. Die für die Produktion der Karte verwendeten Datenpunkte sind als schwarze Fluglinie dargestellt. Die weißen Punkte auf den Fluglinien markieren Bereiche, in denen die Daten interpoliert worden sind.

4.5. Kartenherstellung mit GEOSOFT-Software

Für jeden Ergebnisparameter sind farbige Isolinienkarten im Maßstab 1:50.000 hergestellt worden, wobei eine Gitterzellengröße (Grid) von 50 und ein Suchradius von 250 m gewählt wurde. Als Kartengrundlage dienten die in Kapitel 5 angeführten Blätter der vergrößerten Topographischen Karte DTK 100-V. Des Weiteren sind die Fluglinien ebenfalls auf allen Karten enthalten.

Die Zusammenstellung von Geophysik, Topografie und Legendeninformationen erfolgt mit dem Programm ArcGIS 10 von ESRI. Zum Import und zur Darstellung der Geosoft-Raster-Dateien als Rasterlayer in ArcMap wird ein Zusatzmodul von Geosoft für ArcGIS als Erweiterung benötigt (<http://www.geosoft.com/resources/releasenotes/plugins/arcGISplugin.asp>, auch beiliegend auf DVD). Die Erstellung von PDF-Dokumenten wird mit Adobe Acrobat X vorgenommen.

5. Kartographische Arbeiten

5.1. Topographische Karten 1:50.000

Als Hintergrund zur Darstellung der aerogeophysikalischen Messergebnisse wurde eine Topographische Karte mit einem Sonderblattschnitt auf Grundlage von Rasterdaten der DTK 100-V (Topographische Karte 1:100.000) hergestellt. Zur Abdeckung des Messgebietes ergab sich ein Blatt mit der Ausdehnung von 28 km × 32 km. **Tab. 12** enthält die Eckpunktkoordinaten des Blattes.

Tab. 12: Eckpunktkoordinaten des Blattschnittes Cuxhaven (2013)

Karteneckpunkt	Gauß-Krüger-Koordinaten	
	Rechtswert	Hochwert
SW	3461 000	5945 000
NW	3461 000	5977 000
NO	3489 000	5977 000
SO	3489 000	5945 000

Die Ergebniskarten 1:50.000 basieren auf Rasterdaten der DTK 100-V, Blätter C 2314 Langen (1997) und C 2318 Cuxhaven (1997), und sind digital auf 1:50.000 vergrößert worden. Herausgeber ist das LGN – Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen, 30659 Hannover. Abgedeckt wird der Bereich, der im Kartenbild ca. zwischen Wremen im Südwesten, Insel Neuwerk im Nordwesten, Altenbruch im Nordosten und Flögeln im Südosten liegt.

Digital wurde dazu ein Kartenrahmen mit Gauß-Krüger-Eckpunktkoordinaten im 3°-Meridian-Streifensystem mit 9° als Mittelmeridian (Zone 3), basierend auf dem Bessel-Ellipsoid, und ergänzenden geografischen Koordinaten erstellt. Der Grauton der topografischen Darstellung wird durch eine fünfzigprozentige Aufrasterung der digitalen Topografie erreicht.

5.2. Ergebniskarten

Für das Messgebiet Cuxhaven wurden 27 geophysikalische Ergebniskarten jeweils mit unterlegter Topografie im Maßstab 1:50.000 hergestellt (siehe Kartenverzeichnis und **Anhang IV**). Alle Karten sind mit einer ausführlichen Legende versehen, die Auskunft über das Messgebiet, die Kartengrundlagen, den dargestellten Parameter und die beteiligten Institutionen und Personen gibt.

Ferner wurden eine topografische Höhenkarte und eine Fluglinienkarte produziert, die die Lage der Messprofile auf der Grundlage der Topographischen Karte zeigt. Die Profile sind an ihrem Anfang in Flugrichtung mit Liniennummern versehen. Die Positionen der Zeitmarken (kurzer „|“ 1 s, d. h. 10 Werte, langer „|“ 10 s, d. h. 100 Werte) sind gekennzeichnet. Jede fünfte Zeitmarke (10 s) ist mit der dazugehörigen Zeitmarkennummer (Record) in Fluglinienrichtung beschriftet. Die Fluglinienkarte basiert auf den prozessierten Daten der HEM und gestattet somit eine schnelle Zuordnung der Daten von Profilen und Vertikalsektionen zur Position im Messgebiet. Bei HMG und HRD sind die Profilanfänge- bzw. enden leicht in Flugrichtung verschoben (30–70 m). Einige Profile (*.2) sind nur für HMG prozessiert worden. Die Profile bzw. Datenpunkte sind auf den Ergebniskarten geplottet.

6. Archivierung

Alle Daten und Produkte sind auf DVD gespeichert und im Fachbereich B2.1 archiviert. Darüber hinaus sind Ergebnisdaten als ASCII-codierte Profildaten im GEOSOFT XYZ-Format und die Endergebnisse (Bericht, Karten und Vertikalsektionen) als PDF-Dokumente im Originalmaßstab auf einer DVD (Tab. 14) als **Anlage** zu diesem Bericht abgelegt.

Tab. 14: Inhalt der DVD im Überblick

Verzeichnis		Inhaltsbeschreibung
\Acrobat Reader		Adobe® Acrobat Reader in div. Versionen für gängige Betriebssysteme
\Bericht		Technischer Bericht des Projektes im PDF-Format
\Daten...	\HEM	ASCII-Datei aller gemessenen Rohdaten (*RAW) ASCII-Datei aller prozessierter Daten (*DAT) ASCII-Datei aller abgeleiteten Halbraumparameter (*APP) ASCII-Datei der Ergebnisse nach 1-D-Inversion (*INV)
	\HMG	ASCII-Datei der magnetischen Totalintensität, IGRF, Bodenstationsdaten, Tagesvariation etc.
	\HRD	ASCII-Datei der Gehalte bzw. Äquivalentkonzentrationen für die Radioelemente Kalium, Uran und Thorium sowie für die Gesamtstrahlung und die Strahlungsrate
\Karten...	\HEM	Karten 1:50.000 des Halbraumwiderstandes und der Schwerpunkstiefe für die Frequenzen 384 Hz, 1830 Hz, 8610 Hz, 41.300 Hz, 192.600 Hz im PDF-Format Karten 1:50.000 des spezifischen Widerstandes als Ergebnis der 1D-Inversion in den Tiefen 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 und 80 m unter NHN im PDF-Format
	\HMG	Karte 1:50.000 der Anomalien der magnetischen Totalintensität in nT im PDF-Format
	\HRD	Karten 1:50.000 der Gehalte bzw. Äquivalentkonzentrationen für die Radioelemente Kalium, Uran und Thorium sowie für die Gesamtstrahlung und die Strahlungsrate im PDF-Format
	\Fluglinien	Karten 1:50.000 des tatsächlich zurückgelegten Flugweges mit Topographie im PDF-Format
	\ArcGIS	Kartenprojekte für ArcGIS 10 (*.mxd) inklusive Legendenteile (*.bmp), Rasterdaten (*.tif), Geosoft Oasis-Daten und Geosoft-Plugin für ArcGIS
\Vertikalsektionen		Vertikale Widerstandsverteilung nach 1D-Inversion für alle Profile im Messgebiet, horizontaler Maßstab 1:50.000, vertikaler Maßstab 1:2.000, im PDF-Format

