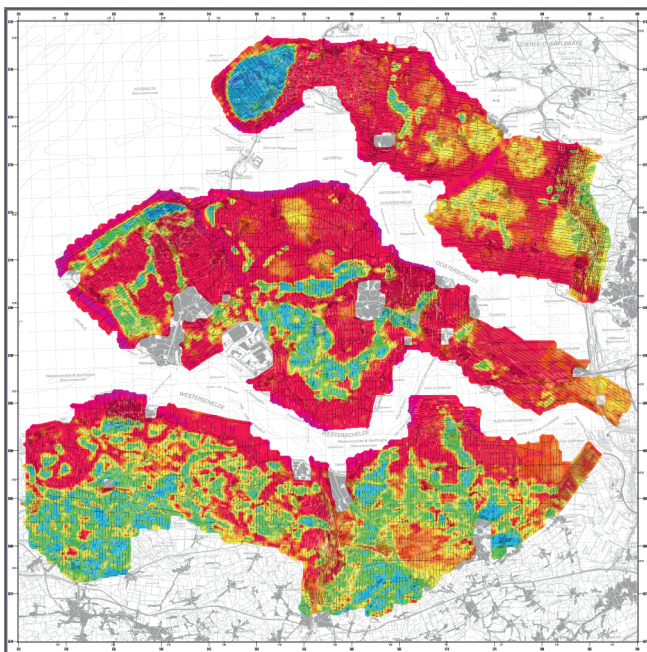


# Technischer Bericht Hubschrauber-geophysik Befliegung Zeeland, NL 2014/2015



## AEM-ZEELAND (FRESHM)







**Bundesanstalt für Geowissenschaften  
und Rohstoffe**

**Technischer Bericht  
Hubschrauber-geophysik  
Befliegung  
Zeeland, NL**

**2014 / 2015**



**AEM-ZEELAND  
(FRESHEM)**

Autoren: B. Siemon  
M. Ibs-von Seht  
J. Pielawa

Datum: 01.06.2017





## Inhaltsverzeichnis

<b>Personal</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Kartenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Das Messgebiet</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Das aerogeophysikalische Messsystem der BGR</b> .....	<b>10</b>
4.1. Messhubschrauber.....	11
4.2. Messausrüstung.....	11
4.3. Elektromagnetik.....	12
4.4. Magnetik.....	14
4.5. Radiometrie .....	14
4.6. Navigations- und Positionierungssystem .....	15
4.7. Datenerfassung.....	17
4.8. Videosystem .....	18
4.9. Sonstige Ausrüstung im Hubschrauber .....	18
<b>5. Verarbeitung und Darstellung der Messdaten</b> .....	<b>19</b>
5.1. Prozessabläufe .....	20
5.2. Positionsdaten.....	20
5.2.1. GPS-Koordinaten .....	20
5.2.2. Radarhöhen .....	21
5.2.3. Laserhöhen .....	21
5.2.4. Barometrische Höhen .....	23
5.2.5. Topografische Höhen .....	23
5.3. Datenverarbeitung in der Elektromagnetik.....	24
5.3.1. Kalibrierung des HEM-Systems .....	25
5.3.2. Verschiebungs- und Driftkorrektur .....	26
5.3.3. Datenauswahl und -korrektur.....	27
5.3.4. Transformation der Sekundärfeldwerte in Halbraumparameter.....	28
5.3.5. Auswirkung von anthropogenen Einflüssen auf die HEM-Daten .....	30
5.3.6. Statistische Niveaueinpassung.....	30
5.3.7. Dateninterpolation und -glättung .....	32
5.3.8. Datenfehler und Qualitätsparameter .....	32
5.3.9. 1D-Inversion der HEM-Daten.....	33
5.3.10. Präsentation der HEM-Ergebnisse .....	34

5.4. Datenverarbeitung in der Magnetik.....	35
5.4.1. Magnetisches Totalfeld.....	35
5.4.2. Berechnung des IGRF .....	35
5.4.3. Berücksichtigung der Tagesvariationen .....	35
5.4.4. Statistische Niveauanpassung.....	36
5.4.5. Präsentation der Magnetikerggebnisse.....	37
5.5. Datenverarbeitung in der Radiometrie .....	38
5.5.1. Energiekalibrierung .....	39
5.5.2. Verminderung des Rauschens .....	39
5.5.3. Effektive Höhe.....	39
5.5.4. Registrierzeitkorrektur.....	40
5.5.5. Hintergrundstrahlung.....	40
5.5.6. Radonkorrektur .....	41
5.5.7. Compton-Streuung.....	42
5.5.8. Zählraten in Standardflughöhe .....	43
5.5.9. Radioelementgehalte und Dosisleistung.....	44
5.5.10. Filterung und statistische Niveauanpassung.....	45
5.5.11. Präsentation der Ergebnisse.....	46
<b>6. Kartografische Arbeiten.....</b>	<b>47</b>
6.1. Topografische Karte 1:100.000 .....	47
6.2. Kartenherstellung mit Geosoft- und GIS-Software.....	47
6.3. Ergebniskarten.....	48
<b>7. Archivierung.....</b>	<b>49</b>
<b>8. Referenzen .....</b>	<b>50</b>
8.1. Literatur.....	50
8.2. Internetverknüpfungen.....	52
<b>Unterschriften.....</b>	<b>53</b>
<b>Anhang I:</b> Befliegungsdaten zu den Messgebieten in der Provinz Zeeland .....	<b>55</b>
<b>Anhang II:</b> Liste der Mess- und Kontrollprofile.....	<b>89</b>
<b>Anhang III:</b> Filterparameter für die HEM-Auswertung .....	<b>91</b>
<b>Anhang IV:</b> Beschreibung der Gebietsdateien.....	<b>93</b>
<b>Anhang V:</b> Beschreibung der Datenformate .....	<b>99</b>
<b>Anhang VI:</b> DVD-Inhalt .....	<b>121</b>
<b>Anhang VII:</b> Karten.....	<b>127</b>
<b>Anlage: DVD</b> (DVD+R DL)	

## **Personal:**

### **Projektleitung und Management**

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

Dr. Bernhard **Siemon**, Arbeitsbereichsleiter in B2.1, Projektleitung BGR

### **Auswertung und Interpretation**

Dr. Bernhard **Siemon**, Physiker, HEM-Datenauswertung, Berichterstatter, B2.1, BGR

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

Dr. Annika **Steuer**, Geophysikerin, HEM-Datenauswertung, B2.1, BGR

Miriam **Gröticke**, Vermessungsingenieurin, HEM-Datenauswertung, B2.1, BGR

Wolfgang **Voß**, Vermessungsingenieur, Positions- und HEM-Datenauswertung, B2.1, BGR

Jens **Pielawa**, Kartograf, Kartenproduktion, B2.1, BGR

### **Messgruppe**

Dr. Bernhard **Siemon**, Physiker, Einsatzleitung, B2.1, BGR

Hauke **Petersen**, Geophysiker, Navigator, B2.1, BGR

Wolfgang **Voß**, Vermessungsingenieur, Navigator, B2.1, BGR

Hans-Ulrich **Balzer**, Elektroingenieur, Systembetreuer, B2.1, BGR

Carsten **Plath**, Hubschrauberingenieur, B2.1, BGR

Martin **Klenke**, Pilot, HeliJet Charter 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. Lageskizze der Messgebiete in der Provinz Zeeland
2. Fluglinienkarte (Ist-Fluglinien) für die Messgebiete in der Provinz Zeeland
3. Prinzipskizze des Hubschraubermesssystems der BGR
4. Prinzip der HEM-Inversion basierend auf homogenen und geschichteten Halbräumen

### Tabellenverzeichnis:

1. Kenngrößen der Messgebiete in der Provinz Zeeland
2. Anpassung der Profilnummern in den Messgebieten der Provinz Zeeland
3. Technische Spezifikationen des BGR-Messhubschraubers mit der Kennung D-HBGR
4. Geophysikalische Messsysteme
5. HEM-Systemparameter für BKS60
6. Bodenstation
7. Energiebereiche und Kanalzuordnungen registrierter Strahlungsquellen
8. Navigations- und Positionierungssysteme
9. Höhenmesser
10. Datenerfassung und -aufzeichnung
11. Sonstige Ausrüstung
12. HEM-Auswertung (Übersicht)
13. Filterparameter für die Korrektur der Laserhöhe in Bereichen mit Vegetation
14. Kalibrier- und Korrekturwerte für das HEM-System (BKS60)
15. Filterparameter für die HEM-Datenverarbeitung
16. Niveauekorrektur für die  $\Delta T$ -Karten
17. Korrekturfaktoren der Hintergrundstrahlung
18. Konstanten für die Radonkorrektur
19. Koeffizienten der Einstreuratzen
20. Absorptionskoeffizienten für Standardbedingungen
21. Sensitivitäten
22. Korrekturfaktoren für die Gebiete 135 und 136
23. Eckpunktkoordinaten des Blattschnittes Zeeland
24. Gitterparameter
25. Inhalt der DVD

**A-1a-o:** Flugprotokolle

**A-2a-b:** Liste der Mess- und Kontrollprofile

**A-3:** Filterparameter für HEM-Auswertung

**A-4a-q:** Gebietsdateien

---

### **Kartenverzeichnis (1:100.000):**

1. Topografie und Fluglinien
2. Digitales Höhenmodell in m NAP
3. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 129.500 Hz ( $\rho_{oa6}$ ) in  $\Omega m$
4. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 41.000 Hz ( $\rho_{oa5}$ ) in  $\Omega m$
5. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 8.300 Hz ( $\rho_{oa4}$ ) in  $\Omega m$
6. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 5.410 Hz ( $\rho_{oa3}$ ) in  $\Omega m$
7. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 1.770 Hz ( $\rho_{oa2}$ ) in  $\Omega m$
8. Scheinbarer spezifischer Widerstand bei 380 Hz ( $\rho_{oa1}$ ) in  $\Omega m$
9. Schwerpunktstiefe bei 129.500 Hz (zst6) in m unter GOK
10. Schwerpunktstiefe bei 41.000 Hz (zst5) in m unter GOK
11. Schwerpunktstiefe bei 8.300 Hz (zst4) in m unter GOK
12. Schwerpunktstiefe bei 5.410 Hz (zst3) in m unter GOK
13. Schwerpunktstiefe bei 1.770 Hz (zst2) in m unter GOK
14. Schwerpunktstiefe bei 380 Hz (zst1) in m unter GOK
15. Spezifischer Widerstand bei 1 m unter NAP
16. Spezifischer Widerstand bei 2 m unter NAP
17. Spezifischer Widerstand bei 3 m unter NAP
18. Spezifischer Widerstand bei 4 m unter NAP
19. Spezifischer Widerstand bei 6 m unter NAP
20. Spezifischer Widerstand bei 10 m unter NAP
21. Spezifischer Widerstand bei 15 m unter NAP
22. Spezifischer Widerstand bei 20 m unter NAP
23. Spezifischer Widerstand bei 30 m unter NAP
24. Spezifischer Widerstand bei 40 m unter NAP
25. Qualitätskontrollparameter für HEM
26. Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes in nT
27. Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes in nT, bezüglich anthropogener Signale korrigiert
28. Gesamtstrahlung in cps
29. Gehalte von Kalium im Boden in %
30. Äquivalentgehalte von Thorium im Boden in ppm
31. Äquivalentgehalte von Uran im Boden in ppm
32. Dosisleistung am Boden in  $\mu R/h$
33. Ternärer Darstellung von K, eU und eTh

## Abkürzungen

°, ', "	Grad, Minute, Sekunde
°C	Grad Celsius
%, ‰	Prozent, Promille
∞	unendlich
1D, 2D, 3D	ein-, zwei-, dreidimensional
$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $a$	Einstreuratzen
$\alpha_e$ , $\beta_e$ , $\gamma_e$	höhenkorrigierte Einstreuratzen
$\alpha_n$	komplexe Wellenzahl ( $n=0$ : Luft)
$a$	Zählrate der Hintergrundstrahlung des Hubschraubers inkl. des Messsystems
$a_x$	Korrekturfaktoren für Radonstrahlung ( $x = 1, 2, U, Th, K, TC$ )
$A, A'$	Amplituden
Ah	Amperestunden
Am	Amperemeter
As	Amperesekunden
A/D	analog/digital
AEM	Aeroelektromagnetik
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
ALT	transformierte Sensorhöhe
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
b	kosmische Einstreuung
bft	Beaufort (Windstärke)
Bi	Bismut
$B_n$	Schichtadmittanz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (heute: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
$c_l$	effektive Kabellänge
cps	counts per second
C	Gehalt eines Radioelementes im Boden
$C_H$	Zählrate im Höhenstrahlungskanal
Cs	Cäsium
CF	Compact Flash
CGG	Compagnie Générale de Géophysique
CHECK	Marker für gelöschte Datenbereiche
CLIWAT	Climate & Water
$\delta$	Residual
$\delta_p$	inverse, normierte Skintiefe (= $h/p$ )
$\Delta$	Differenz

---

$\Delta h_l$	reduzierte Laserhöhe
$\Delta h_{l_{kor}}$	korrigierte reduzierte Laserhöhe
$\Delta h_{l_{max}}$	Maximalwerte der reduzierten Laserhöhe
$\Delta h_{l_{noise}}$	Standardabweichung der reduzierten Laserhöhe
$\Delta I$	Nullniveaufehler der In-phase-Komponente
$\Delta Q$	Nullniveaufehler der Quadrature-Komponente
$\Delta T$	Anomalien des erdmagnetischen Feldes
$\Delta V$	magnetische Tagesvariationen
$d_a$	scheinbare Tiefe
$d_n$	Schichtmächtigkeiten
$D_a$	scheinbarer Abstand
DC	Gleichstrom
Deltares	Delta Research
DEM	Digitales Höhenmodell
DGPS	Differential Global Positioning System
DH	Differenz zwischen topo und DEM
DHHN	Deutsches Haupthöhennetz
DVD	Digital Versatile Disc
$\varepsilon$	Komponentenverhältnis (= Q/I)
$\varepsilon, \varepsilon_n$	dielektrische Permittivität (n = 0: Luft, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ As/Vm)
e	Basis des natürlichen Logarithmus ( $1/e \approx 0.37$ )
eTh	Äquivalentgehalt von Thorium
eU	Äquivalentgehalt von Uran
E	Dosisleistung am Erdboden
EHMZ	ICAO-Flughafen-Code: Midden Zeeland
EM	Elektromagnetik
ETRS	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem
EU	Europäische Union
f	Frequenz
flt	ArcGIS GRIDFLOAT-Format
F	IGRF
FAS	Fugro Airborne Surveys (heute: CGG)
FRESHM	FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland
FLT	flight
ft	feet (Fuss)
GIS	Geoinformationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GOK	Geländeoberkante
GPS	Global Positioning System

---

h	Höhe des EM-Systems in Meter über der Erdoberfläche (Birdhöhe)
h <sub>0</sub>	Normhöhe des Spektrometers (h <sub>0</sub> = 80 m)
h <sub>e</sub>	effektive Höhe
h <sub>r</sub>	Höhe des Hubschraubers
h_GPS	GPS-Höhe der Flugsonde
h_GPS_kor	korrigierte GPS-Höhe der Flugsonde
h_kpa	barometrischer Höhenkanal
h_l	Laserhöhe der Flugsonde
h_l_kor	korrigierte Laserhöhe der Flugsonde
h_lDEM_kor	bezüglich eines DEM korrigierte Laserhöhe der Flugsonde
h_r	Radarhöhe der Flugsonde
hPa	Hektopascal
H_GPS	GPS-Höhe des Hubschraubers
Hz	Hertz
HCP	horizontal-koplanar
HEM	Hubschrauberelektromagnetik
HMG	Hubschraubermagnetik
HRD	Hubschrauberradiometrie
i	Laufparameter (Daten)
i	imaginäre Einheit
I	In-phase-Komponente (Realteil) der HEM-Daten
I <sub>c</sub>	berechnete In-phase-Komponente
I <sub>lev</sub>	niveauekorrigierte In-phase-Komponente
I <sub>noise</sub>	Fehler der In-phase-Komponente
IAEA	International Atomic Energy Association
IAGA	International Association of Geomagnetism and Aeronomy
IBS	Interaktive Bereichsselektion
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation
IGRF	International Geomagnetic Reference Field
J <sub>0</sub>	Bessel-Funktion (1. Art, 0. Ordnung)
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
kpa	barometrischer Druck
kPa	Kilopascal
K	Grad Kelvin
K	Kalium
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut



---

$\lambda$	Wellenzahl
l	Liter
log	Logarithmus
L	Messprofilkennung (line)
$\mu$	Absorptionskoeffizient
$\mu, \mu_n$	magnetische Permeabilität ( $n = 0$ : Luft, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am)
$\mu\text{R/h}$	Mikroröntgen pro Stunde
m	Meter
m NAP	Meter über Normalhöhennull
MeV	Megaelektronenvolt
MHz	Megahertz
MI	Modelling and Inversion
ms	Millisekunde
n	Laufparameter (Modellparameter)
N	Anzahl Frequenzen
N	Norden
$N_c$	Zählrate der Hintergrundstrahlung
$N_L$	Anzahl Schichten
$N_m$	Zählraten $N_{\text{Th}(\text{corr})}$ , $N_{\text{U}(\text{corr})}$ , $N_{\text{K}(\text{corr})}$ und $N_{c,\text{TC}}$ bei effektiver Höhe $h_e$
$N_R$	registrierzeitkorrigierte Rohzählrate
$n_R$	Rohzählrate
nT	Nanotesla
$N_s$	Zählraten $N_m$ , bezogen auf die Standardhöhe $h_0$
$N_x$	bzgl. Hintergrundstrahlung und STP-Bedingungen korrigierte Zählraten ( $x = \text{K}, \text{U}, \text{Th}$ )
$N_{x(\text{corr})}$	bzgl. der Einstreuraten korrigierte Zählraten ( $x = \text{K}, \text{U}, \text{Th}$ )
NaI	Natriumiodid
Nr.	Nummer
NASVD	noise adjusted singular value decomposition
NAP	Amsterdamer Pegel ( <i>Normaal Amsterdams Peil</i> )
NHN	Normalhöhennull (Höhe nach DHHN92)
NL	nicht-linear
NO, NW	Nordosten, Nordwesten
$\Omega\text{m}$	Ohmmeter ( $\text{Ohm} \cdot \text{m}$ )
$\omega$	Kreisfrequenz
O	Osten
$\pi$	Kreiszahl (= 3,14159265...)
p	Skintiefe
ppm	parts per million
P	im Hubschrauber gemessener Luftdruck

---

$P_0$	mittlerer Luftdruck auf Meereshöhe ( $P_0 = 101,325$ kPa)
PC	Personalcomputer
PDF	Portable Document Format
Q	Quadrature oder Out-of-phase-Komponente (Imaginärteil) der HEM-Daten
$Q_c$	berechnete Quadrature-Komponente
$Q_{lev}$	niveauekorrigierte Quadrature -Komponente
$Q_{noise}$	Fehler der Quadrature-Komponente
QCP, QCPM	Datenqualitätsparameter und -marker für HEM-Daten
$\rho, \rho_n$	spezifischer (Schicht-)Widerstand ( $n = 0$ : Luft, $\rho_0 > 10^8 \Omega m$ )
$\rho_a$	scheinbarer spezifischer Widerstand (rhoa)
r	Abstands- oder Ortsparameter
$R_1$	komplexer Reflexionsfaktor
Rn	Radon
RD	Rijksdriehoeksgrid (nationale Koordinatensystem der Niederlande)
s	Sekunde
std	Standardabweichung
S	Sensitivität
SF	Survey Flights
SHP	Shaft Horse Power
SO, SW	Südosten, Südwesten
STD	Gesamtrauschen (Summe aller rel. STF)
STF	Standardfehler
STP	Standardbedingungen (Standardtemperatur und -druck)
t	Zeit
$t_L$	aktive Registrierzeit des Spektrometers
tanh	Tangens Hyperbolicus
topo	topografische Höhe
T	Kontrollprofilkennung (tieline)
T	Totalintensität des erdmagnetischen Feldes
T	Temperatur
$T_0$	Gefrierpunkt des Wassers auf Kelvin-Skala (273,15 K)
Th	Thorium
Tl	Thallium
TC	Gesamtstrahlung
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TP	Tiefpass
U	Uran
U_UP	Urankanal (noch oben schauend)
$U_R$	Anteil Radon im Urankanal
USB	Universal Serial Bus

---

UTC	Universal Time Coordinated (Weltzeit)
V	Volt
Vm	Voltmeter
Vs	Voltsekunde
VCX	vertikal-koaxial
VRS	Vertikalschnitt des spezifischen Widerstandes
WGS	World Geodetic System
xyz	Geosoft-Format (ASCII-Daten)
X, Y, Z	kartesische Koordinaten, X = N, Y = O, Z = Tiefenachse
z	Tiefe
z*	Schwerpunktstiefe (zst)
Z	relatives magnetisches Sekundärfeld



## 1. Zusammenfassung

Die Kenntnis des nahen Untergrundes ist eine wesentliche Voraussetzung zur Planung und Arbeit in vielfältigen ökonomischen, ökologischen und geowissenschaftlichen Bereichen. In den Niederlanden hat die Problematik der Grundwasserversalzung in der Praxis der Grundwasserförderung und -aufbereitung eine hohe an Bedeutung und ist eine latente Gefahr für die nachhaltige Nutzung der Grundwasservorkommen. Die natürlichen Ursachen wie Meerwasserintrusionen werden durch hydraulische Eingriffe bei Grundwasserentnahme sowie bei künstlicher Entwässerung verstärkt. Auch wenn diese Gefahren kaum abgewendet werden können, sind ihre Auswirkungen zum Beispiel auf Süßwasservorkommen besser einschätzbar, wenn eine umfassende Datengrundlage zur Verfügung steht. Flächenhafte aerogeophysikalische Messungen können hier insbesondere Hydrogeologen und Wasserversorgern zu einem besseren Verständnis der Verhältnisse im Untergrund verhelfen.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) führt ein Forschungsprojekt zur Erkundung des Salzgehaltes im Grundwasser der Provinz Zeeland im Südwesten der Niederlanden gemeinsam mit den niederländischen Partnern Stichting Deltares und TNO (Geologischer Dienst der Niederlande) durch. Das Projekt FRESHM Zeeland (FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Provincie of Zeeland) hat BGR-intern die Bezeichnung AEM-Zeeland und gliedert sich in zwei Projektteile. Im ersten Teil, AEM-SF-Zeeland (SF = Survey Flights), ist die wissenschaftliche Auftragsbefliegung enthalten. Diese Befliegung liefert die Datengrundlage für das weitere wissenschaftliche Auswerte-, Modellierungs- und Interpretationsprojekt AEM-MI-Zeeland (MI = Modelling and Interpretation). Die Finanzierung erfolgt durch die Projektpartner, die Provinz Zeeland sowie mehrere Endnutzer.

Für die Erfassung der gesamte Provinz Zeeland mit dem Hubschraubermesssystem der BGR waren drei Befliegungskampagnen von jeweils zwei Wochen notwendig. Die erste Kampagne fand im Oktober 2014 im Süden der Provinz (Halbinsel Zeeuws-Vlaanderen) statt. Die zweite Kampagne wurde im März 2015 im Südosten der Provinz (Halbinsel Zeeuws-Vlaanderen) sowie im Norden der Provinz (Insel Schouwen-Duiveland und Halbinsel Tholen) durchgeführt. Die abschließende Kampagne im August/September 2015 umfasste die Mitte der Provinz sowie einige Ergänzungslinien. Ergänzend dazu fanden bereits im Sommer 2009 zwei kleinere Befliegungen im Rahmen des EU-Interreg-IV-Projektes CLIWAT statt.

Alle Messflüge starteten vom Flughafen Midden-Zeeland. Insgesamt waren 46 Messflüge notwendig, die an 25 Flugtagen erfolgten. Dabei wurde eine Gesamtstrecke von 15.295 km zurückgelegt und 3.844.900 Messpunkte erfasst, was einer Gesamtregistrierzeit von 106,8 Stunden entspricht. Für die finale Auswertung wurden Daten von 9105 Profil-km verwendet. Aus dem CLIWAT-Projekt stammen Daten von weiteren 535 Profil-km, sodass rund 2,5 Millionen Messpunkte ausgewertet werden konnten.

Das für die Befliegung der Provinz Zeeland eingesetzte Hubschraubermesssystem der BGR umfasst die Methoden Elektromagnetik (HEM), Magnetik (HMG) und Radiometrie (HRD). Das Messsystem besteht aus einem Hubschrauber als Systemträger, den simultan registrierenden geophysikalischen Messinstrumenten, die sich in einer geschleppten Flugsonde (HEM und HMG) bzw. im Hubschrauber

(HRD) befinden, den Navigations- und Positionierungsinstrumenten und einer Bodenstation zur Erfassung der zeitlich variablen Messgrößen (Variation des Magnetfeldes), die zur Korrektur der im Flug gemessenen Daten benötigt werden.

Während des Fluges wurden die HEM- und HMG-Daten zehnmal und die HRD-Daten einmal pro Sekunde aufgezeichnet, was auf einen Messpunktabstand von etwa 4 m bzw. 40 m führte. Die mittlere Höhe der Flugsonde lag bei etwa 50 m über Gelände. Die Flugsonde befand sich während der Messung im Mittel etwa 40 m unter dem Hubschrauber.

Die Messdaten und die dazugehörigen Positionsdaten wurden im Flug auf einer CF-Karte gespeichert und unmittelbar nach der Befliegung einer ersten Qualitätskontrolle unterzogen. Die vorläufige Datenverarbeitung im Gelände beschränkte sich auf die flugweise Darstellung der Rohdaten der Magnetik (Totalfeld in nT), der Radiometrie (Gesamtstrahlung in cps) und Elektromagnetik (Sekundärfelder in ppm) sowie die Transformation der HEM-Daten in Halbraumparameter (scheinbarer spezifischer Widerstand und Schwerpunkttiefe) für jede der sechs Messfrequenzen. Die Verarbeitung der Daten, die Berechnung von HEM-Mehrschichtmodellen und die Darstellung der Ergebnisse erfolgte in der BGR in Hannover.

Der vorliegende „Technische Bericht“ protokolliert die Durchführung der aerogeophysikalischen Vermessung und beschreibt die verwendete Messausrüstung sowie die Bearbeitung der Daten und die Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten und Schnitten. Die prozessierten Daten, die thematischen Karten und die Vertikalsektionen sind auf DVD abgelegt, die als Anlage diesem Bericht beigefügt ist.

Folgende Karten, die in Form von farbigen Isolinienplänen mit unterlegter Topografie vorliegen, sind im Maßstab 1:100.000 erstellt worden:

- Fluglinienkarte der vermessenen Profile (Ist-Flugwege);
- Digitales Geländemodell;
- Scheinbare spezifische Widerstände (Halbraumwiderstände) und Schwerpunkttiefen für sechs Messfrequenzen 380, 1.770, 5.410, 8.300, 41.000 und 129.500 Hz;
- Spezifische Widerstände in den Tiefen 1, 2, 3, 4, 6, 10, 15, 20, 30 und 40 m unter NAP, abgeleitet aus den 1D-Inversionsmodellen mit 20 Schichten;
- Qualitätskontrollparameter für HEM-Daten;
- Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes;
- Gesamtstrahlung, Gehalte von Kalium im Boden, Äquivalenzgehalte von Thorium und Uran im Boden und die Dosisleistung am Boden.

Ferner sind für alle Fluglinien Vertikalsektionen des spezifischen Widerstandes im horizontalen Maßstab 1:25.000 mit 25-facher Überhöhung erstellt worden.

Die finalen Ergebnisse dieser Befliegungen in Zeeland sind durch die Provinz Zeeland sowie Waterboard Scheldestromen veröffentlicht worden.

## 2. Einleitung

Die Kenntnis des nahen Untergrundes zwischen der Oberfläche und den ersten hundert Metern Tiefe ist eine wesentliche Voraussetzung zur Planung und Arbeit in vielfältigen ökonomischen, ökologischen und geowissenschaftlichen Bereichen. Die Nordseeküste ist unter Aspekten wie Klimawandel, Küstenschutz und Wirtschaftsraum von besonderem Interesse.

In den Niederlanden hat die Problematik der Grundwasserversalzung eine besondere Bedeutung, da dort, wie bei allen an der Nordseeküste gelegenen Tiefebenen, die nutzbaren Süßwasserressourcen durch Meerwasserintrusion, Sturmfluten und langfristigen Meeresspiegelanstieg besonders gefährdet sind. Dies ist in den flachen Gebieten wie der Provinz Zeeland im Südwesten der Niederlande besonders akut (de Louw et al., 2011). Dort stellt die Grundwasserförderung und -aufbereitung eine latente Gefahr für die langfristige Nutzung der Grundwasservorkommen dar, da die natürliche Meerwasserintrusion durch hydraulische Eingriffe bei Grundwasserentnahme sowie bei künstlicher Entwässerung verstärkt wird. Die Auswirkungen auf die knappen Süßwasservorkommen, die fast ausschließlich durch Regenwasser gespeist werden, sind besser einschätzbar, wenn eine umfassende Datengrundlage zur Verfügung steht.

Flächendeckende Kartierungen der Bodenschichten sind durch Befliegungen, in denen Methoden der Aerogeophysik zum Einsatz kommen, möglich. Die Daten können für ein Geoinformationssystem für die Oberfläche und den nahen Untergrund wertvolle dreidimensionale Informationen liefern. Insbesondere können aerelektromagnetische Messungen Hydrogeologen und Wasserversorgern zu einem besseren Verständnis der Grundwasservorkommen im Untergrund verhelfen (Siemon et al., 2009). Diese Messungen liefern auch Informationen über Lage und Mächtigkeit von oberflächennahen Ton- und Kleivorkommen, die zum Grundwasserschutz beitragen können (Siemon et al., 2015).

Zur Erkundung des Salzgehaltes im Grundwasser der Provinz Zeeland führt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein Forschungsprojekt gemeinsam mit den niederländischen Partnern Stichting Deltares und TNO, dem Geologischer Dienst der Niederlande, durch. Das Projekt FRESHM Zeeland (**F**REsh **S**alt groundwater distribution by **H**elicopter **E**lectro**M**agnetic survey in the Provincie of Zeeland) hat BGR-intern die Bezeichnung AEM-Zeeland und gliedert sich in zwei Projektteile: AEM-SF-Zeeland und AEM-MI-Zeeland. Im ersten Teil, AEM-SF-Zeeland (SF = Survey Flights), ist die Befliegung enthalten, die seitens der BGR im Auftrag von Deltares durchgeführt wurde. Diese Befliegung liefert die Datengrundlage für das weitere wissenschaftliche Auswerte-, Modellierungs- und Interpretationsprojekt AEM-MI-Zeeland (MI = Modelling and Interpretation), das mit Eigenmitteln der BGR finanziert wird. Das Projekt wird finanziell unterstützt durch die Provinz Zeeland und die Kommunen sowie durch Deltafonds, Evides, Rijkswaterstaat, VNSC, Waterboard Scheldestromen und ZLTO (van Baaren et al., 2015).

Die Hauptziele des Projektes sind:

- Kartierung von kleinräumigen Süßwasserlinsen und Übergangszonen von Süß- und Salzwasser sowie tonhaltigen Sedimenten mittels der Hubschrauberelektromagnetik (HEM);
- Entwicklung von Datenverarbeitungsverfahren für die Transformation der HEM-Ergebnisse hinsichtlich weiterer Analyse des Erduntergrundes (Chloridgehalt des Grundwassers);
- Entwicklung von Techniken zur Kopplung von Daten und Modellen für einen schnellen Überblick über die Existenz von Süßwasserreserven und Tonverteilungen im Erduntergrund;
- Entwicklung von Methoden zur Validierung der Kopplung von Daten und Modellen;
- Erstellung wissenschaftlicher Veröffentlichung in begutachteten Zeitschriften.

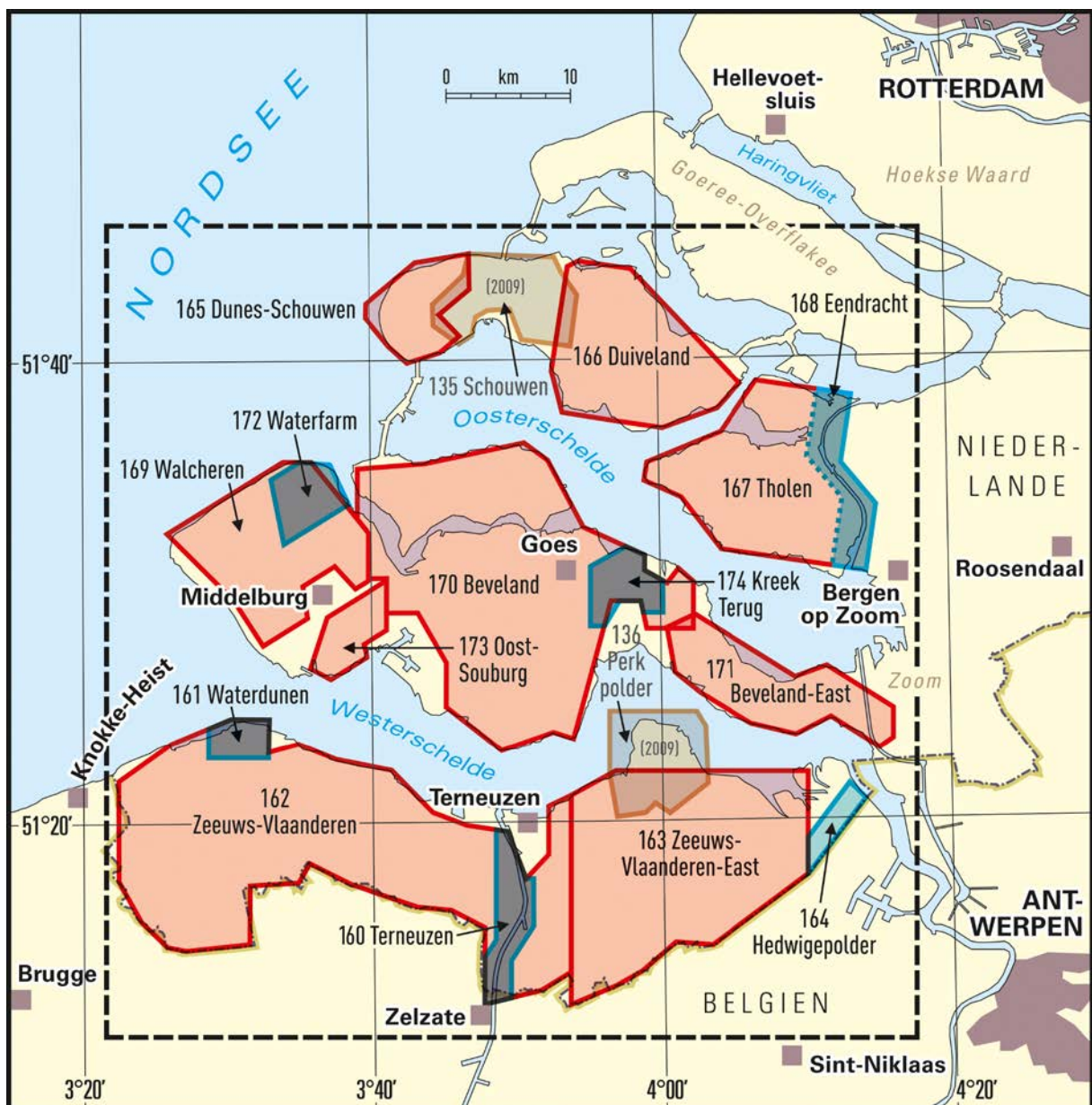
Es sollte die gesamte Provinz Zeeland mit etwa 10.000 Profillinienkilometern mit dem Hubschraubermesssystem der BGR befliegen werden, wobei insbesondere die Frequenzelektromagnetik nachgefragt war. Hierfür wurden zunächst vier Befliegungskampagnen von jeweils zwei Wochen angesetzt, die die beiden im Rahmen des EU-Interreg-IV-Projektes CLIWAT bereits im Sommer 2009 erfolgten Befliegungen (Siemon et al., 2011b,c) ergänzen sollten. Die erste Kampagne fand im Oktober 2014 im Süden der Provinz (Halbinsel Zeeuws-Vlaanderen) statt (Siemon et al., 2014). Die zweite Kampagne erfolgte im März 2015 im Süden der Provinz und überdeckte auch den Norden Zeelands mit der Insel Schouwen-Duiveland und der Halbinsel Tholen (Siemon et al., 2015a). Die dritte Kampagne umfasste die Mitte der Provinz sowie einige Ergänzungslinien im Süden und Norden der Provinz (Siemon et al., 2015b). Aufgrund des hohen Messfortschrittes konnte auf die vierte Messkampagne verzichtet werden.

