



Bericht zur seismischen Datenbearbeitung

2D-Seismik DEKORP - Querprofile Land Hessen

Auftraggeber:



Für eine lebenswerte Zukunft

Hessisches Landesamt für Naturschutz,
Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Autor:

Florian Wolf

DMT Petrologic GmbH & Co. KG
Karl-Wiechert-Allee 76
30625 Hannover
Deutschland

E-Mail: florian.wolf@dm-group.com

Tel: +49-511-5413917

Hannover, März 2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Allgemeines	6
1.1 Arbeitsumfang	9
1.2 Personal	9
2 Messparameter	10
2.1 Geodätische Referenzparameter	10
2.2 Profilparameter	10
3 Processing der Querlinien (2D)	11
3.1 Einlesen des Datenmaterials	11
3.2 Aufsetzen der Geometrie	11
3.3 Automatisches Despiking	11
3.4 Korrelation	11
3.5 Minimumphasenwandlung	11
3.6 Grundstatische Korrekturen	12
3.6.1 Bestimmen der Ersteinsätze	12
3.6.2 Refraktionsstatik	12
3.7 Tauchwellen-Tomografie	12
3.8 Editieren von Spuren	13
3.9 Korrektur der sphärischen Divergenz	13
3.10 Oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur (erster Durchgang)	13
3.11 Reststatische Korrekturen	13
3.12 Oberflächenkonsistente Dekonvolution	13
3.13 Kerbfiler	14
3.14 Luftschall- (Air Blast-) Unterdrückung	14
3.15 Oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur (zweiter Durchgang)	14

3.16	Noisy Trace Editing (NTE).....	14
3.17	Oberflächenwellen- (Groundroll-) Unterdrückung.....	15
3.18	Common Reflection Surface (CRS) Bearbeitung	15
4	Zeitmigration der Querlinien (2D).....	17
4.1	PostStack-Zeitmigration (PoSTM).....	17
4.2	PreStack-Zeitmigration (PreSTM)	17
4.3	Post-Migration Processing (nach PreSTM)	18
4.3.1	Mute.....	18
4.3.2	Residual Moveout Analyse (RMO)	18
4.4	Post-Stack Processing.....	19
4.4.1	Dip Attenuation.....	19
4.4.2	F-K Filter und F-X Dekonvolution	19
4.4.3	Skalierung	19
4.4.4	Bandpass-Filterung	19
4.4.5	Nullphasen-Umwandlung	19
5	PreStack-Tiefenmigration (PreSDM) der Querlinien (2D)	21
5.1	Erstellen des Geschwindigkeits-Tiefen-Modells	21
5.2	Finale PreStack-Tiefenmigration	22
5.3	Post-Migration Processing	22
5.4	Post-Stack Processing.....	22
6	Processing der Querlinien (3D)	24
6.1	Aufsetzen der Geometrie	24
6.2	Weitere Besonderheiten	24
6.3	Kerbfilter	24
7	Datenübergabe.....	27
7.1	Ausgaben als SEG-Y.....	27
8	Zusammenfassung.....	29
9	Anhang.....	30
9.1	Processingschritte der Querlinien (2D).....	30
9.2	Processingschritte der Querlinien (3D).....	33

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Lage der fünf reflexionsseismischen Profile	6
Abb. 1.2: Lage der Querprofile des Profils DEK90-3A	7
Abb. 1.3: Lage der Querprofile des Profils DEK90-3B	8
Abb. 3.2: Minimum-Phasen-Wandlung	12
Abb. 3.3: DEK90-3A-Q12 - Stapelung nach oberflächenkonsistenter Dekonvolution	14
Abb. 3.4: DEK90-3A-Q12 - Stapelung nach Noise-Unterdrückung	15
Abb. 3.5: DEK90-3A-Q12 - Finale Stapelung nach CRS und Post-Stack-Bearbeitung	16
Abb. 4.6: DEK90-3A-Q12 - Finale Post-Stack-Zeitmigration	17
Abb. 4.7: DEK90-3A-Q12 - Finale Pre-Stack-Zeitmigration	18
Abb. 5.8: DEK90-3A-Q12 - Finale Pre-Stack-Tiefenmigration.....	23
Abb. 6.9: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Stapelung nach Noise Cleaning.....	25
Abb. 6.10: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Stapelung nach CRS.....	25
Abb. 6.11: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Post-Stack-Zeitmigration	26
Abb. 6.12: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Pre-Stack-Zeitmigration.....	26
Abb. 6.13: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Pre-Stack-Tiefenmigration.....	26
Abb. 9.14: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 1- Dateneingabe bis CRS	30
Abb. 9.15: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 2- Stapelung und PostSTM.....	31
Abb. 9.16: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 3 - PreSTM und PreSDM.....	32
Abb. 9.17: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 1- Dateneingabe bis CRS	33
Abb. 9.18: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 2- Stapelung und PostSTM.....	34
Abb. 9.19: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 3 - PreSTM und PreSDM.....	35

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Querlinien und Position relativ zum Hauptprofil	10
Tab. 2.2: Profilparameter	10
Tab. 3.3: Schwellwerte für Noisy Trace Editing (NTE)	15
Tab. 3.4: CRS-Parameter	16

1 Allgemeines

Im Rahmen des Projektes DEKORP (Deutsches Kontinentales Reflexionsseismisches Programm) wurden im Zeitraum zwischen 1984 - 1999 verschiedene seismische Profile gemessen. Das damalige Ziel war die Untersuchung der tiefen Krustenstrukturen Deutschlands. Die Daten wurden dafür im DEKORP-Rechenzentrum am Geophysik-Institut der TU Clausthal erstprozessiert. Für das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) wurden fünf dieser Profile, welche sich komplett oder teilweise im Bundesland Hessen befinden, neu bearbeitet. Es handelt sich bei diesen fünf Profilen um die Linien DEK84-2S, DEK86-2N, DEK88-9N, DEK90-3A und DEK90-3B (siehe Abb. 1.1). Hierzu wurde ein separater Bericht erstellt.