7. Literatur

- Grasty, R.L., Holman, P.B. & Blanchard, Y.B., 1991. Transportable calibration pads for ground and airborne gamma-ray spectrometers. Geological survey of Canada, Paper 90-23, 25p.
- Hovgaard, J., & Grasty, R.L., 1997. Reducing statistical noise in airborne gamma ray data through spectral component analysis. In "Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial Conference on Mineral Exploration" edited by A.G. Gubins, 753–764.
- IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1363AEA, Vienna.
- Mathis, G.L., 1987. Smoothing spectral gamma logs: A simple but effective technique. Geophysics, 52, 363–367.
- IAGA, 1992. International Geomagnetic Reference Field, 1991 Revision. International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) Division V, Working Group 8: Analysis of the main field and secular variation. Geophys. J. Int., 108, 945–946.
- IAGA, 2005. International Geomagnetic Reference Field, 2005, 10th generation. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Division V, Working Group V-MOD. <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>.
- Kessels, W., Dörhöfer, G., Fritz, J. & Fulda, C., 2000: Das Forschungsprojekt „Cuxhavener-Cuxhavener Rinne“ zur Beurteilung von Grundwasservorkommen in Rinnensystemen. Arbeitshefte Wasser 2000/1, NLFb, Hannover, 189-203.
- Sengpiel, K.-P. & Siemon, B., 1998: Examples of 1-D inversion of multifrequency AEM data from 3-D resistivity distributions. Exploration Geophysics, 29, 133-141.
- Sengpiel, K.-P. & Siemon, B., 2000. Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration. Geophysics, 65, 1983-1992, doi:10.1190/1.1444882.
- Siemon, B., 2000: Pilotstudie zu einer aerogeophysikalischen Landesaufnahme - Befliegungen 2000, Gebiet: Cuxhaven. Bericht der Geophysik GGD, Archiv-Nr. 0121359, Hannover.
- Siemon, B., Voß, W., Röttger, B., Rehli, H.-J. & Pielawa, J., 2001: Forschungsvorhaben „Detaillierte aerogeophysikalische Landesaufnahme“ (DAGLA), Messgebiet Cuxhaven, Mai 2000. Technischer Bericht, BGR-Bericht, Archiv-Nr. 0121236, Hannover.
- Siemon, B., 2001a: Improved and new resistivity-depth profiles for helicopter electromagnetic data. J. Appl. Geophys., 46, 65-76, doi: 10.1016/S0926-9851(00)00040-9.
- Siemon, B., 2001b. Verifizierung der AEM-Inversionsergebnisse Gebiet Cuxhaven. GGA-Bericht, Archiv-Nr. 0121208, Hannover.
- Siemon, B., 2012. Accurate 1D forward and inverse modeling of high-frequency helicopter-borne electromagnetic data. Geophysics, 77 (4), WB81-WB87, doi: 10.1190/GEO2011-0371.1
- Wiederhold, H., Siemon, B., Steuer, A., Schaumann, G., Meyer, U., Binot, F. & Kühne, K., 2010. Coastal aquifers and saltwater intrusions in focus of airborne electromagnetic surveys in Northern Germany. In: Proceedings of 21th Salt Water Intrusion Meeting 2010, Azores, Portugal.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
BGR, HANNOVER

Abteilungsleiter

(Dr. M. Kosinowski)

Leiter der Abteilung
„Grundwasser und Boden“

Fachbereichsleiter

(Dr. U. Meyer)

Leiter des Fachbereichs
„Geophysikalische Erkundung
– Technische Mineralogie“

Sachbearbeiter

(Dr. B. Siemon)

Leiter des Arbeitsbereichs
„Aerogeophysik und
Luftfahrttechnischer
Betrieb“

Anhang I

Messgebiet Cuxhaven

Tab. A-1: Flugprotokoll

Messflug	Datum	Uhrzeit (UTC) Anfang-Ende	Profil	Bemerkungen
81000	05.05.00	08:23 - 10:15	75.1 W 74.1 O 73.1 W 72.1 O 71.1 W 70.1 O 69.1 W 68.1 O	Profilflug EM5 ist in der Nähe eines Sendemastes stark gestört. Wetter: sonnig, Wind aus 90° mit 8 Knoten
81001	08.05.00	11:37 - 13:52	67.1 W 66.1 O 65.1 W 64.1 O 63.1 W 62.1 O 61.1 W 60.1 O 59.1 W 58.1 O 57.1 W 56.1 O	Profilflug Wetter: sonnig, Wind aus 60° mit 12 Knoten
81002	09.05.00	07:50 - 09:57	1.1 W 2.1 O 3.1 W 4.1 O 5.1 W 6.1 O 7.1 W 8.1 O 9.1 W 10.1 O 11.1 W	Profilflug Wetter: sonnig, Wind aus 130° mit 3 Knoten

81003	09.05.00	12:13 - 14:06	213.1 W 214.1 O 215.1 W 216.1 O 217.1 W 218.1 O 219.1 W 210.1 O 221.1 W 222.1 O	Profilflug Wetter: sonnig, Wind aus 140° mit 5 Knoten Alle Profile umbenannt von 12.1–21.1 auf 213.1–222.1 um Nummerierungskonvention einhalten zu können (W ungerade, O gerade)
81004	10.05.00	06:55 - 08:46	22.1 O 23.1 W 24.1 O 25.1 W 26.1 O 27.1 W 28.1 O 29.1 W 30.1 O 31.1 W	Profilflug Wetter: sonnig, Wind aus 208° mit 4 Knoten
81005	10.05.00	10:07 - 12:01	32.9 N 31.9 S 30.9 N 29.9 S 28.9 N 27.9 S 26.9 N 25.9 S	Kontrollprofilflug (Wattprofile) Wetter: sonnig, Wind aus 210° mit 9 Knoten
81006	11.05.00	07:26 - 09:26	32.1 O 33.1 W 34.1 O 35.1 W 36.1 O 37.1 W 38.1 O 39.1 W 40.1 O 41.1 W 42.1 O	Profilflug Wetter: sonnig, warm, Wind aus 10° mit 6 Knoten