Der vorliegende „Technische Bericht“ protokolliert die Durchführung der aerogeophysikalischen Vermessung und beschreibt die verwendete Messausrüstung sowie die Bearbeitung der Daten und die Darstellung der Ergebnisse in Form von Karten und Schnitten. Im Rahmen einer Pilotstudie in der Kanalzone Gent-Terneuzen sind die weiterführenden Auswertetechniken entwickelt worden (van Baaren et al., 2015). Die finale Auswertung, insbesondere die Ableitung von Chloridgehalten im Grundwasser, wird in einem gemeinsamen Abschlussbericht der Projektpartner dargestellt. Vorläufige Ergebnisse sind bereits auf diversen Tagungen vorgestellt worden (van Baaren et al., 2016, Dabekaussen et al., 2016, Gunnink et al., 2016, Siemon et al., 2016, Siemon et al., 2017). Die finalen [Chloridgehalte](#) sind seitens der Provinz Zeeland und Waterboard Scheldestromen öffentlich zur Verfügung gestellt worden.



### 3. Das Messgebiet

Die Messgebiete in der Provinz Zeeland liegen im Südwesten der Niederlande. Das Gesamtgebiet, das sich von etwa 3°22' bis 4°16' östlicher Länge und 51°13' bis 51°44' nördlicher Breite erstreckt, überdeckt nahezu die gesamte Landfläche der Provinz von knapp 2000 km<sup>2</sup> mit Ausnahme der Stadt- und Industriegebiete (**Abbildung 1**). Die Aufteilung des Gesamtgebietes in 15 Teilgebiete erfolgte in Absprache mit den Projektpartnern. In Ergänzung zu den beiden bereits vorhandenen Gebieten (ocker in **Abbildung 1**), die zuvor im Rahmen des EU-Interreg-IV-Projektes CLIWAT im August 2009 mit einem mittleren Linienabstand von 200 m vermessen worden waren, wurden 9 Übersichtsgebiete (rot in **Abbildung 1**) festgelegt, die mit einem planmäßigem Linienabstand von 300 m beflogen wurden. Ferner erfolgten Detailmessungen mit geringerem Linienabstand (100 m) in 6 ausgewählten Gebieten (blau in **Abbildung 1**).



**Abbildung 1:** Lageskizze der Messgebiete in der Provinz Zeeland, die mit 100 m (blau), 200 m (ocker) bzw. 300 m (rot) Linienabstand beflogen worden sind.

Die erste Kampagne fand im Oktober 2014 im Süden der Provinz (Halbinsel Zeeuws-Vlaanderen) mit den Gebieten 160 Terneuzen, 161 Waterdunen, 162 Zeeuws-Vlaanderen und dem westlichen Teil von 163 Zeeuws-Vlaanderen-East statt (Siemon et al., 2014). Die zweite Kampagne wurde im März 2015 im Südosten der Provinz (Halbinsel Zeeuws-Vlaanderen) im Gebiet 164 Hedwigepolder und dem östlichen Teil von 163 Zeeuws-Vlaanderen-East sowie im Norden der Provinz (Insel Schouwen-Duiveland und Halbinsel Tholen) mit den Gebieten 165 Dunes-Schouwen, 166 Duiveland, 167 Tholen und 168 Eendracht durchgeführt (Siemon et al., 2015a). Die abschließende Kampagne im August/September 2015 umfasste die Mitte der Provinz mit den Gebieten 169 Walcheren, 170 Beveland, 171 Beveland-East, 172 Waterfarm, 173 Oost-Souburg und 174 Kreek-Terug sowie einige Ergänzungslinien in den Gebieten 163 Zeeuws-Vlaanderen-East und 165 Dunes-Schouwen (Siemon et al., 2015b). Die Messgebiete 135 Schouwen und 136 Perkpolder entstammen dem CLIWAT-Projekt (Siemon et al., 2011b,c). Die für die Auswertung verwendeten Fluglinien sind in **Abbildung 2** dargestellt und die Kenngrößen aller Messgebiete sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Kenngrößen der Messgebiete in der Provinz Zeeland

Nr.	Messgebiet	Gebietsgröße [km <sup>2</sup> ]	Profil-länge [km]	Linien-abstand [m]	Linien-richtung [°]	Linien #	Quer-linien #
135	Schouwen	58	313	200	98	42	16
136	Perkpolder	50	222	200	90	22	13
160	Terneuzen	31	357	100	0	36	22
161	Waterdunen	14	122	100	0	38	3
162	Zeeuws-Vlaanderen	516	1774	300	0	122	15
163	Zeeuws-Vlaanderen-East	278	965	300	0	67	10
164	Hedwigepolder	16	127	100	37	18	-
165	Dunes-Schouwen	76	460	300	50	38	24
166	Duiveland	163	609	300	98	46	17
167	Tholen	214	748	300	98	48	8
168	Eendracht	53	605	100	8	70	46
169	Walcheren	183	689	300	58	40	13
170	Beveland	453	1554	300	0	114	17
171	Beveland-East	108	342	300	122	36	5
172	Waterfarm	72	354	100	58	54	6
173	Oost-Souburg	27	75	300	57	14	-
174	Kreek-Terug	34	324	100	0	60	4
Summe	17 Messgebiete	2346	9640			865	219





**Abbildung 2:** Fluglinienkarte (Ist-Fluglinien) für die Messgebiete in der Provinz Zeeland; Hintergrund: Georeferenzierte Rasterdaten der topografischen Karte 1:100.000 (Kadaster, 2016).

Die Befliegungen der Messgebiete in der Provinz Zeeland mit drei geophysikalischen Verfahren (Elektromagnetik, Magnetik, Radiometrie) wurden von dem Hubschrauberteam der BGR vom Flughafen Midden-Zeeland (EHMZ) aus durchgeführt. Insgesamt waren 46 Messflüge notwendig, die an 25 Flugtagen erfolgten, um die Gesamtfläche von gut 2200 km<sup>2</sup> abzudecken. Dabei wurde eine Gesamtstrecke von 15.295 km zurückgelegt und 3.844.900 Messpunkte erfasst, was einer Gesamtregistrierzeit von 106,8 Stunden entspricht. Hiervon wurden Daten von 9105 Profil-km für die finale Auswertung verwendet. Aus dem CLIWAT-Projekt wurden Daten von weiteren 535 Profil-km genutzt, sodass rund 2,5 Millionen Messpunkte ausgewertet werden konnten.

Die Bodenstation zur Aufzeichnung der magnetischen Tagesvariationen wurde auf dem Flughafengelände bei 3,7232° östlicher Länge und 51,5126° nördlicher Breite aufgestellt. Die magnetischen Aufzeichnungen waren aber erheblich gestört.

Aus fliegerischer Sicht stellte die aerogeophysikalische Vermessung der Provinz Zeeland keine besonderen Ansprüche – abgesehen von den oft heftigen Windböen – an den eingesetzten Piloten (M. Klenke, HeliJet Charter GmbH). In dem Messgebiet gab es aber einige Hindernisse, wie z. B. Windparks, Hochspannungsleitungen, Antennen, Radaranlagen, Industrieanlagen und Ortschaften, denen ausgewichen werden musste. Die zum Teil starken Störungen der Messungen, z. B. durch Stromleitungen, Straßen oder über Ortschaften, beeinträchtigten die Qualität der Messdaten, sodass diese Bereiche für die Interpretation nicht herangezogen bzw. zumindest markiert wurden. Generell war die Datenqualität aber sehr gut.

Die Sollflughöhe des Hubschraubers beträgt entlang der Messprofile normalerweise etwa 70 m über der Erdoberfläche. Über Wald, bebauten Gebieten und Hochspannungsleitungen kann die niedrige Flughöhe aus Sicherheitsgründen nicht immer eingehalten werden. Daher liegt die mittlere Flughöhe der Flugsonde meist oberhalb von 30 m. Bei den Befliegungen in Zeeland wurde zusätzlich eine größere Flughöhe gewählt, um die störenden Einflüsse auf das Vieh auf den Weiden und Bauernhöfen zu verringern. Somit lag die mittlere Flughöhe der Flugsonde bei etwa 50 m über der Erdoberfläche. Während eines Messfluges, speziell vor dem ersten und nach dem letzten Profil, aber auch zwischen den Profilen, steigt der Hubschrauber mit dem Messsystem auf eine deutlich größere Höhe (>400 m), um fern von störenden Einflüssen die notwendigen Kalibrierungen des HEM-Systems durchführen zu können.

Bei An- und Abflug zu den Messgebieten und – wenn möglich – auch zwischendurch wurden in Messflughöhe die Salzwasserbereiche der Wester- und Oosterschelde oder der Nordsee sowie ein etwa 2 km langer Abschnitt auf dem Flughafen parallel zur Landebahn als Referenzstrecken für Kalibrierzwecke überflogen. Einzelheiten zum Messgebiet und den Messflügen können der **Tabelle 1** und den **Tabellen A-1a-o im Anhang I** entnommen werden.

Die Befliegung der jeweiligen Teilgebiete wurde wenn möglich im 3er-Modus durchgeführt, d. h. es wurde zunächst jedes dritte Messprofil beflogen bis das Messgebiet einmal vollständig abgedeckt war. Danach wurde das Gebiet noch zweimal überflogen, jeweils um einen Linienabstand versetzt. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, flugspezifische Abweichungen leichter zu erkennen und somit auch besser korrigieren zu können.

Die Messprofile (Linien) sind generell durch L\*.1 und die Kontrollprofile (Querlinien) durch T\*.9 gekennzeichnet. Profile, die wiederholt, unterteilt oder zusätzlich geflogen wurden, sind durch L\*.2, L\*.3 bzw. T\*.6, T\*.7, T\*.8 gekennzeichnet. Die während der Messung verwendeten Profilnummern wurden im Zuge der Auswertung meist umbenannt, um Doppelungen – zumindest in den zusammengefassten Teilgebieten Süd, Mitte und Nord – zu vermeiden. Daher sind in den drei Teilgebieten die Profilnummern der einzelnen Messgebiete um 100, 200, 300,... erhöht worden (**Tabelle 2**).



**Tabelle 2:** Anpassung der Profilnummern in den Messgebieten der Provinz Zeeland

Nr.	Messgebiet	Teil- gebiet	Erhöhung	Erste Linie	Letzte Linie	Erste Querlinie	Letzte Querlinie
135	Schouwen	Nord	500	L501.1	L531.3	T510.9	T525.9
136	Perkpolder	Süd	600	L601.1	L622.1	T601.9	T613.9
160	Terneuzen	Süd	200	L211.1	L239.1	T6.9	T100.7
162	Terneuzen	Süd	0	L99.1	L112.1	T201.9	T230.9
161	Waterdunen	Süd	300	L312.1	L349.1	T301.9	T303.9
162	Zeeuws-Vlaanderen	Süd	0	L1.1	L121.1	T0.9	T100.7
163	Zeeuws-Vlaanderen-East	Süd	400	L401.1	L466.1	T401.9	T409.9
164	Hedwigepolder	Süd	500	L501.1	L518.1	–	–
165	Dunes-Schouwen	Nord	100	L101.1	L136.1	T101.6	T138.9
166	Duiveland	Nord	200	L201.1	L243.1	T201.8	T208.6
167	Tholen	Nord	300	L301.1	L348.1	T301.6	T208.6
168	Eendracht	Nord	400	L399.1	L461.1	T401.9	T448.9
169	Walcheren	Mitte	0	L0.1	L40.1	T0.9	T12.9
170	Beveland	Mitte	300	L301.1	L391.1	T301.9	T311.9
171	Beveland-East	Mitte	500	L501.1	L525.1	T501.9	T504.9
172	Waterfarm	Mitte	100	L100.1	L151.1	T107.9	T112.9
173	Oost-Souburg	Mitte	200	L201.1	L212.1	–	–
174	Kreek-Terug	Mitte	400	L401.1	L459.1	T404.9	T407.9

In den Messgebieten mit niedrigem Linienabstand wurden meist – außer bei 164 Hedwigepolder – auch die zuvor beflogenen Linien in 300 m Abstand verwendet. Daher mussten nur die beiden jeweils dazwischenliegenden Linien in 100 m Abstand ergänzt werden. Die Profilnummern der zuvor mit dreifachem Abstand beflogenen Linien wurden an die Profilnummern der verdichteten Linien angepasst – außer bei 160 Terneuzen. Hier behielten die Linien aus dem Gebiet 162 Zeeuws-Vlaanderen ihre ursprünglichen Nummern, da diese Nummerierung bereits in einem Projektbericht verwendet wurden (van Baaren et al., 2015). Die vollständige Liste mit den Profilnummern enthalten die **Tabellen A-2a-b** im **Anhang II**. Dort ist anstatt der Kennung L\*. \* bzw. T\*. \* eine siebenstellige Profilnummer verwendet worden, die zusammengesetzt ist aus der Gebietsnummer (drei Ziffern) und der Profilnummer mal 10 (vier Ziffern).

#### 4. Das aerogeophysikalische Messsystem der BGR

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

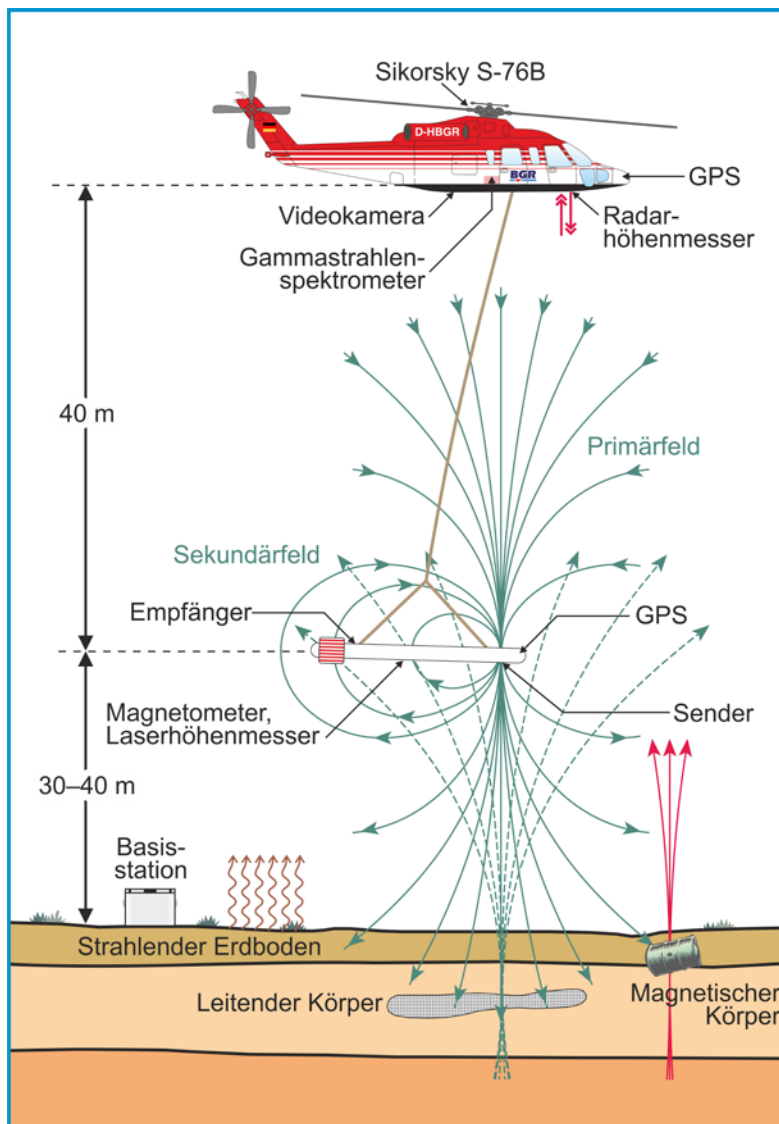


Abbildung 3: Prinzipskizze des Hubschraubermesssystems der BGR

#### 4.1. Messhubschrauber

Im Jahre 1986 wurde vom Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) der derzeit eingesetzte Hubschrauber vom Typ Sikorsky S-76B (siehe **Tabelle 3**) angeschafft und der BGR als Messhubschrauber zur Verfügung gestellt. Im November 2013 wurde der Hubschrauber an die BGR als nachgeordnete Behörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) übergeben.

**Tabelle 3:** Technische Spezifikationen des BGR-Messhubschraubers mit der Kennung D-HBGR

Hubschrauber	
Typ	Sikorsky S-76B (Hersteller: Sikorsky, USA)
Baujahr	1986
Antrieb	2 Turbinen Pratt & Whitney PT6B-36A mit je 1.033 SHP (shaft horse power)
Maximales Abfluggewicht	11.700 pounds (5.363 kg)
Maximales Gewicht der Außenlast	3.300 pounds (1.500 kg)
Maximale Messflugzeit	2:45 Stunden
Kerosinverbrauch pro Stunde	300–350 l

#### 4.2. Messausrüstung

Im Messhubschrauber befinden sich das Gammastrahlenspektrometer, die Navigationsgeräte, der barometrische und der Radarhöhenmesser, die Videokamera sowie die Steuer- und Registriereinheit. Das HEM-System, das Magnetometer, der Laserhöhenmesser sowie die Positionserfassung sind in einer Flugsonde eingebaut, die durch ein ca. 45 m langes Kabel mit dem Hubschrauber verbunden ist und in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit etwa 40 m unterhalb des Hubschraubers geschleppt wird (**Abbildung 3**). Die Länge des Kabels ist so bemessen, dass die Messungen der hochempfindlichen magnetischen und elektromagnetischen Sensoren (**Tabelle 4**) durch den Hubschrauber möglichst wenig gestört werden. Die äußere Hülle der etwa 10 m langen, zigarrenförmigen Flugsonde, die einen Durchmesser von 0,5 m hat, ist aus Kevlar gefertigt, um eine möglichst hohe Biegesteifigkeit zu erhalten. Dieses Material zeichnet sich durch eine extrem hohe mechanische Festigkeit bei gleichzeitig geringer elektrischer Leitfähigkeit aus.

Die geophysikalischen Messgeräte werden zentral durch das HeliDAS-System (**Kapitel 4.7**) gesteuert, das auch die Datenerfassung und -speicherung sowie die Navigation während des Messfluges unterstützt. Hierzu können sowohl der Operator als auch der Navigator auf den Displays ihrer Tablet-Computer diverse Informationen, wie z. B. den Flugweg oder die jeweiligen Messkanäle, grafisch darstellen lassen.

Bei der Befliegung in 2009 wurden z. T. andere Geräte verwendet (Flugsonde, Spektrometer). Darauf wird nur in **Tabelle 4** hingewiesen. Für weitere Details siehe Siemon et al. (2011b,c).

**Tabelle 4:** Geophysikalische Messsysteme

Geophysikalische Messsysteme		
Flugsonde	<b>I. Elektromagnetisches 6-Frequenz-Messsystem (HEM)</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes bis zu Tiefen von etwa 150 m
	<b>Hersteller</b>	Fugro Airborne Surveys (FAS), Kanada; in 2013 übernommen von CGG (Compagnie Générale de Géophysique)
	<b>Gerätebezeichnung</b>	Resolve BGR, 2009: BKS36a (intern: 61), 2014/15: BKS60 (intern: 60)
	<b>II. Cäsiummagnetometer</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Messung des erdmagnetischen Totalfeldes
	<b>Hersteller</b>	Geometrics, USA
<b>Gerätebezeichnung</b>	G-822A	
Hubschrauber	<b>III. Gammastrahlenspektrometer</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Messung der natürlichen und künstlichen Gammastrahlung im Energiebereich von 0 bis 3 MeV
	<b>Hersteller</b>	2009: Exploranium, Kanada 2014/15: Radiation Solutions Inc., Kanada
	<b>Gerätebezeichnung</b>	2009: GR-820 mit separaten Kristalldetektor: GPX-1024/256 2014/15: Spektrometer: RS-500 (inklusive Kristalldetektor: RSX-5)

### 4.3. Elektromagnetik

Bei dem elektromagnetischen (EM) Messverfahren werden von den Sendespulen zeitlich 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 (siehe **Abbildung 3**).

Bei dem hier verwendeten HEM-System wird für jede der sechs Messfrequenzen im Bereich von 380 Hz bis 130 kHz (BKS60, **Tabelle 5**) ein eigenes Spulensystem benutzt, das aus horizontal-koplanar bzw. vertikal-koaxial angeordneten Sende-, Empfangs-, Kompensations- und Kalibrierspulen besteht. Ein ähnliches System (BKS36a) wurde in 2009 bei den Befliegungen im CLIWAT-Projekt verwendet (Siemon et al., 2011b,c).



Die Kompensationsspulen sind so dimensioniert und platziert, dass die durch die Primärfelder in ihnen induzierten Spannungen denen in den Empfangsspulen entsprechen. Durch die gekreuzte Hintereinanderschaltung der Spulen wird die durch das Primärfeld in der Empfangsspule induzierte Spannung nahezu kompensiert.

**Tabelle 5:** HEM-Systemparameter für BKS60

Frequenz [Hz]	Spulenabstand [m]	Orientierung	Bezeichnung FAS	Bezeichnung BGR
380	7,918	horizontal-koplanar	EM_3	1. Frequenz
1.770	7,918	horizontal-koplanar	EM_5	2. Frequenz
5.410	9,042	vertikal-koaxial	EM_6	3. Frequenz
8.300	7,957	horizontal-koplanar	EM_2	4. Frequenz
41.000	8,033	horizontal-koplanar	EM_1	5. Frequenz
129.500	7,906	horizontal-koplanar	EM_4	6. Frequenz

Mit Hilfe der Kalibrierspulen, die im Zentrum der jeweiligen Empfangsspulen liegen, werden definierte Ausschläge im Messsignal erzeugt und in der Einheit ppm angegeben. Diese relative Einheit wird benutzt, da das Sekundärfeld, das sehr viel kleiner als das Primärfeld ist, auf das Primärfeld am Ort der Empfangsspule normiert wird. Die hierzu notwendigen Umrechnungsfaktoren von der gemessenen Spannung in V in ppm wurden vom Hersteller geliefert.

Die Größe der empfangenen Sekundärfelder sowie ihre zeitliche Verzögerung gegenüber den erzeugenden Primärfeldern werden registriert. Aus diesen beiden Größen, Amplitude und Phasenverschiebung oder Real- und Imaginärteil (In-phase I und Quadrature Q), kann die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes bzw. deren Kehrwert, der spezifische Widerstand, berechnet werden, wobei die Felder der 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 380 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 aufgrund der Frequenzabhängigkeit der HEM-Amplituden insbesondere bei den Daten der niedrigen Messfrequenzen 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 (ca. 40 m) unterhalb des Hubschraubers geschleppt.

#### 4.4. Magnetik

Die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes wird mit Hilfe eines in der Flugsonde montierten hochempfindlichen Cs-Magnetometers (**Tabelle 4**) gemessen und in der Einheit Nanotesla (nT) angegeben. Die Funktion eines Cs-Magnetometers basiert auf der Messung der so genannten 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 den Niederlanden hat es eine Stärke von etwa 49.000 nT. Es wird vom Krustenfeld überlagert, dessen Quellen Gesteine mit Anteilen an ferromagnetischen Mineralien sind. 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. Während geogene Anomalien im Allgemeinen eine große räumliche Ausdehnung aufweisen, sind anthropogene Störungen des Magnetfeldes meist örtlich begrenzt und lassen sich daher gut identifizieren. Schließlich unterliegt das geogene Magnetfeld aufgrund von Schwankungen im Zustand der Ionosphäre einem Tagesgang. Diese Prozesse bewirken in den Niederlanden Variationen von etwa 10 bis 20 nT.

Zur Erfassung des magnetischen Tagesganges wird eine ebenfalls mit einem Cs-Magnetometer bestückte Bodenstation betrieben (**Tabelle 6**). Sie zeichnet im Regelfall an einem magnetisch ungestörten 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 Bodenstation die GPS-Zeit mitregistriert.

**Tabelle 6:** *Bodenstation*

Bodenstation	
<b>Aufgabe</b>	Automatische Registrierung des magnetischen Totalfeldes
<b>Hersteller</b>	Bodenstation: FAS, Kanada Magnetometer: Cs-Sensor H-8, SCINTREX, Kanada
<b>Gerätebezeichnung</b>	CF1 Data Logger

#### 4.5. Radiometrie

Die von natürlichen und künstlichen Radionukliden ausgehende Gammastrahlung wird mit Hilfe eines Kristalldetektors gemessen (**Tabelle 4**). Zur Verwendung kommt ein digitales Gammastrahlenspektrometer neuester Bauart vom Typ RS-500 der Firma Radiation Solutions (Kanada). Der Kristalldetektor vom Typ RSX-5 besteht aus fünf Natriumiodid(NaI)-Kristallen. Das komplette Spektrometer ist in einem Leichtgewichtgehäuse aus Carbonfaser mit geringer Dämpfung eingebaut und fest im Hubschrauber montiert. Jeder der NaI-Kristalle hat ein Volumen von 4 Litern. Vier der Kristalle re-

gistrieren die von unten und von den Seiten einfallende Strahlung, der fünfte Kristall dient zur Aufzeichnung der von oben eintreffenden 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 Impulse proportional zur Energie der einfallenden Gammastrahlung ist. Die Umwandlung erfolgt über fünf separate 60 MHz A/D-Wandler und Signalprozessoren. Das Spektrometer besitzt einen Spektralbereich von 0 bis 3 MeV, der in 1024 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 (**Tabelle 7**). Die Stabilisierung des Spektrometers erfolgt während des Messbetriebs laufend automatisch über einen statistischen Vergleich der aufgenommenen Spektren mit einem intern gespeicherten Referenzspektrum. 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. Der nach oben ausgerichtete Kristall ist gegen von unten eintreffende Strahlung abgeschirmt und dient zur Erfassung der Strahlung, die von radioaktivem atmosphärischem Radongas ausgeht und bei der Bestimmung der natürlichen Radionuklide im Boden störend wirkt.

**Tabelle 7:** *Energiebereiche und Kanalzuordnungen registrierter Strahlungsquellen (Spektrometer RS-500, reduziert auf 256 Kanäle)*

Strahlungsquelle	Energiebereich in MeV	Energiepeak in MeV	Kanäle
Gesamtstrahlung	0,41–2,81	—	34–235
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	201–235
Höhenstrahlung	3,0–6,0	—	256

Das Gammastrahlenspektrometer summiert die Spektren über jeweils eine Sekunde auf, daher wird als Einheit für die Zählraten cps (*counts per second*) verwendet. Für die Datenerfassung mit dem HeliDAS-System (**Kapitel 4.7**) werden die 1024-kanaligen Spektren auf 256 Kanäle abgebildet. Mit diesen Daten erfolgt die Standardprozessierung. Für spezielle Anwendungen kann auch auf die vollen 1024-kanaligen Spektren zugegriffen werden, welche auf einen USB-Stick gespeichert werden. **Tabelle 7** zeigt die Zuordnung der Strahlungsquellen zu den Kanälen in den aufgezeichneten Spektren. Die Aufzeichnung des Energiebereichs von Uran erfolgt getrennt für die nach unten gerichteten und den nach oben gerichteten Kristallen.

#### **4.6. Navigations- und Positionierungssystem**

Ein GPS-Empfänger, dessen Antenne außen am Hubschrauber montiert ist, liefert laufend Positionsangaben an das Navigationssystem. Die GPS-Daten werden zusammen mit den geophysikalischen Daten im HeliDAS-System (**Kapitel 4.7**) gespeichert.

Aufgabe des Navigationssystems (**Tabelle 8**) ist es, dem Piloten alle zur Durchführung eines Messfluges notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen. Hierzu werden zunächst mit dem Programm LiNav von AG-NAV Inc. die Koordinaten der Anfangs- und Endpunkte sämtlicher Mess- bzw. Kontrollprofile aus den Messgebietsgrenzen, der Profilrichtung und dem Abstand der Messprofile berechnet. Diese werden über Speicherkarte oder USB-Speichermedium in das HeliDAS-System importiert und auf dem Bildschirm des Tablet-Computers 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-Navigationsempfänger, dessen Antenne außen am Hubschrauber angebracht ist. Der Fehler des Navigationssystems beträgt weniger als 1–2 m.

Aufgabe des globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) (**Tabelle 8**) ist es, zu jeder geophysikalischen Messung die Koordinaten zu liefern. Dafür wird ein zweiter GPS-Navigationsempfänger verwendet, dessen Antenne sich innerhalb der Flugsonde befindet. Auch hier liegt der Fehler der Koordinaten in der Regel unterhalb von 1–2 m.

**Tabelle 8:** Navigations- und Positionierungssysteme

Systeme zur Navigation und Positionierung		
Hubschrauber	<b>GPS-Navigationssystem</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Erfassung (online) und Anzeige in grafischer und digitaler Form der für den Piloten zur Durchführung von Messflügen notwendigen GPS-Navigationsparameter.
	<b>Hersteller</b>	Navigationscomputer und Anzeige: FAS, Kanada GPS-Empfänger: NovAtel, Kanada
	<b>Gerätebezeichnung</b>	Navigationscomputer: HeliDAS GPS-Empfänger: NovAtel OEMV-2-L1/L2 GPS-Antenne: NovAtel L1/L2 ANT-532-e
Flugsonde	<b>Globales Navigationssatellitensystem (GNSS)</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Bestimmung der geografischen Position und Höhe der Flugsonde
	<b>Hersteller</b>	Positionserfassung und Anzeige: FAS, Kanada GPS-Empfänger: CSI Wireless, Kanada
	<b>Gerätebezeichnung</b>	Positionserfassung: HeliDAS GPS-Empfänger: DGPS MAX

Die genaue Höhe der Flugsonde (**Tabelle 9**) über der Erdoberfläche wird zur Auswertung der elektromagnetischen Daten und zur Erstellung eines digitalen Geländemodells benötigt. Durch einen in die Flugsonde eingebauten Laserhöhenmesser wird diese Höhe auf ±0,2 m genau bestimmt, wenn die Lage

der Flugsonde bekannt ist. Fehlt diese, dann können die Ungenauigkeiten aufgrund des Pendelns der Flugsonde auch mehrere Meter betragen. Ein weiterer Vorteil des Laserhöhenmessers ist der fokussierte Durchmesser des Laserstrahls, der es ermöglicht, über lichten Wäldern häufig die Entfernung bis zum Boden zu erfassen und nicht nur den Abstand bis zu den Baumkronen.

Aus der absoluten Höhe der Flugsonde, abgeleitet aus GPS-Höhenmessungen minus der Laserhöhe, kann die topografische Höhe berechnet und somit das digitale Geländemodell bestimmt werden. Auch hier kann der Fehler bei einigen Metern liegen, wenn keine weitere Referenz hinzugezogen wird.

Mit Hilfe eines GPS-Empfängers wird die absolute Höhe des Hubschraubers bestimmt, die jedoch ohne Verwendung einer Referenzstation am Boden oder einem anderen Korrekturverfahren einen Fehler von einigen Metern aufweisen kann. Die Flughöhe des Hubschraubers (**Tabelle 9**) über der Erdoberfläche bzw. über Hindernissen (z. B. Wäldern und Gebäuden) wird im Normalfall zur Auswertung der radiometrischen Daten benötigt. Sie wird über die Differenz der GPS-Höhe des Hubschraubers und einem digitalem Geländemodell bestimmt. Die mit dem Radarhöhenmesser erfassten Höhen über der Erdoberfläche bzw. Bewuchs dienen nur zur Flugführung.

**Tabelle 9:** Höhenmesser

Höhenmesser		
Hubschrauber	<b>Radarhöhenmesser</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Bestimmung der Höhe des Hubschraubers über der Erdoberfläche
	<b>Hersteller</b>	Sperry, USA
	<b>Gerätebezeichnung</b>	AA-200
	<b>Barometrischer Höhenmesser</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Bestimmung der absoluten Höhe des Hubschraubers
	<b>Hersteller</b>	FAS, Kanada
	<b>Gerätebezeichnung</b>	HeliDAS
Flugsonde	<b>Laserhöhenmesser</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Präzise Bestimmung der Höhe der Flugsonde über der Erdoberfläche
	<b>Hersteller</b>	Riegl, Österreich
	<b>Gerätebezeichnung</b>	LD90-3800VHS

#### 4.7. Datenerfassung

Die Erfassung und Aufzeichnung der geophysikalischen und Positionsdaten erfolgt über das HeliDAS-System (**Tabelle 10**). Die Daten werden auf einer Compact Flash (CF) Karte gespeichert. Das HeliDAS-System ist mit zwei Tablett-Computern verbunden. Auf diesen werden während des Messfluges die eingehenden Mess- und Positionsdaten grafisch dargestellt. Die Darstellungen dienen dem Operator zur Kontrolle der Messdaten und dem Navigator zur Kontrolle des Flugweges.

**Tabelle 10:** Datenerfassung und -aufzeichnung

Datenerfassung / Datenaufzeichnung		
<b>Hubschrauber</b>	<b>Datenerfassungs- und Datenaufzeichnungssystem</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Digitalisierung analoger Signale; Zwischenspeicherung digitaler Daten; Zusammenstellung ausgewählter Daten und Speicherung der Positions- und Messdaten auf Speicherkarte
	<b>Hersteller</b>	FAS, Kanada
	<b>Gerätebezeichnung</b>	HeliDAS

#### 4.8. 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. Eine Aufzeichnung des Flugweges erfolgte nicht.

#### 4.9. Sonstige Ausrüstung im Hubschrauber

Die DC-Bordspannung (28 V) des Hubschraubers wird über eine Pufferbatterie (24 Ah) geglättet und anschließend über Sicherungen auf die einzelnen Geräte des Messsystems verteilt (**Tabelle 11**). Die Steuerungs- und Aufzeichnungsgeräte des aerogeophysikalischen Messsystems befinden sich in einem 19-Zoll-Geräteschrank. Der Geräteschrank ist über Schwingungsdämpfer mit einer Metallplatte verbunden, die fest mit dem Boden des Hubschraubers verschraubt ist.

**Tabelle 11:** Sonstige Ausrüstung

Sonstige Ausrüstung		
<b>Hubschrauber</b>	<b>Zentrale Spannungsversorgung</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Pufferung der DC-Bordspannung des Hubschraubers
	<b>Hersteller</b>	Sikorsky, USA
	<b>Geräteschrank</b>	
	<b>Aufgabe</b>	Aufnahme von Messgeräten des aerogeophysikalischen Messsystems
	<b>Hersteller</b>	Aviation Support, Deutschland

## 5. Verarbeitung und Darstellung der Messdaten

Die Ziele der Datenverarbeitung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Kontrolle der Messdaten;
- Umrechnung der Rohdaten in physikalische Parameter;
- Darstellung der Ergebnisse in Form von Profildaten und Karten.

Die Auswertung der aerogeophysikalischen Daten zu den Methoden Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie wird – je nach Anforderung – in verschiedenen Auswertungsebenen (Level) durchgeführt. **Tabelle 12** zeigt diese Auswertungsebenen in der Übersicht für die Elektromagnetik.