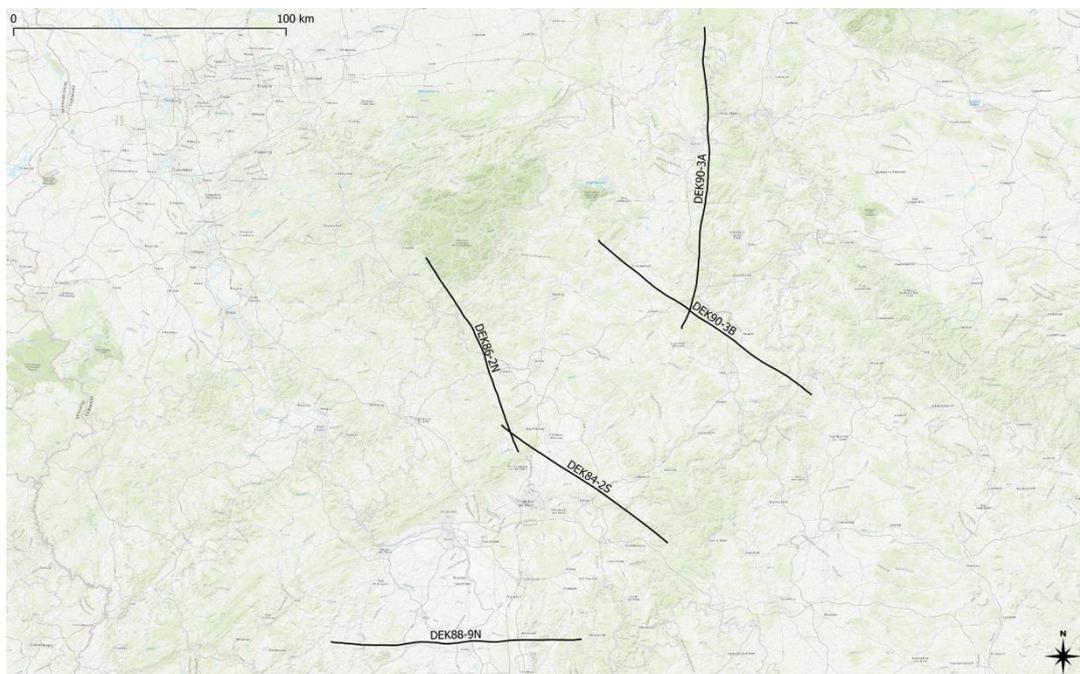


Abb. 1.1: Lage der fünf reflexionsseismischen Profile

Im Rahmen der Messkampagne wurden an verschiedenen Stellen der Profile DEK90-3A und DEK90-3B 9 Registrierungen in sogenannten Queraufstellungen durchgeführt. Hierfür wurde eine Geophonauslage senkrecht zur Richtung des Hauptprofils aufgebaut. Durch Einsatz einer separaten Apparatur wurden einerseits die Anregungen des Hauptprofils aufgezeichnet, woraus ein einfach überdecktes 3D-Datenvolumen entstand, andererseits wurden entlang der Querprofile an (in der Regel 8) Stationen angeregt, so dass ein 2D-Profil senkrecht zur Richtung des Hauptprofils aufgezeichnet werden konnte. Die Lage der Querprofile der Profile DEK90-3A und DEK90-3B sind in den Abb. 1.2 und 1.3 dargestellt.

Der vorliegende Bericht umfasst die Dokumentation der seismischen Datenbearbeitung der 5 Querprofile DEK90-3A-Q12 bis -Q16 sowie die dazugehörigen 3D-Einfachüberdeckungen und die der 4 Querprofile DEK90-3B-Q21 bis -Q24 (ohne 3D-Einfachüberdeckungen) durch die DMT Petrologic GmbH & Co. KG.