81007	11.05.00	11:02 - 13:17	24.9 N 23.9 S 22.9 N 21.9 S 20.9 N 19.9 S 18.9 N 17.9 S 16.9 N	Kontrollprofilflug (Wattprofile) Wetter: Seitenwind aus ca. 90° mit 10 bis 20 Knoten
81008	12.05.00	07:43 - 09:47	76.1 O 77.1 W 78.1 O 79.1 W 80.1 O 55.1 W 54.1 O 53.1 W 52.1 O 51.1 W 50.1 O	Profilflug Wetter: sonnig, kühl, sehr starker Wind aus 90° mit 24 und in der Spitze mehr als 30 Knoten
81009	15.05.00	11:17 - 12:35	43.1 W 44.1 O 45.1 W 46.1 O 47.1 W 48.1 O 49.1 W	Profilflug Wetter: sonnig, warm, Wind aus 90° mit 4 Knoten
81010	16.05.00	07:42 - 09:45	15.9 S 14.9 N 13.9 S 12.9 N 11.9 S 10.9 N 9.9 S 8.9 N	Kontrollprofilflug Wetter: sonnig, warm (26°), Wind aus 160° bis 220° mit 6–7 Knoten

81011	16.05.00	11:24 - 13:16	7.9 S 6.9 N 5.9 S 4.9 N 3.9 S 2.9 N 1.9 S	Kontrollprofilflug Wetter: sonnig, warm, Wind aus 165° bis 210° mit 12–15 Knoten
81012	17.05.00			Probleme mit der Datenaufzeichnung. Von diesem Flug existieren keine verwertbaren digitalen Daten.
81013	17.05.00	12:46 - 14:23	132.8N 100.1W 101.1W 101.2 O 131.8 S	Kalibrierflug für HEM über der Nordsee Wetter: regnerisch, Wind aus 240° mit 20 Knoten 2 Profile umbenannt von 131.9–132.9 auf 131.8–132.8 um Nummerierungskonvention einhalten zu können (Wiederholungskontrollprofile: *.8)
81014	18.05.00	07:12 - 09:14	91.1 W 90.1 O 89.1 W 88.1 O 87.1 W 86.1 O 85.1 W 84.1 O 83.1 W 82.1 O 81.1 W	Profilflug Kurz vor Ende von Linie 85 fällt die Bodenstation aus, daher Wiederholung der Linien 84–81 Wetter: bewölkt, kalt, Wind aus 220° mit 10 Knoten
81015	18.05.00	12:03 - 13:13		Kalibrierflug für Spektrometer 1. Steigflug über 3 verschiedenen Punkten 2. Flug über der Nordsee in 6000 Fuß Höhe Wetter: bewölkt, kühl

81016	18.05.00	13:37 - 14:13		<p>Kalibrierflug für Spektrometer</p> <p>1. Flug über der Nordsee in 700 Fuß Höhe</p> <p>2. Steigflug über Wasser von ca. 20 Fuß bis ca. 6000 Fuß</p> <p>Wetter: bewölkt, kühl</p>
81017	19.05.00	07:24 - 09:23	<p>10.5 O</p> <p>9.5 W</p> <p>8.5 O</p> <p>7.5 W</p> <p>6.5 O</p> <p>5.5 W</p> <p>4.5 O</p> <p>3.5 W</p> <p>2.5 O</p> <p>1.5W</p> <p>84.2O</p> <p>83.2 W</p> <p>82.2 O</p> <p>81.2 W</p>	<p>Kontrollprofilflug Watt</p> <p>Wetter: bewölkt, Wind mit 8 Knoten</p> <p>10 Profile umbenannt von 1.2–10.2 auf 1.5–10.5 um Nummerierungskonvention einhalten zu können</p> <p>Wiederholungsprofile</p>

Anhang II

Beschreibung der Datenformate

A) Elektromagnetik

Beschreibung der drei ASCII-Dateien mit den Ergebnissen der Hubschrauber-Elektromagnetik (HEM).

Allgemeiner Header:

```
/BGR HEADER (SHORT VERSION):  
/  
/AREANAME  
/CUXHAVEN  
/AREACODE  
/081  
/C_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM  
/ 9 3 BESSEL  
/BIRD  
/40  
/NUMFREQ  
/5  
/FREQUENCY  
/ 384.00 1830.00 8610.00 41300.00 192600.00  
/COILGEOMETRY  
/ 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00  
/COILSEPERATION  
/ 6.87 6.73 6.59 6.68 6.64  
/TOWCABLE  
/ 38.18  
/DUMMY  
/ -999.99  
/DECIMATIONVALUE  
/1  
/PRIVTEXT  
(hier können bis zu fünf Zeilen Kommentar stehen)
```

1) Rohdaten: HEM081_RAW.XYZ

Beispiel:

```

/-----/
/XYZ EXPORT [04/16/2013]
/DATABASE [.\HEM081RAW.gdb]
/-----/
/Unprocessed data
/ X Y LON LAT RECORD SSM RADAR LASER BARO HEMR_1 HEMQ_1 HEMR_2 HEMQ_2 HEMR_3 HEMQ_3 HEMR_4 HEMQ_4 HEMR_5 HEMQ_5
//Flight 8100
//Date 2000/05/05
Random 0
3491838 5968411 8.874917 53.846624 20 30272.8 5.74786 407.80 1.14078 0.00977 0.05188 -0.65676 -0.02838 -0.18799 -0.01648 -0.16419 -0.00305 -0.02319 -0.02289
3491843 5968413 8.874993 53.846642 21 30273.0 5.73504 408.00 1.14139 0.00855 0.05188 -0.65737 -0.02991 -0.18769 -0.01709 -0.16419 -0.00305 -0.03052 -0.01740
3491845 5968413 8.875023 53.846642 22 30273.1 5.73626 407.70 1.13590 0.00793 0.04975 -0.65798 -0.03113 -0.18738 -0.01648 -0.16388 -0.00336 -0.03052 -0.02594

```

In dieser Datei sind alle Rohdaten in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 3500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LONG	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktummer
SSM	s.s	Sekundenzähler (ab Mitternacht)
RADAR	mV	Messwert des Radarthöhenmessers
LASER	m	Messwert des Laserhöhenmessers
BARO	mV	Messwert der barometrische Höhe des Hubschraubers
HEMR_1	mV	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=384 Hz
HEMQ_1	mV	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=384 Hz
HEMR_2	mV	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=1830 Hz
HEMQ_2	mV	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=1830 Hz
HEMR_3	mV	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=8610 Hz
HEMQ_3	mV	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=8610 Hz
HEMR_4	mV	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=41300 Hz
HEMQ_4	mV	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=41300 Hz
HEMR_5	mV	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=192600 Hz
HEMQ_5	mV	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=192600 Hz

Anmerkungen:

Zeilen, die mit "/" beginnen, sind Kommentarzeilen.