**Tabelle 12:** HEM-Auswertung (Übersicht)

Level	Bezeichnung	Umfang	Details	Produkte
1	Befliegung	Datenerfassung und Feldprozessierung	Daten- und Qualitätskontrolle automatische Prozessierung	HEM-Daten und Halbraumparameterkarten
2	Standardauswertung	Feinprozessierung	Niveauekorrektur (Stützstellen, Statistik, 2D-Filterung), automatische Datenselektion, einfache 1D-Inversion	wie bei Level 1 plus 1D-HEM-Modelle als Karten und Vertikalschnitte
3	Optimierte Prozessierung	Detailprozessierung mit Zusatzinformationen	Korrektur anthropogener Effekte mittels interaktiver Bereichsselektion (IBS), 1D-Inversion mit Randbedingungen	wie bei Level 2
4	Gekoppelte Modellierung	3D-geophysikalische plus hydro-/geologische Modellierung	iterative Modellierung, 1D/3D-Inversion (HEM) mit Randbedingungen aus definierten Schnittstellen bzw. gemeinsamen Modellraum	3D-Modelle (HEM- plus geologische bzw. Grundwassermodelle)
5	Nutzerorientierte Parametrisierung	Interpretation der elektrischen Leitfähigkeit bzgl. hydro-/geologischen Parametern	speziell festzulegen	Aussagen und Grafiken zu nutzerbasierten Parametern

Für die Magnetik und Radiometrie gelten analoge Auswertungsebenen. Der wesentliche Unterschied in den ersten drei Ebenen (Level) besteht darin, dass für HMG und HRD keine 1D-Inversionen durchgeführt und somit auch keine 1D-Modelle als Karten oder Vertikalschnitte dargestellt werden. Die weitere Auswertung und Interpretation der HMG- und HRD-Daten verläuft völlig unterschiedlich zu der HEM-Auswertung/Interpretation.



## 5.1. Prozessabläufe

Die aerogeophysikalischen Daten werden bereits während des Feldbetriebes auf Plausibilität sowie technische und formale Korrektheit überprüft. Hierzu werden die Messdaten direkt nach Beendigung eines Messfluges von der Speicherkarte auf PC oder Laptop übertragen, mit Oasis montaj von Geosoft visualisiert und erste Datenverarbeitungsschritte automatisch durchgeführt. Diese Feldprozessierung enthält nur wenige grundlegende Bearbeitungsschritte und stellt die Rohdaten grafisch dar (Level 1 in **Tabelle 12**). In den zugehörigen Zwischenberichten (Siemon et al., 2014, 2015a,b), die in der Regel auf diesem Bearbeitungsstand basiert, sind die Ergebnisse nach einigen weiterführenden Bearbeitungsschritten, um die z. T. erheblichen Niveauekorrekturen ansatzweise durchzuführen, beschrieben.

Die finale Datenbearbeitung beginnt mit der Bearbeitung der Positionsdaten:

- Transformation der geografischen Koordinaten in das Zielkoordinatensystem;
- Korrekturen der gemessenen Höhen des Hubschraubers und der Flugsonde.

Die folgenden Datenverarbeitungsschritte sind für alle Methoden gültig:

- Entfernung von offensichtlichen Ausreißern (Spikes);
- Digitale Filterung um hochfrequentes Rauschen zu unterdrücken;
- Umrechnung der Messdaten in die jeweiligen darzustellenden Parameter;
- Festlegung von Profilabgrenzungen zur Unterteilung der Flüge in Profile;
- Korrektur von Niveaufehlern in den Daten;
- Korrektur von anthropogenen Effekten in den Daten;
- Zusammenführung der Profildaten aller Messflüge zu Gesamtgebietsdateien;
- Herstellung von thematischen Karten und Schnitten

Methodenspezifisch sind vor allem die Umrechnungen der jeweiligen Messdaten in die gewünschten geophysikalischen Parameter sowie die Korrektur der anthropogenen Effekte.

## 5.2. Positionsdaten

Die Bearbeitung der Positionsdaten erfolgt vor der Auswertung der geophysikalischen Daten mit dem Programm Oasis montaj von Geosoft sowie ergänzenden eigenen Programmen.

### 5.2.1. GPS-Koordinaten

Die während des Fluges registrierten Koordinaten, die die Positionen des Hubschraubers und der Flugsonde angeben, beziehen sich auf das WGS84-System. Diese geografischen Koordinaten werden mittels Oasis montaj für die Flugsondenposition in ein lokales, kartesisches Koordinatensystem transformiert, wobei auch fehlende Koordinatenwerte durch lineare Interpolation ergänzt werden. Alle Ergebnisse für die Messgebiete in der Provinz Zeeland sind auf WGS84(ETRS89)-Koordinaten (UTM-Zone 31N) bezogen. Als Höhenbezugspunkt dient der Amsterdamer Pegel (*Normaal Amsterdams Peil*, NAP).

Von dem im Hubschrauber installierten GPS-Empfänger werden laufend GPS-Rohdaten aufgezeichnet. Diese Rohdaten eignen sich dazu, in einer Nachprozessierung wesentlich genauere Positionen (im Allgemeinen <0,3 m) zu erhalten. Die Nachprozessierung der GPS-Rohdaten erfolgt über den Web-Dienst



*Precise Point Positioning* des geologischen Dienstes von Kanada (*Natural Resources Canada*). Die vom Dienst gelieferten Ellipsoidhöhen der präzisen Koordinaten werden unter Verwendung des Geoid- undulationsmodells EGM2008 (Pavlis et al., 2012) auf in der Kartografie übliche Geoidhöhen umgerechnet und anschließend ebenfalls in das lokale Koordinatensystem transformiert.

Für die Flugsonde stehen nicht alle GPS-Parameter, die für die oben beschriebene Korrektur notwendig sind, zur Verfügung. Daher konnten lediglich fehlerhafte Bezugswerte korrigiert werden, um die Höhe der Flugsonde anzupassen. Die GPS-Daten in der Flugsonde BKS60 wiesen ferner eine zeitliche Verschiebung von 0,7 s (7 Werte) auf, was ebenfalls korrigiert wurde.

Die Höhenangaben in Deutschland sind bezogen auf DHHN92 und werden in m NHN angegeben. Da der Unterschied zu dem niederländischen Höhensystem (NAP) nur -0,01 m beträgt und die Messgenauigkeit der diversen Positions- und Höhenmesser geringer ist, sind die Angaben in m NHN und m NAP quasi identisch. Durch Bezug auf ein niederländisches Höhenmodell im weiteren Verlauf der Auswertung werden automatisch alle Höhen in m NAP angegeben.

Aus der Differenz der korrigierten GPS-Höhen des Hubschraubers ( $H_{GPS}$ ) und der Flugsonde ( $h_{GPS}$ ) wird die effektive Kabellänge ( $c_1$ ) berechnet:

$$c_1 \text{ [m]} = H_{GPS} \text{ [m NAP]} - h_{GPS} \text{ [m NAP]}.$$

Bei der Auswertung wurde die GPS-Höhe der Flugsonde unter Verwendung eines digitalen Geländehöhenmodells (DEM, hier: AHN\_F25\_ZEELAND, siehe **Kapitel 5.2.5**) und der gemessenen Laserhöhen korrigiert ( $h_{GPS\_kor}$ , siehe **Kapitel 5.2.3**). Hierzu wurden die topografischen Höhen aus den Messdaten abgeleitet (siehe **Kapitel 5.2.5**) und mit dem Geländemodell verglichen. Die geglättete Differenz aus beiden diente schließlich als Korrektur. Im Mittel lag die effektive Kabellänge in den Messgebieten der Provinz Zeeland bei  $c_1 = 39,5$  m.

### 5.2.2. Radarhöhen

Die Radarhöhenwerte, die vom Hubschrauber aus gemessen werden und zur Flugführung dienen, sind nur bis 2010 der Datenerfassung zugeführt worden. Daher wurden neue Höhen, die der Radarhöhe der Flugsonde entsprechen sollen, aus der Differenz der korrigierten GPS-Höhen der Flugsonde ( $h_{GPS\_kor}$ ) und einem digitalen Geländemodell (DEM) berechnet:

$$h_r \text{ [m]} = h_{GPS\_kor} \text{ [m NAP]} - DEM \text{ [m NAP]}.$$

### 5.2.3. Laserhöhen

Die mit einem Laserhöhenmesser gemessenen Höhen der Flugsonde über Gelände ( $h_l$ ) können Fehler (Ausreißer, Lücken) enthalten, die linear interpoliert werden. Ferner können zu große Werte (z. B. durch Neigung oder seitliche Auslenkung der Flugsonde) oder zu kleine Werte (z. B. durch Bewuchs oder Bebauung) auftreten.

Die zu kleinen Werte werden standardmäßig durch eine Kombination von Filtern korrigiert. Hierzu wird zunächst eine reduzierte Laserhöhe ( $\Delta h_l$ ), deren Mittelwert bei null liegt, berechnet, indem eine Basislinie der Laserhöhe bestimmt (Tiefpass-Abschneideperiode = 5 s, d. h. 50 Werte) und von dieser abgezogen wird. Danach erfolgt die Berechnung der Standardabweichungen ( $\Delta h_{l\_noise}$ ) und der Maxi-

malwerte ( $\Delta h_{l_{max}}$ ) der reduzierten Laserhöhe in vorgegebenen Intervallen mit Fensterbreiten von jeweils 7 bzw. 21 Messwerten, wobei einzelne Ausreißer der Standardabweichung durch Anwendung eines schmalen (2 Werte) nicht-linearen (NL) Filters eliminiert werden. Anschließend werden die reduzierten Laserhöhenwerte, nach der Entfernung einzelner Ausreißer (NL-Filter mit einem Wert), durch die Maximalwerte ersetzt, falls die Abweichung beider Werte zu groß (2 m) ist und die Standardabweichung über einem vorzugebenden Schwellwert (0,2) liegt. Zur Vermeidung von Sprüngen der gegenüber den reduzierten Laserhöhen stets größeren Maximalwerte werden die Maximalwerte auf das Niveau der angrenzenden reduzierten Laserhöhen bezogen. Abschließend erfolgt eine leichte Glättung (Tiefpass-Abschneideperiode = 1 s, d. h. 10 Werte) der korrigierten reduzierten Laserhöhe ( $\Delta h_{l_{kor}}$ ) und die Addition der Basislinie, um die korrigierte Laserhöhe ( $h_{l_{kor}}$ ) zu erhalten. **Tabelle 13** fasst die verwendeten Filterparameter zusammen. Die zur Orientierung (in Klammern) angegebenen Umrechnungen der Filterlängen von Sekunden bzw. Werten in Meter erfolgte unter Annahme eines mittleren Punktabstandes von 4 m. Sollten die wahren mittleren Punktabstände hiervon abweichen, ergeben sich andere Meterangaben.

**Tabelle 13:** Filterparameter für die Korrektur der Laserhöhe in Bereichen mit Vegetation

Filter	Filterparameter	Bezugsparameter
Tiefpass	Abschneideperiode: 5 s ( $\approx$ 200 m)	$h_l$
Standardabweichung	Filterlänge: 7 Werte ( $\approx$ 28 m)	$\Delta h_l$
Nicht-linear	Filterlänge: 2 Werte ( $\approx$ 8 m), Toleranz: 1.0	$\Delta h_{l_{noise}}$
Tiefpass	Abschneideperiode: 1 s ( $\approx$ 40 m)	$\Delta h_{l_{noise}}$
Nicht-linear	Filterlänge: 1 Wert ( $\approx$ 4 m), Toleranz: 2,0	$\Delta h_l$
Schwellwert	Schwellwert ( $\Delta h_{l_{noise}}$ ): 0,2 m	$\Delta h_l$
Maximum	Filterlänge: 21 Werte ( $\approx$ 84 m)	$\Delta h_l$
Schwellwert	Schwellwert ( $\Delta h_{l_{max}} - \Delta h_l$ ): 2 m	$\Delta h_l$
Tiefpass	Abschneideperiode: 1 s ( $\approx$ 40 m)	$\Delta h_{l_{kor}}$

Die automatische Korrektur der Laserhöhe funktioniert für Waldbereiche gut, wenn der Baumbestand nicht zu dicht ist. Bei dichtem Wald dringt der Laserstrahl zu selten bis zum Erdboden vor und die automatisch korrigierten Werte müssen per Hand nachkorrigiert werden.

Die zu großen, durch die Neigung (durchschnittlich etwa 6°) verursachten Laserhöhen sind leicht durch Anwendung der Kosinusfunktion zu korrigieren. Schwieriger ist es jedoch, die Fehler, die durch Pendelbewegungen verursacht sind, zu reduzieren. Das Nachschleppen der Flugsonde an einem etwa 45 m langen Seil in Verbindung mit Flugmanövern und Wind führt zu Pendelschwingungen senkrecht (bei Richtungsänderungen) und parallel (bei Geschwindigkeits- oder Höhenänderungen) zur Flugrichtung. Folglich werden die tatsächlichen (senkrechten) Abstände zum Erdboden überschätzt, da die Flugsonde nicht exakt horizontal hängt und somit der Laserstrahl nicht vertikal nach unten zeigt. Bei Auslenkungen unterhalb von 10° ergeben sich Fehler bis zu 0,5 m je 30 m Höhe der Flugsonde über Grund.

Bei größeren Auslenkungen können allerdings auch Fehler von mehreren Metern entstehen. Die Schwingungsperioden liegen vor allem bei etwa 3 s bzw. 13 s, die durch die halbe Länge der Flugsonde bzw. durch die Länge des Schleppseils hervorgerufen werden. Eine Korrektur ohne gemessene Lageparameter ist nur näherungsweise möglich. Prinzipiell können die Auslenkungswinkel und somit der Höhenfehler aus dem Verhältnis aus berechneter und gemessener Laserhöhe abgeschätzt werden. Hierzu muss die GPS-Höhe der Flugsonde gut bestimmt sein. In hügeligen Messgebieten wirken sich die Schwankungen des Messsystems besonders deutlich aus, da der Laserstrahl auch bei horizontaler Lage der Flugsonde nicht senkrecht auf den Erdboden auftrifft. Folglich können bereits bei geringen Neigungen der Flugsonde erheblich größere Fehler bei der Abstandmessung zwischen Flugsonde und Erdboden auftreten als in flachem Gelände.

Aufgrund der oben genannten Schwierigkeit wurden die Laserhöhen der Flugsonde (analog zur Radarhöhe, siehe **Kapitel 5.2.2**) neu berechnet aus der Differenz der korrigierten GPS-Höhe der Flugsonde ( $h_{\text{GPS\_kor}}$ ) und einem Geländemodell (siehe **Kapitel 5.2.5**):

$$h_{\text{DEM\_kor}} [\text{m}] = h_{\text{GPS\_kor}} [\text{m NAP}] - \text{DEM} [\text{m NAP}].$$

#### 5.2.4. Barometrische Höhen

Die barometrische Höhe des Hubschraubers wird durch einen Druckmesser erfasst. Mit Hilfe der barometrischen Höhenformel können die Druckwerte kpa (in hPa) in eine Höhe (in m NAP) transformiert werden:

$$h_{\text{kpa}} [\text{m NAP}] = (1 - (10 \cdot \text{kpa} [\text{hPa}] / P_0 [\text{hPa}])^{0,19}) \cdot T_0 [\text{K}] / G [\text{K/m}]$$

mit  $P_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ ,  $T_0 = 288,15 \text{ K}$ ,  $G = 0,0065 \text{ K/m}$ . Anschließend wurde dieser barometrische Höhenkanal mit einem Tiefpass-Filter über 5s (50 Werte) geglättet und eine Trendkorrektur aufgrund von Luftdruckänderungen angebracht. Die Trendkorrektur basiert auf der mittels mit einem Spline-Filter (Glätte 0,7, Spannung 0,5) geglätteten Differenz aus  $h_{\text{kpa}}$  und  $H_{\text{GPS}}$ .

#### 5.2.5. Topografische Höhen

Die topografische Höhe des Geländes (topo) wird aus der Differenz der GPS-Höhe der Flugsonde ( $h_{\text{GPS}}$ ) und der korrigierten Laserhöhe ( $h_{\text{l\_kor}}$ ) berechnet

$$\text{topo} [\text{m NAP}] = h_{\text{GPS}} [\text{m NAP}] - h_{\text{l\_kor}} [\text{m}].$$

Sie wird benötigt, um die aus den Messdaten abgeleiteten Geländehöhen (DEM) in Kartenform oder auch dreidimensional darstellen zu können. Ferner eignen sich die topografische Höhen besser für die manuelle Nachkorrektur der Laserhöhe als die Laserhöhe bzw. die reduzierte Laserhöhe, da z. B. Baumbestände oder Täler und Bergrücken bzw. Deiche klarer zu erkennen sind. Die Nachkorrektur besteht aus einer Elimination von nicht plausiblen Werten mit nachfolgender linearer Interpolation und einer Neuberechnung der Laserhöhenwerte.

Aufgrund der Pendelbewegungen der Flugsonde sind die Laserhöhenwerte oft ungenau und somit auch das daraus abgeleitete Geländemodell. Daher wurde das digitale Geländemodell der Niederlande (Actueel Hoogtebestand Nederland – AHN, <http://www.ahn.nl/index.html>) mit einem Raster von 25 m verwendet (AHN\_F25\_ZEELAND). Dieses Geländemodell gibt aber bei Gewässern die Wasserunterkante an, sodass diese Bereiche manuell nachbearbeitet werden mussten. Bei Binnengewässern

war dies kein Problem, aber bei Nordsee und den beiden Schelden lagen während der Befliegung aufgrund der Gezeiten unterschiedliche Wasserhöhen vor. Es wurde versucht, diese an die aus den Flugdaten abgeleiteten topo-Werte anzupassen, was aber nicht immer zufriedenstellend möglich war.

Das modifizierte Geländemodell wurde auch genutzt, um die GPS-Höhen der Flugsonde (siehe **Kapitel 5.2.1**) zu korrigieren, indem die mit einem Spline-Filter (Glätte 1,0, Spannung 0,5) geglättete Differenz:

$$DH [m] = DEM [m \text{ NAP}] - topo [m \text{ NAP}]$$

an die GPS-Höhe angebracht wurde:

$$h_{\text{GPS\_kor}} [m \text{ NAP}] = h_{\text{GPS}} [m \text{ NAP}] + DH [m].$$

### 5.3. Datenverarbeitung in der Elektromagnetik

Die Auswertung der gemessenen HEM-Daten, Realteil I (In-phase oder 0°-Phase) und Imaginärteil Q (Out-of-phase, Quadrature oder 90°-Phase) erfordert bis Level 3 (**Tabelle 12**) mehrere Bearbeitungsschritte:

- Berücksichtigung der Kalibrierung;
- Verschiebungs- und Driftkorrektur;
- Datenauswahl und -korrektur;
- Korrektur von anthropogenen Effekten;
- Transformation in Halbraumparameter;
- Statistische Niveauekorrektur;
- Interpolation und Glättung;
- Inversion in Widerstands-Tiefen-Modelle.

Bei der Registrierung der HEM-Daten werden bereits interne Kalibrierwerte berücksichtigt, mit denen die in den Empfängern gemessenen Spannungen in die Werte des relativen sekundären magnetischen Feldes I [ppm] und Q [ppm] transformiert werden. Diese Werte unterliegen jedoch einer im Wesentlichen temperaturbedingten Drift, die korrigiert werden muss, bevor eine Weiterverarbeitung der HEM-Daten stattfinden kann. Ferner sind korrigierte Kalibrierfaktoren anzubringen.

Neben dem eigentlichen Nutzsignal, das von elektrisch leitfähigem Material an und unter der Erdoberfläche herrührt, treten auch Störsignale in den Messdaten auf, die durch z. B. Bewegung des Systems oder durch externe Felder verursacht werden und im Zuge der Datenverarbeitung eliminiert oder geglättet werden müssen.

Da die HEM-Daten stark und zudem nicht-linear von der Messhöhe abhängen, ist eine Transformation dieser Sekundärfeldwerte in scheinbare spezifische Widerstände und scheinbare Tiefen bzw. Schwerpunktstiefen, die auf dem Modell eines homogenen Halbraums beruhen, sehr hilfreich für die Beurteilung der Qualität der HEM-Daten. Ferner ermöglichen diese so genannten Halbraumparameter einen schnellen Überblick über die lateralen Leitfähigkeitsverteilungen und die maximal zu erwartenden Erkundungstiefen. Für eine genauere Bestimmung der vertikalen Leitfähigkeitsverteilungen sind Inversionen in Schichtmodelle notwendig.

Die grundlegenden wie auch die nachfolgenden Datenverarbeitungsschritte wurden zunächst mit Geosoft Oasis montaj durchgeführt. Die in dieser Programmumgebung entwickelten Routinen wurden anschließend in eine BGR eigene Software (HemView) übertragen und durch weitere Routinen ergänzt. Alle notwendigen Parameter sind in Konfigurationsdateien abgelegt. Die Daten aus 2009 der Gebiete 135 Schouwen (Siemon et al., 2011b) und 136 Perkpolder (Siemon et al., 2011c) wurden übernommen. Lediglich die Inversion erfolgte erneut mit den aktuellen Parametern.

### **5.3.1. Kalibrierung des HEM-Systems**

Das HEM-System wurde von dem Hersteller Fugro Airborne Surveys (FAS) mit Hilfe von externen Spulen auf schlecht leitendem Untergrund in Kanada (Mountsbury Conservation Area südwestlich von Toronto) kalibriert. Nach der Optimierung der Phaseneinstellungen mit Hilfe eines Ferritstabes ( $I = Q$ ) lassen sich mit diesen externen Kalibrierspulen Signale bekannter Größe in den Empfängern erzeugen. Diese Kalibrierwerte werden benutzt, um die I- und Q-Werte in ppm anzugeben.

Zu Beginn eines Messfluges werden in großer Flughöhe die durch die internen Kalibrierspulen hervorgerufenen Ausschläge überprüft und das Messsystem wird automatisch anhand von Sollwerten (**Tabelle 14**) nachjustiert (Autokalibrierung). Da Temperaturänderungen Einfluss auf die Messelektronik haben können, werden die internen Kalibrierspulen mehrmals während eines Messfluges eingeschaltet, um Phasenlagen und Verstärkungen für alle Frequenzen zu kontrollieren.

Bei der Kalibrierung am Boden sind Wechselwirkungen mit dem Untergrund nicht auszuschließen. Daher wurden die Kalibrierfaktoren bei allen Messflügen über die Ooster- und Westerschelde sowie über die Nordsee in Messflughöhe überprüft. Unter der Annahme homogener Leitfähigkeit des Salzwassers wurden die zugehörigen Halbraumwiderstände und die Abstände der Wasseroberfläche zum Messsystem aus den HEM-Daten zu jeder Messfrequenz bestimmt und mit den Sollwerten, dem spezifischen Widerstand von Salzwasser und der Laserhöhe, verglichen. Die spezifischen Widerstände des Salzwassers sind aber nicht konstant, da der Salzgehalt mit zunehmender Entfernung zur Nordsee durch Süßwassereintrag abnimmt. Ferner gibt es Schwankungen bedingt durch veränderliche Wassertemperaturen. Somit wurde kein fester Sollwert für den spezifischen Widerstand des Salzwassers angenommen, sondern nur auf die Vergleichbarkeit von Werten an den Orten und zu den Zeitpunkten der Messung geachtet. Die resultierenden mittleren Korrekturwerte für Amplitude und Phase sind zusammen mit den Standardabweichungen (std) in **Tabelle 14** aufgelistet.

Die manuelle Amplituden- und Phasenkorrektur erfolgte in HemView individuell für jede Messfrequenz und jeden Flug. Die ermittelten Korrekturwerte sind in den Konfigurationsdateien abgelegt. Die Abweichungen von betrug meist maximal  $\pm 5\%$  in der Amplitude (aber 15% bei  $f = 130$  kHz und -24% bei  $f = 5,4$  kHz) und maximal  $\pm 2^\circ$  in der Phase. Dies ist auf unkorrekte Kalibrierungen durch den Hersteller oder durch nachfolgende Änderungen am Messsystem bzw. auf fehlerhafte Autokalibrierung zurückzuführen. Letzteres wird durch die Standardabweichungen belegt, die während der drei Messeinsätze in Zeeland bei  $\leq 3\%$  für die Amplitudenkorrekturen und bei  $< 2^\circ$  für die Phasenkorrekturen lagen. Bei der ersten Messkampagne funktionierte zudem die Autokalibrierung bei  $f = 1,8$  kHz nicht zufriedenstellend, sodass erhebliche manuelle Korrekturen erforderlich waren.

In den beiden Messgebieten in Zeeland, die 2009 vermessen wurden, ist eine andere Flugsonde (BKS36a) eingesetzt worden. Die zugehörige Kalibrierung ist in Siemon et al. (2011a,b) beschrieben.

**Tabelle 14:** Kalibrier- und Korrekturwerte (plus Standardabweichung) für das HEM-System (BKS60)

Frequenz in Hz	Kalibrierwerte FAS		Korrekturwerte (std) BGR	
	I [ppm]	Q [ppm]	Amplitude [ ]	Phase [°]
380	-215,9	-215,9	0,95 (0,02)	1,22 (1,37)
1.770	-214,9	-214,9	0,98 (0,02)	-0,22 (0,58)
5.410	106,1	106,1	0,76 (0,03)	1,94 (1,60)
8.300	-224,9	-224,9	1,02 (0,01)	0,19 (0,31)
41.000	-581,9	-581,9	1,05 (0,01)	1,83 (0,58)
129.500	-566,9	-566,9	1,15 (0,03)	0,81 (1,43)

### 5.3.2. Verschiebungs- und Driftkorrektur

Die Sekundärfelddaten werden mit einer Rate von 1000 Hz erfasst und nach Hardwarefilterung mit 10 Hz registriert. Dabei entsteht eine zeitliche Verzögerung von 0,8 s, die vor der Weiterverarbeitung der HEM-Daten korrigiert wird.

Die Sekundärfelddaten können auch noch Primärfeldanteile enthalten, die nicht vollständig durch die verwendeten Kompensationsspulen erfasst worden sind. Ferner kann sich dieser Anteil durch temperaturbedingte Drift während des Fluges ändern. Daher ist es notwendig, diese Drift (Nullniveau) mehrmals während eines Fluges zu erfassen. Dies geschieht in der Regel in Flughöhen >350 m, da in diesen Höhen das Sekundärfeld weitgehend abgeklungen ist. In den Bereichen mit großer Flughöhe und möglichst ruhigem Messsignalverlauf werden Stützstellen gesetzt, an denen Messwerte erfasst werden, die das jeweilige Nullniveau repräsentieren. Die Interpolationsgeraden zwischen jeweils benachbarten Stützstellen liefern die Bezugsniveaus, von denen aus die Messamplituden der Sekundärfelder zu bestimmen sind. Die Driftkorrektur wird für jeden Messkanal (I und Q für jede Messfrequenz) durchgeführt.

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 und beim koaxialen Spulensystem 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 Halbraumparametern berechneten Sekundärfelder als Bezugsniveau herangezogen (Siemon, 2009). Hiermit können nur Fehler der automatischen Nullniveauerfassung sowie einige deutliche Nullniveaufehler beseitigt werden. Insbesondere der Einfluss von lokalen und höhenbedingten Temperaturschwankungen kann zu Niveauunterschieden der Messgrößen zwischen den einzelnen Linien führen, was in den Karten als Streifenmuster zu erkennen wäre. Um diese Effekte zu beseitigen, wird eine statistische Niveaueinstellung durchgeführt (siehe Kapitel 5.3.6), die auf aus den relativen Sekundärfeldwerten abgeleiteten Halbraumparametern beruht (siehe Kapitel 5.3.4).



### 5.3.3. Datenauswahl und -korrektur

Beim Importieren der HEM-Daten in HemView werden bereits Profilabgrenzungen aus einer Konfigurationsdatei berücksichtigt. Die meisten Datenverarbeitungsschritte beziehen sich zwar auf den gesamten Datensatz, aber Nachkorrekturen sind nur auf den Messprofilen notwendig. Während geringfügige Störungen durch geeignete Filterung unterdrückt werden können, müssen die durch externe EM-Signale (z. B. Funkverkehr, Hochspannungsleitungen, Sferics, Ortschaften, Bahnlinien) hervorgerufenen stärkeren Störungen markiert und vorerst eliminiert werden. Ebenso müssen Störeinflüsse, die auf dem Induktionseffekt aufgrund von Bebauung und anderen metallischen Installationen beruhen (siehe **Kapitel 5.3.5**), aus den Daten entfernt werden (**Tabelle 12**, Level 3). Diese Auswahl erfolgt zunächst automatisch und kann durch manuelle Nachkorrektur ersetzt bzw. erweitert werden.

Bei der automatischen Datenauswahl wird als Auswahlkriterium der relative Standardfehler verwendet, der aus dem Standardfehler (STF) innerhalb eines Intervalls um den jeweiligen Messwert berechnet und auf die gemittelten Daten (gleitendes Mittel von 75 Werten) normiert wird. Unterschreitet ein Amplitudenwert (I bzw. Q) den zugehörigen relativen Standardfehler, so wird dieser Wert eliminiert. Zur Unterdrückung von Ausreißern werden nicht-lineare (NL) Filter benutzt und zur Vermeidung von hochfrequentem Rauschen werden die verbliebenen HEM-Daten anschließend mit einem Tiefpass-Filter geglättet. Aufgrund der unterschiedlichen Datenqualität sind unterschiedliche Filterparameter für die Daten der jeweiligen Frequenzen erforderlich (**Tabelle 15**).

**Tabelle 15:** Filterparameter für die HEM-Datenverarbeitung

Frequenz [Hz]	STF [Werte]	Schwellwert für rel. STF [I/Q]	NL-Filter [Werte/Toleranz]	TP-Filter [Werte]
380	25	0,30 / 0,30	20 / 3,0	30
1.770	25	0,10 / 0,10	20 / 2,0	30
5.410	20	0,30 / 0,30	10 / 2,0	30
8.300	15	0,25 / 0,25	10 / 2,0	20
41.000	15	0,25 / 0,25	10 / 2,0	20
129.500	15	0,25 / 0,50	10 / 2,0	20

Die manuelle Datenauswahl erfolgt in HemView durch Setzen von Markierungen, die leicht anzupassen sind und mit speziellen Optionen zur weiteren Behandlung der eliminierten Bereiche verknüpft sein können. Die eliminierten Daten sind von der weiteren Bearbeitung zunächst ausgeschlossen. Insbesondere werden auch keine Halbraumparameter (siehe **Kapitel 5.3.4**) abgeleitet. Des Weiteren kann die Berechnung der Halbraumparameter für große Sensorhöhen (z. B. >200 m) ausgesetzt werden, da selbst bei ansprechender Datenqualität diese Berechnung instabil wird und somit zu Verfälschungen führen könnte. Die eliminierten Datenbereiche können später auf Basis der in der Fläche interpolierten Halbraumparameter neu berechnet werden oder als Lücken bestehen bleiben (siehe **Kapitel 5.3.7**).

### 5.3.4. Transformation der Sekundärfeldwerte in Halbraumparameter

Das relative magnetische Sekundärfeld  $Z = (I, Q)$  für eine horizontal-koplanare (HCP) Spulenanordnung mit einem Spulenabstand  $r$ , einer Sensorhöhe  $h$  und einer Messfrequenz  $f$  lautet (z. B. Ward & Hohmann, 1988):

$$Z = r^3 \int_0^{\infty} R_1(f, \lambda, \rho, \mu, \varepsilon) \frac{\lambda^3 e^{-2\alpha_0 h}}{\alpha_0} J_0(\lambda r) d\lambda$$

wobei  $\alpha_0^2 = \lambda^2 - \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 + i\omega \mu_0 / \rho_0$  mit  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Vs/Am,  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  As/Vm und  $\rho_0 > 10^8 \Omega\text{m}$  und  $i = \text{imaginäre Einheit}$ .  $J_0$  ist eine Bessel-Funktion der ersten Art und nullten Ordnung und  $R_1$  ist der komplexe Reflexionsfaktor, der die Materialparameter (spezifischer Widerstand  $\rho$ , magnetische Permeabilität  $\mu$  und dielektrische Permittivität  $\varepsilon$ ) des Untergrundes enthält. Dieses komplexe Integral wird numerisch mit der Schnellen Hankel-Transformation (z. B. Anderson, 1989, Johansen & Sørensen, 1979) berechnet. Zur Umgehung von Singularitätsproblemen ( $\alpha_0 \approx 0$ ), die nur bei hohen Frequenzen auftreten können, wird das Integral mittels partieller Integration gelöst (Siemon, 2012). Eine ähnliche Formel besteht für die vertikal-koaxiale Spulenanordnung (VCX), die auf kleine Sekundärfelder ( $\text{VCX} \approx -0,25 \cdot \text{HCP}$ ) führt. Nach Weidelt (1991) lässt sich der Reflexionsfaktor  $R_1$  für einen Halbraum mit  $N_L$  Schichten rekursiv berechnen:

$$R_1 = \frac{B_1 - \alpha_0 \mu / \mu_0}{B_1 + \alpha_0 \mu / \mu_0}$$

mit

$$B_n = \alpha_n \frac{B_{n+1} + \alpha_n \tanh(\alpha_n d_n)}{\alpha_n + B_{n+1} \tanh(\alpha_n d_n)} \quad n = 1, 2, \dots, N_L - 1 \quad \text{und} \quad B_{N_L} = \alpha_{N_L}$$

$$\alpha_n = \sqrt{\lambda^2 - \omega^2 \varepsilon_n \mu_n + i\omega \mu_n / \rho_n} \quad n = 1, 2, \dots, N_L$$

wobei  $\rho_n$ ,  $\mu_n$ ,  $\varepsilon_n$  und  $d_n$  spezifischer Widerstand, Permeabilität, Permittivität und Mächtigkeit der  $n$ -ten Schicht ( $d_{N_L}$  wird als unendlich angenommen) sind. Wenn die magnetischen Effekte und die Verschiebungsströme vernachlässigbar sind, d. h.  $\mu_n = \mu_0$  und  $\varepsilon_n = \varepsilon_0$ , werden nur die spezifischen Widerstände und die Mächtigkeiten berücksichtigt.

Zur Kontrolle und Darstellung der HEM-Ergebnisse werden die kalibrierten Sekundärfelder  $I$  und  $Q$  (in ppm) für jede Frequenz in die Parameter eines homogenen Halbraums

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

transformiert (Siemon, 2001).