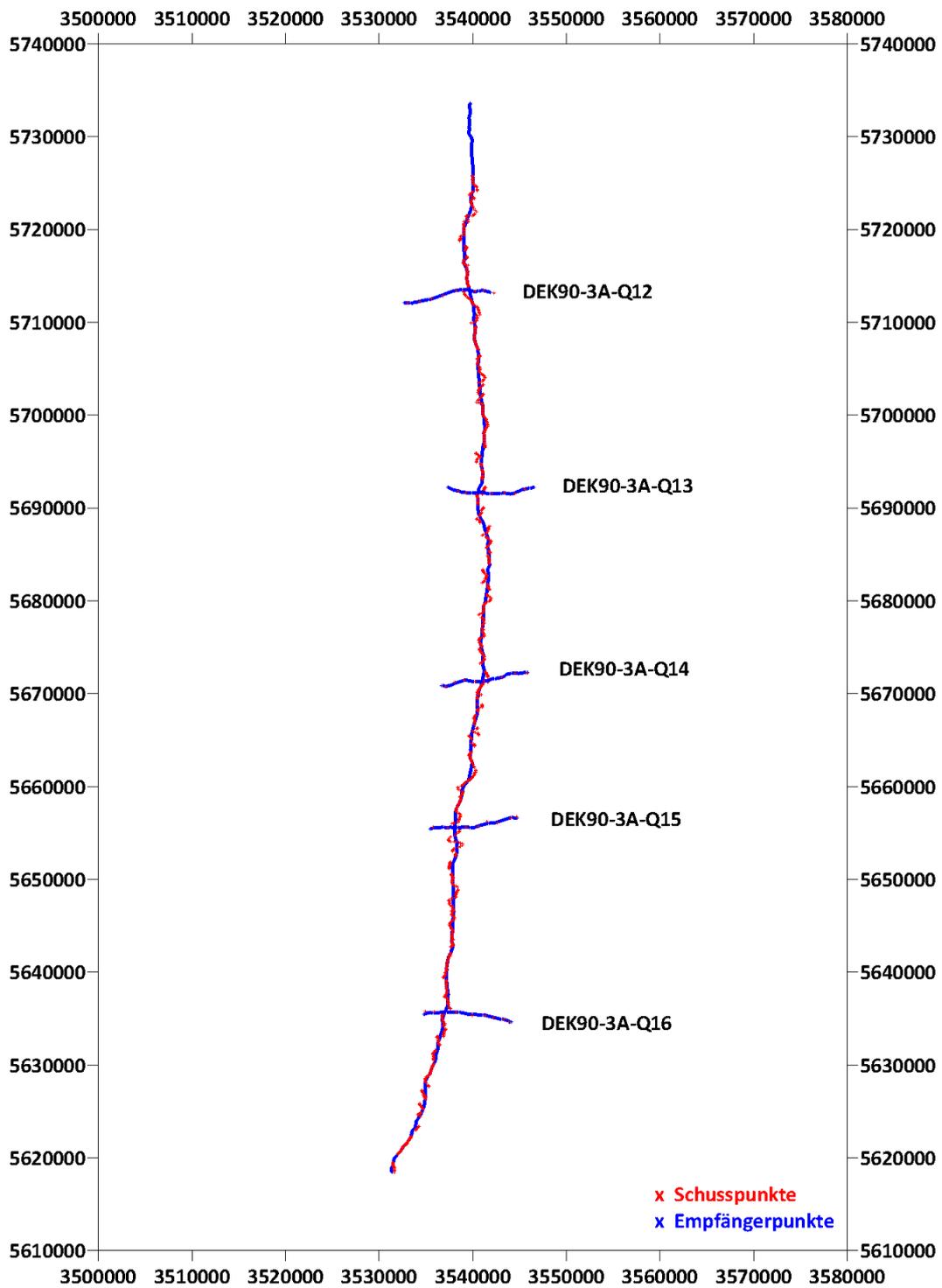


Abb. 1.2: Lage der Querprofile des Profils DEK90-3A

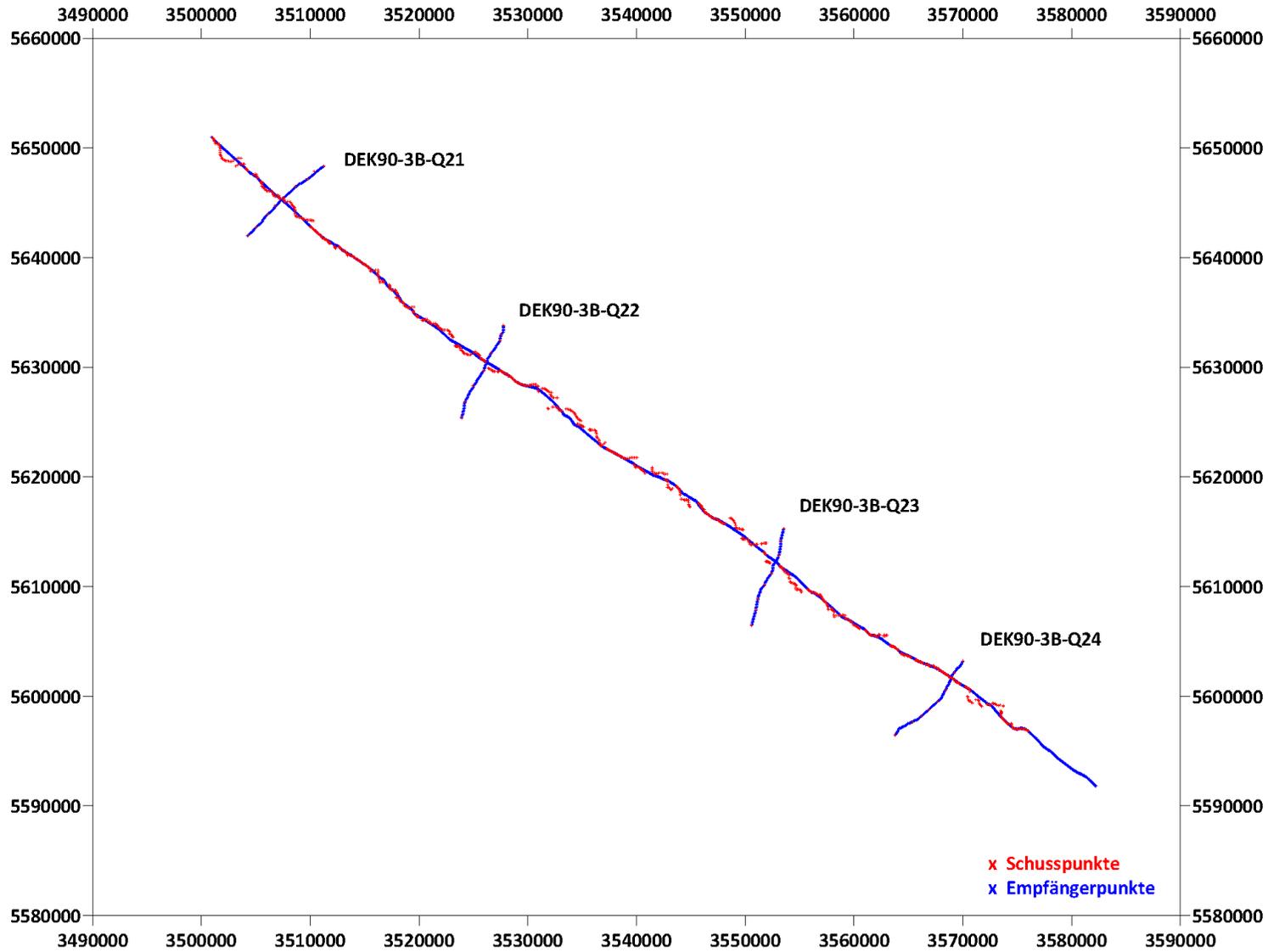


Abb. 1.3: Lage der Querprofile des Profils DEK90-3B

1.1 Arbeitsumfang

Zunächst fand eine Standardbearbeitung der Daten im Zeitbereich bis einschließlich zur PreStack-Zeitmigration statt. Im Zuge der Zeitbearbeitung kam auch die CRS-Methode für eine Verbesserung des Signal-/Rausch-Verhältnisses und zur korrekten Abbildung konkurrierender Neigungen zum Einsatz. Es wurde ebenso eine Tauchwellen-Tomografie erstellt, um ein detailliertes Geschwindigkeitsmodell für den oberflächennahen Bereich zu erhalten. Als letzter Schritt wurde eine PreStack-Tiefenmigration berechnet.