Zeilen, die mit "//" beginnen, geben Auskunft über Flugnummer und Datum.

Zeilen, die mit "Random" beginnen, kennzeichnen die Flüge.

2) Daten: HEM081_DAT.XYZ

Beispiel:

```

/PROGRAMM: HEM
/BEREINIGTE UND GEFILTERTE DATEN
/PROGRAMM: HEM_KOR06
/      X      Y      LON      LAT RECORD UTC_TIME TOPO H_RADAR H_LASER BIRD_NN H_BARO REAL_1 QUAD_1 REAL_2 QUAD_2 REAL_3 QUAD_3 REAL_4 QUAD_4 REAL_5 QUAD_5
//Flight 08102
//Date 2000/05/09
Line 1.1
3481881 5946945 8.724894 53.653508 4600 75928.6 11.91 40.48 39.54 52.03 52.71 14.37 41.53 58.98 107.33 225.27 214.24 517.71 270.06 740.88 181.03
3481877 5946946 8.724833 53.653517 4601 75928.7 11.89 40.61 39.53 52.00 52.81 14.36 41.53 58.97 107.31 225.21 214.18 517.57 270.04 740.77 181.09
3481873 5946947 8.724773 53.653526 4602 75928.8 11.86 40.74 39.53 51.97 52.91 14.36 41.54 58.95 107.26 225.12 214.09 517.33 270.01 740.58 181.20

```

In dieser Datei sind alle relativen Sekundärfelder in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 3500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	korrigierte topografische Höhe über NHN abgeleitet aus der korrigierten GPS-Höhe des Hubschraubers abzüglich der korrigierten Laserhöhe
H_RADAR	m	korrigierter Messwert des Radarhöhenmessers abzüglich der Kabellänge vom Hubschrauber zur Flugsonde, entspricht der Höhe der Flugsonde
H_LASER	m	korrigierter Wert des Laserhöhenmessers; entspricht der Höhe der Flugsonde
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NHN der Flugsonde, Bezugssystem WGS-84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NHN, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
REAL_1	ppm	korrigierter Wert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=384 Hz
QUAD_1	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=384 Hz
REAL_2	ppm	korrigierter Wert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=1830 Hz
QUAD_2	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=1830 Hz
REAL_3	ppm	korrigierter Wert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=8610 Hz
QUAD_3	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=8610 Hz
REAL_4	ppm	korrigierter Wert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=41300 Hz
QUAD_4	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=41300 Hz
REAL_5	ppm	korrigierter Wert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=192600 Hz
QUAD_5	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=192600 Hz

3) Halbraumparameter: HEM081_APP.XYZ

Beispiel:

```

/PROGRAMM: HEM99
/BEREINIGTE UND GEFILTERTE DATEN
/PROGRAMM: HEM_KOR06
/HALBRAUM-PARAMETER VON HEM_TRANS
/UEBERTRAGEN AM 11-FEB-13 13:20:00
/      X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_TIME      TOPO      H_RADAR      H_LASER      BIRD_NN      H_BARO      RHOA_1      KDA_1      ZST_1      ...      RHOA_5      KDA_5      ZST_5
//Flight 08102
//Date 2000/05/09
Line 1.1
3481881 5946945 8.724894 53.653508 4600 75928.6 11.91 40.48 39.54 52.03 52.71 41.28 3.35 85.79 ... 42.09 2.10 5.82
3481877 5946946 8.724833 53.653517 4601 75928.7 11.89 40.61 39.53 52.00 52.81 41.30 3.34 85.81 ... 42.15 2.10 5.83
3481873 5946947 8.724773 53.653526 4602 75928.8 11.86 40.74 39.53 51.97 52.91 41.32 3.33 85.82 ... 42.20 2.10 5.83

```

In dieser Datei sind alle notwendigen gemessenen Parameter sowie die berechneten Größen ρ_a , d_a und z^* in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 3500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	korrigierte topografische Höhe über NHN abgeleitet aus der korrigierten GPS-Höhe des Hubschraubers abzüglich der korrigierten Laserhöhe
H_RADAR	m	korrigierter Messwert des Radarhöhenmessers abzüglich der Kabellänge vom Hubschrauber zur Flugsonde, entspricht der Höhe der Flugsonde
H_LASER	m	korrigierter Wert des Laserhöhenmessers; entspricht der Höhe der Flugsonde
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NHN der Flugsonde, Bezugssystem WGS-84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NHN, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
RHOA_1	Ωm	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz f=384 Hz
KDA_1	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz f=384 Hz
ZST_1	m	Schwerpunkttiefe für die Frequenz f=384 Hz
RHOA_2	Ωm	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz f=1830 Hz
KDA_2	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz f=1830 Hz
ZST_2	m	Schwerpunkttiefe für die Frequenz f=1830 Hz
RHOA_3	Ωm	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz f=8610 Hz
KDA_3	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz f=8610 Hz
ZST_3	m	Schwerpunkttiefe für die Frequenz f=8610 Hz
RHOA_4	Ωm	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz f=41300 Hz
KDA_4	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz f=41300 Hz
ZST_4	m	Schwerpunkttiefe für die Frequenz f=41300 Hz
RHOA_5	Ωm	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz f=192600 Hz
KDA_5	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz f=192600 Hz
ZST_5	m	Schwerpunkttiefe für die Frequenz f=192600 Hz

Hubschrauber-Geophysik Cuxhaven 2000 (Revision 2013)

4) Inversionsdaten HEM081_INV.XYZ

Beispiel:

```
/PROGRAMM: HEM99
/BEREINIGTE UND GEFILTRTE DATEN
/PROGRAMM: HEM_KOR06
/INVERSIONSMODELLE VON ... \Gebiete\081_CUXHAVEN\KOR\IN\VF5_10_S0_15\
/UEBERTRAGEN AM 19-FEB-13 15:30:00
/ X Y LAT RECORD UTC_TIME TOPO H_RADAR H_LASER BIRD_NN H_BARO RHO_I_1 D_I_1 ... RHO_I_5 D_I_5 RHO_I_6 QALL
//Flight 08102
//Date 2000/05/09
Line 1.1
```

```
3481881 5946945 8.724894 53.653508 4600 75928.6 11.91 40.48 39.54 52.03 52.71 4848.06 2.13 ... 57.98 55.16 25.90 2.94
3481877 5946946 8.724833 53.653517 4601 75928.7 11.89 40.61 39.53 52.00 52.81 4847.49 2.13 ... 57.95 55.14 25.93 2.95
3481873 5946947 8.724773 53.653526 4602 75928.8 11.86 40.74 39.53 51.97 52.91 4846.92 2.14 ... 57.92 55.12 25.96 2.95
```