Hierzu wurden reduzierte Amplituden  $A'$  und Komponentenverhältnisse  $\varepsilon$

$$A' = (h/r)^3 A \quad \text{mit} \quad A = (I^2 + Q^2)^{1/2} \quad \text{und} \quad \varepsilon = Q/I$$

für beliebige Halbraummodelle als Funktion von  $\delta_p = h/p$  für die Höhen  $h$  und die Skintiefen

$$p = 503,3 (\rho_a / f)^{1/2}$$

berechnet. Aus den resultierenden Funktionen  $A'(\delta_p)$  und  $\varepsilon(\delta_p)$ , an die Polynome angepasst wurden, können die Halbraumparameter für die Messwerte  $I$  und  $Q$  abgeleitet werden:



$$D_a = r (A'(\delta_p(\epsilon)/A))^{1/3} \quad \text{und} \quad \rho_a = 0,4 \pi^2 f (D_a/\delta_p(\epsilon))^2.$$

Die berechnete Höhe  $D_a$  (scheinbarer Abstand des HEM-Systems von der Halbraumoberkante) kann von der gemessenen HEM-Sensorhöhe  $h$  (in m über der Erdoberfläche) abweichen. Der Abstand zwischen der Halbraumoberfläche und der aus den Höhenmessungen berechneten Erdoberfläche wird als scheinbare Tiefe

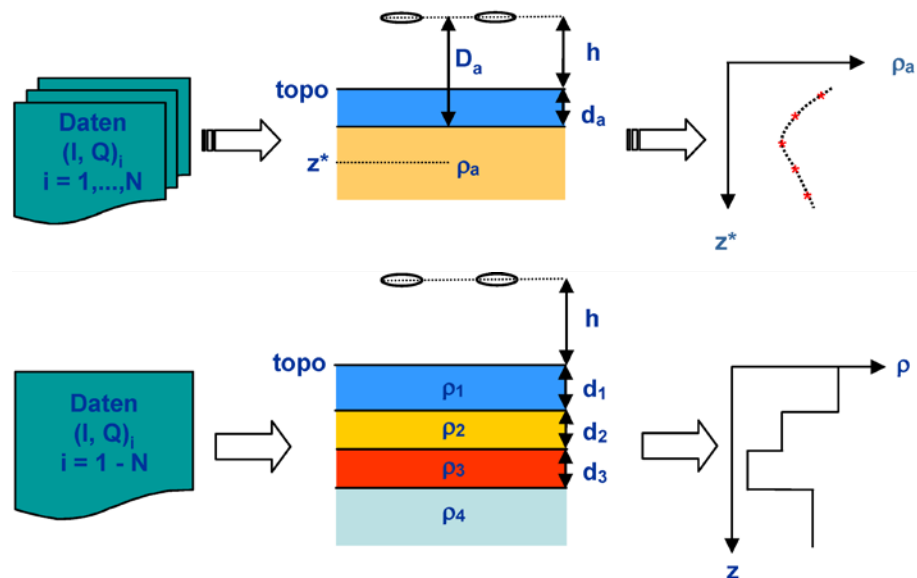
$$d_a = D_a - h$$

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  $\rho_a$  und dem scheinbaren Abstand  $D_a$  wird ebenfalls für alle Frequenzen der Parameter Schwerpunkstiefe

$$z^* = d_a + p/2$$

bestimmt (Siemon, 2001). Die Schwerpunkstiefe ist ein Maß für das mittlere Eindringen der induzierten Ströme in den leitenden Erduntergrund und ermöglicht eine Tiefenangabe für den scheinbaren spezifischen Widerstand, die  $\rho_a(z^*)$ -Sondierungskurven als erste Approximation der vertikalen Widerstandsverteilung (**Abbildung 4**).



**Abbildung 4:** Prinzip der HEM-Inversion basierend auf homogenen (oben) und geschichteten (unten) Halbräumen

Die berechneten Halbraumparameter können vor der Weiterverarbeitung auf Plausibilität überprüft werden, um beispielsweise bei zu großen Flughöhen die Halbraumparameter zu löschen.

Um eine genauere Ausbreitung der elektromagnetischen Felder berücksichtigen zu können, was insbesondere bei hohen Messfrequenzen über sehr gut leitendem Untergrund (Salzwasser) notwendig ist, müssen für jede Messfrequenz eigene Polynomkoeffizienten für die Funktionen  $A'(\delta_p)$  und  $\delta_p(\epsilon)$  bestimmt werden (Siemon, 2012). Anstelle der Interpolation der einzelnen Polynome können auch Flächen (Gitter) verwendet werden, die für jede Kombination aus I und Q die zugehörigen  $\rho_a$ - und  $D_a$ -Werte enthalten. Letzteres ist in HemView realisiert.

### 5.3.5. 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 metallischen Installationen wie z. B. Elektrokabel, Metallzäunen und Eisenbahnschienen herrühren können (Siemon et al., 2011a). 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. In der Nähe von Hochspannungsleitungen, elektrifizierten Eisenbahnlinien oder Ortschaften treten außerdem externe elektromagnetische Felder auf, die die HEM-Messungen empfindlich stören können. Dies ist insbesondere bei den niedrigen Messfrequenzen zu beobachten, da dort der geogene Anteil des Sekundärfeldes 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 meist durch eine Verringerung des Halbraumwiderstandes und der Schwerpunktstiefe aus. In den Karten ist daher eine Korrelation von niedrigen Halbraumwiderständen bzw. geringeren Schwerpunktstiefen mit Ortschaften oder Straßen zu beobachten, die vor allem in den Karten der niedrigen Frequenzen auftreten.

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 topografischen Karten, Luft- und Satellitenbildern, einer Videofilmauswertung oder einer Ortsbegehung erfolgen.

Die Entfernung der anthropogen betroffenen Bereiche erfolgte rein manuell. Mit Hilfe von topografischen Karten und Google Maps wurden Hochspannungsleitungen, Windparks, Eisenbahnschienen und teilweise größere Häuseransammlungen identifiziert und entsprechende Bereiche in den Daten gelöscht.

### 5.3.6. Statistische Niveaueinpassung

In den Messgebieten der Provinz Zeeland war die herkömmliche Niveaueinpassung (**Kapitel 5.3.2**) nicht ausreichend, da aufgrund der Überfliegung von Ortschaften, Hochspannungsleitungen, Windparks, Radarstationen und Wäldern barometrische Höhenänderungen und folglich auch spürbare Temperaturschwankungen auf das Messsystem und somit auf das Nullniveau einwirkten.

Die Nivellierung der HEM-Daten ist ein zweistufiger Prozess. Zunächst erfolgt die flächenhafte Niveaueinpassung auf Basis der Halbraumparameter, da die HEM-Daten nicht-linear von der Sensorhöhe abhängen und somit nicht direkt nivelliert werden können (Siemon, 2009). Die nivellierten Halbraumparameter werden dann genutzt, um die Niveaueinpassungen für die HEM-Daten abzuleiten.

Die flächenhafte Niveaueinpassung der logarithmierten Halbraumwiderstände ( $\log \rho_a$ ) und der scheinbaren Tiefen ( $d_a$ ) parallel zu den Messprofilen erfolgt über das *Microlevelling*. Dieses Verfahren verwendet die Gitter der Messprofilaten, in denen Niveauefehler durch die Anwendung eines Butterworth-Hochpassfilters (Filterlänge etwa drei- bis vierfacher Linienabstand) und eines direktionalen Kosinusfilters (betont Strukturen senkrecht zu den Linien) identifiziert werden. Das Ergebnis der Fil-

terung ist ein Fehlergitter, das durch Abtasten entlang der Messprofile die für die Korrektur benötigten Niveaufehlerwerte liefert. Die abgetasteten Fehlerwerte werden – ggf. nach Ausschluss von Extremwerten über die Vorgabe von Schwellwerten – mit einem Spline-Filter (Glätte 0,85–0,90, Spannung 0,5) stark geglättet und dann von den ursprünglichen Halbraumparametern abgezogen siehe (**Tabelle A-3-I**).

Die Halbraumparameter entlang der Kontrollprofile – wie auch entlang der Messprofile, die beim Microlevelling nicht verwendet wurden – werden nivelliert, indem diese auf die nivellierten Halbraumparameter der Messprofile bezogen werden. Hierzu werden die nivellierten Halbraumparameter entlang der Kontrollprofile aus den zugehörigen Gittern abgetastet und mit den vorhandenen Halbraumparametern verglichen. Die stark geglätteten Differenzen aus beiden werden schließlich von den Halbraumparametern der Kontrollprofile abgezogen. Vor der Glättung mit einem Spline-Filter (Glätte 0,80–0,90, Spannung 0,5) werden wieder Extremwerte ausgeschlossen.

Da bei diesem Verfahren aufgrund der lateralen Filterung der Halbraumparametergitter lokale Anomalien geglättet werden, was das gewünschte Ergebnis verfälschen kann, wird dieses Verfahren nur auf Halbraumparameter angewendet, bei denen zuvor die anthropogenen Effekte (wie in **Kapitel 5.3.5** beschrieben) entfernt worden sind. Verbliebene Verfälschungen, wie beispielweise parallel zu geogenen Strukturen, können im Nachhinein manuell markiert und aus den Fehlerwerten entfernt werden, bevor die finalen Gitter berechnet werden.

Im letzten Schritt (*I-Q-Levelling*) werden die Niveaurekturen für jedes Mess- und Kontrollprofil aus den stark geglätteten Differenzen ( $\Delta I = I - I_c$  und  $\Delta Q = Q - Q_c$ ) der originären, d. h. kalibrierten, aber ungefilterten HEM-Daten (I und Q) und den aus den nivellierten Halbraumparametern rückgerechneten HEM-Daten ( $I_c$  und  $Q_c$ ) abgeleitet (Siemon, 2009). Hierzu werden – nach Anwendung eines nicht-linearen Filters (50 Werte, Toleranz 10) – die Differenzen ausgewählt, bei denen das Rauschen ( $I_{\text{noise}}$  und  $Q_{\text{noise}}$ , rel. STF, siehe **Tabelle A-3-II**) der originären HEM-Daten klein genug ist, die Sensorhöhe kleiner als 80 m ist und keine markierten, anthropogen beeinflussten Bereiche vorliegen. Die verbliebenen Differenzen werden mit einem Spline-Filter (Glätte 0,85–0,90, Spannung 0,5) geglättet und von den originären HEM-Daten abgezogen. Dabei werden die zuvor gelöschten Bereiche mit den Modelldaten (wie in **Kapitel 5.3.7** beschrieben) wieder aufgefüllt. Die Modelldaten werden auch verwendet, wenn das Rauschen ( $I_{\text{noise}}$  und  $Q_{\text{noise}}$ ), das aus den korrigierten Daten ( $I_{\text{lev}}$  und  $Q_{\text{lev}}$ ) neu berechnet wird, zu hoch ist. Auch hier ist es möglich, Niveaurekturen, die nicht plausibel sind, zurückzunehmen, indem die Niveaurekturen ( $\Delta I$  und  $\Delta Q$ ) nicht angebracht oder die Lücken mittels Spline-Interpolation aufgefüllt werden. Eventuelle Sprünge in den niveaurektierten Daten ( $I_{\text{lev}}$  und  $Q_{\text{lev}}$ ) an den Rändern der interpolierten Bereiche werden abschließend durch Anwendung von schwachen nicht-linearen und Spline-Filtern geglättet (siehe **Tabelle A-3-II** und **Kapitel 5.3.7**).

Die Niveaueinstellung wurde in den zuerst bearbeiteten Messgebieten mit Oasis montaj, in allen anderen Gebieten mit HemView durchgeführt. Dabei waren aufgrund der unterschiedlichen Flugrichtungen und Linienabstände speziell angepasste Filterparameter notwendig. Die verwendeten Filterparameter sind in Konfigurationsdateien protokolliert und zusammengefasst in **Tabelle A-3** im **Anhang III** aufgelistet.

### 5.3.7. Dateninterpolation und -glättung

Die Lücken in den HEM-Daten, die durch die Eliminierung von Daten, deren relativen Rauschniveaus über einem Schwellwert lagen bzw. durch die Auswahl der anthropogen beeinflussten Bereiche entstanden sind, werden durch flächenhafte Interpolation der Halbraumparameter mit nachfolgender Neuberechnung der relativen Sekundärfelder (Modellamplituden) geschlossen. Abschließend werden die korrigierten Daten analog zu **Kapitel 5.3.3** gefiltert, aber mit modifizierten Filterparametern. Insbesondere werden die Daten nach Anwendung des nicht-linearen Filters (7–10 Werte, Toleranz 3) nicht mehr mit einem Tiefpass-Filter, sondern mit einem Spline-Filter (Glätte 0,55–0,70, Spannung 0,5) geglättet und gleichzeitig interpoliert. Es besteht hier auch die Möglichkeit, anstelle der Modellamplituden wahlweise die originären Daten (z. B. wenn in den Daten kleinräumige, geogen bedingte Anomalien während der Datenbearbeitung zu sehr abgeplattet worden sind) oder auch keine Werte einzusetzen, damit die Interpolation nur mittels Spline-Filter durchgeführt wird. Somit liegen als finale Daten, die in die Inversion (**Kapitel 5.3.9**) eingehen, korrigierte (nivellierte, interpolierte und geglättete) Messwerte an den Messpunkten für jede Messfrequenz vor.

In den Karten der scheinbaren spezifischen Widerstände und der Schwerpunktstiefen (siehe **Kapitel 5.3.10**) sind alle interpolierten Datenpunkte mit einem weißen Punkt markiert.

### 5.3.8. Datenfehler und Qualitätsparameter

Für die HEM-Daten kann kein Datenfehler, der auf einer statistischen Variation von Wiederholungsmessungen beruht, angegeben werden, da nur Einzelmessungen vorliegen. Um dennoch ein Maß für das Rauschen der Daten angeben zu können, wird der in **Kapitel 5.3.3** bzw. **Kapitel 5.3.6** verwendete relative Standardfehler (rel. STF) herangezogen. Nach Abschluss der Datenbearbeitung wird dieser über 30 benachbarte Werte, d. h. über eine Wegstrecke von etwa 120 m, aus den Differenzen der ungefilterten und gefilterten Niveaurekturen (siehe **Kapitel 5.3.6**) neu berechnet und auf die Modellamplituden ( $\geq 1$ ) normiert, jeweils für I und Q einer Messfrequenz.

Daten mit geringer Qualität liegen meist vor, wenn anthropogene Effekte bzw. externe Sender auf die Messungen einwirken oder die Sensorhöhen groß und somit die Messwerte klein sind. Diese Bereiche werden bei der Datenverarbeitung automatisch und/oder manuell markiert, eliminiert und ggf. anschließend interpoliert.

Ein Parameter für die Anzeige der Datenqualität (*Quality Control Parameter* – QCP) sollte daher nicht nur die interpolierten Bereiche, sondern auch das Datenrauschen und die Sensorhöhe berücksichtigen. Er ist definiert als

$$QCP = 1 - CHECK - STD - ALT \geq 0,$$

wobei: CHECK die interpolierten Bereiche anzeigt,  
STD das Gesamtdatenrauschen repräsentiert  
ALT große Höhen markiert.

Die drei Größen für die Bestimmung der Datenqualität sollten in einem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen. Daher sind sie definiert als:

CHECK = 0,04 pro Messfrequenz (ohne VCX-Daten, maximal 0,2),  
STD = Summe der rel. STF für jede I,Q-Komponente (in ‰, maximal 0,8),  
ALT = ((Sensorhöhe – 50)/150 ≥ 0), also 0 bei 50 m, 0,2 bei 80 m, 0,4 bei 110 m, usw.

Somit hat ein Gesamtdatenrauschen von 0,2 den gleichen Effekt wie die Interpolation der Daten aller (fünf) Messfrequenzen oder eine Sensorhöhe von 80 m. Bei hoher Datenqualität liegt QCP knapp unterhalb von 1, bei sehr schlechter bei 0.

Ferner kann für diesen dynamischen Qualitätsparameter ein Marker (QCPM) angegeben werden, indem QCPM nur dort einen diskreten Wert (= 1) besitzt, wo die Datenqualität so gering ist, dass von einer Interpretation dieser Daten abgesehen werden sollte. Die Berechnung dieses Markers ist zweistufig: Zunächst werden alle Bereiche ausgewählt mit  $QCP \leq 0,5$ . Diese werden aber nur beibehalten, wenn sie in einem Intervall von 100 Werten überwiegen. So wird verhindert, dass kleine Lücken (< 200 m), die gut zu interpolieren sind, bzw. Bereiche mit nur wenig brauchbaren Daten bestehen bleiben. QCP und QCPM können als Zusatzinformationen den HEM-Produkten (**Kapitel 5.3.10**) beigefügt werden.

### 5.3.9. 1D-Inversion der HEM-Daten

Die prozessierten HEM-Daten zu allen Messfrequenzen werden in die Parameter eines geschichteten Halbraums, spezifischer Widerstand und Mächtigkeit jeder Modellschicht, invertiert. Da der hier verwendete Inversionsalgorithmus (Sengpiel & Siemon, 2000) auf dem Marquardt-Verfahren beruht, ist ein Startmodell notwendig. Dieses Startmodell wird automatisch aus den  $\rho_a(z^*)$ -Sondierungskurven für jeden Messpunkt neu berechnet. Das Startmodell kann eine frequenzunabhängige Anzahl von Schichten besitzen. Hierzu wird die interpolierte Sondierungskurve in mit der Tiefe zunehmenden Schichtmächtigkeiten unterteilt und die zugehörigen spezifischen Widerstände in der jeweiligen Schichtmitte aus der Sondierungskurve abgegriffen (Siemon, 2006). Wahlweise kann eine schlecht leitende Deckschicht hinzugefügt werden, deren Mächtigkeit sich aus der scheinbaren Tiefe  $d_a$  der höchsten Messfrequenz und ggf. zusätzlich einer vorzugebenden Luftschichtmächtigkeit ergibt, mindestens aber 0,5 m beträgt. Im Inversionsprozess wird das Startmodell solange iterativ verbessert, indem für jedes neue Modell synthetische Daten (Modelldaten) berechnet (wie in **Kapitel 5.3.4** beschrieben), mit den Messdaten verglichen und daraus die Modellverbesserungen abgeleitet werden, bis ein vorgegebenes Abbruchkriterium erfüllt ist. Dies ist erreicht, wenn die differenzielle Verbesserung der Anpassung der Modelldaten an die Messdaten weniger als z. B. 5% beträgt.

Für die Inversion der HEM-Daten in den Messgebieten der Provinz Zeeland wurden nivellierte Daten (siehe **Kapitel 5.3.6**) und ein Startmodell mit 20 Schichten mit zur Tiefe hin ansteigenden Mächtigkeiten inklusive einer variabel mächtigen Deckschicht verwendet. Bei der Inversion auf der Basis von vielen Schichten, bei der die Schichtmächtigkeiten (bis auf die Deckschichtmächtigkeit) festgehalten werden, erscheinen die Modelle in vertikale Richtung geglättet. Der Grad der Glättung ist einstellbar durch die Stärke der Regularisierung. Da die Daten der dritten Messfrequenz (5.410 Hz) mit einem vertikal-koaxialen Spulensystem erfasst werden, das empfindlich gegenüber steil stehenden Leitfähigkeitsstrukturen (aber auch gegenüber externen Quellen) ist, während alle anderen horizontal-koplanare Systeme verwenden, die empfindlich für die lateralen Leitfähigkeitsstrukturen sind, wurden diese Daten für die Inversion nicht benutzt.

### 5.3.10. Präsentation der HEM-Ergebnisse

Die HEM-Ergebnisse werden als Karten (siehe **Anhang VII**) und Vertikalschnitte (nur digital auf DVD) präsentiert. Karten (siehe **Kapitel 6**) im Maßstab von 1:100.000 wurden für die Halbraumparameter scheinbarer spezifischer Widerstand  $\rho_a$  (in  $\Omega\text{m}$ ) und Schwerpunkstiefe  $z^*$  (in m unter GOK) für sechs Messfrequenzen produziert. Ferner wurden Tiefenschnitte erstellt, die die spezifischen Widerstände  $\rho$  (in  $\Omega\text{m}$ ) in zehn Tiefen (1–40 m unter NAP), abgeleitet aus den 1D-Inversionsmodellen mit 20 Schichten, darstellen.

In den Tiefenschnitten ab 30 m unter NAP treten in Bereichen hoher Leitfähigkeit Lücken in den Widerstandskarten auf, da dort aufgrund der geringen Eindringtiefe der elektromagnetischen Felder keine verlässlichen Informationen über die spezifischen Widerstände abgeleitet werden konnten. Ferner treten bei 1 m unter NAP auch größere Lücken auf, da die Geländehöhe insbesondere im Norden der Provinz Zeeland unter Meeresniveau liegen kann.

In allen Karten können Lücken in der Nähe von Städten und Industrieanlagen auftreten. Die Daten wurden in diesen anthropogen beeinflussten Bereichen gelöscht. Die entstandenen Lücken können aufgrund ihrer Größe nicht vernünftig durch flächenhafte Interpolation geschlossen werden und verbleiben somit in den Karten.

Die für die Produktion der Karten der Halbraumparameter verwendeten Datenpunkte sind als schwarze Punkte dargestellt. Die weißen Punkte markieren Bereiche, in denen die Daten interpoliert worden sind.

In den Tiefenschnitten werden nicht nur die interpolierten Bereiche markiert, die für die einzelnen Messfrequenzen auch unterschiedlich sein können, sondern stattdessen ein Qualitätskontrollparameter (QCP, siehe **Kapitel 5.3.8**) dargestellt. Für die Markierung von Bereichen mit niedriger Datenqualität werden in den Tiefenschnitten auf den schwarzen Messpunkten wieder weiße Punkte gedruckt, die mit abnehmender Datenqualität größer werden.

Die Qualitätskontrollparameter QCP und QCPM (siehe **Kapitel 5.3.8**) sind auch auf einer separaten Karte dargestellt.

Für die Kartenproduktion sind die Daten der jeweiligen Messgebiete in drei Datenbanken Süd (160-164 plus 136), Mitte (169-174) und Nord (165-168 plus 135) zusammengefasst worden, um gemeinsame Gitter für die drei Teilgebiete erstellen zu können.

Vertikalsektionen des spezifischen Widerstandes mit einem Horizontalmaßstab von 1:25.000 und einem Vertikalmaßstab von 1:1.000 wurden basierend auf den 1D-Inversionsergebnissen von jedem der 865 Messprofile und der 219 Kontrollprofile hergestellt. Diese Vertikalsektionen sind aufgebaut aus den einzelnen Modellen mit 20 Schichten des spezifischen Widerstandes, die als Farbsäulen entsprechend ihrer topografischen Höhe längs eines Profils nebeneinandergestellt werden. Die Mächtigkeit der untersten Schicht (Substratum) wird mit konstanter Mächtigkeit von 5 m dargestellt. Über den Modellen sind zusätzlich die Höhe der Flugsonde, der Qualitätskontrollparameter QCP, der Anpassungsfehler der Inversion und die Messdaten abgebildet, die in einer Legende erklärt werden. Die 1D-Inversionsmodelle weisen in den Bereichen, wo der Marker des QCP existiert (QCPM = 1), Lücken auf. Denn dort ist per Definition des QCP die Datenqualität so gering, dass von einer Interpretation dieser Daten abgesehen werden sollte.



## 5.4. Datenverarbeitung in der Magnetik

Die Magnetikdaten werden nach Hardwarefilterung mit 10 Hz registriert. Dabei entsteht eine zeitliche Verzögerung von 2,3 s, die vor der Weiterverarbeitung korrigiert wird. Die Verarbeitung der HMG-Daten erfolgte mit den korrigierten Positionsdaten (siehe **Kapitel 5.2.1** und **5.2.4**). Die Längen der einzelnen Profile entsprechen den für die Auswertung der Hubschrauberelektromagnetik festgelegten optimalen Bereichen. Auch die Daten aus 2009 der Gebiete 135 Schouwen (Siemon et al., 2011b) und 136 Perkpolder (Siemon et al., 2011c) wurden neu prozessiert.

### 5.4.1. Magnetisches Totalfeld

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

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

- mit  $F(r)$  = magnetisches Hauptfeld (IGRF),  
 $\Delta T(r)$  = anomaler, lokaler Anteil des erdmagnetischen Feldes im Messgebiet,  
 $\Delta V(t)$  = Tagesvariation des erdmagnetischen Feldes während der Messung,  
 $\delta(r,t)$  = sonstige Anteile (z. B. magnetisches Eigenfeld des Hubschraubers).

Gesucht werden die Anomalien des magnetischen Totalfeldes  $\Delta T(r)$ . Während das magnetische Hauptfeld  $F(r)$ , das anhand von Tabellenwerten berechnet werden kann, und die Tagesvariationen  $\Delta V(t)$ , die in der Regel mit der Bodenstation registriert werden, von der gemessenen Totalintensität subtrahiert werden können, sind die sonstigen Anteile  $\delta(r,t)$  nicht isoliert zu erfassen.

### 5.4.2. Berechnung des IGRF

Für die Bestimmung der Anomalien der Totalintensität des erdmagnetischen Feldes ( $\Delta T$ ) 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-11 aus dem Jahr 2010 (IAGA, 2010) diente zur Berechnung des magnetischen Hauptfeldes an jedem Messpunkt zur entsprechenden Messzeit.

### 5.4.3. Berücksichtigung der Tagesvariationen

Die Referenzstation zur Erfassung der magnetischen Tagesvariationen  $\Delta V(t)$  befand sich auf dem Flughafen Midden Zeeland (EHMZ).  $\Delta V(t)$  ergibt sich aus dem Messwert der Bodenstation abzüglich des IGRF-Feldes am Ort der Bodenstation und zum Zeitpunkt der Messung.

Etwa 1 km südlich der Bodenstation verläuft eine, wie in den Niederlanden üblich, mit Gleichstrom betriebene Bahnlinie. Die starken wechselnden Stromflüsse durch die Oberleitungen hatten einen störenden Einfluss auf die Magnetfeldaufzeichnungen der Basisstation. Die Amplituden der Störungen lagen im Mittel bei  $\pm 25$  nT und machten die Aufzeichnungen nahezu unbrauchbar. Durch die Anwendung eines starken Tiefpassfilters oder die Verwendung des linearen Trends konnten die Aufzeichnungen dennoch für die Auswertungen befriedigend verwendet werden. Die Ergebnisse besitzen jedoch nicht die mit dem System üblicherweise erreichbare Qualität.

#### 5.4.4. Statistische Niveauanpassung

Nach Abzug des Hauptfeldes und der Tagesvariationen von den gemessenen magnetischen Werten erfolgt eine statistische Niveauanpassung. Dazu werden die Differenzen zwischen den magnetischen Anomalien der Mess- und Kontrollprofile an den Kreuzungspunkten berechnet und flugweise gemittelt (*Tieline-Levelling*). Die Differenzen werden dabei aus Gittern (*Grids*) der von anthropogenen Einflüssen befreiten (s. u.) Daten der Mess- und Kontrollprofile ermittelt. Die gemittelten Werte definieren die Niveauunterschiede zwischen den Flügen und stellen somit die Korrekturwerte für die statistische Niveauanpassung dar. Abweichungen im Niveau der Daten können immer dann auftreten, wenn sich während der Kampagne Änderungen in der Konfiguration der Sensoren von der Bodenstation oder der Flugsonde ergeben haben.

Verbleibende Niveauunterschiede können, abhängig von der Flugrichtung, von dem Eigenfeld des Hubschraubers (*heading error*) sowie hier durch die nur unzureichende Korrektur des Tagesganges (siehe **Kapitel 5.4.3**) hervorgerufen werden. Diese Unterschiede verringern sich durch das nachfolgende *Microlevelling* deutlich. Das *Microlevelling* basiert auf dem Gitter der Messprofilaten, in welchem Niveaufehler durch die Anwendung eines Butterworth-Hochpass-Filters (Grenzwellenlänge 1800 m, Ordnung 8 bei Gebieten mit 200 m oder 300 m Linienabstand, bzw. Grenzwellenlänge 1000 m bei Gebieten mit 100 m Linienabstand) und eines direktionalen Kosinus-Filters (jeweils in Linienrichtung, Grad 1 bei Gebieten mit 200 m oder 300 m Linienabstand, bzw. Grad 6 bei Gebieten mit 100 m Linienabstand) identifiziert werden. Das Ergebnis der Filterung ist ein Fehlergitter, welches durch Abtasten entlang der Messprofile die für die Korrektur benötigten Fehlerwerte liefert. Diese werden wiederum mit einem Spline-Filter (Glättung 0,9, Spannung 1) geglättet und dann von den bis dahin nur mittels des Tieline-Levellings korrigierten Daten abgezogen. Das daraus resultierende  $\Delta T$ -Gitter weist kaum noch Niveaufehler auf. Abschließend erfolgt auch die Berechnung der Abweichungen der Kontrollprofilaten von den aus dem niveaueingeglichen Gitter entlang der Kontrollprofile abgetasteten Daten. Diese Fehlerwerte werden ebenfalls mit einem Spline-Filter (Glättung 0,8, Spannung 1) geglättet und dann von den Kontrollprofilaten abgezogen.

In (teilweise) besiedelten Gebieten dominieren in den Karten der magnetischen Anomalien oft die durch anthropogene Quellen hervorgerufenen Effekte. Diese starken Signale wirken sich störend auf das Levelling und die Identifizierung schwacher geogener Anomalien aus. Daher wird vor dem Tieline- und dem *Microlevelling* jeweils ein automatischer Prozess zur Eliminierung starker, kleinräumiger Anomalien im  $\Delta T$ -Gitter angewendet. Zur Lokalisierung der zu löschenden Bereiche wird das analytische Signal von  $\Delta T$  auf Gitterebene berechnet. Hierin zeigen sich kleinräumige Störungen besonders deutlich und können durch die Anwendung eines einfachen Schwellwertes identifiziert werden. Die Messpunkte, an denen der Schwellenwert des analytischen Signals überschritten wird, sind in dem resultierenden Gitter nicht mehr enthalten. In diesen Filterprozess kann bei Bedarf manuell eingegriffen werden. Das so erzeugte Gitter ist weitgehend von anthropogenen Einflüssen befreit und dient als Basis für das Tieline- und *Microlevelling*. Bereiche, die durch die Filterung entfernt wurden, können während des *Microlevellings* wieder eingefügt werden, indem dort die aus den umliegenden Bereichen interpolierten Fehlerwerte verwendet werden. Das aus den niveaueingeglichen Daten erzeugte Gitter enthält jedoch noch einige schwächere anthropogene Störanteile.



Bei einer Zusammenschau der in den drei Teilgebieten angrenzenden bzw. überlappenden  $\Delta T$ -Karten wurden geringe Niveauunterschiede zwischen den Einzelgebieten sichtbar. Die Ursache hierfür liegt in der stark gestörten Basisstation, deren Daten nur eingeschränkt als absolute Referenz verwendet werden konnten. Bei den Gebieten 135 und 136 aus 2009 befand sich die Basisstation an einem anderen Ort als bei Messungen aus 2014-15. Die Niveauunterschiede ließen sich leicht empirisch ermitteln, indem die mittlere Differenz überlappender Gitterbereiche bestimmt wurde. Die Niveaukorrekturen (**Tabelle 16**) wurden jeweils additiv an die  $\Delta T$ -Daten der jeweiligen Gebiete angebracht.

**Tabelle 16:** *Niveauekorrekturen für die  $\Delta T$ -Daten*

Nr.	Messgebiet	Teilgebiet	Niveauekorrektur [nT]
135	Schouwen	Nord	-17,2
136	Perkpolder	Süd	-19,1
160	Terneuzen	Süd	0,0
161	Waterdunen	Süd	-0,2
162	Zeeuws-Vlaanderen	Süd	0,0
163	Zeeuws-Vlaanderen-East	Süd	-8,1
164	Hedwigepolder	Süd	-6,9
165	Dunes-Schouwen	Nord	-5,4
166	Duiveland	Nord	0,0
167	Tholen	Nord	0,0
168	Eendracht	Nord	-1,2
169	Walcheren	Mitte	5,9
170	Beveland	Mitte	0,0
171	Beveland-East	Mitte	5,7
172	Waterfarm	Mitte	6,2
173	Oost-Souburg	Mitte	0,0
174	Kreek-Terug	Mitte	0,6

#### 5.4.5. Präsentation der Magnetikergebnisse

Die Kartendarstellungen der Magnetfeldanomalien sind in **Kapitel 6** beschrieben. Es sind zwei Karten produziert worden, einmal mit anthropogenen Effekten und einmal ohne. Die für die Produktion der Karten verwendeten Datenpunkte sind als schwarze Linien (Fluglinien) dargestellt. Die weißen Punkte markieren Bereiche, in denen die Daten interpoliert worden sind. Für die Kartenproduktion sind alle Daten in eine gemeinsame Datenbank zusammengefasst worden, um gemeinsame Gitter erstellen zu können.

## 5.5. 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 (2003) sind die mit dem Gammastrahlenspektrometer im Hubschrauber gemessenen Zählraten in Gehalte von K, U und Th für das obere Erdreich umzurechnen. Die Radioisotope U und Th emittieren selbst keine Gammastrahlung. Um deren Gehalte abschätzen zu können, wird mit dem Spektrometer die Gammastrahlung ihrer radioaktiven Tochterprodukte Bismut-214 (Uran) und Thallium-208 (Thorium) gemessen. Da diese Abschätzung unter der Annahme erfolgt, dass zwischen den Elementen U bzw. Th und deren Tochterprodukten ein Gleichgewicht vorhanden ist, werden die berechneten Gehalte als Äquivalentgehalte von Uran (eU) und Thorium (eTh) bezeichnet. Für die Ermittlung der Gehalte aus den Rohzählraten ist eine Reihe von Arbeiten zur Kalibrierung des Spektrometers sowie in der Datenverarbeitung erforderlich:

- Bestimmung der Hintergrundzählraten durch Flüge über ausgedehnten Wasserflächen;
- Bestimmung von Einstreuraten zur Korrektur der Compton-Streuung mit Hilfe von Kalibrierkörpern;
- Bestimmung von Absorptionskoeffizienten und Detektorempfindlichkeiten mit Hilfe von Flügen über einer Kalibrierstrecke;
- Bestimmung der Reaktion des Detektors auf atmosphärisches Radon;
- Bestimmung von Vegetationsabschwächungskoeffizienten.

Einzelheiten zu den durchgeführten Kalibrierungen sind in den jeweiligen Kapiteln der Datenverarbeitung beschrieben.

Die Datenverarbeitung umfasst folgende Schritte:

- Bestimmung der Höhe des Detektors über Grund und der effektiven Höhe;
- Bestimmung der Höhe des Bewuchses (Wald);
- Festlegung von Profilabgrenzungen zur Unterteilung der Flüge in Profile;
- Energiekalibrierung;
- Verminderung des Rauschens;
- Korrektur der Hintergrundstrahlung;
- Bestimmung und Korrektur des Einflusses atmosphärischen Radons;
- Korrektur der Compton-Streuung;
- Reduktion auf Standardflughöhe;
- Berechnung der Radioelementgehalte und der Dosisleistung am Boden;
- Filterung und Korrektur von Niveaufehlern in den Daten (falls erforderlich);
- Korrektur der Abschwächung durch Biomasse (falls vorhanden);
- Herstellung von thematischen Karten und Datenexport im ASCII-Format.

Die Datenverarbeitung wird unter Verwendung der Programme Oasis montaj von Geosoft und Hrd-View (Eigenentwicklung) durchgeführt. Auch die Daten aus 2009 der Gebiete 135 Schouwen (Siemon et al., 2011b) und 136 Perkpolder (Siemon et al., 2011c) wurden neu prozessiert.

### 5.5.1. Energiekalibrierung

Da die automatische Verstärkungsstabilisierung von Gammaskpektrometern infolge von Temperaturveränderungen nicht immer optimal funktioniert, kann die Energie-Kanal-Zuordnung während eines Fluges leicht driften. Es wird daher nachträglich eine Energiekalibrierung der aufgezeichneten Spektren durchgeführt. Dazu wird für jeden Messpunkt ein mittleres Spektrum einer großen Zahl benachbarter Spektren berechnet. Im mittleren Spektrum werden jeweils die Kanalpositionen der Zentren der Kalium- und Thoriumspitzen bestimmt. Danach wird die Kanalzuordnung sämtlicher Spektren so modifiziert, dass die Zentren der Spitzen (*peaks*) genau auf den durch IAEA vorgegebenen Sollwerten (Tabelle 7) liegen.