Auf Grund der Messkonfiguration und der daraus resultierenden geringen Datendichte erwies sich die Bearbeitung der Querlinien als schwierig.

Daher wurde bei der Ermittlung der (Stapel-)Geschwindigkeiten auf die Ergebnisse der Bearbeitung der Hauptprofile zurückgegriffen, wo das Geschwindigkeitsprofil an der Schnittstelle von Hauptprofil und der jeweiligen Querlinie als Referenz genommen wurde.

Abgesehen von diesen Besonderheiten entsprach der Bearbeitungsumfang für die Querlinien dem der Hauptprofile.

Auch die Bearbeitung der registrierten 3D-Einfachüberdeckungen im Bereich der Querlinien Q12 bis Q16 folgte der Bearbeitung der Hauptprofile.

1.2 Personal

Ansprechpartner auf Seiten des HLNUG war Dr. Benjamin Homuth. Das GFZ Potsdam wurde durch Manfred Stiller vertreten. Für DMT Petrologic wurde das Processing von Florian Wolf durchgeführt.

2 Messparameter

2.1 Geodätische Referenzparameter

Alle Positionsangaben erfolgen im Gauss-Krüger Koordinatensystem mit folgenden Parametern:

Projektion und Abbildung:	GK3
Datum:	Deutsches Hauptdreiecksnetz (DHDN)
Projektion:	Gauß-Krüger
Projektionstyp:	Transverse Mercator
Ellipsoid:	Bessel 1841

2.2 Profilparameter

Die hier aufgeführten Parameter beziehen sich auf die Daten, welche in Form von SEG-Y-Dateien, ASCII-Dateien und PDF-Dokumenten vom GFZ Potsdam zur Verfügung gestellt wurden. Tab. 2.1 zeigt die Lage der Querprofile relativ zu Stationsnummer und CMP der jeweiligen Hauptprofile sowie die Bereiche der jeweils zu berücksichtigenden Feldaufzeichnungsnummern (FFID).

Profil	Querlinie	FFID-Bereich („3D“)	FFID-Bereich („2D“)	Station Profil	CMP Profil
DEK90-3A	Q12	335 – 490	411 – 417, 419	1672	1261
	Q13	491 – 619	581 – 587, 589	2115	2146
	Q14	620 – 767	760 – 767	2529	2961
	Q15	768 – 933	854 – 858, 860 - 862	2853	3590
	Q16	934 – 1093	1017 – 1024	3257	4393
DEK90-3B	Q21	-/-	1195 – 1202	1172	2343
	Q22	-/-	1381 – 1388	1654	3303
	Q23	-/-	1564 – 1571	2310	4591
	Q24	-/-	1707 - 1714	2700	5367

Tab. 2.1: Querlinien und Position relativ zum Hauptprofil

Die Profilparameter der Messungen sind in Tab. 2.2 aufgeführt.

Profil	Profillänge [km]	CMP-Bereich	CMP-Intervall [m]	Überdeckung (nominell)	Spurlänge [s]	Sampling-Intervall [ms]	Sweep-Frequenz [Hz] / Sweep-Dauer [s]	Kontraktor
DEK90-3A	112,8	613 - 5122	25	81	14	4	12 - 48 / 20	Prakla-Seismos
DEK90-3B	96,8	2004 - 5874	25	80	14	4	12 - 48 / 20	Prakla-Seismos

Tab. 2.2: Profilparameter

3 Processing der Querlinien (2D)

Die Bearbeitung der Querlinien erwies sich aus mehreren Gründen als schwierig. Große Offsets (nominelle Länge der Auslage 9520 m), ein großer Geophongruppenabstand (80 m) und ein Abstand der Anregungspunkte von nominell 1200 m resultieren in einer maximalen Überdeckung von 8. Die Daten sind mit Spikes und Noise Bursts behaftet, die sich wegen der aus der Geometrie ergebenden schwachen Statistik nur schwierig erfassen und noch schwieriger durch interpolierte Informationen von Nachbarspuren ersetzen lassen. Die Reflektivität in den Daten ist sehr schlecht. Als Konsequenz hieraus können Werkzeuge wie Geschwindigkeitsanalysen und Reststatik nicht wirksam eingesetzt werden. Die Geschwindigkeiten zur Stapelung wurden aus dem Geschwindigkeitsfeld des jeweiligen Hauptprofils am Schnittpunkt extrahiert.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die durchgeführten Bearbeitungsschritte im Detail.

Für die Zeitbearbeitung wurde ProMAX v2003.19.1 und die Tsunami Software v2015 (für die PreStack-Zeitmigration) verwendet. Die Tauchwellen-Tomografie wurde mittels XtremeGeo's Flatirons Software realisiert. Für die CRS-Bearbeitung wurde Petrologics fortschrittliche hausinterne Implementierung verwendet. Die Tiefenbearbeitung wurde mit der Shearwater Reveal Platform v4.1 durchgeführt.

3.1 Einlesen des Datenmaterials

Die erhaltenen SEG-Y- und ASCII-Daten wurden in ProMAX in das System und dessen internes Format eingelesen und auf Vollständigkeit überprüft. Die seismischen Daten wurden unkorreliert zur Verfügung gestellt.