In dieser Datei sind alle notwendigen gemessenen Parameter sowie die Ergebnisse ρ , d und $qall$ einer 1D-Inversion in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 3500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	korrigierte (nachträglich Micro-Levelling) topografische Höhe über NHN abgeleitet aus der korrigierten GPS-Höhe des Hubschraubers abzüglich der korrigierten Laserhöhe
H_RADAR	m	korrigierter Messwert des Radarhöhenmessers abzüglich der Kabellänge vom Hubschrauber zur Flugsonde, entspricht der Höhe der Flugsonde
H_LASER	m	korrigierter Wert des Laserhöhenmessers; entspricht der Höhe der Flugsonde
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NHN der Flugsonde, Bezugssystem WGS-84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NHN, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
RHO_I_1	Ωm	spezifischer Widerstand der ersten (oberen) Schicht des 5-Schicht-Inversionsmodells
D_I_1	m	Mächtigkeit der ersten (oberen) Schicht des 5-Schicht-Inversionsmodells
:	:	:
RHO_I_5	Ωm	spezifischer Widerstand der vierten Schicht des 5-Schicht-Inversionsmodells
D_I_5	m	Mächtigkeit der vierten Schicht des 5-Schicht-Inversionsmodells
RHO_I_6	Ωm	spezifischer Widerstand der fünften Schicht (Substratum) des 5-Schicht-Inversionsmodells
QALL	%	Anpassungsfehler der Inversion (L1-Norm)

Anmerkung: Im Header steht zusätzlich:

```
/NUMLAYER
/ 6
/MUELAYER
/ 0
```

B) Magnetik

Beschreibung der ASCII-Datei mit den niveauekorrigierten (gelevelten) Ergebnissen der Hubschrauber-Magnetik.

Magnetikdaten HMG081.XYZ

/BGR HEADER:

/

/AREANAME

/CUXHAVEN

/AREACODE

/081

/C_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM

/ 9 3 BESSEL

/ELLIPSOID FOR LON AND LAT

/WGS84

/DEVICE

/G-822A

/IGRF

/2005

/LON_BASE

/8.650476

/LAT_BASE

/53.771061

/ALT_BASE

/19

/TOWCABLE

/40.0

/DUMMY

/-9999

/PRIVTEXT

(hier können Kommentarzeilen stehen)

Beispiel:

```

/Bearbeitung: M. Ibs-von Seht
/
  X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_DATE      UTC_TIME      ALT_BIRD      H_RADAR_RAW      H_LASER_RAW      T_BASE_RAW      T_BASE_F      T_RAW      DELTA_T      DELTA_T_LEV
//Flight 08102
//Date 2000/05/09
Line 1.1
3481772 5946979 8.723250 53.653809 4630 20000509 75931.6 45.4 263.7 38.9 49086.11 49086.11 49052.11 -8.51 -8.13
3481769 5946980 8.723194 53.653821 4631 20000509 75931.7 45.3 264.1 39.0 49086.11 49086.11 49052.11 -8.52 -8.13
3481765 5946982 8.723138 53.653833 4632 20000509 75931.8 45.3 262.9 39.1 49086.11 49086.11 49051.89 -8.60 -8.21
/

```

In dieser Datei sind alle notwendigen gemessenen Parameter sowie die Ergebnisse der Magnetik in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 3500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_DATE	yyyymmdd	GPS-Datum
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
ALT_BIRD	m	GPS-Höhe über NNH der Flugsonde, Bezugssystem WGS-84
H_RADAR_RAW	mV	Messwert der Radarhöhe des Hubschraubers über Grund
H_LASER_RAW	m	Messwert der Laserhöhe der Messsonde über Grund
T_BASE_RAW	nT	Rohdaten des erdmagnetischen Totalfeldes an der Basisstation
T_BASE_F	nT	bereinigte Daten des erdmagnetischen Totalfeldes an der Basisstation
T_RAW	nT	Rohdaten des erdmagnetischen Totalfeldes an der Flugsonde
DELTA_T	nT	Anomalie des erdmagnetischen Totalfeldes nach Abzug des IGRF und der Tagesvariation sowie Korrektur des richtungsabhängigen Fehlers (heading error)
DELTA_T_LEV	nT	niveauekorrigierte Anomalie des erdmagnetischen Totalfeldes

Anmerkungen:

Zeilen, die mit "/"

beginnen, sind Kommentarzeilen.

Zeilen, die mit "//"

beginnen, geben Auskunft über Flugnummer und Datum.

Zeilen, die mit "Line"

beginnen, kennzeichnen Messprofilnummern.

Zeilen, die mit "Tie"

beginnen, kennzeichnen Kontrollprofile.

Gegenüber den HEM-Profilen beginnen/enden die HMG-Profile etwas später (ca. 30-70 Records)

C) Radiometrie

Beschreibung der ASCII-Datei mit den niveauekorrigierten Ergebnissen der Hubschrauber-Radiometrie.

Radiometriedaten HRD081.xyz

/BGR HEADER (SHORT VERSION):

```

/
/AREANAME
/CUXHAVEN
/AREACODE
/081
/C_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM
/ 9 3 BESSEL
/ELLIPSOID FOR LON AND LAT
/WGS84
/DEVICE
/GR-820
/BACKGROUND (IAEA 2003, S.60) a(TC), b(TC), a(K), b(K), a(U), b(U), a(Th), b(Th)
/31.09, 0.7224, 5.51, 0.0405, 0.48, 0.0326, 0.33, 0.0412
/STRIPPING (IAEA 2003, S.65) alpha, beta, gamma, a
/0.2485, 0.3852, 0.6599, 0.0395
/ATTENUATION (IAEA 2003, S.67) mue(TC), mue(K), mue(U), mue(Th)
/0.006468, 0.007733, 0.008132, 0.005784
/SENSITIVITY (IAEA 2003, S.68) S(K), S(U), S(Th)
/28.42, 2.916, 1.962
/VEGETATION muev(TC), muev(K), muev(U), muev(Th)
/0.010, 0.012, 0.012, 0.011
/TOWCABLE
/40.00
/DUMMY
/-9999
/PRIVATE
(hier können Kommentarzeilen stehen)

```

Beispiel:

```

/Bearbeitung: M. Ibs-von Seht
/XYZ EXPORT [04/11/2013]
/DATABASE [.\081_hrd_both.gdb]/

```

Fortsetzung der letzten Zeile:

```

/ X Y LON LAT RECORD UTC_DATE UTC_TIME ALT_BIRD H_RADAR_RAW H_LASER_RAW HAG PRESSURE TEM LIVE_T COSMIC_RAW
TOT_RAW POT_RAW URA_RAW THO_RAW THO THO THO LEV URA LEV URA LEV THO LEV THO LEV THO LEV THO LEV
//Flight 08102
//Date 2000/05/09