### 5.5.2. Verminderung des Rauschens

Aufgrund des relativ großen Abstandes zwischen den Quellen der radioaktiven Strahlung an der Erdoberfläche und dem Strahlungsdetektor im Hubschrauber sind die Zählraten in der Aerogammaskpektrometrie allgemein gering. Dies führt dazu, dass die aufgenommenen Gammaskpektren, und damit auch die daraus ermittelten Radionuklidgehalte, 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 der Spektren mit vermindertem Rauschen. „*Noise Adjusted*“ bedeutet, dass die Spektren zunächst einer kanalspezifischen, varianzabhängigen Skalierung unterzogen werden, damit eine gleichmäßige Wichtung über das gesamte betrachtete Spektrum vorherrscht. Die Grundlage für diese Skalierung bildet ein *a priori*-Modell des Rauschens, welches die Varianz für jeden Kanal liefert. Durch das Zusammenführen der skalierten Spektren entsteht eine Matrix, für die anschließend eine Singulärwertzerlegung (*singular value decomposition*) erfolgt. Die dabei ermittelten Hauptkomponenten werden entsprechend der Größe des Eigenwertes, d. h. entsprechend der Stärke ihres Einflusses auf die Kurvenform der skalierten Spektren, sortiert. Da das Nutzsignal zwischen den Kanälen für Uran, Thorium und Kalium korreliert, basieren die Hauptkomponenten geringer Ordnung in erster Linie auf den geogenen Daten und sind damit maßgeblich für die Kurvenform der Spektren verantwortlich. Die unkorrelierten Signale des statistischen Rauschens spiegeln sich dagegen gleichmäßig in allen Hauptkomponenten wider. Um das Rauschen zu minimieren, werden für die Rekonstruktion der Spektren nur die Hauptkomponenten verwendet, die die Nutzsignale enthalten. Die Rekonstruktion erfolgt demnach durch die Linearkombination der ersten sieben Hauptkomponenten. Als Ergebnis erhält man geglättete Spektren, aus denen die Zählraten der drei interessierenden Energiefenster (siehe Tabelle 7) neu bestimmt werden.

Während dieses Verarbeitungsschrittes erfolgt auch eine Begrenzung auf eine maximale Flughöhe: Alle Daten, die bei einer Flughöhe über Grund von mehr als 120 m aufgenommen wurden, werden auf Grund ihrer geringen Signalstärke und damit verbundenem starken Rauschen verworfen.

### 5.5.3. Effektive Höhe

Für die Anwendung der Datenanalysetechniken der Radiometrie ist es notwendig, die gemessenen Daten an Standardbedingungen (STP, *Standard Temperature and Pressure*) anzupassen. Dazu gehört

die Umrechnung der Detektorhöhe über der Erdoberfläche in eine effektive Höhe, die für die Standardtemperatur und den Standardluftdruck gilt, da beide Größen die Dichte und damit die Dämpfung der Gammastrahlung durch die Luft beeinflussen. Die Höhenkorrektur wird nach den Empfehlungen der IAEA (2003) mit folgender Formel durchgeführt:

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

mit:

$h_e$  = effektive Höhe des Spektrometers über der Erdoberfläche unter STP-Bedingungen (m),

$h_r$  = Höhe des Spektrometers über der Erdoberfläche (m),

$T_0$  = 273,15 K, Gefrierpunkt des Wassers auf Kelvin-Skala,

$T$  = Lufttemperatur (°C),

$P_0$  = 101,325 kPa; mittlerer Luftdruck der Atmosphäre auf Meereshöhe,

$P$  = im Hubschrauber gemessener Luftdruck (kPa).

Der Luftdruck wird üblicherweise mit einem Sensor im HeliDAS-System gemessen und aufgezeichnet. Dieser war zur Zeit der Messungen nicht betriebsbereit. Als Luftdruckwerte wurden daher die frei verfügbaren Tagesmittel der Wetterstation Westdorpe des Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) verwendet. Die Lufttemperatur wird zu Beginn und Ende des Fluges am Boden an einem im Hubschrauber eingebautes Außenthermometer abgelesen und notiert.

#### 5.5.4. Registrierzeitkorrektur

Hintergrund für die Registrierzeitkorrektur ist die kurze Zeitspanne, in welcher das Spektrometer einen Impuls verarbeitet. Währenddessen werden alle weiteren eingehenden Impulse zurückgewiesen. Die während des Fluges aufgezeichneten Registrierzeiten (*live time*) sind gerade die Zeitspannen, in denen das Spektrometer innerhalb einer Sekunde empfangsbereit war. Der Einfluss dieser verkürzten Registrierzeiten ist in der Regel sehr klein, kann aber in Gebieten mit hoher Radioaktivität bedeutend sein. Im Rahmen der Registrierzeitkorrektur werden die gemessenen Zählraten entsprechend den Empfehlungen der IAEA (2003) auf den Messzyklus von einer Sekunde hochgerechnet:

$$N_R = n_R \cdot 10^3 / t_L$$

mit:

$N_R$  = korrigierte Zählrate,

$n_R$  = registrierte Zählrate,

$t_L$  = aktive Registrierzeit (live time, in ms).

Bei dem verwendeten Spektrometer ist die Registrierzeitkorrektur auf Grund der sehr hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit des Gerätes praktisch ohne Bedeutung.

#### 5.5.5. 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 m und 3500 m über ausgedehnten Wasserflächen ermittelt. Die Berechnung der Korrekturwerte basiert auf dem linearen Zusammenhang zwischen der Zählrate im Höhenstrahlungskanal und der Zählrate für die Hintergrundstrahlung:

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

mit:

- $N_c$  = Zählrate der kosmischen und vom Messsystem ausgehenden Hintergrundstrahlung für jeden Messkanal,
- $a$  = Zählrate der Hintergrundstrahlung des Hubschraubers inklusive des Messsystems für jeden Messkanal,
- $b$  = kosmische Einstreuung für jeden Messkanal,
- $C_H$  = Zählrate im Höhenstrahlungskanal.

Zur Bestimmung der Werte  $a$  und  $b$  wurden im Mai 2015 Messflüge in verschiedenen Höhen über der Nordsee durchgeführt (**Tabelle 17**). Mit diesen Messdaten erfolgte die Berechnung der Korrekturgrößen mittels linearer Regression der gegen die Zählraten der kosmischen Strahlung aufgetragenen Zählraten der Kanäle K, U, U-UP (nach oben gerichteter Kristall), Th und TC (Gesamtstrahlung).

**Tabelle 17:** *Korrekturfaktoren der Hintergrundstrahlung*  
(Werte in Klammern gelten für die Gebiete 135 und 136)

Kanal	Messsystem a [cps]	kosmische Einstreuung b
TC	51,40 (31,09)	1,0437 (0,7224)
K	6,59 (5,51)	0,0619 (0,0405)
U	1,20 (0,48)	0,0509 (0,0326)
Th	0,02 (0,33)	0,0649 (0,0412)
U_UP	0,32 (0,00)	0,0133 (0,0090)

### 5.5.6. Radonkorrektur

Die Erdatmosphäre enthält stets einen gewissen Anteil an dem radioaktiven Edelgas Radon. Die Quellen des Radons liegen in den Gesteinen des Erdmantels und der Erdkruste. Von den obersten Bodenschichten diffundiert das Gas in die Atmosphäre. Der Gehalt an Radon in der Luft ist starken Schwankungen unterworfen und ist unter anderem beeinflusst durch Topografie, Luftdruckschwankungen und andere meteorologische Faktoren wie z. B. Niederschlag.

Das stabilste Radonisotop ist Rn-222 mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen. In der Zerfallsreihe von Rn-222 befindet sich auch das Isotop Bi-214 als signifikanter Gammastrahler. Die Gammastrahlung von Bi-214 wird in der Aeroradiometrie zur Bestimmung von Uran verwendet. Bei vorhandenem Radon werden also auch immer die Zählraten für Uran beeinflusst und verfälscht. Ebenso werden die Zählrate im Energiefenster von Kalium und die Gesamtzählrate durch Radon beeinflusst.

Eine Korrektur des Radoneinflusses auf die gemessenen Zählraten wird erreicht durch die Verwendung eines Detektors, der vorwiegend die von oben eintreffende Strahlung misst. Dieser Detektor-kristall ist weitgehend gegen die von unten eintreffende Strahlung abgeschirmt, empfängt also nur einen geringen Anteil der Strahlung, die vom Erdboden herrührt. Änderungen in den Zählraten des nach oben gerichteten Detektors im Energiebereich von Bi-214 („Uranfenster“) sind daher hauptsächlich – aber nicht ausschließlich – auf Variationen im Radongehalt der Luft zurückzuführen.

Die Korrektur des Radoneinflusses mit Hilfe eines nach oben gerichteten Detektors ist in IAEA (1991) beschrieben. In **Tabelle 18** sind die dafür verwendeten Konstanten aufgelistet. Die berechnete Radonkomponente  $U_R$  ist naturgemäß sehr starken statistischen Schwankungen von Messpunkt zu Messpunkt unterworfen. Unter der Annahme, dass sich während des Zeitraumes eines Fluges (etwa 2 Stunden) der mittlere atmosphärische Radongehalt im Messgebiet nicht wesentlich ändert, wird für die Anbringung der Radonkorrektur jeweils das arithmetische Mittel der Radonkomponente des betreffenden Fluges verwendet. Weitere Erläuterungen zu der angewendeten Radonkorrektur sind in Ibs-von Seht et al. (2015) zu finden.

**Tabelle 18:** Konstanten für die Radonkorrektur

Konstante	Wert
$a_{TC}$	19,0
$a_K$	1,10
$a_U$	0,35
$a_{Th}$	0,30
$a_1$	0,034
$a_2$	0,042

### 5.5.7. Compton-Streuung

Der Compton-Effekt beschreibt die Wechselwirkung von Gammaquanten mit Elektronen der äußeren Atomschale beim Durchgang durch Materie. Ein Teil der Energie der Gammaquanten wird auf diese so genannten Compton-Elektronen übertragen und die Gammaquanten selbst werden gestreut. Praktisch hat dies zur Folge, dass ein bestimmter Anteil z. B. von der ursprünglichen Thoriumstrahlung in den niedrigeren Energiebereichen des Uran- und Kaliumfensters enthalten ist. Ebenso streuen Urananteile in den Kaliumkanal. Der umgekehrte Effekt, d. h. die Einstreuung in höhere Energiekanäle, existiert auch, ist aber deutlich geringer. Die Koeffizienten der Einstreuraten (*stripping ratios*) wurden dem Datenblatt des RS 500 RSX-5 entnommen (**Tabelle 19**) und entsprechend den Empfehlungen der IAEA (2003) auf die Messwerte angewendet.

**Tabelle 19:** *Koeffizienten der Einstreuratzen*  
(Werte in Klammern gelten für die Gebiete 135 und 136)

Einstreuung	Koeffizient
$\alpha$ (Th $\rightarrow$ U)	0,270 (0,249)
$\beta$ (Th $\rightarrow$ K)	0,400 (0,385)
$\gamma$ (U $\rightarrow$ K)	0,772 (0,660)
a (U $\rightarrow$ Th)	0,052 (0,040)

Die Einstreuratzen steigen mit der Entfernung des Detektors von der radioaktiven Quelle an und müssen daher laut IAEA (2003) mit den effektiven Höhen  $h_e$  des Hubschraubers über der Erdoberfläche unter Standardbedingungen (in m) nach folgenden Formeln korrigiert werden:

$$\begin{aligned}\alpha_e &= \alpha + 0,00049 \cdot h_e \\ \beta_e &= \beta + 0,00065 \cdot h_e \\ \gamma_e &= \gamma + 0,00069 \cdot h_e\end{aligned}$$

Um die bezüglich der Einstreuratzen korrigierten Zählraten  $N_{Th(corr)}$ ,  $N_{U(corr)}$  und  $N_{K(corr)}$  zu erhalten, muss der eingestreute Anteil von den gemessenen und hinsichtlich der Hintergrundstrahlung unter Standardbedingungen bereits korrigierten Nettozählraten  $N_{Th}$ ,  $N_K$  und  $N_U$  abgezogen werden:

$$\begin{aligned}N_{Th(corr)} &= (N_{Th} - aN_U) / (1 - a\alpha_e) \\ N_{U(corr)} &= (N_U - \alpha_e N_{Th}) / (1 - a\alpha_e) \\ N_{K(corr)} &= N_K - \beta_e N_{Th(corr)} - \gamma_e N_{U(corr)}\end{aligned}$$

Für die Gesamtstrahlung wird keine Korrektur der Compton-Streuung durchgeführt (IAEA, 2003).

### 5.5.8. Zählraten in Standardflughöhe

Die Intensität der vom Boden stammenden Gammastrahlung verringert sich mit der Höhe über der Erdoberfläche durch die Absorption in der Luft. Die Absorption hängt hauptsächlich von der Dichte und der Feuchtigkeit der Luft ab. Die energiespezifischen Absorptionskoeffizienten  $\mu$  wurden mit Hilfe von Kalibrierflügen in unterschiedlichen Höhen über einer Eichstrecke in Allentsteig, Österreich, im Juni 2015 bestimmt. Die hinsichtlich der Hintergrundstrahlung und der Compton-Streuung korrigierten Daten lieferten durch Auftragen über die Messhöhe und anschließende exponentielle Regression die Absorptionskoeffizienten für jeden Kanal (**Tabelle 20**).

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

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

mit:

- $\mu$  = Absorptionskoeffizient für das jeweilige spektrale Fenster,
- $N_m$  = Zählraten  $N_{Th(corr)}$ ,  $N_{U(corr)}$ ,  $N_{K(corr)}$  und  $N_{c,TC}$  bei effektiver Höhe  $h_e$ ,
- $N_s$  = korrigierte Zählrate bezogen auf die Standardhöhe  $h_0$ .



**Tabelle 20:** Absorptionskoeffizienten für Standardbedingungen  
(Werte in Klammern gelten für die Gebiete 135 und 136)

Spektralfenster	Absorptionskoeffizienten $\mu$ (in 1/m)
TC	0,00983 (0,00759)
K	0,01255 (0,00890)
U	0,00667 (0,00902)
Th	0,00982 (0,00693)

### 5.5.9. Radioelementgehalte und Dosisleistung

Die IAEA (2003) empfiehlt die Umrechnung der Zählraten der drei Gammastrahler in die Äquivalentgehalte der beiden Radioelemente Uran (eU, in ppm) und Thorium (eTh, in ppm) und in den Gehalt des Radioelementes Kalium (in %) in den oberflächennahen Bodenschichten sowie die Angabe von Dosisleistungen (*exposure rate*). Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse von Messungen mit verschiedenen Instrumenten (z. B. mit unterschiedlichem Kristallvolumen) untereinander vergleichbar sind. Für die Berechnung der Gehalte ist die Division der auf die Standardhöhe angepassten Zählraten durch die spezifischen Sensitivitäten durchzuführen:

$$C = N_s / S$$

mit:

C = Gehalte der Elemente im Boden (K in %, eU in ppm, eTh in ppm),

N<sub>s</sub> = korrigierte Zählraten im jeweiligen Energiefenster,

S = Sensitivität der Strahlungsquelle im Energiefenster.

Die Sensitivitäten des Spektrometers (**Tabelle 21**) wurden mit den Daten von Kalibrierflügen über einer Eichstrecke in Allentsteig, Österreich, im Juni 2015 bestimmt. Die so bestimmten Gehalte beziehen sich auf eine unendlich ausgedehnte, gleichmäßig strahlende Ebene. Sie können sich somit von den wahren Gehalten der Elemente im Boden, insbesondere durch den Einfluss der Bodenfeuchte oder wenn die strahlenden Flächen unregelmäßig verteilt sind, unterscheiden.

**Tabelle 21:** Sensitivitäten (Werte in Klammern gelten für die Gebiete 135 und 136)

Radioelement	Sensitivität
Kalium	24,50 (32,45) cps / % K
Uran	3,60 (3,58) cps / ppm eU
Thorium	1,78 (2,31) cps / ppm eTh

Fehler in den errechneten Radionuklidgehalten ergeben sich auch in Gebieten, wo eine Vegetationsbedeckung (meist in Form von Bäumen in bewaldeten Bereichen) einen Teil der vom Boden stammenden



den Strahlung absorbiert. Diese Abschwächung der Radiometriesignale macht sich vor allem in Gebieten mit größeren, zusammenhängenden Waldflächen bemerkbar. Die Waldbedeckung in den Messgebieten in Zeeland ist äußerst gering, es wurde daher keine Korrektur des Vegetationseinflusses vorgenommen. +

Die Dosisleistungen können aus den Gehalten der im Boden vorhandenen radioaktiven Elemente berechnet werden. Dazu sind die mit den Dosisleistungskonstanten gewichteten Gehalte von Uran, Thorium und Kalium zu summieren. Für die Dosisleistung  $E$  am Erdboden (in  $\mu\text{R/h}$ ) ergibt sich folgender Zusammenhang:

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

mit:

$$1 \% K = 1,505 \mu\text{R/h},$$

$$1 \text{ ppm } eU = 0,653 \mu\text{R/h},$$

$$1 \text{ ppm } eTh = 0,287 \mu\text{R/h}.$$

#### **5.5.10. Filterung und statistische Niveaueinpassung**

Die ermittelten Radioelementgehalte und die Gesamtzählraten werden nach Abschluss der hier beschriebenen Bearbeitungsschritte flächig in Form von farbkodierten Karten (*Gitterdaten, Grids*) dargestellt. Diese Art der Darstellung erlaubt es, die Intensität des statistischen Rauschens der Daten im Verhältnis zu geologisch bedingten Anomalien in den Daten visuell abzuschätzen. Außerdem werden etwaige Niveauunterschiede zwischen den Daten einzelner Profillinien sichtbar. Niveauunterschiede können immer dann auftreten, wenn sich während der Kampagne Änderungen in den Umweltbedingungen (z. B. Bodenfeuchte, Luftfeuchtigkeit) ergeben haben.

Die so kontrollierten Messdaten zeigten in den meisten Gebieten mit Ausnahme von 136, 161, 162 und 163 keine auffälligen Niveauunterschiede zwischen den Messprofilen. Das statistische Rauschen war im Verhältnis zu den sichtbaren, geologisch bedingten Anomalien ebenfalls relativ gering. Zur Verringerung des Rauschens und der Niveauunterschiede werden zwei weitere Bearbeitungsschritte durchgeführt: Anwendung eines Tiefpass-Filters auf die Daten nach Berechnung der Radionuklidgehalte im Boden und anschließend (nur bei den oben genannten Gebieten) Niveaueinpassung durch Tieline-Levelling. Der Tiefpass-Filter schwächt Variationen in den Daten ab, deren Wellenlänge kürzer als die Filterbreite ist. Dadurch wird hochfrequentes Datenrauschen vermindert. Die Breite des Filters betrug drei Werte entsprechend etwa 120 m, bei Uran fünf Werte entsprechend etwa 200 m.

Für das Tieline-Levelling werden die Quotienten der Messwerte der Mess- und Kontrollprofile an den Kreuzungspunkten berechnet und flugweise gemittelt. Die Quotienten werden dabei aus Gittern (*Grids*) der Mess- und Kontrolldaten ermittelt. Die gemittelten Werte definieren die Niveauunterschiede zwischen den Flügen und stellen somit die Korrekturwerte für die statistische Niveaueinpassung dar.

Die Messdaten der Gebiete 135 und 136 wurden mit einem älteren Gammaskpektrometer aufgenommen unter Verwendung von Parametern einer älteren Kalibrierung prozessiert. Im Vergleich mit den neueren Gebieten fielen dabei Niveauunterschiede in den Ergebniskarten auf, welche sich empirisch

durch Vergleich überlappender Bereiche bestimmen ließen. Die ermittelten Korrekturfaktoren (**Tabelle 22**) wurden auf die Ergebnisdaten der beiden betroffenen Messgebiete angewendet.

**Tabelle 22:** Korrekturfaktoren für die Gebiete 135 und 136

Element	Korrekturfaktor
K	0,96
U	0.76
Th	0.94
TC	0.86

### 5.5.11. Präsentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der radiometrischen Messungen werden in Form von Karten der Gesamtstrahlung sowie der Äquivalentgehalte der Radioelemente Uran und Thorium, des Gehaltes des Radioelementes Kalium und der Dosisleistung am Erdboden dargestellt (siehe **Kapitel 6**). Weiterhin wurde eine Karte mit ternärer Darstellung der Radioelementgehalte angefertigt. Die Verteilung der Elemente K, eU und eTh ist hierin in den Farben blaugrün (*cyan*), gelb (*yellow*) und violett (*magenta*) kodiert dargestellt, wobei helle Farben bei niedrigen und dunkle bei hohen Gehalten auftreten. Die für die Produktion der Karten verwendeten Datenpunkte sind als schwarze Punkte in den Karten implementiert. Bei fehlenden Daten werden weiße Punkte verwendet. Für die Kartenproduktion sind alle Daten in eine gemeinsame Datenbank zusammengefasst worden, um gemeinsame Gitter erstellen zu können.

## 6. Kartografische Arbeiten

### 6.1. Topografische Karte 1:100.000

Als Hintergrund zur Darstellung der aerogeophysikalischen Messergebnisse für die gesamte Provinz Zeeland wurde eine topografische Karte mit Sonderblattschnitt auf Grundlage von Rasterdaten der TOP100raster-Kartenblätter (Kadaster, 2016) hergestellt. Zur Abdeckung des Messgebietes ergab sich ein Blatt mit der Ausdehnung von je 65 km × 65 km. **Tabelle 23** enthält die Eckpunktkoordinaten des Blattes im ETRS89-Koordinatensystem für die UTM-Zone 31N.

**Tabelle 23:** *Eckpunktkoordinaten des Blattschnittes Zeeland*

Karteneckpunkt	UTM-Koordinaten	
	Rechtswert	Hochwert
NW	525000	5735000
NO	590000	5735000
SW	525000	5670000
SO	590000	5670000

Folgende TOP100NL-Rasterdaten im Maßstab 1:100.000 wurden verwendet: TOP100raster-22-2016, TOP100raster-23-2016, TOP100raster-24-2015-2016, TOP100raster-28-2016 und TOP100raster-29-2016. Digital wurde dazu ein Kartenrahmen mit UTM-Eckpunktkoordinaten im 6°-Meridian-Streifen-system mit 3° als Mittelmeridian (Zone 31N), basierend auf dem GRS80-Ellipsoid, und ergänzen-den geografischen Koordinaten erstellt. Die TOP100NL-Rasterdaten enthalten auch das nationale Koordinatensystem der Niederlande Rijksdriehoeksgrid (RD) als Koordinatenraster.

### 6.2. Kartenherstellung mit Geosoft- und GIS-Software

Für die Herstellung der geophysikalisch-thematischen Karten und der ihnen zugrunde liegenden Gitter wird das Softwarepaket Oasis montaj 7.3 von Geosoft verwendet. **Tabelle 24** zeigt die Gitterparameter, die für das Gesamtmessgebiet Zeeland verwendet wurden. Für jeden Ergebnisparameter werden farbkodierte Karten auf Grundlage der in **Kapitel 6.1** beschriebenen topografischen Karten hergestellt. Des Weiteren sind die Fluglinien als Datenpunkte ebenfalls auf den Ergebniskarten enthalten. Die Zusammenstellung von Geophysik, Topografie und Legendeninformationen erfolgt mit dem Programm ArcGIS 10.2 von ESRI. Hierfür wurde u. a. das Geosoft Plug-in für ArcGIS verwendet, um die Geosoft-Daten importieren zu können. Die Erstellung von PDF-Dokumenten wird mit Adobe Acrobat vorgenommen.

**Tabelle 24:** Gitterparameter

Parameter	Wert
Methode zur Flächeninterpolation	minimale Krümmung
Gitterzellengröße [m]	50
Interpolationsbereich [m]	700
Suchradius [m]	800
Zellen außerhalb der Datenpunkte	5
Log-Option	linear, (außer: $\log \rho$ , $\log \rho_a$ , $\log z^*$ )

### 6.3. Ergebniskarten

Für das Gesamtmessgebiet Zeeland wurden 31 geophysikalische Ergebniskarten sowie ein digitales Höhenmodell (DEM) jeweils mit unterlegter Topografie im Maßstab 1:100.000 hergestellt (siehe Kartenverzeichnis und **Anhang IV**). Alle Karten sind mit einer ausführlichen Legende versehen, die Auskunft über das Messgebiet, die Kartengrundlagen, die Skalierung, den dargestellten Parameter und die beteiligten Institutionen und Personen gibt.

Ferner wurde im Maßstab 1:100.000 eine Fluglinienkarte produziert, die die Lage der Messprofile auf der Grundlage der topografischen Karten zeigt. Die Fluglinien sind mit Liniennummern versehen, die am Anfang eines Profils in Fluglinienrichtung geplottet sind. Die Positionen der Zeitmarken sind durch kurze Querstriche „|“ gekennzeichnet, d. h. jede 100. Zeitmarke. Jede 500. Zeitmarke ist mit der dazugehörigen Zeitmarkennummer (Record) in Fluglinienrichtung beschriftet. Die Fluglinienkarten gestatten eine schnelle Zuordnung der Daten von Profilen und Vertikalsektionen zur Position im Messgebiet.

## 7. Archivierung

Alle Daten wurden auf DVD gespeichert und im Fachbereich „B2.1 – Geophysikalische Erkundung – Technische Mineralogie“ archiviert. Darüber hinaus sind die Ergebnisdaten als ASCII-kodierte Profildaten im Geosoft-xyz-Format und die Endergebnisse (Bericht, Karten und Vertikalsektionen) als PDF-Dokumente im Originalmaßstab auf der DVD (**Tabelle 24** und **Anhang III**) als **Anlage** zu diesem Bericht abgelegt. Für die Darstellung in ArcGIS-Projekten wurden die Daten als Grids im ArcGIS GRID-FLOAT-Format (\*.flt) beigefügt.

**Tabelle 24:** Inhalt der DVD; gebietsspezifische Dateien sind unter der Gebietsnummer <Nr.> abgelegt

Verzeichnis		Inhaltsbeschreibung
\Bericht		Technischer Bericht (PDF)
\Daten\<<Nr.>...	\HEM	ASCII-Datei der Rohdaten (HEM<Nr.>_RAW.xyz) ASCII-Datei der bearbeiteten Daten (HEM<Nr.>_DAT.xyz) ASCII-Datei der abgeleiteten Parameter (HEM<Nr.>_APP.xyz) ASCII-Datei der Ergebnisse nach 1D-Inversion (HEM<Nr.>_INV.xyz) ASCII-Datei der Qualitätskontrollparameter (HEM<Nr.>_QCP.xyz)
	\HMG	ASCII-Datei der magnetischen Totalintensität, der Anomalien des magnetischen Feldes, der Bodenstationsdaten etc. (HMG<Nr.>_.xyz)
	\HRD	ASCII-Datei der Gehalte bzw. Äquivalentgehalte für die Radioelemente Kalium, Uran und Thorium sowie für die Gesamtstrahlung und die Dosisleistung etc. (HRD<Nr.>_.xyz)
\Karten...	\ArcGIS	Grids im ArcGIS GRIDFLOAT-Format (*.flt)
	\Fluglinien	PDF-Karte 1:100.000 des Flugweges mit Topografie
	\DEM	PDF-Karte 1:100.000 des Digitalen Höhenmodells
	\HEM	PDF-Karten 1:100.000 der Halbraumwiderstände und Schwerpunktstiefen für die Frequenzen 380, 1.770, 5.410, 8.300, 41.000 und 129.500 Hz sowie der spezifischen Widerstände bei 1, 2, 3, 4, 6, 10, 15, 20, 30 und 40 m unter NAP
	\HMG	PDF-Karten 1:100.000 der Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes in nT mit und ohne anthropogene Effekte
	\HRD	PDF-Karten 1:100.000 der Gesamtstrahlung, der Gehalte bzw. Äquivalentgehalte für die Radioelemente Kalium, Uran und Thorium sowie für die Dosisleistung am Boden
\VRS\VRS<Nr.>		PDF-Vertikalschnitte des spezifischen Widerstandes basierend auf 1D-Inversionsergebnissen mit sechs bzw. 20 Schichten für jedes Messprofil im Horizontalmaßstab 1:25.000 und Vertikalmaßstab 1:1.000

## 8. Referenzen

### 8.1. Literatur

- Anderson, W.L., 1989. A hybrid fast Hankel transform algorithm for electromagnetic modelling. *Geophysics* 54, 263–266.
- Dabekaussen, W., Gunnink, J.L., van Baaren, E., Delsman, J., Karaoulis, M., Pauw, P. & Siemon, B., 2016. 3D mapping of groundwater salinity; combining helicopter-borne electromagnetic measurements with a stochastic geological model. *GeoENV 2016 - 11th International Conference on Geostatistics for Environmental Application*, 6.-8.7.2016, Lisboa, Portugal.
- de Louw, P.G.B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J., van Baaren, E.S. & Oude Essink, G.H.P., 2011. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrology Earth System Sciences*, 15, 3659–3678, doi: [10.5194/hess-15-3659-2011](https://doi.org/10.5194/hess-15-3659-2011).
- Gunnink, J.L., Dabekaussen, W., van Baaren, E., Delsman, J., Karaoulis, M., Pauw, P. & Siemon, B., 2016. 3D distribution of groundwater salinity as derived from helicopter-borne electromagnetic measurements and a stochastic geological model. *Geostats2016 – 10th International Geostatistical Congress*, 5.-9.9.2016, Valencia, Espania.
- 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, 1991. *Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying*. International Atomic Energy Agency. Technical Reports Series 323, Vienna.
- IAEA, 2003. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1363AEA, Vienna.
- IAGA, 1992: *International Geomagnetic Reference Field, 1991 Revision*. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Division V, Working Group 8: Analysis of the main field and secular variation. *Geophys. J. Int.*, 108, 945–946.
- IAGA, 2010: *International Geomagnetic Reference Field: the 11th generation*. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Working Group V-MOD.  
<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>
- Ibs-von Seht, M., Petersen, H., Siemon, B. & Pielawa, J., 2015. *Technischer Bericht Hubschrauber-geophysik Radiometrie-Befliegungen im Projekt: Bodenparameter aus Aerodaten, Teil 2: 157 Dedelow, 158 Kraatz, November 2014*. Technischer Bericht, Archiv-Nr. 0133330, Hannover.
- Kadaster, 2016. *TOP100raster*. The Netherlands’ Cadastre, Land Registry and Mapping Agency (Kadaster) (<http://www.kadaster.nl/web/artikel/productartikel/TOPraster.htm>).
- Johansen, H.K. & Sørensen, K., 1979. The fast Hankel transform. *Geophysical Prospecting* 27, 876–901.

- 
- Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C. & Factor, J.K., 2012. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), Volume 117, Issue B4.
- Sengpiel, K.-P. & Siemon, B., 2000. Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration. *Geophysics*, 65, 1983–1992, doi:10.1190/1.1444882.
- Siemon, B., 2001. Improved and new resistivity-depth profiles for helicopter electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 46, 65–76, doi: 10.1016/S0926-9851(00)00040-9.
- Siemon, B., 2006. Electromagnetic methods – frequency domain: Airborne techniques. In: Kirsch, R. (ed.), *Groundwater Geophysics – A Tool for Hydrogeology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 155–170.
- Siemon, B. 2009. Levelling of frequency-domain helicopter-borne electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 67 (3), 206–218, doi: 10.1016/j.jappgeo.2007.11.001.
- 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.
- Siemon, B., Christiansen, A.V. & Auken, E., 2009. A review of helicopter-borne electromagnetic methods for groundwater exploration. *Near Surface Geophysics*, 7, 629-646, doi: 10.3997/1873-0604.2009043.
- Siemon, B., Costabel, S., Voß, W., Meyer, U., Deus, N., Elbracht, J., Günther, T. & Wiederhold, H., 2015. Airborne and ground geophysical mapping of coastal clays in Eastern Friesland, Germany. *Geophysics*, 80 (3), WB21-WB34, doi: 10.1190/GEO2014-0102.1.
- Siemon, B., Pielawa, J., Petersen, H., Voß, W., Balzer, H.-U. & Plath, C., 2014. Zwischenbericht Hubschrauber-geophysik – Befliegung Zeeland, Teil 1: 160 Terneuzen, 161 Waterdunen, 162 Zeeuws-Vlaanderen, 163 Zeeuws-Vlaanderen-East, Oktober 2014. BGR-Bericht, Archiv-Nr. 0132295, Hannover.
- Siemon, B., Pielawa, J., Petersen, H., Voß, W., Balzer, H.-U. & Plath, C., 2015a. Zwischenbericht Hubschrauber-geophysik – Befliegung Zeeland, Teil 2: 163 Zeeuws-Vlaanderen-East, 164 Hedwigepolder, 165 Dunes-Schouwen, 166 Duiveland, 167 Tholen, 168 Eendracht, März 2015. BGR-Bericht, Archiv-Nr. 0131585, Hannover.
- Siemon, B., Pielawa, J., Petersen, H., Voß, W., Balzer, H.-U. & Plath, C., 2015b. Zwischenbericht Hubschrauber-geophysik – Befliegung Zeeland, Teil 3: 163 Zeeuws-Vlaanderen-East, 165 Dunes-Schouwen, 169 Walcheren, 170 Beveland, 171 Beveland-East, 172 Waterfarm, 173 Oost-Souburg, 174 Kreek-Terug, August/September 2015. BGR-Bericht, Archiv-Nr. 0133100, Hannover.
- Siemon, B., Steuer, A., Ullmann, A., Vasterling, M. & Voß, W. 2011a. Application of frequency-domain helicopter-borne electromagnetics for groundwater exploration in urban areas. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, 1373–1385, doi: 10.1016/j.pce.2011.02.006.
- Siemon, B., Ullmann, A., Mitreiter, I., Ibs-von Seht, M., Voß, W. & Pielawa, J., 2011b. Airborne geophysical investigations of CLIWAT pilot areas – Survey area Schouwen, The Netherlands,



2009. Technical Report, Interreg IVB Project: CLIWAT – Adaptive and sustainable water management and protection of society and nature in an extreme climate, BGR Archiv-Nr. 0129932, Hannover.
- Siemon, B., Ullmann, A., Mitreiter, I., Ibs-von Seht, M., Voß, W. & Pielawa, J., 2011c. Airborne geophysical investigations of CLIWAT pilot areas – Survey area Perkpolder, The Netherlands, 2009. Technical Report, Interreg IVB Project: CLIWAT – Adaptive and sustainable water management and protection of society and nature in an extreme climate, BGR Archiv-Nr. 0130011, Hannover.
- Siemon, B., van Baaren, E., Dabekaussen, W., Delsman, J., Gunnink, J., Karaoulis, M., de Louw, P., Oude Essink, G., Pauw, P., Steuer, A. & Meyer, U., 2017. FRESHEM – Fresh-saline groundwater distribution in Zeeland (NL) derived from airborne EM. EGU General Assembly, 23.-28.4.2017, Vienna, Austria, submitted to HS8.2.5/EGU2017-4781.
- Siemon, B., van Baaren, E., Dabekaussen, W., Delsman, J., Gunnink, J., Karaoulis, M., de Louw, P., Oude Essink, G., Pauw, P. & Steuer, A., 2016. HEM survey in Zeeland (NL) to delineate the 3D groundwater salinity distribution – Pilot study: Terneuzen-Gent Canal Zone. Program of 24th Salt Water Intrusion Meeting and 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4.-8.7.2016, Cairns, Queensland, Australia, 9-12.
- van Baaren, E., Delsman, J., Pauw, P., Karaoulis, M., Dabekaussen, W., Gunnink, J. & Siemon, B., 2015. FRESHEM Kanaalzone Gent-Terneuzen: 3D zoet-brak-zout kartering van het grondwater. Deltares Report 1209220-000-BGS-0023, Utrecht.
- van Baaren, E., Oude Essink, G., Deelsman, J., Pauw, P., Karaoulis, M., de Louw, P., Siemon, B., Steuer, A., Dabekaussen, W. & Gunnink, J., 2016. FRESHEM: characterization of the fresh-saline groundwater distribution in the Province of Zeeland, The Netherlands. Program of 24th Salt Water Intrusion Meeting and 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4.-8.7.2016, Cairns, Queensland, Australia, 168-171.
- Ward, S.H. & Hohmann, G.W., 1988. Electromagnetic theory for geophysical applications. In Nabighian M.N. (Eds.) Electromagnetic methods in applied geophysics Vol. 1, Theory. Society of Exploration Geophysics, IG no 3, Tulsa, 130–310.
- Weidelt, P., 1991, Introduction into electromagnetic sounding. Lecture manuscript. Technical University of Braunschweig, Germany.