3.2 Aufsetzen der Geometrie

Um die einzelnen Spuren zu verwalten und eine Zuordnung zu geographischen Punkten im Feld zu erhalten, müssen geographische und geometrische Informationen, wie die Koordinaten der Quell- und Aufnehmerpositionen sowie die Zuordnung zwischen Quellpunkt und Empfänger in die Datenbank von ProMAX eingetragen werden. Dabei berechnet das System automatisch gemeinsame Mittelpunkte zwischen Quell- und Empfängerpositionen.

3.3 Automatisches Despiking

An Hand einer vom GfZ Potsdam erarbeiteten Routine wurden Spikes aus den unkorrelierten Daten entfernt, so dass sie nicht in den Korrelationsprozess eingehen.

3.4 Korrelation

Die unkorreliert aufgezeichneten Daten wurden mit einer synthetischen Version des Anregungs-Sweeps korreliert, da keine registrierte Korrelation des gefilterten Referenzsignals auf einem Hilfskanal zur Verfügung stand.

3.5 Minimumphasenwandlung

Zur Vorbereitung der Dekonvolution wurde das Signal von Zero Phase nach Minimum Phase konvertiert. Hierzu wurde eine synthetische Version des Sweeps an Hand der bekannten Sweep-Parameter erzeugt und ein Matching-Filter bestimmt, der diese in das äquivalente minimalphasige Wavelet überführt (siehe Abb. 3.4:).

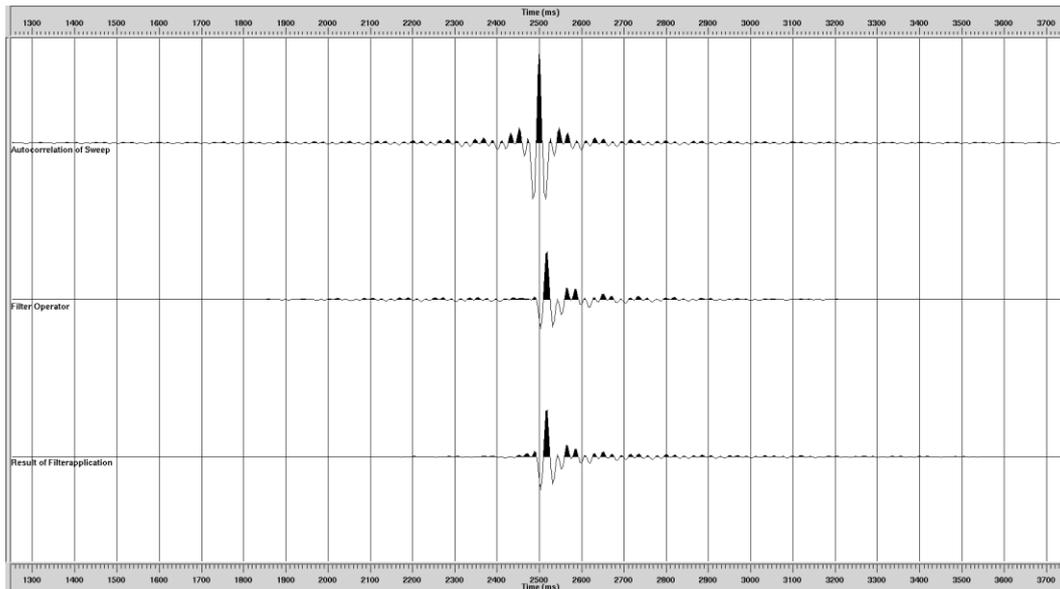


Abb. 3.4: Minimum-Phasen-Wandlung

3.6 Grundstatische Korrekturen

3.6.1 Bestimmen der Ersteinsätze

Für die Bestimmung der Ersteinsätze, welche automatisch ermittelt wurden, wurde zunächst der Minimum-Phasen-Operator auf die Daten angewendet. Der Flatirons-Algorithmus zum Ersteinsatz-Autopicking wurde für die Festlegung der Ersteinsätze verwendet. Da für sämtliche Linien bereits eine Grundstatiklösung geliefert wurde, welche damals von Prakla-Seismos nach dem Refraktionsstatikprinzip berechnet wurde, kamen die Ersteinsätze nur bei der Tauchwellen-Tomografie (siehe 3.7) zur Anwendung.

3.6.2 Refraktionsstatik

Zur Beseitigung von Laufzeiteinflüssen der oberflächennahen Verwitterungsschicht wurden Korrekturwerte aus den Ersteinsätzen kritisch refraktierter Wellen bestimmt. Diese Werte wurden hierbei bereits vom Kunden in Form von ASCII-Dateien geliefert und dann verwendet. Die Werte wurden seinerzeit durch Prakla-Seismos bestimmt.

Für die Anbringung der statischen Korrekturen wurde entsprechend den Hauptprofilen ein Bezugsniveau von 300 m und eine Ersatzgeschwindigkeit von 4500 m/s gewählt. Für die Normal-Moveout-Korrektur wurden die Spuren dabei zunächst auf ein variables (floating) NMO-Datum korrigiert, welches auf den geglätteten Geländehöhen beruht.

3.7 Tauchwellen-Tomografie

Die Ausbreitung der seismischen Energie geschieht vorwiegend subhorizontal entlang der Erdoberfläche (refraktierte Tauchwellen). Um dementsprechend ein hochauflösendes Geschwindigkeitsmodell des oberflächennahen Bereiches zu erhalten, wurde eine Tauchwellen-Tomografie gerechnet. Hierbei werden nur die Laufzeiten der Ersteinsätze (siehe 3.6.1) für die Ableitung des Geschwindigkeitsfeldes ausgewertet. Die Eindringtiefe und Auflösung ist abhängig von den Receiverabständen, Schussabständen und dem maximalen Offset der Auslage. Als Parameter für das Start-Modell, welches dann mittels 11 Iterationen aktualisiert wurde, wurden eine horizontale Auflösung vom zweifachen Receiverabstand und