```

Line 1.1

3481772	5946979	8.723250	53.653809	4630	20000509	75931.6	45.4	263.7	38.9	81.8	100.290	10.0	970	52
3481735	5946993	8.722690	53.653931	4640	20000509	75932.6	44.9	262.3	40.0	82.6	100.295	10.0	946	62
3481699	5947006	8.722140	53.654049	4650	20000509	75933.6	47.4	270.3	40.3	83.3	100.266	10.0	978	57

Fortsetzung der letzten drei Zeilen:

418	422	422	50	58	40	11	8	9	15	15	18	15	15	18
50	58	40	11	8	9	15	8	9	15	15	18	15	15	18
350.9	367.8	355.0	1.17	2.68	2.67	4.93	335.01	334.86	336.16	1.14	2.27	5.03	4.64	4.60
1.17	1.17	1.15	2.68	2.64	2.67	4.93	5.10	4.99	4.99	1.14	2.25	5.02	4.62	4.60

In dieser Datei sind alle notwendigen gemessenen Parameter sowie die Ergebnisse der Radiometrie in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Gauß-Krüger Rechtswert, Bezugssystem DHDN (Bessel-Ellipsoid), Mittelmeridian 9°, Rechtsverschiebung ("false easting") 4500000m
Y	m	Gauß-Krüger Hochwert
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS-84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS-84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktummer
UTC_DATE	yyyymmdd	GPS-Datum
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
ALT_BIRD	m	GPS-Höhe über NHN der Flugsonde, Bezugssystem WGS-84
H_RADAR_RAW	mV	Messwert der Radarhöhe des Hubschraubers über Grund
H_LASER_RAW	m	Messwert der Laserhöhe der Messsonde über Grund
HAG	m	Höhe des Hubschraubers über Grund
PRESSURE	kPa	Luftdruck
TEMP	°C	Lufttemperatur
LIVE_T	ms	Registrierzeitintervall
COSMIC_RAW	cps	Kosmische Strahlung > 3 MeV
TOT_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Totalstrahlung
POT_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Kaliumstrahlung
URA_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Uranstrahlung
THO_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Thoriumstrahlung
TOT	cps	Totalstrahlung
POT	%	Kaliumgehalt (K-40) im Boden
URA	ppm	Äquivalentgehalt von Uran (eU) im Boden
THO	ppm	Äquivalentgehalt von Thorium (eTh) im Boden
TOT_BIO	cps	Totalstrahlung (Niveau und Biomasse korrigiert)
POT_BIO	%	Kaliumgehalt (K-40) im Boden (Niveau und Biomasse korrigiert)
URA_BIO	ppm	Äquivalentgehalt von Uran (eU) im Boden (Niveau und Biomasse korrigiert)
THO_BIO	ppm	Äquivalentgehalt von Thorium (eTh) im Boden (Niveau und Biomasse korrigiert)
EXPO	µR/h	Strahlungsrate am Erdboden, ermittelt aus korrigierten Gehalten

Anmerkungen: siehe Magnetik

Anhang III

DVD-Inhalt

\Acrobat Reader\ Adobe - Adobe Reader herunterladen.URL \Android\ AdobeReader.apk \Mac\ AdbeRdr1010_de_DE.dmg \Unix\ AdbeRdr9.4.2-1_i386linux_deu.deb AdbeRdr9.4.2-1_i486linux_deu.bin AdbeRdr9.4.2-1_i486linux_deu.rpm AdbeRdr9.4.2-1_i486linux_deu.tar.bz2 \Windows 7\ AdbeRdr1011_de_DE.exe install_reader11_de_gtbd_chrd_dn_aih.exe	\Grids\ 081_TB_DEM.map 081_TB_DEM.map.xml 081_TB_flightlines.map 081_TB_flightlines.map.xml 081_TB_HMG.map 081_TB_HMG.map.xml 081_TB_HRD.map 081_TB_rhoa_zst.map 081_TB_rhoa_zst.map.xml 081_TB_rhoatNN.map 081_TB_rhoatNN.map.xml DELTA_T_LEV_2013.grd DELTA_T_LEV_2013.grd.gi DELTA_T_LEV_2013.grd.xml DEM_TOPO_APP.grd.gi DEM_TOPO_APP.grd.xml EXPO_2013.grd EXPO_2013.grd.gi EXPO_2013.grd.xml EXPO_BIO_2013.grd EXPO_BIO_2013.grd.gi EXPO_BIO_2013.grd.xml POT_BIO_2013.grd POT_BIO_2013.grd.gi POT_BIO_2013.grd.xml RHOA1_TRANS.grd RHOA1_TRANS.grd.gi RHOA1_TRANS.grd.xml RHOA2_TRANS.grd RHOA2_TRANS.grd.gi RHOA2_TRANS.grd.xml RHOA3_TRANS.grd RHOA3_TRANS.grd.gi RHOA3_TRANS.grd.xml RHOA4_TRANS.grd RHOA4_TRANS.grd.gi RHOA4_TRANS.grd.xml RHOA5_TRANS.grd RHOA5_TRANS.grd.gi RHOA5_TRANS.grd.xml RHOat-05mNN.grd RHOat-05mNN.grd.gi RHOat-05mNN.grd.xml RHOat-10mNN.grd RHOat-10mNN.grd.gi RHOat-10mNN.grd.xml RHOat-15mNN.grd RHOat-15mNN.grd.gi RHOat-15mNN.grd.xml RHOat-20mNN.grd RHOat-20mNN.grd.gi RHOat-20mNN.grd.xml RHOat-30mNN.grd RHOat-30mNN.grd.gi RHOat-30mNN.grd.xml RHOat-30mNN_grid.grd RHOat-30mNN_grid.grd.gi RHOat-30mNN_grid.grd.xml RHOat-40mNN.grd RHOat-40mNN.grd.gi RHOat-40mNN.grd.xml
\Bericht\ Technischer Bericht Cuxhaven 81 (Revision 2013).pdf	
\Daten\ \HEM\ HEM081_APP.XYZ HEM081_DAT.XYZ HEM081_INV.XYZ HEM081_RAW.XYZ \HMG\ HMG081.XYZ \HRD\ HRD081.XYZ	
\Karten\ liesmich.txt \ArcGis\ 81 Cuxhaven Digital Elevation Model.mxd 81 Cuxhaven Fluglinien.mxd 81 Cuxhaven Gesamtstrahlung.mxd 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa1.mxd 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa2.mxd 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa3.mxd 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa4.mxd 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa5.mxd 81 Cuxhaven Kalium.mxd 81 Cuxhaven Magnetik.mxd 81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst1.mxd 81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst2.mxd 81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst3.mxd 81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst4.mxd 81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst5.mxd 81 Cuxhaven Strahlungsrate.mxd 81 Cuxhaven Thorium.mxd 81 Cuxhaven Uran.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 05m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 10m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 15m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 20m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 30m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 40m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 50m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 60m unter NHN.mxd 81 Cuxhaven Widerstand 80m unter NHN.mxd \ArcGIS-Plugin\ Geosoft plug-in for ArcGIS 2.5.1 U4 2012.08.16.exe	