## 8.2. Internetverknüpfungen

Ergebnisse: [http://www.arcgis.com/apps/webappviewer/](http://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f91742fc9a114b6e925dbb330c2eb98c)

[index.html?id=f91742fc9a114b6e925dbb330c2eb98c](http://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f91742fc9a114b6e925dbb330c2eb98c)

Provincie Zeeland: <https://www.zeeland.nl/water/zoet-water/zoet-zoutverdeling-zeeuwse-ondergrond>

Scheldestromen: <https://scheldestromen.nl/zoetzout>

AHN: <http://www.ahn.nl/index.html>

Kadaster: <https://www.kadaster.nl/>

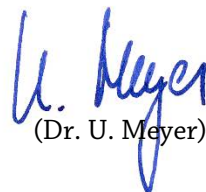
**BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE**

**BGR, HANNOVER**




(Dr. T. Himmelsbach)

Leiter der Abteilung  
„Grundwasser und Boden“



(Dr. U. Meyer)

Leiter des Fachbereichs  
„Geophysikalische Erkundung –  
Technische Mineralogie“



(Dr. B. Siemon)

Leiter des Arbeitsbereichs  
„Aerogeophysik und  
Luftfahrttechnischer Betrieb“



## Anhang I

### Befliegungsdaten zu den Messgebieten in der Provinz Zeeland

<b>Basis:</b>	Flughafen Midden Zeeland (EHMZ)	Flugplatzhöhe: 5,5 ft/1,8 m
<b>Bodenstation:</b>	3,7232° östliche Länge,	51,5126° nördliche Breite
<b>Messgebiet:</b>		
<b>Profilabstand:</b>	Messprofile: 100 / 300 m	Kontrollprofile: 1000 / 2000 m
<b>Profilrichtung:</b>	Messprofile: variabel	Kontrollprofile: variabel
<b>Profile (Plan):</b>	Messprofile: 770	Kontrollprofile: 100
<b>Profilkilometer (Plan):</b>	Messprofile: ca. 5837 km	Kontrollprofile: 2306 km
<b>Größe der Messgebiete:</b>	ca. 1600 km <sup>2</sup>	

#### Allgemeine Anmerkungen:

- 1) HeliDAS-Konsole: SYS14
- 2) GPS-Heli: Tailboom
- 3) Bird: BKS60
- 4) Magnetometer: kurze Ausfälle, besonders in Kurven
- 5) Spektrometer: kurze Ausfälle
- 6) Barometer: Rosemount nicht aktiv, HeliDAS (KPA) nicht in Ordnung
- 7) Radarhöhenmesser: nur für Flugführung
- 8) Videokamera: nur für Flugführung
- 9) Flugtabellen: angepasst auf aktuelle Profilnummern der Auswertung  
(und daher u. U. abweichend von den Tabellen in den Zwischenberichten)
- 10) Weitere Messungen: Gebiete 135 Schouwen und 136 Perkpolder (Siemon et al., 2011b,c).

**Tabelle A-1a:** Flugprotokoll für das Messgebiet 160 Terneuzen (Profilnummern: +200)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16001	17.10.14	Registrierzeit 10:44 – 11:44  Flugzeit 10:36 – 13:15	L211.1 T226.9 T221.9 T217.9 T218.9 T224.9 L212.1 L214.1 T219.9 T222.9	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00001</b>  EM5 Sprünge ca. 20000, 32120 EM6 Sprünge ca. 11910, 20000, 32130 EM1-Ausfall bei 32430 Abbruch, HeliDAS neu gestartet  Luftdruck Hubschrauber: 1013 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16002	17.10.14	Registrierzeit 10:48 – 13:18  Flugzeit 10:36 – 13:15	T225.9 L215.1 L218.1 T223.9 T228.9 L217.1 L221.1 L220.1 L223.1 L224.1 L227.1 L226.1	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Fortsetzung des vorhergehenden Fluges EM5 Sprung ca. 30850 EM6 Sprung ca. 30800  Wetter: sonnig, leicht bewölkt schwacher Wind (2-3 bft), 15°C  Luftdruck Hubschrauber: 1013 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16003	17.10.14	Registrierzeit 14:22 – 16:11  Flugzeit 14:16 – 16:10	L229.1 L229.2 L230.1 L233.1 L232.1 L235.1 L236.1 T203.9 T209.9 L239.1 T213.9 T211.9 T230.9 T215.9 T205.9 T207.9 L235.2 T201.9	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00003</b>  EM6 Sprung ca. 27100  Wetter: sonnig, leicht bewölkt schwacher Wind (2-3 bft), 15°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)

16201	14.10.14		T6.9 T7.9	Siehe 16201
16202	15.10.14		L112.1 L109.1 L106.1 L103.1 T100.7 L100.1	Siehe 16202
16204	15.10.14		L110.1 L107.1 L104.1 L101.1 L101.2	Siehe 16204
16205	16.10.14		L111.1 L108.1 L105.1 L102.1 L99.1	Siehe 16205

Anmerkungen:

- 1) Ein Messflug musste aufgrund externer Störungen, die einen Neustart von HeliDAS erforderlich machten, während des Fluges unterteilt werden (16001 / 16002).
- 2) Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur (Städte, Kanal, Schiffe mit Radar) mussten etliche Messprofile und fast alle Kontrollprofile auf Sicht geflogen werden.
- 3) Die Messprofile aus 162 wurden nicht an die Profilnummern aus 160 angepasst. Daher entsprechen die Linien aus 162 (L99.1, L100.1, ..., L112.1) den Linie aus 160 (L201.1, L204.1, ..., L240.1).
- 4) Die Messprofile aus 162 wurden z. T. gekürzt bzw. geteilt.
- 5) Die Kontrollprofile wurden während der Auswertung neu sortiert und nummeriert.



**Tabelle A-1b:** Flugprotokoll für das Messgebiet 161 Waterdunen (Profilnummern: +300)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16101	23.10.14	Registrierzeit 07:25 – 10:00  Flugzeit 09:22 – 10:00	L348.1 L347.1 L344.1 L345.1 L342.1 L341.1 L338.1 L339.1 L336.1 L335.1 L332.1 L333.1 L330.1 L329.1 L327.1 L324.1 L323.1 L320.1 L321.1 L318.1 L317.1 L314.1 L315.1 L312.1 T301.9 T302.9 T303.9	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b>  Spektrometerausfall bei 1130-6660, 26820-31690, 51840-54120 und 74270-74960  T301-3.9 frei geflogene Kontrollprofile  Wetter: wolkig, kaum Wind, 11°C  Luftdruck Hubschrauber: 1023 mbar (Start), ? mbar (Landung)  Fortsetzung in 16213
16102	18.10.14		L343.1 L334.1 L325.1 L316.1	Siehe 16208
16103	20.10.14		L346.1 L337.1 L328.1 L319.1	Siehe 16209
16104	20.10.14		L349.1 L340.1 L331.1 L322.1 L313.1	Siehe 16210

Anmerkungen:

- 1) Jedes dritte Messprofil stammt aus 162 (16208-10). Begrenzungen wurden an 172 angepasst.
- 2) Umrechnung:  $L(161) = 3 \cdot L(163) - 74 + 300$ .

**Tabelle A-1c:** Flugprotokoll für das Messgebiet 162 Zeeuws-Vlaanderen

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16201	14.10.14	Registrierzeit 09:30 – 12:02  Flugzeit 09:23 – 12:05	T1.9 T2.9 T3.9 T4.9 T5.9 T6.9 T7.9 T8.9 T9.9	<b>Kontrollprofilflug SYS34_FLT00001</b>  EM4 leicht verdreht EM5 Amplitude zu groß EM6 Amplitude zu groß Spektrometerausfall bei 45350-46470 und ab 87440 T8/9 nur im Westen geflogen Wetter: bewölkt, leichter Regen, starker Wind (5-6 bft), 13°C  Luftdruck Hubschrauber: 1005 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16202	15.10.14	Registrierzeit 08:40 – 11:20  Flugzeit 08:35 – 11:21	L121.1 L118.1 L115.1 L112.1 L109.1 L106.1 L103.1 T100.7 L100.1 L97.1 L94.1 L91.1 L88.1 L85.1 L82.1 L79.1 L76.1 L73.1 L70.1	<b>Messprofilflug SYS34_FLT00002</b>  EM4-Ausfall bei 23810-24450 EM5-Sprünge bei 49920, 58140-58220 EM6-Sprünge bei 41100, 49880, 58030, 69850 Wetter: bewölkt, sonnig, schwacher Wind (2-3 bft), 13-15°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)
16204	15.10.14	Registrierzeit 13:10 – 14:49  Flugzeit 13:01 – 14:55	L119.1 L116.1 L113.1 L110.1 L107.1 L104.1 L101.1 L98.1	<b>Messprofilflug SYS34_FLT00004</b>  Neustart HeliDAS (kein SYS34_FLT00003) EMn-Sprünge bei 50270 EM6-Sprünge bei 29520, 29760 und 69760 Mag erst bei 6280 eingeschaltet Wetter: bewölkt, sonnig, schwacher Wind (2-3 bft), 15-17°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)

16205	16.10.14	<p>Registrierzeit 07:23 – 10:00</p> <p>Flugzeit 07:18 – 10:00</p>	<p>L117.1 L114.1 L114.2 L111.1 L108.1 L105.1 L102.1 L99.1 L96.1 L93.1 L90.1 L87.1 L84.1 L81.1 L78.1 L75.1 L72.1 L69.1 L66.1 L63.1 L60.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS34_FLT00005</b></p> <p>EM4-Ausfall bei 12970-133400 Wetter: bewölkt, teilweise sonnig, böiger Wind (4-5 bft), 13-15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1002 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16206	16.10.14	<p>Registrierzeit 11:59 – 12:17</p> <p>Flugzeit 11:47 – 12:31</p>	<p>L95.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS34_FLT00006</b></p> <p>Abbruch nach erstem Profil wegen elektrostatischer Aufladungen Wetter: bewölkt, teilweise sonnig, böiger Wind (4-5 bft), 15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1004 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16207	18.10.14	<p>Registrierzeit 07:40 – 08:58</p> <p>Flugzeit 07:35 – 09:22</p>	<p>L92.1 L89.1 L86.1 L83.1 L80.1 L77.1 L74.1 L71.1 L68.1 L65.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b></p> <p>Mit HeliDAS-Konsole SYS14 statt SYS34 wegen Fehler bei Ansteuerung PFFL3 EM1-Ausfall ab 44870 EM4-Ausfall bei 42390-42440 EM5 Phase und Amplitude verstellt Abbruch nach L65, da EM5-Kalibrierung defekt Wetter: sonnig, teilweise bewölkt, kaum Wind (1-2 bft), 17°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>

16208	18.10.14	<p>Registrierzeit 12:00 – 14:25</p> <p>Flugzeit 11:55 – 14:23</p>	<p>L57.1 L54.1 L51.1 L48.1 L45.1 L42.1 L39.1 L36.1 L33.1 L30.1 L27.1 L24.1 L21.1 L18.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00003</b></p> <p>Autocal manuell durchgeführt</p> <p>Wetter: sonnig, kaum Wind (1-2 bft), 22°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16209	20.10.14	<p>Registrierzeit 07:21 – 09:56</p> <p>Flugzeit 07:18 – 09:55</p>	<p>L67.1 L64.1 L61.1 T6.8 L58.1 L55.1 L52.1 L49.1 L46.1 L43.1 L40.1 L37.1 L34.1 L31.1 L28.1 L25.1 L22.1 L19.1 L16.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00004</b></p> <p>Spektrometerausfall bei 7910-10810, 30000-31960, 51190-53260 und 72440-74800</p> <p>Wetter: Bewölkt, teilweise sonnig, stark windig (5 bft), 15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1017 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>

16210	20.10.14	<p>Registrierzeit 11:07 – 13:43</p> <p>Flugzeit 11:04 – 13:43</p>	<p>L62.1 L59.1 L56.1 L53.1 L40.1 L47.1 L44.1 L41.1 L38.1 L35.1 L32.1 L29.1 L26.1 L23.1 L20.1 L17.1 L14.1 T0.9</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00005</b></p> <p>EM4-Ausfall bei 23910-24310 Spektrometerausfall bei 13210-14100, 34210-34900, 55060-56280 und 76430-80200</p> <p>Wetter: Bewölkt, teilweise sonnig, stark windig (5 bft), 15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1017 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16211	22.10.14	<p>Registrierzeit 08:51 – 11:17</p> <p>Flugzeit 08:40 – 11:19</p>	<p>L15.1 L12.1 L9.1 L6.1 L3.1 L13.1 L10.1 L7.1 L1.1 L11.1 L8.1 L5.1 L2.1 T6.8</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00007</b></p> <p>Wetter: wolkig, starker Wind, böig, 11°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1016 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16212	22.10.14		L120.1	Siehe 16301
16213	23.10.14		L4.1 T8.8	Siehe 16101

**Tabelle A-1d:** Flugprotokoll für das Messgebiet 163 Zeeuws-Vlaanderen-East (Profilnummern: +400)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16301	22.10.14	Registrierzeit 13:11 – 15:19  Flugzeit 12:59 – 15:20	L411.1 L410.1 L409.1 L408.1 L407.1 L406.1 L405.1 L404.1 L403.1 L402.1 L401.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Neustart von HeliDAS notwendig  Wetter: bewölkt, starker Wind (5 bft)  Luftdruck Hubschrauber: 1024 mbar (Start), ? mbar (Landung)  Fortsetzung in 16212
16302	23.10.14	Registrierzeit 11:12 – 12:45  Flugzeit 11:08 – 12:45	L413.1 L414.1 L415.1 L416.1 L417.1 L418.1 L419.1 L420.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00003</b>  Abbruch wegen Störung auf EM1  Wetter: bewölkt, wenig Wind, 14°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)
16303	10.03.14	09:46 – 12:08	T402.9 T403.9	Siehe 16401
16304	17.03.15	Registrierzeit 08:27 – 10:56  Flugzeit 08:22 – 10:56	L421.1 L424.1 L427.1 L430.1 L433.1 L436.1 L439.1 L442.1 L445.1 L448.1 L451.1 L454.1 L457.1 L460.1 L463.1 L462.1 L459.1 L456.1 L453.1 L450.1 L447.1 L444.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00004</b>  EM4: starke Drift  Wetter: sonnig, wenig Wind, 10°C  Luftdruck Hubschrauber: 1024 mbar (Start), ? mbar (Landung)



16305	17.03.15	Registrierzeit 12:27 – 15:02  Flugzeit 12:21 – 15:02	L441.1 L438.1 L435.1 L432.1 L429.1 L426.1 L423.1 L422.1 L425.1 L428.1 L431.1 L434.1 L437.1 L440.1 L443.1 L449.1 L449.1 L452.1 L455.1 L458.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00005</b>  EM1: zeitweiser Ausfall ab 67000, danach verdreht  Wetter: sonnig, wenig Wind, 11°C  Luftdruck Hubschrauber: 1022 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16306	31.08.15		L461.1 L464.1 L465.1 L466.1 T405.9 L412.1 T404.9 T407.9 T408.9 T406.9 T401.9	Siehe 17102

**Tabelle A-1e:** Flugprotokoll für das Messgebiet 164 Hedwigepolder (Profilnummern: +500)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16401	10.03.15	Registrierzeit 09:46 – 12:08  Flugzeit 10:38 – 13:10	L501.1 L504.1 L507.1 L510.1 L513.1 L516.1 L503.1 L506.1 L509.1 L512.1 L515.1 L518.1 L517.1 L514.1 L511.1 L508.1 L505.1 L502.1	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00006</b>  EM6-Sprünge bei 54140 Spektrometerausfall bei 12120–14010, 34150–35500, 55640–56270 und 76410–77310  Wetter: leicht bewölkt, sonnig, schwacher Wind (2 bft), 10°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), 1030 mbar (Landung)  Fortsetzung von / in 16303

**Tabelle A-1f:** Flugprotokoll für das Messgebiet 165 Dunes-Schouwen (Profilnummern: +100)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16501	10.03.15	Registrierzeit 13:54 – 15:59  Flugzeit 13:50 – 15:59	T101.8 L101.1 L104.1 L107.2 L107.1 L110.1 L113.1 L116.1 L119.1 L122.1 L103.1 L106.1 L109.1 L112.1 L115.1 L118.1 L121.1 L102.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b>  EM5: Sprünge bei 44410 EM6: Sprünge bei 44280-44380  Wetter: leicht bewölkt, sonnig, schwacher Wind (3 bft), 8°C  Luftdruck Hubschrauber: 1032 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16502	11.03.15	Registrierzeit 10:40 – 13:09  Flugzeit 10:37 – 13:10	T101.7 L105.1 L108.1 L108.2 T101.6 L111.1 L114.1 L117.1 L120.1 L123.1 L126.1 L129.1 L132.1 L135.1 L130.1 L133.1 L134.1 L131.1 T102.9 T105.9 T108.9 T111.9 T104.9 T107.9 T110.9 T103.9 T106.9	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Wetter: leichter Nebel, sonnig, schwacher Wind (3 bft), 4°C  Luftdruck Hubschrauber: 1033 mbar (Start), ? mbar (Landung)

16503	04.09.15	Registrierzeit 07:34 – 10:07  Flugzeit 07:30 – 10:07	L127.1 L128.1 T119.9 T128.9 T113.9 T124.9 T131.9 T134.9 L136.1 T101.9 T138.9 L125.1 L124.1 T115.9 T122.9 T117.9 T126.9	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00003</b>  Fortsetzung von 17103  Wetter: starke Bewölkung schwacher Wind (3 bft), 14°C  Luftdruck Hubschrauber: 1013 mbar (Start), 1015 mbar (Landung)
-------	----------	--	--	--

**Tabelle A-1g:** Flugprotokoll für das Messgebiet 166 Duiveland (Profilnummern: +200)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16601	11.03.15	Registrierzeit 14:50 – 16:59  Flugzeit 14:47 – 17:00	L202.1 L205.1 L208.1 L211.1 L214.1 L217.1 L220.1 T206.6 L223.1 L226.1 L229.1 T202.6 L232.1 L235.1 L238.1 L241.1 L242.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b>  EM6: Kalibrierung nicht möglich, daher um ca. 154° verdreht  Einige (Kontroll-)Profile zusätzlich geflogen  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 9°C  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)
16602	12.03.15	Registrierzeit 08:36 – 11:12  Flugzeit 08:31 – 11:13	T101.8 T101.7 L201.1 L204.1 L207.1 L210.1 L213.1 L216.1 L219.1 L222.1 L225.1 L228.1 L231.2 L231.1 L234.1 L237.1 L240.1 L240.2 L239.1 L236.1 L233.1 L230.1 L230.2 T201.6 L243.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 5° C  Einige (Kontroll-)Profile zusätzlich geflogen  Luftdruck Hubschrauber: ? mbar (Start), ? mbar (Landung)

16603	12.03.15	Registrierzeit 12:47 – 15:05  Flugzeit 12:44 – 15:06	T203.6 T206.7 L227.1 L224.1 T208.6 L221.1 L218.1 L215.1 L212.1 L209.1 L206.1 L203.1 T202.7 T201.9 T202.9 T203.9 T204.9 T205.9 T206.9 T207.9 T207.6	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00003</b>  EM6: kein Eichausschlag bei AutoCal HeliDAS: interner Temperatursensor (ITMP) ausgefallen  Einige (Kontroll-)Profile zusätzlich geflogen  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 5° C  Luftdruck Hubschrauber: 1031 mbar (Start), ? mbar (Landung)
-------	----------	--	--	---



**Tabelle A-1h:** Flugprotokoll für das Messgebiet 167 Tholen (Profilnummern: +300)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16701	13.03.15	Registrierzeit 08:25 – 10:53  Flugzeit 08:21 – 10:55	L304.1 L307.1 L310.1 L313.1 L316.1 L319.1 L322.1 L325.1 L328.1 L331.1 L334.1 L337.1 L340.1 L343.1 L344.1 L347.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00004</b>  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 5°C in Messflughöhe, 8° C in 1500 ft  Luftdruck Hubschrauber: 1025 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16702	13.03.15	Registrierzeit 12:40 – 13:51  Flugzeit 12:34 – 15:10	L302.1 L305.1 L308.1 L311.1 L314.1 L317.1 L320.1 L323.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00005</b>  HeliDAS: Reboot nach Störung durch Küstenra- dar nach L323  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 7°C  Luftdruck Hubschrauber: 1024 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16703	13.03.15	Registrierzeit 14:06 – 15:09  Flugzeit 12:34 – 15:10	L326.1 L329.1 L332.1 L335.1 L338.1 L341.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00006</b> (Fortsetzung von Profilflug SYS14_FLT00005)  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft), 7°C  Luftdruck Hubschrauber: 1024 mbar (Start), ? mbar (Landung)

16704	16.03.15	Registrierzeit 12:56 – 15:38  Flugzeit 12:51 – 15:38	T301.6 L301.1 L303.1 L306.1 L309.1 L312.1 L315.1 L318.1 L321.1 L324.1 L327.1 L330.1 L333.1 L336.1 L339.1 L342.1 L345.1 L346.1 L348.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00007</b> (originär SYS14_FLT00004 in 168)  L348.1 nach Sicht geflogen  Wetter: sonnig, schwacher Wind (2-3 bft), 9°C  Luftdruck Hubschrauber: 1023 mbar (Start), ? mbar (Landung)
16705	16.03.15		T306.9 T305.9 T304.9 T303.9 T302.9 T301.9	Siehe 16803

Anmerkungen:

- 1) Ein Messflug musste aufgrund externer Störungen, die einen Neustart von HeliDAS erforderlich machten, während des Fluges unterteilt werden (16702 / 16703).
- 2) Die Kontrollprofile wurden während eines Fluges im Gebiet 168 vermessen.

**Tabelle A-1i:** Flugprotokoll für das Messgebiet 168 Eendracht (Profilnummern: +400)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16801	14.03.15	Registrierzeit 08:26 – 11:03  Flugzeit 08:22 – 11:04	L401.1 L404.1 L407.1 L410.1 L413.1 L416.1 L419.1 L422.1 L425.1 L428.1 L431.1 L434.1 L437.1 L437.2 L440.1 L443.1 L446.1 L449.1 L452.1 L455.1 L458.1 L461.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b>  Wetter: sonnig, schwacher Wind (3 bft),  Luftdruck Hubschrauber: 1028 mbar (Start), ? mbar (Landung)

16802	14.03.15	Registrierzeit 12:39 – 15:12  Flugzeit 12:36 – 15:13	L403.1 L406.1 L409.1 L412.1 L415.1 L418.1 L421.1 L424.1 L427.1 L430.1 L433.1 L436.2 L436.1 L439.1 L439.2 L442.2 L442.1 L445.1 L445.2 L448.1 L451.1 L454.1 L457.1 L456.1 L453.1 L450.1 L447.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Wetter: sonnig, wenige Wolken, schwach windig (4 Bft)  Luftdruck Hubschrauber: 1029 mbar (Start), ? mbar (Landung)
-------	----------	--	--	--

16803	16.03.15	<p>Registrierzeit 08:43 – 11:19</p> <p>Flugzeit 08:40 – 11:20</p>	<p>L402.1 L405.1 L408.1 L411.1 L414.1 L417.1 L420.1 L423.1 L426.1 L429.1 L432.1 L435.1 L438.2 L438.1 L441.1 L441.2 L444.1 L399.1 L400.1 T305.9 T304.9 T303.9 T302.9 T301.9</p>	<p><b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00003</b></p> <p>L399.1+L400.1 zusätzlich zu ursprünglicher Flugplanung</p> <p>Kontrollprofile gehören zu 167</p> <p>Wetter: Sonnig, leicht neblig, 5° C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1023 mbar (Start), ? mbar (Landung)</p>
16804	13.03.15		<p>T404.9 T407.9 T410.9 T413.9 T416.9 T419.9 T422.9 T425.9 T428.9 T431.9 T434.9 T437.9 T440.9 T443.9 T444.9 T447.9</p>	<p>Siehe 16701</p> <p>Verkürzte Messprofile aus 167</p>
16805	13.03.15		<p>T402.9 T405.9 T408.9 T411.9 T414.9 T417.9 T420.9 T423.9</p>	<p>Siehe 16702</p> <p>Verkürzte Messprofile aus 167</p>

16806	13.03.15		T426.9 T429.9 T432.9 T435.9 T438.9 T441.9	Siehe 16703 Verkürzte Messprofile aus 167
16807	16.03.15		T401.9 T403.9 T406.9 T409.9 T412.9 T415.9 T418.9 T421.9 T424.9 T427.9 T430.9 T433.9 T436.9 T439.9 T442.9 T445.9 T446.9 T448.9	Siehe 16704 Verkürzte Messprofile aus 167

Anmerkung:

Die Kontrollprofile wurden aus den verkürzten Messprofilen im Gebiet 167 gewonnen.

**Tabelle A-1j:** Flugprotokoll für das Messgebiet 169 Walcheren

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16901	01.09.15			<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b> Abbruch wegen Problemen mit PFFL1
16902	01.09.15	Registrierzeit 07:35 – 09:59  Flugzeit 07:25 – 10:00	L1.1 L17.1 L20.1 L7.1 L4.2 L13.1 L10.1 L19.1 L16.1 L25.1 L22.1 L31.1 L28.1 T12.9	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  EM4: starke Drift Abbruch L4.1 wegen Starkregen  Wetter: Starke Bewölkung, zeitweise Regen, kaum Wind, ca. 16–18°C  Luftdruck Hubschrauber: 1011 mbar (Start), 1014 mbar (Landung)
16903	01.09.15	Registrierzeit 11:36 – 14:13  Flugzeit 11:32 – 14:13	L3.1 L6.1 L9.1 L12.1 L15.1 L18.1 L21.1 L24.1 L27.1 L30.1 L33.1 L40.1 L32.1 L29.1 L26.1 L23.1 L14.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00003</b>  EM4: mäßige Drift  Wetter: Wolkig mit wenig Sonne, kaum Wind, ca. 18°C  Luftdruck Hubschrauber: 1015 mbar (Start), 1017 mbar (Landung)



16904	02.09.15	Registrierzeit 07:27 – 10:04  Flugzeit 07:23 – 10:04	L0.1 L2.1 L5.1 L8.1 L11.1 L34.1 L35.1 L36.1 L37.1 L38.1 T11.9 T10.9 T9.9 T8.9 T7.9 T6.9 T5.9 T4.9 T3.9 T2.9 T1.9 T0.9	<b>Mess-/Kontrollprofilflug SYS14_FLT00004</b>  EM4: mäßige Drift  Wetter: Wolkig mit Sonne, kaum Wind, ca. 14°C  Luftdruck Hubschrauber: 1015 mbar (Start), 1017 mbar (Landung)  Profile im Osten und Nordosten nicht geflogen, da weitgehend abgedeckt durch Flüge aus 170 und 173  Zwei nach Sicht geflogenen Linien nach L36.1 (L200.1 und L201.1) gehören zu 173
-------	----------	--	--	--

**Tabelle A-1k:** Flugprotokoll für das Messgebiet 170 Beveland (Profilnummern: +300)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
17001	25.08.15	Registrierzeit 08:46 – 11:01  Flugzeit 08:40 – 11:04	T301.9 T302.9 T303.9 T304.9 T305.9 T306.9 T306.8 T307.9 T308.9 T309.9 T310.9 T310.8 T311.9	<b>Kontrollprofilflug SYS14_FLT00001</b>  Wetter: bewölkt, windig (4–5 bft), 17°C  Luftdruck Hubschrauber: 1012 (Start), 1013 (Landung)
17002	25.08.15	Registrierzeit 12:32 – 14:50  Flugzeit 12:28 – 14:51	L301.1 L304.1 L307.1 L310.1 L313.1 L316.1 L319.1 L322.1 L325.1 L328.1 L331.1 L334.1 L337.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  Wetter: bewölkt, windig (4–5 bft), zum Ende Regen (ab 14:20 UTC), ca. 17°C Außentemperatur  Luftdruck Hubschrauber: 1013 (Start), 1013 (Landung)

17003	26.08.15	<p>Registrierzeit 07:17 – 09:58</p> <p>Flugzeit 07:14 – 10:00</p>	<p>L340.3 L340.2 L340.1 L343.1 L346.1 L349.1 L352.2 L352.1 L355.1 L355.2 L358.2 L358.1 L361.1 L361.2 L361.3 L364.1 L367.1 L370.1 L373.1 L376.1 L379.1 L382.1 L385.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00003</b></p> <p>EM6: Sprung bei 89095</p> <p>Wetter: bewölkt, windig (5–6 bft) mit Böen (6–7 bft), ca. 18°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1010 mbar (Start), 1010 mbar (Landung)</p>
17004	26.08.15	<p>Registrierzeit 11:40 – 14:07</p> <p>Flugzeit 11:37 – 14:09</p>	<p>L302.1 L305.1 L308.1 L311.1 L314.1 L317.1 L320.1 L323.1 L323.2 L326.1 L329.1 L332.1 L335.1 L338.2 L338.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00004</b></p> <p>EM6: Sprung bei 10440</p> <p>Wetter: Leicht bewölkt, windig (5–6 bft) mit Böen (6–7 bft), ca. 23°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1009 mbar (Start), 1008 mbar (Landung)</p>

17005	27.08.15	<p>Registrierzeit 13:52 – 16:12</p> <p>Flugzeit 13:48 – 16:12</p>	<p>L303.1 L306.1 L309.1 L312.1 L315.1 L318.1 L321.1 L324.1 L327.1 L330.1 L333.1 L336.1 L339.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00005</b></p> <p>Wetter: Regen, windig (4 bft), ca. 15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1010 mbar (Start), 1010 mbar (Landung)</p>
17006	28.08.15	<p>Registrierzeit 07:17 – 09:54</p> <p>Flugzeit 07:14 – 09:55</p>	<p>L388.1 L391.2 L391.1 L390.1 L390.2 L387.1 L384.1 L384.2 L381.1 L378.1 L375.2 L375.1 L372.1 L369.1 L366.1 L363.1 L360.1 L360.2 L357.2 L357.1 L354.1 L354.2 L351.1 L348.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00006</b></p> <p>EM6: Sprünge bei: 5530, 12850, 21330, 21380 und 50140</p> <p>Wetter: sonnig, leichter Wind, ca. 15°C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1016 mbar (Start), 1017 mbar (Landung)</p>

17007	28.08.15	<p>Registrierzeit 11:47 – 14:20</p> <p>Flugzeit 11:44 – 14:21</p>	<p>L345.1 L342.1 L341.1 L341.2 L344.1 L347.1 L350.1 L353.1 L353.2 L356.2 L356.1 L359.1 L359.2 L359.3 L362.1 L365.1 L368.1</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00007</b></p> <p>EM6: Sprung bei 79690</p> <p>Wetter: sonnig, mit Wolken, leichter Wind, ca. 21° C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1017 mbar (Start), 1019 mbar (Landung)</p>
17008	29.08.15	<p>Registrierzeit 07:32 – 10:09</p> <p>Flugzeit 07:29 – 10:10</p>	<p>L371.1 L374.1 L377.1 L380.1 (L383.1) L386.1 L389.1 T308.8</p>	<p><b>Messprofilflug SYS14_FLT00008</b></p> <p>Fortsetzung in 17100</p> <p>Wetter: sonnig, ca. 19° C</p> <p>Luftdruck Hubschrauber: 1017 mbar (Start), mbar (Landung)</p>
17009	02.09.15		<p>T311.7 L324.2 T309.7 T310.7 L324.3 L325.2</p>	<p>Siehe 17201</p>

**Tabelle A-11:** Flugprotokoll für das Messgebiet 171 Beveland-East (Profilnummern: +500)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
17100	29.08.15		T504.9 T504.8 T503.9 T502.9 T501.9 L525.1 L522.1 L519.1 L516.1 L513.1 L510.1 L507.2 L507.1	Siehe 17008
17101	29.08.15	Registrierzeit 11:59 – 14:06  Flugzeit 11:56 – 14:32	L504.1 L504.2 L501.2 L501.1 L503.1 L503.2 L506.2 L506.1 L509.1 L509.2 L512.2 L512.1 L515.1 L518.1 L521.1 L524.2 L524.1 L523.1 L520.1 L517.1 L514.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b>  Dateien zunächst nicht lesbar, nach Windows-Korrektur bis Record 76309 lesbar, d.h. es fehlt letzte Linie L11.1 und Abschlussprozedur  L503.1–L524.1 in umgekehrter Richtung geflogen  Wetter: sonnig, kaum Wind, ca. 22°C  Luftdruck Hubschrauber: 1022 mbar (Start), 1020 mbar (Landung)

17102	31.08.15	Registrierzeit 07:39 – 10:11  Flugzeit 07:34 – 10:11	L508.1 L508.2 L505.2 L505.1 L502.1 L502.2	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b>  EM1: I und Q vertauscht EM4: extrem starke Drift (kurzweilig) EM6: viele Spikes wg. Gewitter  Wetter: bedeckt, kein Wind, ca. 24°C  Luftdruck Hubschrauber: 1011 mbar (Start), 1010 mbar (Landung)  Fortsetzung in 16306
17103	04.09.15		L511.2	Siehe 16503



**Tabelle A-1m:** *Flugprotokoll für das Messgebiet 172 Waterfarm (Profilnummern: +100)*

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
16902	01.09.15		L142.1 L151.1 L112.1 L103.2 L130.1 L121.1 L148.1 L139.1 T112.9	Siehe 16902
16903	01.09.15		L100.1 L109.1 L118.1 L127.1 L136.1 L145.1 L133.1	Siehe 16903
16904	02.09.15		L106.1 L115.1 L124.1 T111.9 T109.9 T108.1 T107.9	Siehe 16904

17201	02.09.15	Registrierzeit 11:53 – 14:32	L101.1 L104.1 L107.1 L110.1 L113.1 L116.1 L119.1 L122.1 L125.1 L128.1 L131.1 L134.1 L137.1 L140.1 L143.1 L146.1 L149.1 L149.2 L102.1 L105.1 L108.1 L111.1 L114.1 L117.1 L120.1 L123.1 L126.1 L129.1 L132.1 L135.1 L138.1 L141.1 L144.1 L147.1 L147.2 L150.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b> Fortsetzung in 17302 und 17009  EM4: starke Drift Abbruch L4.1 wg. Starkregen  Wetter: Starke Bewölkung, zeitweise Regen, kaum Wind, ca. 16–18°C  Luftdruck Hubschrauber: 1011 mbar (Start), 1014 mbar (Landung)
-------	----------	---------------------------------	--	--

Anmerkungen:

- 1) Jedes dritte Messprofil und alle Kontrollprofile stammen aus 169 (16902-4).
- 2) Die Begrenzungen der Mess- und Kontrollprofile aus 169 wurden an 172 angepasst.
- 3) Umrechnung:  $L(172) = 3 \cdot L(169) - 9 + 100$  bzw.  $T(172) = T(169) + 100$ .
- 4) Die Gebietsnummer 169 wurde beibehalten.