eine vertikale Auflösung von 5 m oberflächennah und 100 m bei der Endteufe gewählt. Das Programm erstellt dann ein dreidimensionales Intervall-Geschwindigkeitsfeld in Tiefe, wobei die Bin-Größe die selbe wie bei den 2D-Profilen (siehe Tab. 2.2) ist und ein Sampling von 10 m besitzt. Aus diesem 3D-Modell wurde dann das 2D-Geschwindigkeitsmodell entlang des jeweiligen Profilpfades extrahiert. Da das jeweilige Modell die Topografie abbildet, wurde es mit einer Höhe über den jeweiligen höchsten Punkt des Profils als Startzeit/erstes Sample ausgegeben. Bereiche, die über der Topografie liegen, wurden mit einer Geschwindigkeit von 331 m/s für den Luftschall aufgefüllt. Ebenso wurden die Geschwindigkeitsfelder nach unten hin durch einen Bottom-Mute begrenzt, der anhand der Strahlüberdeckung der Strahleindringtiefe definiert wurde. Bereiche, die unterhalb des Bottom-Mutes liegen, besitzen den Wert 0 m/s.

3.8 Editieren von Spuren

Rauschsignale mit hohen Amplituden wurden durch automatische Korrekturen beseitigt. Hierzu wurden Grenzwerte für zuvor für jede Spur berechnete Parameter (RMS-Amplitude, Spikes) festgelegt. Neben diesen Spuren wurden auch jene mit einem Amplitudenwert von Null eliminiert. Resultierend daraus wurden ca. 0,1 % bis maximal 1,3 % der Spuren der Datensätze gelöscht.

3.9 Korrektur der sphärischen Divergenz

Die sphärische Divergenz verursacht eine Abnahme der Amplituden mit zunehmender Entfernung von der Quelle. Die Korrektur dieses Effekts ist wichtig, um die wahren relativen Amplituden wiederherzustellen.

In Übereinstimmung mit der Bearbeitung der Hauptprofile wurde ein $T \cdot V^2$ Skalar angewendet.

3.10 Oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur (erster Durchgang)

Unterschiede in den Quellamplituden und in der Ankopplung der Empfänger wurden durch eine oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur beseitigt. Dabei wurden die Spuramplituden in Anteile von Quelle, Empfänger, Offset und CMP zerlegt. Zur Korrektur wurden die berechneten Korrekturwerte für Quelle und Empfänger verwendet. Dieser Schritt wurde einmal vor und einmal nach der Dekonvolution durchgeführt.

3.11 Reststatische Korrekturen

Die trotz der refraktionsstatischen Korrektur verbleibenden kurzweiligen Laufzeitfehler wurden durch eine oberflächenkonsistente automatische reststatische Korrektur behoben. Dabei wird für jede Quell- und Empfängerposition jeweils ein Korrekturwert so ermittelt, dass die CMP-Stapelung der Spuren maximale Energie zeigt. Diese Korrekturwerte wurden iterativ verbessert. Es wurden 2 bis 3 Iterationen berechnet.

3.12 Oberflächenkonsistente Dekonvolution

Das Ziel der Dekonvolution ist die Verbesserung der vertikalen Auflösung der seismischen Daten durch die Kompression des Wavelets. Für die Qualität der seismischen Abbildung ist die Dekonvolution einer der entscheidenden Schritte in der Datenbearbeitung.

Ähnlich zur Berechnung der oberflächenkonsistenten Amplitudenkorrekturen kann auch der Dekonvolutionsprozess als oberflächenkonsistente spektrale Dekomposition formuliert

werden, welche hier in Form der oberflächenkonsistenten Spiking-Dekonvolution verwendet wurde. Es wurden hierbei zwei Fenster für die Dekonvolution verwendet. Um eine höchstmögliche Auflösung zu gewähren, wurde eine Spiking-Dekonvolution verwendet. Die Operatorlänge betrug 160 ms und der pre-whitening Faktor 1%. Es wurde ein oberflächenkonsistenter Operator in den Bereichen Schuss-Empfänger-Offset berechnet und die Anteile für Schuss-Empfänger angewendet.

Da eine oberflächenkonsistente Dekonvolution dazu neigt, Störsignale mit einer sehr niedrigen Frequenz zu verstärken, wurden die Daten direkt nach der Dekonvolution außerhalb des Bereiches der Sweep-Frequenz gefiltert.

3.13 Kerbfilter

Zusätzlich zu dem nach der Dekonvolution angebrachten Bandpassfilter wurde ein Kerbfilter für die Frequenz 16 2/3 Hz angebracht, da diese dominant alle Daten überlagerte.

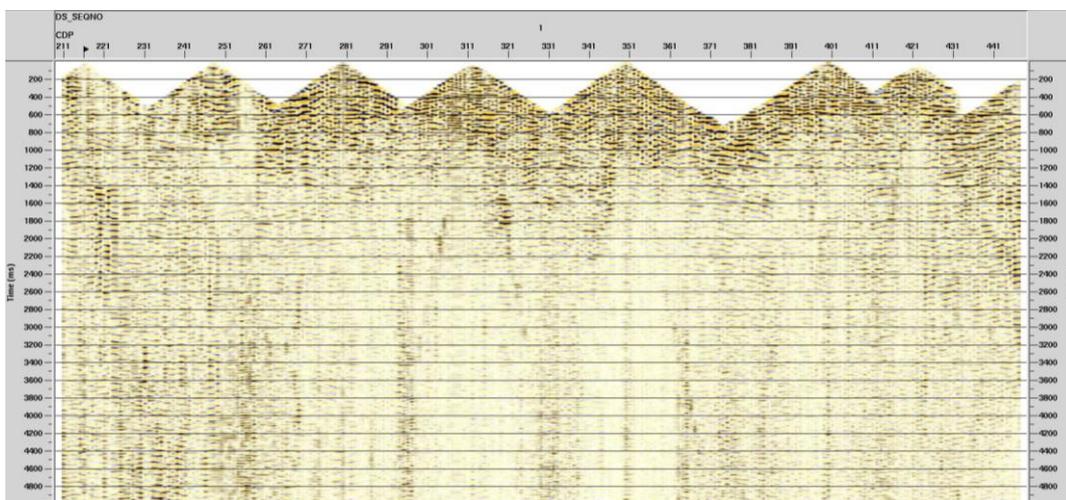


Abb. 3.5: DEK90-3A-Q12 - Stapelung nach oberflächenkonsistenter Dekonvolution

3.14 Luftschall- (Air Blast-) Unterdrückung

Der Luftschall führt zu einer meist breitbandigen Störampplitude, die sich mit etwa 331 m/s ausbreitet. Diese Störsignale wurden mit Hilfe der Luftschall-Unterdrückung in einem durch Zeitfenster beschränktem Bereich in ihrer Amplitude reduziert.