RHOat-40mNN_grid.grd	81 Cuxhaven Widerstand 10m unter NHN.pdf
RHOat-40mNN_grid.grd.gi	81 Cuxhaven Widerstand 15m unter NHN.pdf
RHOat-40mNN_grid.grd.xml	81 Cuxhaven Widerstand 20m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN.grd	81 Cuxhaven Widerstand 30m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN.grd.gi	81 Cuxhaven Widerstand 40m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN.grd.xml	81 Cuxhaven Widerstand 50m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN_grid.grd	81 Cuxhaven Widerstand 60m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN_grid.grd.gi	81 Cuxhaven Widerstand 80m unter NHN.pdf
RHOat-50mNN_grid.grd.xml	
RHOat-60mNN.grd	\HMG\ 81 Cuxhaven Magnetik.pdf
RHOat-60mNN.grd.gi	
RHOat-60mNN.grd.xml	\HRD\ 81 Cuxhaven Gesamtstrahlung.pdf
RHOat-60mNN_grid.grd	81 Cuxhaven Kalium.pdf
RHOat-60mNN_grid.grd.gi	81 Cuxhaven Strahlungsrate.pdf
RHOat-60mNN_grid.grd.xml	81 Cuxhaven Thorium.pdf
RHOat-80mNN.grd	81 Cuxhaven Uran.pdf
RHOat-80mNN.grd.gi	
RHOat-80mNN.grd.xml	
RHOat-80mNN_grid.grd	\Vertikalsektionen\ Vertisec 0810011.pdf
RHOat-80mNN_grid.grd.gi	Vertisec 0810015.pdf
RHOat-80mNN_grid.grd.xml	Vertisec 0810019.pdf
THO_BIO_2013.grd	Vertisec 0810021.pdf
THO_BIO_2013.grd.gi	Vertisec 0810025.pdf
THO_BIO_2013.grd.xml	Vertisec 0810029.pdf
TOT_BIO_2013.grd	Vertisec 0810031.pdf
TOT_BIO_2013.grd.gi	Vertisec 0810035.pdf
TOT_BIO_2013.grd.xml	Vertisec 0810039.pdf
URA_BIO_2013.grd	Vertisec 0810041.pdf
URA_BIO_2013.grd.gi	Vertisec 0810045.pdf
URA_BIO_2013.grd.xml	Vertisec 0810049.pdf
ZST1_TRANS.grd	Vertisec 0810051.pdf
ZST1_TRANS.grd.gi	Vertisec 0810055.pdf
ZST1_TRANS.grd.xml	Vertisec 0810059.pdf
ZST2_TRANS.grd	Vertisec 0810061.pdf
ZST2_TRANS.grd.gi	Vertisec 0810065.pdf
ZST2_TRANS.grd.xml	Vertisec 0810069.pdf
ZST3_TRANS.grd	Vertisec 0810071.pdf
ZST3_TRANS.grd.gi	Vertisec 0810075.pdf
ZST3_TRANS.grd.xml	Vertisec 0810079.pdf
ZST4_TRANS.grd	Vertisec 0810081.pdf
ZST4_TRANS.grd.gi	Vertisec 0810085.pdf
ZST4_TRANS.grd.xml	Vertisec 0810089.pdf
ZST5_TRANS.grd	Vertisec 0810091.pdf
ZST5_TRANS.grd.gi	Vertisec 0810095.pdf
ZST5_TRANS.grd.xml	Vertisec 0810099.pdf
\Legenden\ Legenden.zip	Vertisec 0810101.pdf
\Topographie\ C 2314-18.tfwx C 2314-18.tif	Vertisec 0810105.pdf
\DEM\ 81 Cuxhaven Digital Elevation Model.pdf	Vertisec 0810109.pdf
\Flightlines\ 81 Cuxhaven Fluglinien.pdf	Vertisec 0810111.pdf
\HEM\ 81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa1.pdf	Vertisec 0810119.pdf
81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa2.pdf	Vertisec 0810129.pdf
81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa3.pdf	Vertisec 0810139.pdf
81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa4.pdf	Vertisec 0810149.pdf
81 Cuxhaven Halbraumwiderstand rhoa5.pdf	Vertisec 0810159.pdf
81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst1.pdf	Vertisec 0810169.pdf
81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst2.pdf	Vertisec 0810179.pdf
81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst3.pdf	Vertisec 0810189.pdf
81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst4.pdf	Vertisec 0810199.pdf
81 Cuxhaven Schwerpunktstiefe zst5.pdf	Vertisec 0810209.pdf
81 Cuxhaven Widerstand 05m unter NHN.pdf	Vertisec 0810219.pdf
	Vertisec 0810221.pdf
	Vertisec 0810229.pdf
	Vertisec 0810231.pdf
	Vertisec 0810239.pdf
	Vertisec 0810241.pdf
	Vertisec 0810249.pdf
	Vertisec 0810251.pdf
	Vertisec 0810259.pdf

Vertisec 0810261.pdf
Vertisec 0810269.pdf
Vertisec 0810271.pdf
Vertisec 0810279.pdf
Vertisec 0810281.pdf
Vertisec 0810289.pdf
Vertisec 0810291.pdf
Vertisec 0810299.pdf
Vertisec 0810301.pdf
Vertisec 0810309.pdf
Vertisec 0810311.pdf
Vertisec 0810319.pdf
Vertisec 0810321.pdf
Vertisec 0810329.pdf
Vertisec 0810331.pdf
Vertisec 0810341.pdf
Vertisec 0810351.pdf
Vertisec 0810361.pdf
Vertisec 0810371.pdf
Vertisec 0810381.pdf
Vertisec 0810391.pdf
Vertisec 0810401.pdf
Vertisec 0810411.pdf
Vertisec 0810421.pdf
Vertisec 0810431.pdf
Vertisec 0810441.pdf
Vertisec 0810451.pdf
Vertisec 0810461.pdf
Vertisec 0810471.pdf
Vertisec 0810481.pdf
Vertisec 0810491.pdf
Vertisec 0810501.pdf
Vertisec 0810511.pdf
Vertisec 0810521.pdf
Vertisec 0810531.pdf
Vertisec 0810541.pdf
Vertisec 0810551.pdf
Vertisec 0810561.pdf
Vertisec 0810571.pdf
Vertisec 0810581.pdf
Vertisec 0810591.pdf
Vertisec 0810601.pdf