**Tabelle A-1n:** Flugprotokoll für das Messgebiet 173 Oost-Souburg (Profilnummern: +200)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
17301	31.08.15	Registrierzeit 11:42 – 12:51  Flugzeit 11:39 – 12:51	L201.1 L204.1 L207.1 L210.1 L211.1 L208.1 L205.1 L202.1 L203.1 L206.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00001</b> Abbruch wg. Gewitter  EM4: starke Drift EM6: Sprung bei 1459, viele Spikes wg. Gewitter  Wetter: Leichte Bewölkung, kaum Wind, ca. ?°C  Luftdruck Hubschrauber: 1010 mbar (Start), 1009 mbar (Landung)
17302	02.09.15		L212.1 L209.1	Siehe 17201 Fortsetzung von 17201 Fortsetzung in 17009
17303	02.09.15		L200.1 L200.2	Siehe 16904

**Tabelle A-1o:** Flugprotokoll für das Messgebiet 174 Kreek-Terug (Profilnummern: +400)

Flug	Datum	Zeit (UTC) Anfang – Ende	Profil	Bemerkungen zum Messflug
17401	25.08.15		T404.9 T405.9 T406.9 T407.9	Siehe 17001
17402	03.09.15	Registrierzeit 10:59 – 13:19  Flugzeit 10:43 – 13:19	L401.1 L404.1 L407.1 L410.1 L413.1 L416.1 L419.1 L422.1 L425.1 L428.1 L458.1 L455.1 L452.1 L449.1 L446.1 L443.1 L440.1 L437.1 L434.1 L431.1 L459.1 L456.1 L453.1 L450.1 L447.1 L444.1 L441.1 L438.1 L435.1 L432.1 L429.1 L426.1 L423.1 L420.1 L417.1 L414.1 L411.1 L408.1 L405.1 L402.1	<b>Messprofilflug SYS14_FLT00002</b> Neustart HeliDAS  EM4: mäßig starke Drift EM6: Sprung bei 4160  Wetter: Starke Bewölkung, zeitweise Regen, kaum Wind, ca. 16°C  Luftdruck Hubschrauber: 1013 mbar (Start), 1014 mbar (Landung)

17403	26.08.15		L403.1 L412.1 L421.1 L430.1 L439.1 L448.1 L457.1 L457.2	Siehe 17003
17404	28.08.15		L454.1 L445.1 L436.1 L427.1 L418.1 L409.1	Siehe 17006
17405	28.08.15		L406.1 L415.1	Siehe 17007
17406	29.08.15		L424.1 L433.1 L442.1 L451.1	Siehe 17008

Anmerkungen:

- 1) Jedes dritte Messprofil und alle Kontrollprofile stammen aus 170 (17001, 17003, 17006-8).
- 2) Die Begrenzungen der Mess- und Kontrollprofile aus 170 wurden an 174 angepasst.
- 3) Umrechnung:  $L(174) = 3 \cdot L(170) - 189 + 100$  bzw.  $T(174) = T(170) + 100$ .

Weitere Flugprotokolle:

- 135 Schouwen siehe Siemon et al., (2011b), aber mit Profilnummern: +500.  
136 Perkpolder siehe Siemon et al. (2011c), aber mit Profilnummern: +600.

## Anhang II

### Liste der Mess- und Kontrollprofile

**Tabelle A-2a:** Liste der Kontrollprofile

Nr. #	135 16	136 13	160 22	161 3	162 15	163 10	164 0	165 24	166 17	167 8	168 46	169 13	170 17	171 5	172 6	173 0	174 4
	1355109	1366019	1620069	1613019	1620009	1634019		1651016	1662018	1663016	1674019	1690009	1703019	1715019	1721079		1744049
	1355119	1366029	1620079	1613029	1620019	1634029		1651017	1662019	1663019	1674029	1690019	1703029	1715029	1721089		1744059
	1355129	1366039	1620089	1613039	1620029	1634039		1651018	1662029	1663029	1674039	1690029	1703039	1715039	1721099		1744069
	1355139	1366049	1620099		1620039	1634049		1651019	1662039	1663039	1674049	1690039	1703049	1715048	1721109		1744079
	1355149	1366059	1620109		1620049	1634059		1651029	1662049	1663049	1674059	1690049	1703059	1715049	1721119		
	1355159	1366069	1620119		1620059	1634069		1651039	1662059	1663059	1674069	1690059	1703068		1721129		
	1355169	1366079	1620129		1620068	1634078		1651049	1662069	1663069	1674079	1690069	1703069				
	1355179	1366089	1620139		1620069	1634079		1651059	1662079	1663079	1674089	1690079	1703079				
	1355189	1366099	1620149		1620078	1634089		1651069	1662086		1674099	1690089	1703088				
	1355199	1366109	1620159		1620079	1634099		1651079	1662017		1674109	1690099	1703089				
	1355209	1366119	1620169		1620088			1651089	1662026		1674119	1690109	1703097				
	1355219	1366129	1620179		1620089			1651109	1662027		1674129	1690119	1703099				
	1355229	1366139	1620189		1620099			1651119	1662036		1674139	1690129	1703107				
	1355239		1620199		1620109			1651139	1662066		1674149		1703108				
	1355249		1620209		1621007			1651159	1662076		1674159		1703109				
	1355259		1622107					1651179	1662076		1674169		1703117				
								1651199	1662086		1674179		1703119				
								1651229			1674189						
								1651249			1674199						
								1651269			1674209						
								1651289			1674219						
								1651319			1674229						
								1651349			1674239						
								1651389			1674249						
											1674259						
											1674269						
											1674279						
											1674289						
											1674299						
											1674309						
											1674319						
											1674329						
											1674339						
											1674349						
											1674359						
											1674369						
											1674379						
											1674389						
											1674399						
											1674419						
											1674429						
											1674439						
											1674449						
											1674459						
											1674469						
											1674479						
											1674489						

Tabelle A-2b: Liste der Messprofile

Nr. #	135 42	136 22	160 36	161 38	162 122	163 67	164 18	165 38	166 46	167 48	168 70	169 40	170 114	171 36	172 54	173 14	174 60
1355011	1366011	1620991	1613121	1620011	1634011	1645011	1651011	1662011	1673011	1683991	1690001	1703011	1715011	1721011	1732001	1744011	
1355021	1366021	1621001	1613131	1620021	1634021	1645021	1651021	1662021	1673021	1684001	1690011	1703021	1715012	1721012	1732002	1744021	
1355032	1366031	1621011	1613141	1620031	1634031	1645031	1651031	1662031	1673031	1684011	1690021	1703031	1715021	1721021	1732011	1744031	
1355041	1366041	1621021	1613151	1620041	1634041	1645041	1651041	1662041	1673041	1684021	1690031	1703041	1715022	1691032	1732021	1744041	
1355051	1366051	1621021	1613161	1620051	1634051	1645051	1651051	1662051	1673051	1684031	1690042	1703051	1715031	1721041	1732031	1744051	
1355061	1366061	1620111	1613171	1620061	1634061	1645061	1651061	1662061	1673061	1684041	1690051	1703061	1715032	1721051	1732041	1744061	
1355071	1366071	1620121	1613181	1620071	1634071	1645071	1651071	1662071	1673071	1684051	1690061	1703071	1715041	1691061	1732051	1744071	
1355081	1366081	1621031	1613191	1620081	1634081	1645081	1651081	1662081	1673081	1684061	1690071	1703081	1715042	1721071	1732061	1744081	
1355091	1366091	1620141	1613201	1620091	1634091	1645091	1651091	1662091	1673091	1684071	1690081	1703091	1715051	1721081	1732071	1744091	
1355101	1366101	1620151	1613211	1620101	1634101	1645101	1651082	1662101	1673101	1684081	1690091	1703101	1715052	1691091	1732081	1744101	
1355111	1366111	1621041	1613221	1620111	1634111	1645111	1651091	1662111	1673111	1684091	1690101	1703111	1715061	1721101	1732091	1744111	
1355121	1366121	1620171	1613231	1620121	1634121	1645121	1651101	1662121	1673121	1684101	1690111	1703121	1715062	1721111	1732101	1744121	
1355131	1366131	1620181	1613241	1620131	1634131	1645131	1651102	1662131	1673131	1684111	1690121	1703131	1715071	1691121	1732111	1744131	
1355141	1366141	1621051	1613251	1620141	1634141	1645141	1651121	1662141	1673141	1684121	1690131	1703141	1715072	1721131	1732111	1744141	
1355151	1366151	1620201	1613261	1620151	1634151	1645151	1651131	1662151	1673151	1684131	1690141	1703151	1715081	1721141	1732121	1744151	
1355161	1366161	1620211	1613271	1620161	1634161	1645161	1651141	1662161	1673161	1684141	1690151	1703161	1715082	1691151	1732081	1744161	
1355171	1366171	1621061	1613281	1620171	1634171	1645171	1651141	1662171	1673171	1684151	1690161	1703171	1715082	1691151	1732081	1744171	
1355181	1366181	1620231	1613291	1620181	1634181	1645181	1651161	1662181	1673181	1684161	1690171	1703181	1715092	1721161	1732091	1744181	
1355191	1366191	1620241	1613301	1620191	1634191	1645191	1651171	1662191	1673191	1684171	1690181	1703191	1715092	1721171	1732101	1744191	
1355201	1366201	1621071	1613311	1620201	1634201	1645201	1651181	1662201	1673201	1684181	1690191	1703201	1715101	1691181	1732101	1744201	
1355211	1366211	1620271	1613321	1620211	1634211	1645211	1651191	1662211	1673211	1684191	1690201	1703211	1715112	1721201	1732111	1744211	
1355221	1366221	1621081	1613331	1620221	1634221	1645221	1651201	1662221	1673221	1684201	1690211	1703221	1715122	1691211	1732121	1744221	
1355231	1366231	1620291	1613341	1620231	1634231	1645231	1651211	1662231	1673231	1684211	1690221	1703231	1715131	1721221	1732121	1744231	
1355241	1366241	1620251	1613351	1620241	1634241	1645241	1651221	1662241	1673241	1684221	1690231	1703241	1715151	1691241	1732131	1744241	
1355251	1366251	1620301	1613361	1620251	1634251	1645251	1651231	1662251	1673251	1684231	1690241	1703251	1715151	1691241	1732131	1744251	
1355261	1366261	1620331	1613371	1620261	1634261	1645261	1651241	1662261	1673261	1684241	1690251	1703261	1715161	1721251	1732141	1744261	
1355271	1366271	1620341	1613381	1620271	1634271	1645271	1651251	1662271	1673271	1684251	1690261	1703271	1715171	1721261	1732151	1744271	
1355281	1366281	1620351	1613391	1620281	1634281	1645281	1651261	1662281	1673281	1684261	1690271	1703281	1715181	1691271	1732161	1744281	
1355291	1366291	1620361	1613401	1620291	1634291	1645291	1651271	1662291	1673291	1684271	1690281	1703291	1715191	1721281	1732171	1744291	
1355301	1366301	1621101	1613411	1620301	1634301	1645301	1651281	1662301	1673301	1684281	1690291	1703301	1715201	1721291	1732181	1744301	
1355311	1366311	1621121	1613421	1620311	1634311	1645311	1651291	1662311	1673311	1684291	1690301	1703311	1715221	1691301	1732191	1744311	
1355321	1366321	1620351	1613431	1620321	1634321	1645321	1651301	1662321	1673321	1684301	1690311	1703321	1715221	1721311	1732201	1744321	
1355331	1366331	1620361	1613441	1620331	1634331	1645331	1651311	1662331	1673331	1684311	1690321	1703331	1715231	1721321	1732211	1744331	
1355341	1366341	1620371	1613451	1620341	1634341	1645341	1651321	1662341	1673341	1684321	1690331	1703341	1715241	1691331	1732221	1744341	
1355351	1366351	1620381	1613461	1620351	1634351	1645351	1651331	1662351	1673351	1684331	1690341	1703351	1715242	1721341	1732231	1744351	
1355361	1366361	1621121	1613471	1620361	1634361	1645361	1651341	1662361	1673361	1684341	1690351	1703361	1715251	1721351	1732241	1744361	
1355371	1366371	1620391	1613481	1620371	1634371	1645371	1651351	1662371	1673371	1684351	1690361	1703371	1715251	1691361	1732251	1744371	
1355381	1366381	1620401	1613491	1620381	1634381	1645381	1651361	1662381	1673381	1684361	1690371	1703381	1715251	1721371	1732261	1744381	
1355391	1366391	1620411	1613491	1620391	1634391	1645391	1651361	1662391	1673391	1684371	1690381	1703391	1715251	1721381	1732271	1744391	
1355401	1366401	1620421	1613491	1620401	1634401	1645401	1651361	1662401	1673401	1684381	1690391	1703401	1715251	1691391	1732281	1744401	
1355411	1366411	1620431	1613491	1620411	1634411	1645411	1651361	1662411	1673411	1684391	1690401	1703401	1715251	1691391	1732291	1744411	
1355421	1366421	1620441	1613491	1620421	1634421	1645421	1651361	1662421	1673421	1684401	1690411	1703411	1715251	1691401	1732301	1744421	
1355431	1366431	1620451	1613491	1620431	1634431	1645431	1651361	1662431	1673431	1684411	1690421	1703421	1715251	1691411	1732311	1744431	
1355441	1366441	1620461	1613491	1620441	1634441	1645441	1651361	1662441	1673441	1684421	1690431	1703431	1715251	1691421	1732321	1744441	
1355451	1366451	1620471	1613491	1620451	1634451	1645451	1651361	1662451	1673451	1684431	1690441	1703441	1715251	1691431	1732331	1744451	
1355461	1366461	1620481	1613491	1620461	1634461	1645461	1651361	1662461	1673461	1684441	1690451	1703451	1715251	1691441	1732341	1744461	
1355471	1366471	1620491	1613491	1620471	1634471	1645471	1651361	1662471	1673471	1684451	1690461	1703461	1715251	1691451	1732351	1744471	
1355481	1366481	1620501	1613491	1620481	1634481	1645481	1651361	1662481	1673481	1684461	1690471	1703471	1715251	1691461	1732361	1744481	
1355491	1366491	1620511	1613491	1620491	1634491	1645491	1651361	1662491	1673491	1684471	1690481	1703481	1715251	1691471	1732371	1744491	
1355501	1366501	1620521	1613491	1620501	1634501	1645501	1651361	1662501	1673501	1684481	1690491	1703491	1715251	1691481	1732381	1744501	
1355511	1366511	1620531	1613491	1620511	1634511	1645511	1651361	1662511	1673511	1684491	1690501	1703501	1715251	1691491	1732391	1744511	
1355521	1366521	1620541	1613491	1620521	1634521	1645521	1651361	1662521	1673521	1684501	1690511	1703511	1715251	1691501	1732401	1744521	
1355531	1366531	162															



## Anhang III

### Filterparameter für HEM-Auswertung

**Tabelle A-3:** Filterparameter für HEM-Auswertung: I: Microlevelling, II: I,Q-Levelling

I	Software	Gitter Zellengröße	Butterworth-HP Länge / Ordnung HRP Gitter	Direkt. Kosinus Azimut/Grad HRP Gitter	Schwellwert $\Delta$ Linien-Fehler	Splines Glätte/Spannung Linien-Fehler	Schwellwert $\Delta$ Querlinien-Fehler	Splines Glätte/Spannung Querlinien-Fehler
160	Oasis montaj 7.3	25	400 / 8	90 / 1	$\pm 0.03$	0.95 / 0.5	$\pm 0.03$	0.95 / 0.5
161	HemView16c	25	330 / 8	90 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.03$	0.80 / 0.5
162	HemView16c	50	1000 / 8	90 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.03$	0.80 / 0.5
163	HemView16c	50	1000 / 8	90 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.03$	0.80 / 0.5
164	HemView16c	25	400 / 8	127 / 1		0.85 / 0.5		0.80 / 0.5
165	HemView17b	50	1000 / 8	-40 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.1 - \pm 0.5$	0.80 / 0.5
166	HemView17b	50	1000 / 8	8 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.1 - \pm 0.5$	0.80 / 0.5
167	HemView17b	50	1000 / 8	8 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.1 - \pm 0.5$	0.80 / 0.5
168	HemView17b	25	400 / 8	-82 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.1 - \pm 0.5$	0.80 / 0.5
169	Oasis montaj 7.3	50	500 / 4	-32 / 1	$\pm 0.03$	0.90 (0.80) / 0.5	$\pm 0.03$	0.90 (0.80) / 0.5
170	HemView17	50	1000 / 8	90 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.01 - \pm 0.03$	0.80 / 0.5
171	HemView16c	50	1000 / 8	32 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.03$	0.80 / 0.5
172	Oasis montaj 7.3	25	500 / 8	-32 / 1	$\pm 0.03$	0.90 (0.80) / 0.5	$\pm 0.03$	0.90 (0.80) / 0.5
173	Oasis montaj 7.3	50	1430 / 8	-32 / 1	$\pm 0.03$	0.90 (0.80) / 0.5		
174	HemView16c	25	400 / 8	90 / 1		0.85 / 0.5	$\pm 0.03$	0.80 / 0.5

II	Software	Gitter Zellengröße	Nicht-Linear Werte/Toleranz $\Delta I, \Delta Q$	Schwellwert Rauschen I,Q $\Delta I, \Delta Q$	Splines Glätte/Spannung $\Delta I, \Delta Q$	Schwellwert Rauschen (I,Q) <sub>lev</sub> /Höhe $I_{lev}, Q_{lev}$	Nicht-Linear Werte/Toleranz $I_{lev}, Q_{lev}$	Splines Glätte/Spannung $I_{lev}, Q_{lev}$
160	Oasis montaj 7.3	25	50 / 10	0.02 - 0.03	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.05 / 80	10 / 3	0.65 - 0.70 / 0.5
161	HemView16c	25	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
162	HemView16c	50	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
163	HemView16c	50	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
164	HemView16c	25	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
165	HemView17b	50	50 / 10	0.01 - 0.05	0.85 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
166	HemView17b	50	50 / 10	0.01 - 0.05	0.85 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 - 0.70 / 0.5
167	HemView17b	50	50 / 10	0.1	0.85 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 - 0.70 / 0.5
168	HemView17b	25	50 / 10	0.1	0.85 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 - 0.70 / 0.5
169	Oasis montaj 7.3	50	50 / 10	0.02 - 0.03	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.05 / 80	10 / 3	0.65 - 0.70 / 0.5
170	HemView17	50	50 / 10	0.01	0.80 - 0.85 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
171	HemView16c	50	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5
172	Oasis montaj 7.3	25	50 / 10	0.02 - 0.03	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.05 / 80	10 / 3	0.65 - 0.70 / 0.5
173	Oasis montaj 7.3	50	50 / 10	0.02 - 0.03	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.05 / 80	10 / 3	0.65 - 0.70 / 0.5
174	HemView16c	25	50 / 10	0.01	0.85 - 0.90 / 0.2	0.02 - 0.04 / 80	7 / 3	0.55 / 0.5



## Anhang IV

### Beschreibung der Gebietsdateien

**Tabelle A-4a:** Gebietsdateien zu 160 Terneuzen

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM160_RAW.xyz	3 (Flüge)	154.713	49,3	100 m Linienabstand
	HEM162_RAW.xyz	4 (Flüge)	340.384	108,4	300 m Linienabstand
HEM	HEM160_DAT.xyz	21 (L) + 19 (T)	49.260	10,4	100 m Linienabstand
	HEM162_DAT.xyz	15 (L) + 3 (T)	38.943	8,2	300 m Linienabstand
HEM	HEM160_APP.xyz	21 (L) + 19 (T)	49.260	12,4	100 m Linienabstand
	HEM162_APP.xyz	15 (L) + 3 (T)	38.943	9,8	300 m Linienabstand
HEM	HEM160_INV.xyz	21 (L) + 19 (T)	49.260	21,2	100 m Linienabstand
	HEM162_INV.xyz	15 (L) + 3 (T)	38.943	16,8	300 m Linienabstand
HEM	HEM160_QCP.xyz	21 (L) + 19 (T)	49.260	9,6	100 m Linienabstand
	HEM162_QCP.xyz	15 (L) + 3 (T)	38.943	7,6	300 m Linienabstand
HMG	HMG160.xyz	36 (L) + 22 (T)	88.203	15,9	zusammengefasst
HRD	HRD160.xyz	36 (L) + 22 (T)	8.873	15,9	zusammengefasst

**Tabelle A-4b:** Gebietsdateien zu 161 Waterdunen

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM161_RAW.xyz	4 (Flüge)	365.819	116,5	3 Flüge aus 162
HEM	HEM161_DAT.xyz	38 (L) + 3 (T)	29.776	6,2	
HEM	HEM161_APP.xyz	38 (L) + 3 (T)	29.776	7,3	
HEM	HEM161_INV.xyz	38 (L) + 3 (T)	29.776	12,8	
HEM	HEM161_QCP.xyz	38 (L) + 3 (T)	29.776	5,8	
HMG	HMG161.xyz	38 (L) + 3 (T)	29.776	5,4	
HRD	HRD161.xyz	38 (L) + 3 (T)	3.015	0,7	

**Tabelle A-4c:** Gebietsdateien zu 162 ZeeuwsVlaanderen

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM162_RAW.xyz	12 (Flüge)	928.417	295,6	Je 1 Flug aus 161,163
HEM	HEM162_DAT.xyz	122 (L) + 15 (T)	435.407	91,4	
HEM	HEM162_APP.xyz	122 (L) + 15 (T)	435.407	106,7	
HEM	HEM162_INV.xyz	122 (L) + 15 (T)	435.407	187,5	
HEM	HEM162_QCP.xyz	122 (L) + 15 (T)	435.407	85,0	
HMG	HMG162.xyz	122 (L) + 15 (T)	436.107	78,8	
HRD	HRD162.xyz	122 (L) + 15 (T)	43.735	9,7	

**Tabelle A-4d:** Gebietsdateien zu 163 Zeeuws-Vlaanderen-East

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM163_RAW.xyz	6 (Flüge)	490.805	156,3	Je 1 Flug aus 164,171
HEM	HEM163_DAT.xyz	67 (L) + 10 (T)	228.417	47,7	
HEM	HEM163_APP.xyz	67 (L) + 10 (T)	228.417	55,8	
HEM	HEM163_INV.xyz	67 (L) + 10 (T)	228.417	98,4	
HEM	HEM163_QCP.xyz	67 (L) + 10 (T)	228.417	44,6	
HMG	HMG163.xyz	67 (L) + 10 (T)	228.417	41,3	
HRD	HRD163.xyz	67 (L) + 10 (T)	22.912	5,1	

**Tabelle A-4e:** Gebietsdateien zu 164 Hedwigepolder

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM164_RAW.xyz	1 (Flug)	85.223	27,1	Keine Kontrollprofile
HEM	HEM164_DAT.xyz	18 (L)	30.433	6,4	
HEM	HEM164_APP.xyz	18 (L)	30.433	7,4	
HEM	HEM164_INV.xyz	18 (L)	30.433	13,1	
HEM	HEM164_QCP.xyz	18 (L)	30.433	5,9	
HMG	HMG164.xyz	18 (L)	30.433	5,5	
HRD	HRD164.xyz	18 (L)	30.433	0,7	

**Tabelle A-4f:** Gebietsdateien zu 165 Dunes-Schouwen

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM165_RAW.xyz	3 (Flüge)	254.525	81,0	
HEM	HEM165_DAT.xyz	38 (L) + 24 (T)	113.112	23,6	
HEM	HEM165_APP.xyz	38 (L) + 24 (T)	113.112	27,6	
HEM	HEM165_INV.xyz	38 (L) + 24 (T)	113.112	48,6	
HEM	HEM165_QCP.xyz	38 (L) + 24 (T)	113.112	22,0	
HMG	HMG165.xyz	38 (L) + 24 (T)	113.112	20,4	
HRD	HRD165.xyz	38 (L) + 24 (T)	11.367	2,5	

**Tabelle A-4g:** Gebietsdateien zu 166 Duiveland

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM166_RAW.xyz	3 (Flüge)	253.669	80,8	
HEM	HEM166_DAT.xyz	46 (L) + 17 (T)	149.486	31,2	
HEM	HEM166_APP.xyz	46 (L) + 17 (T)	149.486	36,5	
HEM	HEM166_INV.xyz	46 (L) + 17 (T)	149.486	64,2	
HEM	HEM166_QCP.xyz	46 (L) + 17 (T)	149.486	29,1	
HMG	HMG166.xyz	46 (L) + 17 (T)	149.486	27,0	
HRD	HRD166.xyz	46 (L) + 17 (T)	15.006	3,3	

**Tabelle A-4h:** Gebietsdateien zu 167 Tholen

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM167_RAW.xyz	5 (Flüge)	366.245	116,6	1 Flug aus 168
HEM	HEM167_DAT.xyz	48 (L) + 8 (T)	182.551	38,2	
HEM	HEM167_APP.xyz	48 (L) + 8 (T)	182.551	44,6	
HEM	HEM167_INV.xyz	48 (L) + 8 (T)	182.551	78,4	
HEM	HEM167_QCP.xyz	48 (L) + 8 (T)	182.551	35,5	
HMG	HMG167.xyz	48 (L) + 8 (T)	182.551	33,0	
HRD	HRD167.xyz	48 (L) + 8 (T)	18.306	4,1	

**Tabelle A-4i:** Gebietsdateien zu 168 Eendracht

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM168_RAW.xyz	7 (Flüge)	552.021	175,7	4 Flüge aus 167
HEM	HEM168_DAT.xyz	70 (L) + 46 (T)	146.589	30,6	
HEM	HEM168_APP.xyz	70 (L) + 46 (T)	146.589	35,8	
HEM	HEM168_INV.xyz	70 (L) + 46 (T)	146.589	63,0	
HEM	HEM168_QCP.xyz	70 (L) + 46 (T)	146.589	28,5	
HMG	HMG168.xyz	70 (L) + 46 (T)	146.589	26,5	
HRD	HRD168.xyz	70 (L) + 46 (T)	14.764	3,3	

**Tabelle A-4j:** Gebietsdateien zu 169 Walcheren

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM169_RAW.xyz	3 (Flüge)	271.288	86,4	
HEM	HEM169_DAT.xyz	40 (L) + 13 (T)	168.543	35,6	
HEM	HEM169_APP.xyz	40 (L) + 13 (T)	168.543	42,5	
HEM	HEM169_INV.xyz	40 (L) + 13 (T)	168.543	72,6	
HEM	HEM169_QCP.xyz	40 (L) + 13 (T)	168.543	32,9	
HMG	HMG169.xyz	40 (L) + 13 (T)	168.543	30,5	
HRD	HRD169.xyz	40 (L) + 13 (T)	16.902	3,8	

**Tabelle A-4k:** Gebietsdateien zu 170 Beveland

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM170_RAW.xyz	9 (Flüge)	784.643	249,8	1 Flug aus 172-
HEM	HEM170_DAT.xyz	114 (L) + 17 (T)	393.173	82,2	
HEM	HEM170_APP.xyz	114 (L) + 17 (T)	393.173	96,0	
HEM	HEM170_INV.xyz	114 (L) + 17 (T)	393.173	169,0	
HEM	HEM170_QCP.xyz	114 (L) + 17 (T)	393.173	76,4	
HMG	HMG170.xyz	114 (L) + 17 (T)	393.173	71,0	
HRD	HRD170.xyz	114 (L) + 17 (T)	39.436	8,8	

**Tabelle A-4l:** Gebietsdateien zu 171 Beveland-East

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM171_RAW.xyz	4 (Flüge)	345.626	110,0	Je 1 Flug aus 168,170
HEM	HEM171_DAT.xyz	36 (L) + 5 (T)	83.741	17,5	
HEM	HEM171_APP.xyz	36 (L) + 5 (T)	83.741	20,5	
HEM	HEM171_INV.xyz	36 (L) + 5 (T)	83.741	36,0	
HEM	HEM171_QCP.xyz	36 (L) + 5 (T)	83.741	16,3	
HMG	HMG171.xyz	36 (L) + 5 (T)	83.741	15,1	
HRD	HRD171.xyz	36 (L) + 5 (T)	8411	1,9	

**Tabelle A-4m:** Gebietsdateien zu 172 Waterfarm

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM172_RAW.xyz	4 (Flüge)	365.368	116,3	3 Flüge aus 169
HEM	HEM172_DAT.xyz	54 (L) + 6 (T)	85.549	18,1	
HEM	HEM172_APP.xyz	54 (L) + 6 (T)	85.549	21,6	
HEM	HEM172_INV.xyz	54 (L) + 6 (T)	85.549	36,9	
HEM	HEM172_QCP.xyz	54 (L) + 6 (T)	85.549	16,7	
HMG	HMG172.xyz	54 (L) + 6 (T)	85.549	15,5	
HRD	HRD172.xyz	54 (L) + 6 (T)	8.609	1,9	

**Tabelle A-4n:** Gebietsdateien zu 173 Oost-Souburg

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM173_RAW.xyz	3 (Flüge)	228.021	72,6	Je 1 Flug aus 169,172
HEM	HEM173_DAT.xyz	14 (L)	18.734	4,0	Keine Kontrollprofile
HEM	HEM173_APP.xyz	14 (L)	18.734	4,7	
HEM	HEM173_INV.xyz	14 (L)	18.734	8,1	
HEM	HEM173_QCP.xyz	14 (L)	18.734	3,6	
HMG	HMG173.xyz	14 (L)	18.734	3,4	
HRD	HRD173.xyz	14 (L)	1.886	0,4	



**Tabelle A-4o:** Gebietsdateien zu 174 Kreeg-Terug

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM174_RAW.xyz	6 (Flüge)	524.912	167,1	5 Flüge aus 170
HEM	HEM174_DAT.xyz	60 (L) + 4 (T)	80.664	16,9	
HEM	HEM174_APP.xyz	60 (L) + 4 (T)	80.664	19,7	
HEM	HEM174_INV.xyz	60 (L) + 4 (T)	80.664	34,7	
HEM	HEM174_QCP.xyz	60 (L) + 4 (T)	80.664	15,7	
HMG	HMG174.xyz	60 (L) + 4 (T)	80.664	14,6	
HRD	HRD174.xyz	60 (L) + 4 (T)	8,124	1,8	

**Tabelle A-4p:** Gebietsdateien zu 135 Schouwen (Siemon et al., 2011b)

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM135_RAW.xyz	3 (Flüge)	222.922	74,2	
HEM	HEM135_DAT.xyz	42 (L) + 16 (T)	84,338	17,6	
HEM	HEM135_APP.xyz	42 (L) + 16 (T)	84,338	20,6	
HEM	HEM135_INV.xyz	42 (L) + 16 (T)	84,338	36,2	
HEM	HEM135_QCP.xyz	42 (L) + 16 (T)	84,338	16,4	
HMG	HMG135.xyz	42 (L) + 16 (T)	84,338	15,2	
HRD	HRD135.xyz	42 (L) + 16 (T)	8,486	1,9	

**Tabelle A-4q:** Gebietsdateien zu 136 Perkpolder (Siemon et al., 2011c)

Methode	Name	# Profile/Flüge	# Werte pro Kanal	Größe [MB]	Bemerkungen
HEM	HEM136_RAW.xyz	2 (Flüge)	138.115	46,0	
HEM	HEM136_DAT.xyz	22 (L) + 13 (T)	57.205	11,7	
HEM	HEM136_APP.xyz	22 (L) + 13 (T)	57.205	14,0	
HEM	HEM136_INV.xyz	22 (L) + 13 (T)	57.205	24,6	
HEM	HEM136_QCP.xyz	22 (L) + 13 (T)	57.205	11,2	
HMG	HMG136.xyz	22 (L) + 13 (T)	58.809	10,6	
HRD	HRD136.xyz	22 (L) + 13 (T)	5,916	1,3	

## Anhang V

### Beschreibung der Datenformate

#### A) Elektromagnetik

Beschreibung der fünf ASCII-Dateien mit den Ergebnissen der Hubschrauberelektromagnetik (HEM), beispielhaft für die Messgebiete 160-174, die mit BKS60 befliegen wurden: 162 Zeeuws-Vlaanderen.

##### Allgemeiner Header:

/BGR HEADER (SHORT VERSION):

/

/AREANAME

/ZEEUWS-VLAANDEREN

/AREACODE

/162

/C\_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM

/ 3 31 WGS84

/ELLIPSOID FOR LON AND LAT

/WGS84

/BIRD

/60

/NUMFREQ

/ 6

/FREQUENCY

/ 380.00 1770.00 5410.00 8300.00 41000.00 129500.00

/COILSEPERATION

/ 7.92 7.92 9.04 7.96 8.03 7.91

/COILGEOMETRY

/ 1.00 1.00 4.00 1.00 1.00 1.00

/TOWCABLE

/ 39.50

/DUMMY

/ -999.99

/DECIMATIONVALUE

/ 1

/PRIVTEXT

Bei den Messgebieten 135 und 136, die mit BKS36a befliegen wurden, steht alternativ:

/BIRD

/61

/NUMFREQ

/ 6

/FREQUENCY

/ 387.00 1820.00 5406.00 8393.00 41430.00 133300.00

/COILSEPERATION

/ 7.94 7.93 9.06 7.93 7.91 7.92

/COILGEOMETRY

/ 1.00 1.00 4.00 1.00 1.00 1.00

/TOWCABLE

/ 40.00

(hier können bis zu fünf Zeilen Kommentar stehen)

Anmerkung:

Als Bezugssystem ist WGS84 angegeben, was aber quasi identisch zu ETRS89 ist.



**1) Rohdaten: HEM162\_RAW.XYZ**

Beispiel:

/Unprocessed data

/ XYZ EXPORT [05/09/2017]

/ DATABASE [.\162\_RAW.gdb]

/ X Y LON LAT RECORD UTC\_TIME ALTR ALTL\_FP ZHG\_BIRD\_RAW ZHG\_HELI\_RAW ALTB EM1I EM1Q ... EM6I EM6Q EM1\_FREQ ... EM6\_FREQ CPPL CPSP

//Flight 16201

//Date 2014/10/14

Random 0.1

553949	5696433	3.7758513	51.4163281	7	92959.7	0.92	402.16	405.47	443.73	-1.22	1.28	0.23	...	0.04	-2.06	28672	...	3786	0.0018	0.0015
553949	5696429	3.7758577	51.4162980	8	92959.8	0.92	402.43	405.68	443.96	-1.83	1.26	0.49	...	0.04	-2.79	32768	...	4326	0.0012	0.0013
553950	5696426	3.7758640	51.4162679	9	92959.9	0.76	402.64	405.89	444.19	-1.37	1.24	0.50	...	0.02	-3.01	36864	...	4867	0.0017	0.0010

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

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
ALTR	ft	Messwert des Radarhöhenmessers, defekt
ALTL_FP	m	Messwert des Laserhöhenmessers
ZHG_BIRD_RAW	m	GPS-Höhe der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
ZHG_HELI_RAW	m	GPS-Höhe des Hubschraubers, Bezugssystem WGS84
ALTB	ft	barometrische Höhe des Hubschraubers, defekt
EM1I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=41000 Hz
EM1Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=41000 Hz
EM2I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=8300 Hz
EM2Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=8300 Hz
EM3I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=380 Hz
EM3Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=380 Hz
EM4I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=129500 Hz
EM4Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=129500 Hz
EM5I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=1770 Hz
EM5Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=1770 Hz
EM6I	ppm	Messwert der Inphase-Komponente für die Frequenz f=5410 Hz
EM6Q	ppm	Messwert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=5410 Hz
EM1_FREQ	Hz	Frequenz für EM1-Kanäle (etwa f=41000 Hz)
EM2_FREQ	Hz	Frequenz für EM2-Kanäle (etwa f=8300 Hz)
EM3_FREQ	Hz	Frequenz für EM3-Kanäle (etwa f=380 Hz)
EM4_FREQ	Hz	Frequenz für EM4-Kanäle (etwa f=129500 Hz)
EM5_FREQ	Hz	Frequenz für EM5-Kanäle (etwa f=1770 Hz)
EM6_FREQ	Hz	Frequenz für EM6-Kanäle (etwa f=5410 Hz)
CPPL		Powerline-Detektor
CPSP		Sperics-Detektor



Anmerkungen:

Verzögerung der EM-Kanäle: 0,8 s.

Im Header steht abweichend -0.25 statt 4.00 zur Kennzeichnung von nicht-transformierten vertikal-koaxialen Daten:

/COILGEOMETRY

/ 1.00 1.00 0.25 1.00 1.00 1.00

/PRIVTEXT

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

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

Zeilen, die mit "Random" beginnen, kennzeichnen die Flüge, die Dezimale gibt fortlaufende Nummerierung der Messflüge an.