3.15 Oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur (zweiter Durchgang)

Um den Amplitudenausgleich weiter zu verbessern, wurde ein zweiter Durchgang der oberflächenkonsistenten Amplitudenkorrektur durchgeführt. Es wurden sämtliche Spuren zur Berechnung der Amplitudenstatistik verwendet. Die Zerlegung wurde auf den Schuss-, Empfänger-, CMP- und Offset-Termen durchgeführt, die Anwendung beschränkte sich auf Schuss-, Empfänger- und Offset-Term. Auf eine Verwendung des CMP-Terms wurde abgesehen, da es sich dann nicht mehr um eine oberflächenkonsistente Amplitudenkorrektur handeln würde.

3.16 Noisy Trace Editing (NTE)

Noisy trace edit (Despiking mittels Standardabweichung) ist ein Prozess, welcher auf Ensembles angewendet wird, in unserem Fall auf NMO-korrigierte CMP-Gather, und welches

die Möglichkeit bietet, vielerlei Arten von Rauschen zu unterdrücken, z.B. Spikes, Ground Roll oder Noise Bursts. Das Verfahren arbeitet auf Zeitscheiben und vergleicht benachbarte Samples auf ihr Amplitudenverhalten. Der Anwender muss sorgfältig zeitvariable Schwellenwerte definieren, bei denen Samples als schlecht erkannt werden. Falls erkannt, werden die entsprechenden Samples anschließend durch gute Samples aus benachbarten Spuren ersetzt. Zur besseren Statistik pro Ensemble wurden CMP-Supergather (5 CMPs) verwendet. Folgende Schwellenwerte wurden verwendet:

Zeit [ms]	Schwellwert
0	10
800	7
1500	7
2500	7
11000	6

Tab. 3.3: Schwellenwerte für Noisy Trace Editing (NTE)

3.17 Oberflächenwellen- (Groundroll-) Unterdrückung

Lineare Störsignale, hervorgerufen durch Oberflächenwellen, wurden nach der Dekonvolution durch die Festlegung einer Geschwindigkeit von 2200 m/s und eines Frequenzbereiches von 0 Hz bis 24 Hz bestimmt und dann durch ein frequenz- und geschwindigkeitsabhängiges Spurmischen (Trace Mixing) in einem durch Zeitfenster beschränkten Bereich unterdrückt.

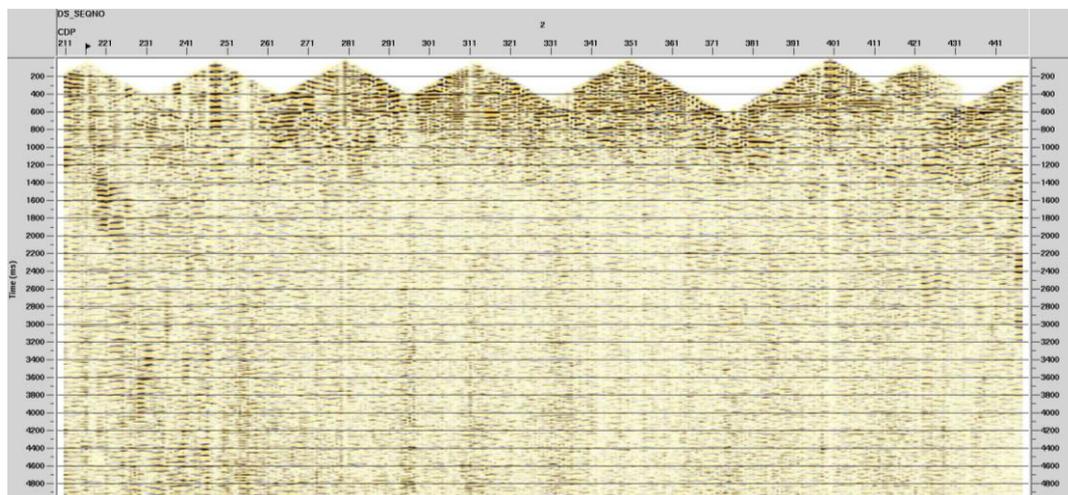


Abb. 3.6: DEK90-3A-Q12 - Stapelung nach Noise-Unterdrückung

3.18 Common Reflection Surface (CRS) Bearbeitung

Da eines der Hauptaugenmerke bei der Neubearbeitung die Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnis war, wurde die CRS-Bearbeitung angewandt.

CRS ist eine Erweiterung der bekannten Mittelpunkt-Stapel-Gleichung, bei der Untergrundelemente in die Lösung eingeführt werden, die durch ihre Krümmung und Neigung beschrieben werden. Die Vorteile des CRS-Verfahrens sind ein verbessertes Signal/Rausch-Verhältnis, die Interpolation von Spuren im Mittelpunkt- und/oder

Offsetbereich zur Schließung von Akquisitionslücken und die Erzeugung von hochgradig regularisierten Offset-Gathern (wünschenswert als Input für die Kirchhoff PreStack-Zeit- und Tiefenmigration).