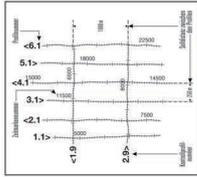
Vertisec 0810611.pdf
Vertisec 0810621.pdf
Vertisec 0810631.pdf
Vertisec 0810641.pdf
Vertisec 0810651.pdf
Vertisec 0810661.pdf
Vertisec 0810671.pdf
Vertisec 0810681.pdf
Vertisec 0810691.pdf
Vertisec 0810701.pdf
Vertisec 0810711.pdf
Vertisec 0810721.pdf
Vertisec 0810731.pdf
Vertisec 0810741.pdf
Vertisec 0810751.pdf
Vertisec 0810761.pdf
Vertisec 0810771.pdf
Vertisec 0810781.pdf
Vertisec 0810791.pdf
Vertisec 0810801.pdf
Vertisec 0810811.pdf
Vertisec 0810821.pdf
Vertisec 0810831.pdf
Vertisec 0810841.pdf
Vertisec 0810851.pdf
Vertisec 0810861.pdf
Vertisec 0810871.pdf
Vertisec 0810881.pdf
Vertisec 0810891.pdf
Vertisec 0810901.pdf
Vertisec 0810911.pdf
Vertisec 0812131.pdf
Vertisec 0812141.pdf
Vertisec 0812151.pdf
Vertisec 0812161.pdf
Vertisec 0812171.pdf
Vertisec 0812181.pdf
Vertisec 0812191.pdf
Vertisec 0812201.pdf
Vertisec 0812211.pdf
Vertisec 0812221.pdf

Anhang IV

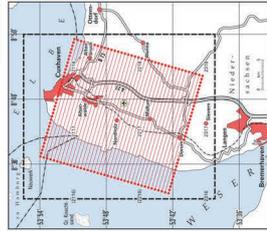
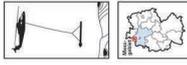
Karten

(Originalkarten verkleinert auf 1:200.000)

**AEROGEOPHYSIKALISCHE
MESSUNGEN IM GEBIET
CUXHAVEN**

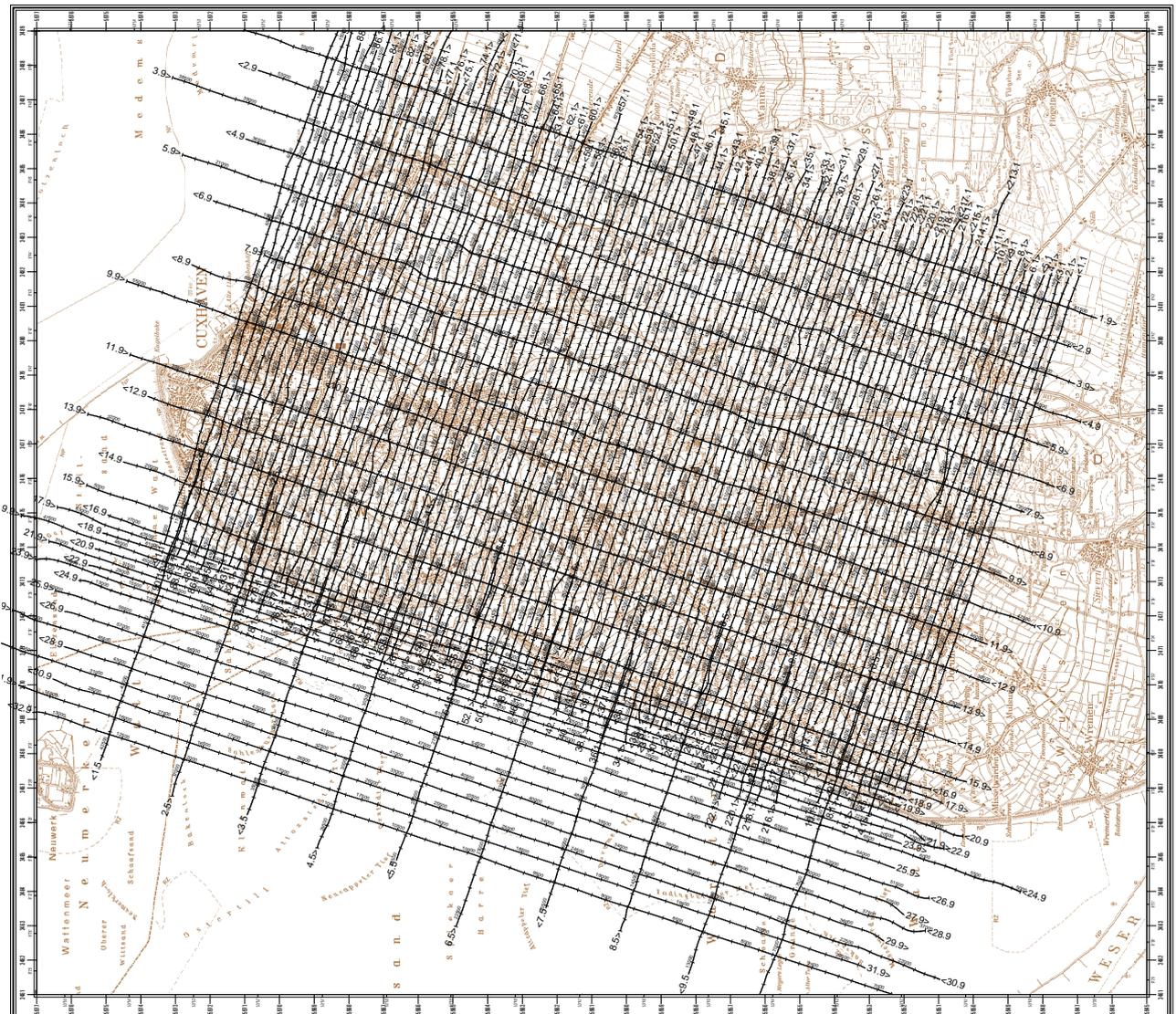


Die Daten wurden mit dem
Magnetometer des
Geophysikalischen
Dienstes der
Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe
gemessen.
© 2000 BGR
© 2013 BGR



Maßstab 1:50000 (2 cm = 1 km)

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Geophysikalischer Dienst Lichtstr. 64 30559 Hannover, Bundesrepublik Deutschland	AG Geophysikalischer Dienst
Gebiet: Cuxhaven Topographie und Fluglinien	
Bearbeitung: M. B. 2000 Verarbeitet: M. B. 2000 Geprüft: M. B. 2000 Freigegeben: M. B. 2000	
B. 2.1. Geophysikalische Erkundung Hannover 2013 www.bgr.bund.de	



Alle anderen Karten und Vertikal-
sektionen sind in dieser Web-Fassung
des Berichtes nicht enthalten.

All other maps and vertical
resistivity sections are not included
in this web edition of the report.