## 2) Daten: HEM162\_DAT.XYZ

Beispiel:

/Processing by B. Siemon (BGR) using Oasis montaj 7.3 and EM\_view16c

/Levelled data, man-made effects removed, exported from EM\_view16c

/Transferred 07-MAY-16 00:15:34

```

/      X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_TIME      TOPO      H_RADAR      H_LASER      BIRD_NN      H_BARO      REAL_1      QUAD_1      ...      REAL_6      QUAD_6
//Flight 16211
//Date 2014/10/22
Line 1.1
526017  5681919  3.373089  51.287999  50630  101538.0  0.85      45.29      45.29      46.14      46.14      144.93  166.03  ...  1086.16  220.84
526017  5681923  3.373082  51.288035  50631  101538.1  0.85      44.97      44.97      45.83      45.46      146.16  168.11  ...  1095.70  224.16
526016  5681927  3.373075  51.288071  50632  101538.2  0.85      44.66      44.66      45.51      46.28      147.80  170.97  ...  1109.55  228.96

```

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

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	topografische Höhe über NAP abgeleitet aus DEM (AHN)
H_RADAR	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM), ehemaliger Radarhöhenkanal
H_LASER	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM)
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NAP, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
REAL_1	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=380 Hz
QUAD_1	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=380 Hz
REAL_2	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=1770 Hz
QUAD_2	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=1770 Hz
REAL_3	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=5410 Hz, auf horizontal-koplanare Spulenanordnung umgerechnet
QUAD_3	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=5410 Hz, auf horizontal-koplanare Spulenanordnung umgerechnet
REAL_4	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=8300 Hz
QUAD_4	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=8300 Hz
REAL_5	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=41000 Hz
QUAD_5	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=41000 Hz
REAL_6	ppm	korrigierter Wert der In-phase-Komponente für die Frequenz f=129500 Hz
QUAD_6	ppm	korrigierter Wert der Quadrature-Komponente für die Frequenz f=129500 Hz

Anmerkungen:

Zeilen, die mit "/" beginnen, sind Kommentarzeilen.  
 Zeilen, die mit "//" beginnen, geben Auskunft über Flugnummer und Datum.  
 Zeilen, die mit "Line" beginnen, kennzeichnen Messprofilinien.  
 Zeilen, die mit "Tie" beginnen, kennzeichnen Kontrollprofile.





### 3) Halbraumparameter: HEM162\_APP.XYZ

Beispiel:

/Processing by B. Siemon (BGR) using Oasis montaj 7.3 and EM\_view16c

/Levelled data, man-made effects removed

/Half-space parameters exported from EM\_view16c

/Transferred 07-MAY-16 00:15:34

```

/      X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_TIME      TOPO      H_RADAR      H_LASER      BIRD_NN      H_BARO      RHOA_1      KDA_1      ZST_1 ... RHOA_6      KDA_6      ZST_6
//Flight 16211
//Date 2014/10/22
Line 1.1
526017 5681919 3.373089 51.287999 50630 101538.0 0.85 45.29 45.29 46.14 46.14 4.91 5.48 34.08 ... 24.74 -0.59 2.89
526017 5681923 3.373082 51.288035 50631 101538.1 0.85 44.97 44.97 45.83 45.46 4.91 5.51 34.11 ... 24.86 -0.42 3.06
526016 5681927 3.373075 51.288071 50632 101538.2 0.85 44.66 44.66 45.51 46.28 4.91 5.42 34.03 ... 25.03 -0.34 3.15

```

In dieser Datei sind alle Positionsdaten und die berechneten Größen  $\rho_a$ ,  $d_a$  und  $z^*$  in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	topografische Höhe über NAP abgeleitet aus DEM (AHN)
H_RADAR	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM), ehemaliger Radarhöhenkanal
H_LASER	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM)
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NAP, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
RHOA_1	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=387$ Hz
KDA_1	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=387$ Hz
ZST_1	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=387$ Hz
RHOA_2	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=1820$ Hz
KDA_2	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=1820$ Hz
ZST_2	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=1820$ Hz
RHOA_3	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=5400$ Hz
KDA_3	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=5400$ Hz
ZST_3	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=5400$ Hz
RHOA_4	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=8370$ Hz
KDA_4	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=8370$ Hz
ZST_4	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=8370$ Hz
RHOA_5	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=41420$ Hz
KDA_5	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=41420$ Hz
ZST_5	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=41420$ Hz
RHOA_6	$\Omega\text{m}$	scheinbarer spezifischer Halbraumwiderstand für die Frequenz $f=133200$ Hz
KDA_6	m	scheinbarer Abstand des Messsystems zur Oberkante des leitenden Halbraums für die Frequenz $f=133200$ Hz
ZST_6	m	Schwerpunktstiefe für die Frequenz $f=133200$ Hz



#### 4) Inversionsdaten HEM162\_INV.XYZ

Beispiel:

/Processing by B. Siemon (BGR) using Oasis montaj 7.3 and EM\_view16c

/Levelled data, man-made effects removed

/Inversion using AUTOINV, started from EM\_view16c

/Transferred 07-MAY-16 00:15:34

```

/      X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_TIME      TOPO      H_RADAR      H_LASER      BIRD_NN      H_BARO      RHO_I_1      D_I_1 ... RHO_I_N      QALL
//Flight 16211
//Date 2014/10/22
Line 1.1
526017  5681919  3.373089  51.287999  50630  101538.0  0.85      45.29      45.29      46.14      46.14      15.81      0.51 ... 10.24      1.23
526017  5681923  3.373082  51.288035  50631  101538.1  0.85      44.97      44.97      45.83      45.46      18.26      0.48 ... 10.20      1.29
526016  5681927  3.373075  51.288071  50632  101538.2  0.85      44.66      44.66      45.51      46.28      19.28      0.47 ... 10.29      1.28

```

In dieser Datei sind alle Positionsdaten und die Ergebnisse  $\rho$ ,  $d$  und  $q_{all}$  einer 1D-Inversion in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	topografische Höhe über NAP abgeleitet aus DEM (AHN)
H_RADAR	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM), ehemaliger Radarhöhenkanal
H_LASER	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM)
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NHN, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
RHO_I_1	$\Omega\text{m}$	spezifischer Widerstand der ersten (oberen) Schicht der N-Schicht-Inversionsmodelle
D_I_1	m	Mächtigkeit der ersten (oberen) Schicht der N-Schicht-Inversionsmodelle
...	...	...
RHO_I_N	$\Omega\text{m}$	spezifischer Widerstand der N-ten Schicht (Substratum) der N-Schicht-Inversionsmodelle
QALL	%	Anpassungsfehler der Inversion (L1-Norm)

Anmerkungen: siehe 2) und

im Header steht zusätzlich:

/NUMLAYER

/ 20

/MUELAYER

/ 0

/IFREQUENCY

/ 1 1 0 1 1 1



### 5) Qualitätskontrollparameter HEM162\_QCP.XYZ

Beispiel:

/Processing by B. Siemon (BGR) using Oasis montaj 7.3 and EM\_view16c

/Levelled data, man-made effects removed, exported from EM\_view16c

/Data quality control parameters

/Transferred 29-SEP-16 16:15

```

/      X      Y      LON      LAT      RECORD      UTC_TIME      TOPO      H_RADAR      H_LASER      BIRD_NN      H_BARO      CHECK_1 ... CHECK_6      CHECK      STD      ALT      QCP      QCPM
//Flight 16211
//Date 2014/10/22
Line 1.1
526017 5681919 3.373088 51.287999 50630 101538.0 0.85 45.29 45.29 46.14 46.14 -999.99 ... -999.99 0.00 0.14 0.00 0.86 -999.99
526017 5681923 3.373081 51.288035 50631 101538.1 0.85 44.97 44.97 45.83 45.46 -999.99 ... -999.99 0.00 0.14 0.00 0.86 -999.99
526016 5681927 3.373074 51.288071 50632 101538.2 0.85 44.66 44.66 45.51 46.28 -999.99 ... -999.99 0.00 0.11 0.00 0.89 -999.99

```

In dieser Datei sind alle Positionsdaten und notwendigen Parameter für die Qualitätskontrolle in der Reihenfolge der nachfolgenden Beschreibung abgespeichert:

Feldname	Einheit	Beschreibung
X	m	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
TOPO	m	topografische Höhe über NAP abgeleitet aus DEM (AHN)
H_RADAR	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM), ehemaliger Radarhöhenkanal
H_LASER	m	berechnete Höhe der Flugsonde (= korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde - DEM)
BIRD_NN	m	korrigierte GPS-Höhe über NAP der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
H_BARO	m	geglättete barometrische Sensorhöhe über NAP, abgeleitet aus der barometrischen Höhe des Hubschraubers abzüglich der Kabellänge
CHECK_1		Marker für EM1 (= 50, 51,...)
CHECK_2		Marker für EM2 (= 40, 41,...)
CHECK_3		Marker für EM3 (= 10, 11,...)
CHECK_4		Marker für EM4 (= 60, 61,...)
CHECK_5		Marker für EM5 (= 20, 21,...)
CHECK_6		Marker für EM6 (= 30, 31,...)
CHECK		Gesamtmarkerwert 0.04 pro CHECK_*, ohne CHECK_6
STD		Gesamtfehlerwert (in Promille maximal 0.8)
ALT		Höhenparameter ((H_LASER - 50)/150 = 0)
QCP		dynamischer Qualitätsparameter (0.0 - 1.0)
QCPM		Qualitätsparametermarker (1.0)

Anmerkungen: siehe 2) und

im Header steht zusätzlich:

/IFREQUENCY

```

/      1      1      0      1      1      1

```



## B) Magnetik

Beschreibung der fünf ASCII-Dateien mit den Ergebnissen der Hubschraubermagnetik (HMG), beispielhaft für die Messgebiete 160-174, die mit BKS60 befliegen wurden: 162 Zeeuws-Vlaanderen.

### Magnetikdaten HMG162.XYZ

```
/BGR HEADER:  
/  
/AREANAME  
/ZEEUWS-VLAANDEREN  
/AREACODE  
/ 162  
/C_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM  
/ 3 31 WGS84  
/ELLIPSOID FOR LON AND LAT  
/ WGS84  
/DEVICE  
/ G-822A  
/IGRF  
/2010  
/LON_BASE  
/ 3.7232000  
LAT_BASE  
/ 51.5126000  
/ALT_BASE  
/ 2  
/TOWCABLE  
/ 39.50  
/LAG  
/23  
/DUMMY  
/-9999  
/PRIVTEXT  
(hier können Kommentarzeilen stehen)
```

Anmerkung:  
Als Bezugssystem ist WGS84 angegeben, was aber quasi identisch zu ETRS89 ist.





Beispiel:

/ XYZ EXPORT [01/06/2017]

/ DATABASE [HMG162\_Split.gdb]

/ Processing by M.Ibs (BGR) using HmgView04

/	X	Y	LON	LAT	RECORD	UTC_DATE	UTC_TIME	ALT_BIRD	H_LASER_RAW	T_BASE_RAW	T_BASE_F	T_RAW	DELTA_T	DELTA_T_LEV	DELTA_T_LEV_CE	MASK	MASK_CE
---	---	---	-----	-----	--------	----------	----------	----------	-------------	------------	----------	-------	---------	-------------	----------------	------	---------

//Flight 16211

//Date 2014/10/22

Line 1.1

526017	5681919	3.373089	51.287999	50630	20141022	101538.0	46.1	46.0	48789.27	48789.01	48814.75	100.96	102.20	102.20	-9999.00	-9999.00
526017	5681923	3.373082	51.288035	50631	20141022	101538.1	45.8	45.7	48789.27	48789.01	48814.75	100.92	102.16	102.16	-9999.00	-9999.00
526016	5681927	3.373075	51.288071	50632	20141022	101538.2	45.5	45.3	48789.27	48789.01	48814.75	100.89	102.13	102.13	-9999.00	-9999.00

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	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_DATE	yyyymmdd	GPS-Datum
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
ALT_BIRD	m	GPS-Höhe der Flugsonde, Bezugssystem WGS84
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	Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes nach Abzug des IGRF und der Tagesvariation sowie Korrektur des richtungsabhängigen Fehlers (heading error)
DELTA_T_LEV	nT	Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes (inkl. anthropogene Effekte)
DELTA_T_LEV_CE	nT	Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes ohne anthropogene Effekte
MASK		Datenmarker = "1" bei fehlerhaften und daher entfernten Daten (Sensor im blinden Winkelbereich), sonst Dummy
MASK_CE		wie MASK, aber zusätzlich auch bei anthropogen gestörten und daher entfernten Daten

Anmerkungen:

Verzögerung von T\_RAW: 2,3 s.

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

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

Zeilen, die mit "Line" beginnen, kennzeichnen Messprofilinien.

Zeilen, die mit "Tie" beginnen, kennzeichnen Kontrollprofile.



## C) Radiometrie

Beschreibung der fünf ASCII-Dateien mit den Ergebnissen der Hubschrauberradiometrie (HRD), beispielhaft für die Messgebiete 160-174, die mit RS-500 RSX-5 befliegen wurden: 162 Zeeuws-Vlaanderen.

### Radiometriedaten HRD162.xyz

```
/BGR HEADER:  
/  
/AREANAME  
/ZEEUWS-VLAANDEREN  
/AREACODE  
/ 162  
/C_MERIDIAN, ZONE, REFERENCE SYSTEM  
/ 3 31 WGS84  
/ELLIPSOID FOR LON AND LAT  
/ WGS84  
/DEVICE  
/ RS-500 RSX-5  
/BACKGROUND (IAEA 2003, S.60) a(TC), b(TC), a(K), b(K), a(U), b(U), a(Th), b(Th), a(upU), b(upU)  
/51.4, 1.0437, 6.59, 0.0619, 1.2, 0.0509, 0.02, 0.0649, 0.32, 0.0133  
/STRIPPING (IAEA 2003, S.65) alpha, beta, gamma, a  
/0.27, 0.4, 0.772, 0.052  
/ATTENUATION (IAEA 2003, S.67) mue(TC), mue(K), mue(U), mue(Th)  
/0.00983, 0.01255, 0.00667, 0.00982  
/SENSITIVITY (IAEA 2003, S.68) S(K), S(U), S(Th)  
/24.5, 3.6, 1.78  
/TOWCABLE  
/ 39.50
```

```
/DUMMY  
/-9999  
/PRIVTEXT  
(hier können Kommentarzeilen stehen)
```

Anmerkung:  
Als Bezugssystem ist WGS84 angegeben, was aber quasi identisch zu ETRS89 ist.

Bei den Messgebieten 135 und 136, die mit GR-820 befliegen wurden, steht alternativ:

```
/DEVICE  
/ GR-820  
/BACKGROUND (IAEA 2003, S.60) a(TC), b(TC), a(K), b(K), a(U), b(U), a(Th), b(Th), a(upU), b(upU)  
/31.09, 0.7224, 5.51, 0.0405, 0.48, 0.0326, 0.33, 0.0412, 0, 0.009  
/STRIPPING (IAEA 2003, S.65) alpha, beta, gamma, a  
/0.249, 0.385, 0.66, 0.04  
/ATTENUATION (IAEA 2003, S.67) mue(TC), mue(K), mue(U), mue(Th)  
/0.00759, 0.0089, 0.00902, 0.00693  
/SENSITIVITY (IAEA 2003, S.68) S(K), S(U), S(Th)  
/32.45, 3.58, 2.31  
/TOWCABLE  
/ 40.00
```



Beispiel:

/ XYZ EXPORT [12/05/2017]

/ DATABASE [HRD162\_Split.gdb]

/ Processing by M.Ibs (BGR) using HrdView114

/	X	Y	LON	LAT	RECORD	UTC_DATE	UTC_TIME	ALT	H_LASER_RAW	HAG	PRESSURE	TEMP	LIVE_T	COSMIC_RAW
---	---	---	-----	-----	--------	----------	----------	-----	-------------	-----	----------	------	--------	------------

Fortsetzung der letzten Zeile:

TOT_RAW	POT_RAW	URA_RAW	THO_RAW	URAUP_RAW	TOT_KOR	POT_KOR	URA_KOR	THO_KOR	EXPO
---------	---------	---------	---------	-----------	---------	---------	---------	---------	------

//Flight 16211

//Date 2014/10/22

Line 1.1

526017	5681919	3.373062	51.288048	5063	20141022	101538	85.3	46.0	84.5	101.120	11.0	999	74
526012	5681958	3.373019	51.288387	5064	20141022	101539	82.9	42.8	82.1	101.148	11.0	999	55
526008	5681998	3.372981	51.288728	5065	20141022	101540	80.5	39.6	79.7	101.176	11.0	999	61

Fortsetzung der letzten drei Zeilen:

668	64	12	17	1	564.7	1.87	1.94	7.77	6.31
674	57	16	22	0	545.4	1.71	2.40	6.39	5.98
632	58	22	16	4	506.3	1.58	2.35	5.65	5.53

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	Rechtswert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
Y	m	Hochwert, Bezugssystem WGS84, Mittelmeridian 3°, UTM-Zone 31N
LON	°	Geografische Länge, Bezugssystem WGS84
LAT	°	Geografische Breite, Bezugssystem WGS84
RECORD		an Messzeitpunkt orientierte fortlaufende Messpunktnummer
UTC_DATE	yyyymmdd	GPS-Datum
UTC_TIME	hhmmss.s	GPS-Zeit (UTC)
ALT	m	GPS-Höhe des Hubschraubers, Bezugssystem WGS84
H_LASER_RAW	m	Messwert der Laserhöhe der Messsonde über der Erdoberfläche
HAG	m	Höhe des Hubschraubers über der Erdoberfläche
PRESSURE	kPa	Luftdruck
TEMP	°C	Lufttemperatur
LIVE_T	ms	Registrierzeitintervall
COSMIC_RAW	cps	Kosmische Strahlung > 3 MeV
TOT_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Gesamtstrahlung
POT_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Kaliumstrahlung
URA_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Uranstrahlung
THO_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Thoriumstrahlung
URAUP_RAW	cps	Rohdaten der gemessenen Uranstrahlung im upward-looking Kristall
TOT_KOR	cps	Gesamtstrahlung (korrigiert, geglättet)
POT_KOR	%	Kaliumgehalt (K-40) im Boden (korrigiert, geglättet)
URA_KOR	ppm	Äquivalentgehalt von Uran (eU) im Boden (korrigiert, geglättet)
THO_KOR	ppm	Äquivalentgehalt von Thorium (eTh) im Boden (korrigiert, geglättet)
EXPO	µR/h	Dosisleistung am Erdboden, ermittelt aus korrigierten Gehalten

Anmerkungen: siehe Magnetik



## Anhang VI

### DVD-Inhalt

\Bericht\ Technischer-Bericht-AEM-Zeeland.pdf	\161\HEM\ HEM161_APP.xyz HEM161_DAT.xyz HEM161_INV.xyz HEM161_QCP.xyz HEM161_RAW.xyz
\Daten\ Format_description_HEM.txt Format_description_HMG.txt Format_description_HRD.txt	\161\HMG\ HMG161.xyz
\135\HEM\ HEM135_APP.xyz HEM135_DAT.xyz HEM135_INV.xyz HEM135_QCP.xyz HEM135_RAW.xyz	\161\HRD\ HRD161.xyz
\135\HMG\ HMG135.xyz	\162\HEM\ HEM162_APP.xyz HEM162_DAT.xyz HEM162_INV.xyz HEM162_QCP.xyz HEM162_RAW.xyz
\135\HRD\ HRD135.xyz	\162\HMG\ HMG162.xyz
\136\HEM\ HEM136_APP.xyz HEM136_DAT.xyz HEM136_INV.xyz HEM136_QCP.xyz HEM136_RAW.xyz	\162\HRD\ HRD162.xyz
\136\HMG\ HMG136.xyz	\163\HEM\ HEM163_APP.xyz HEM163_DAT.xyz HEM163_INV.xyz HEM163_QCP.xyz HEM163_RAW.xyz
\136\HRD\ HRD136.xyz	\163\HMG\ HMG163.xyz
\160\HEM\ HEM160_APP.xyz HEM160_DAT.xyz HEM160_INV.xyz HEM160_QCP.xyz HEM160_RAW.xyz HEM162_APP.xyz HEM162_DAT.xyz HEM162_INV.xyz HEM162_QCP.xyz HEM162_RAW.xyz	\163\HRD\ HRD163.xyz
\160\HMG\ HMG160.xyz	\164\HEM\ HEM164_APP.xyz HEM164_DAT.xyz HEM164_INV.xyz HEM164_QCP.xyz HEM164_RAW.xyz
\160\HRD\ HRD160.xyz	\164\HMG\ HMG164.xyz
	\164\HRD\ HRD164.xyz



---

\165\HEM\ HEM165_APP.xyz HEM165_DAT.xyz HEM165_INV.xyz HEM165_QCP.xyz HEM165_RAW.xyz	\169\HMG\ HMG169.xyz
\165\HMG\ HMG165.xyz	\169\HRD\ HRD169.xyz
\165\HRD\ HRD165.xyz	\170\HEM\ HEM170_APP.xyz HEM170_DAT.xyz HEM170_INV.xyz HEM170_QCP.xyz HEM170_RAW.xyz
\166\HEM\ HEM166_APP.xyz HEM166_DAT.xyz HEM166_INV.xyz HEM166_QCP.xyz HEM166_RAW.xyz	\170\HMG\ HMG170.xyz
\166\HMG\ HMG166.xyz	\170\HRD\ HRD170.xyz
\166\HRD\ HRD166.xyz	\171\HEM\ HEM171_APP.xyz HEM171_DAT.xyz HEM171_INV.xyz HEM171_QCP.xyz HEM171_RAW.xyz
\167\HEM\ HEM167_APP.xyz HEM167_DAT.xyz HEM167_INV.xyz HEM167_QCP.xyz HEM167_RAW.xyz	\171\HMG\ HMG171.xyz
\167\HMG\ HMG167.xyz	\171\HRD\ HRD171.xyz
\167\HRD\ HRD167.xyz	\172\HEM\ HEM172_APP.xyz HEM172_DAT.xyz HEM172_INV.xyz HEM172_QCP.xyz HEM172_RAW.xyz
\168\HEM\ HEM168_APP.xyz HEM168_DAT.xyz HEM168_INV.xyz HEM168_QCP.xyz HEM168_RAW.xyz	\172\HMG\ HMG172.xyz
\168\HMG\ HMG168.xyz	\172\HRD\ HRD172.xyz
\168\HRD\ HRD168.xyz	\173\HEM\ HEM173_APP.xyz HEM173_DAT.xyz HEM173_INV.xyz HEM173_QCP.xyz HEM173_RAW.xyz
\169\HEM\ HEM169_APP.xyz HEM169_DAT.xyz HEM169_INV.xyz HEM169_QCP.xyz HEM169_RAW.xyz	\173\HMG\ HMG173.xyz
	\173\HRD\ HRD173.xyz

\174\HEM\ HEM174_APP.xyz HEM174_DAT.xyz HEM174_INV.xyz HEM174_QCP.xyz HEM174_RAW.xyz	160-164_rho@015mbsl.flt 160-164_rho@015mbsl.flt.gi 160-164_rho@015mbsl.flt.xml 160-164_rho@015mbsl.hdr 160-164_rho@020mbsl.flt 160-164_rho@020mbsl.flt.gi 160-164_rho@020mbsl.flt.xml
\174\HMG\ HMG174.xyz	160-164_rho@020mbsl.hdr 160-164_rho@030mbsl.flt 160-164_rho@030mbsl.flt.gi 160-164_rho@030mbsl.flt.xml
\174\HRD\ HRD174.xyz	160-164_rho@030mbsl.hdr 160-164_rho@040mbsl.flt 160-164_rho@040mbsl.flt.gi 160-164_rho@040mbsl.flt.xml
\Karten\ Zeeland-Übersicht.jpg	160-164_rho@040mbsl.hdr 160-164_RHOA1_FIN.flt 160-164_RHOA1_FIN.flt.gi 160-164_RHOA1_FIN.flt.xml
\ArcGis\DEM\ 160-164_DEM.flt 160-164_DEM.flt.gi 160-164_DEM.flt.xml 160-164_DEM.hdr 165-168_DEM.flt 165-168_DEM.flt.gi 165-168_DEM.flt.xml 165-168_DEM.hdr 169-174_DEM.flt 169-174_DEM.flt.gi 169-174_DEM.flt.xml 169-174_DEM.hdr	160-164_RHOA1_FIN.hdr 160-164_RHOA2_FIN.flt 160-164_RHOA2_FIN.flt.gi 160-164_RHOA2_FIN.flt.xml 160-164_RHOA2_FIN.hdr 160-164_RHOA3_FIN.flt 160-164_RHOA3_FIN.flt.gi 160-164_RHOA3_FIN.flt.xml 160-164_RHOA3_FIN.hdr 160-164_RHOA4_FIN.flt 160-164_RHOA4_FIN.flt.gi 160-164_RHOA4_FIN.flt.xml 160-164_RHOA4_FIN.hdr 160-164_RHOA5_FIN.flt 160-164_RHOA5_FIN.flt.gi 160-164_RHOA5_FIN.flt.xml 160-164_RHOA5_FIN.hdr 160-164_RHOA6_FIN.flt 160-164_RHOA6_FIN.flt.gi 160-164_RHOA6_FIN.flt.xml 160-164_RHOA6_FIN.hdr
\ArcGis\HEM\ 160-164_rho@001mbsl.flt 160-164_rho@001mbsl.flt.gi 160-164_rho@001mbsl.flt.xml 160-164_rho@001mbsl.hdr 160-164_rho@002mbsl.flt 160-164_rho@002mbsl.flt.gi 160-164_rho@002mbsl.flt.xml 160-164_rho@002mbsl.hdr 160-164_rho@003mbsl.flt 160-164_rho@003mbsl.flt.gi 160-164_rho@003mbsl.flt.xml 160-164_rho@003mbsl.hdr 160-164_rho@004mbsl.flt 160-164_rho@004mbsl.flt.gi 160-164_rho@004mbsl.flt.xml 160-164_rho@004mbsl.hdr 160-164_rho@006mbsl.flt 160-164_rho@006mbsl.flt.gi 160-164_rho@006mbsl.flt.xml 160-164_rho@006mbsl.hdr 160-164_rho@010mbsl.flt 160-164_rho@010mbsl.flt.gi 160-164_rho@010mbsl.flt.xml 160-164_rho@010mbsl.hdr	160-164_ZST1_FIN.flt 160-164_ZST1_FIN.flt.gi 160-164_ZST1_FIN.flt.xml 160-164_ZST1_FIN.hdr 160-164_ZST2_FIN.flt 160-164_ZST2_FIN.flt.gi 160-164_ZST2_FIN.flt.xml 160-164_ZST2_FIN.hdr 160-164_ZST3_FIN.flt 160-164_ZST3_FIN.flt.gi 160-164_ZST3_FIN.flt.xml 160-164_ZST3_FIN.hdr

160-164\_ZST4\_FIN.flr  
160-164\_ZST4\_FIN.flr.gi  
160-164\_ZST4\_FIN.flr.xml  
160-164\_ZST4\_FIN.hdr  
160-164\_ZST5\_FIN.flr  
160-164\_ZST5\_FIN.flr.gi  
160-164\_ZST5\_FIN.flr.xml  
160-164\_ZST5\_FIN.hdr  
160-164\_ZST6\_FIN.flr  
160-164\_ZST6\_FIN.flr.gi  
160-164\_ZST6\_FIN.flr.xml  
160-164\_ZST6\_FIN.hdr  
165-168\_rho@001mbsl.flr  
165-168\_rho@001mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@001mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@001mbsl.hdr  
165-168\_rho@002mbsl.flr  
165-168\_rho@002mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@002mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@002mbsl.hdr  
165-168\_rho@003mbsl.flr  
165-168\_rho@003mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@003mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@003mbsl.hdr  
165-168\_rho@004mbsl.flr  
165-168\_rho@004mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@004mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@004mbsl.hdr  
165-168\_rho@006mbsl.flr  
165-168\_rho@006mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@006mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@006mbsl.hdr  
165-168\_rho@010mbsl.flr  
165-168\_rho@010mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@010mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@010mbsl.hdr  
165-168\_rho@015mbsl.flr  
165-168\_rho@015mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@015mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@015mbsl.hdr  
165-168\_rho@020mbsl.flr  
165-168\_rho@020mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@020mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@020mbsl.hdr  
165-168\_rho@030mbsl.flr  
165-168\_rho@030mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@030mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@030mbsl.hdr  
165-168\_rho@040mbsl.flr  
165-168\_rho@040mbsl.flr.gi  
165-168\_rho@040mbsl.flr.xml  
165-168\_rho@040mbsl.hdr  
165-168\_RHOA1\_FIN.flr  
165-168\_RHOA1\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA1\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA1\_FIN.hdr  
165-168\_RHOA2\_FIN.flr  
165-168\_RHOA2\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA2\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA2\_FIN.hdr  
165-168\_RHOA3\_FIN.flr  
165-168\_RHOA3\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA3\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA3\_FIN.hdr  
165-168\_RHOA4\_FIN.flr  
165-168\_RHOA4\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA4\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA4\_FIN.hdr  
165-168\_RHOA5\_FIN.flr  
165-168\_RHOA5\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA5\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA5\_FIN.hdr  
165-168\_RHOA6\_FIN.flr  
165-168\_RHOA6\_FIN.flr.gi  
165-168\_RHOA6\_FIN.flr.xml  
165-168\_RHOA6\_FIN.hdr  
165-168\_ZST1\_FIN.flr  
165-168\_ZST1\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST1\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST1\_FIN.hdr  
165-168\_ZST2\_FIN.flr  
165-168\_ZST2\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST2\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST2\_FIN.hdr  
165-168\_ZST3\_FIN.flr  
165-168\_ZST3\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST3\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST3\_FIN.hdr  
165-168\_ZST4\_FIN.flr  
165-168\_ZST4\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST4\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST4\_FIN.hdr  
165-168\_ZST5\_FIN.flr  
165-168\_ZST5\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST5\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST5\_FIN.hdr  
165-168\_ZST6\_FIN.flr  
165-168\_ZST6\_FIN.flr.gi  
165-168\_ZST6\_FIN.flr.xml  
165-168\_ZST6\_FIN.hdr  
169-174\_rho@001mbsl.flr  
169-174\_rho@001mbsl.flr.gi  
169-174\_rho@001mbsl.flr.xml  
169-174\_rho@001mbsl.hdr

169-174\_rho@002mbsl.flt  
169-174\_rho@002mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@002mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@002mbsl.hdr  
169-174\_rho@003mbsl.flt  
169-174\_rho@003mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@003mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@003mbsl.hdr  
169-174\_rho@004mbsl.flt  
169-174\_rho@004mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@004mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@004mbsl.hdr  
169-174\_rho@006mbsl.flt  
169-174\_rho@006mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@006mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@006mbsl.hdr  
169-174\_rho@010mbsl.flt  
169-174\_rho@010mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@010mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@010mbsl.hdr  
169-174\_rho@015mbsl.flt  
169-174\_rho@015mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@015mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@015mbsl.hdr  
169-174\_rho@020mbsl.flt  
169-174\_rho@020mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@020mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@020mbsl.hdr  
169-174\_rho@030mbsl.flt  
169-174\_rho@030mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@030mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@030mbsl.hdr  
169-174\_rho@040mbsl.flt  
169-174\_rho@040mbsl.flt.gi  
169-174\_rho@040mbsl.flt.xml  
169-174\_rho@040mbsl.hdr  
169-174\_RHOA1\_FIN.flt  
169-174\_RHOA1\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA1\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA1\_FIN.hdr  
169-174\_RHOA2\_FIN.flt  
169-174\_RHOA2\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA2\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA2\_FIN.hdr  
169-174\_RHOA3\_FIN.flt  
169-174\_RHOA3\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA3\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA3\_FIN.hdr  
169-174\_RHOA4\_FIN.flt  
169-174\_RHOA4\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA4\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA4\_FIN.hdr  
169-174\_RHOA5\_FIN.flt  
169-174\_RHOA5\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA5\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA5\_FIN.hdr  
169-174\_RHOA6\_FIN.flt  
169-174\_RHOA6\_FIN.flt.gi  
169-174\_RHOA6\_FIN.flt.xml  
169-174\_RHOA6\_FIN.hdr  
169-174\_ZST1\_FIN.flt  
169-174\_ZST1\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST1\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST1\_FIN.hdr  
169-174\_ZST2\_FIN.flt  
169-174\_ZST2\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST2\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST2\_FIN.hdr  
169-174\_ZST3\_FIN.flt  
169-174\_ZST3\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST3\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST3\_FIN.hdr  
169-174\_ZST4\_FIN.flt  
169-174\_ZST4\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST4\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST4\_FIN.hdr  
169-174\_ZST5\_FIN.flt  
169-174\_ZST5\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST5\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST5\_FIN.hdr  
169-174\_ZST6\_FIN.flt  
169-174\_ZST6\_FIN.flt.gi  
169-174\_ZST6\_FIN.flt.xml  
169-174\_ZST6\_FIN.hdr  
\\ArcGis\HMG\  
DELTA\_T\_LEV.flt  
DELTA\_T\_LEV.flt.gi  
DELTA\_T\_LEV.flt.xml  
DELTA\_T\_LEV.hdr  
DELTA\_T\_LEV\_CE.flt  
DELTA\_T\_LEV\_CE.flt.gi  
DELTA\_T\_LEV\_CE.flt.xml  
DELTA\_T\_LEV\_CE.hdr  
\\ArcGis\HRD\  
EXPO.flt  
EXPO.flt.gi  
EXPO.flt.xml  
EXPO.hdr  
K.flt  
K.flt.gi  
K.flt.xml  
K.hdr  
TC.flt

TC.ftl.gi	\Karten\ \HMG\ TK100 Zeeland Magnetik↵ mit anthropogenenEffekten.pdf
TC.ftl.xml	TK100 Zeeland Magnetik↵ ohne anthropogeneEffekte.pdf
TC.hdr	
Th.ftl	
Th.ftl.gi	
Th.ftl.xml	
Th.hdr	
U.ftl	\Karten\ \HRD\ TK100 Zeeland Dosisleistung.pdf
U.ftl.gi	TK100 Zeeland Gesamtstrahlung.pdf
U.ftl.xml	TK100 Zeeland Kalium.pdf
U.hdr	TK100 Zeeland Ternary.pdf
\Karten\ \DEM\ TK100 Zeeland Höhenmodell DEM.pdf	TK100 Zeeland Thorium.pdf
	TK100 Zeeland Uran.pdf
\Karten\ \Fluglinien\ TK100 Zeeland Fluglinien.pdf	\VRS\ VRS135.pdf
	VRS136.pdf
	VRS160.pdf
\Karten\ \HEM\ TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa1.pdf	VRS161.pdf
TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa2.pdf	VRS162.pdf
TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa3.pdf	VRS163.pdf
TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa4.pdf	VRS164.pdf
TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa5.pdf	VRS165.pdf
TK100 Zeeland Halbraumwiderstand rhoa6.pdf	VRS166.pdf
TK100 Zeeland Qualitätskontrollparameter.pdf	VRS167.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst1.pdf	VRS168.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst2.pdf	VRS169.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst3.pdf	VRS170.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst4.pdf	VRS171.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst5.pdf	VRS172.pdf
TK100 Zeeland Schwerpunktstiefe zst6.pdf	VRS173.pdf
TK100 Zeeland Widerstand 001m unter NAP.pdf	VRS174.pdf
TK100 Zeeland Widerstand 002m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 003m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 004m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 006m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 010m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 015m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 020m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 030m unter NAP.pdf	
TK100 Zeeland Widerstand 040m unter NAP.pdf	

## **Anhang VII**

### **Karten**

(Originalkarten 1:100.000 verkleinert auf 1:400.000)





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.