Die entscheidenden Parameter bei der Anwendung des Verfahrens sind die Wahl des Apertur-Radius in CMP- und Offset-Richtung, wobei einerseits der Verbesserungsgrad des Signal/Rausch-Verhältnisses und die Offset-Regularisierung und andererseits die Einführung von ungewollten Schmiereffekten kontrolliert werden. Nach sorgfältiger Überprüfung wurden die in Tab. 3.4 aufgeführten CRS-Parameter ausgewählt.

Stapel-Apertur - CMP	4,5 x Bin-Größe (90 m - 180 m)
Stapel-Apertur - Offset	100 m

Tab. 3.4: CRS-Parameter

Die CRS-Bearbeitung erwies sich als sehr effektiv, um das Signal/Rausch-Verhältnis insgesamt zu verbessern und führte zu im Allgemeinen zu einer Dämpfung von zufälligen Rausch-/Störsignalen.

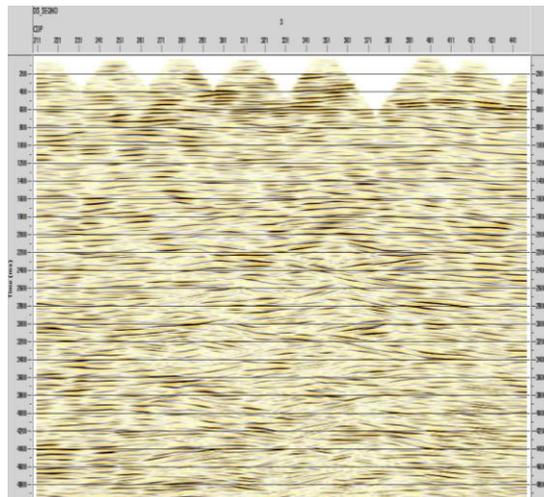


Abb. 3.7: DEK90-3A-Q12 - Finale Stapelung nach CRS und Post-Stack-Bearbeitung

4 Zeitmigration der Querlinien (2D)

Für die seismische Abbildung ist der Migrationsprozess ein entscheidender Schritt. Er dient der Fokussierung der Reflexionselemente und damit der lage- und teufenrichtigen Abbildung der Strukturen im Untergrund. Durch den Migrationsprozess werden insbesondere steile Flanken von Reflexionselementen und Diskontinuitäten (z. B. Verwerfungen) korrekt abgebildet. Man unterscheidet zwischen Zeitmigration und Tiefenmigration.

4.1 PostStack-Zeitmigration (PoSTM)

Die CRS-Stapelung diente als Inputdatensatz für die PoSTM. Das entsprechende Geschwindigkeitsfeld für die PoSTM wurde aus den finalen RMS-Stapelgeschwindigkeiten hergeleitet. Hierzu wurden die Geschwindigkeiten auf das Final Datum gebracht, mit dem Smoothed-Gradients Verfahren in Intervall-Geschwindigkeiten gewandelt und schließlich geglättet und skaliert. Beim vorliegenden Datensatz wurde eine Migration mit der Methode der Finiten Differenzen durchgeführt (Steep Dip Explicit FD). Der verwendete Algorithmus ist für Reflektorneigungen von bis zu 70° geeignet, wobei dieser Wert auf 50° für die Migration gesetzt wurde.

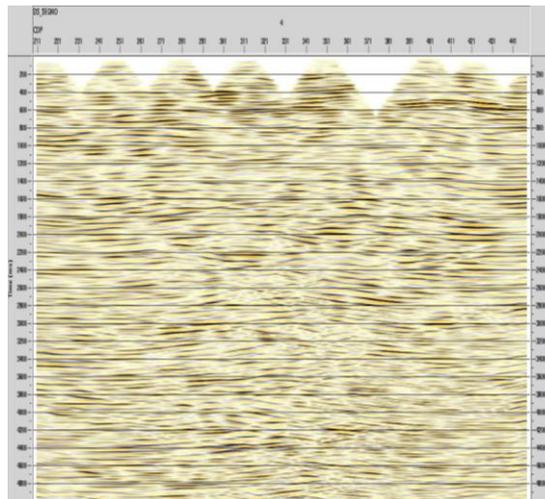


Abb. 4.8: DEK90-3A-Q12 - Finale Post-Stack-Zeitmigration

4.2 PreStack-Zeitmigration (PreSTM)

Für die Migration sind zwei Faktoren wichtig, die ausreichende räumliche Abtastung des zu migrierenden Wellenfeldes und die korrekte Bestimmung des Migrationsgeschwindigkeitsfeldes.

Der erste Faktor wird wesentlich von der verwendeten Akquisitionsgeometrie bestimmt. Die korrekte Bestimmung des Migrationsgeschwindigkeitsfeldes ist Aufgabe der Datenbearbeitung, welche über eine interaktive Geschwindigkeits-analyse erfolgt.

Die finalen PreSTM-Geschwindigkeitsfelder wurden durch mehrmalige interaktive PreSTM-Geschwindigkeitsanalysen (Intervall 500 m) bestimmt.

Als Inputdatensatz dienten die jeweiligen CRS-Gather.

Für die finale Prestack Zeitmigration wurde folgende Parametrisierung verwendet:

Migrationsverfahren:	Kirchhoff, curved Ray
maximale Migrationsapertur:	0 ms - 1000 m 500 ms - 1100 m 1000 ms - 1500 m 1500 ms - 3000 m 3000 ms - 6000 m 5000 ms - 8000 m 6000 ms - 11000 m 12000 ms - 19000 m 14000 ms - 21000 m
maximaler Apertur-Taper-Winkel:	50°
maximale Frequenz:	50 Hz

Als Ergebnis der PreSTM werden CMP- und Offset-sortierte Gather erzeugt, bei denen eine Regularisierung in Offsetklassen stattgefunden hat, was äquivalent zur CRS-Bearbeitung parametrisiert wurde.

4.3 Post-Migration Processing (nach PreSTM)

4.3.1 Mute

Die PreSTM-Ergebnisse wurden jeweils mit einer manuell bestimmten, lateral variierenden Mute-Funktion gestapelt und ausgegeben.

Auf gleiche Weise wurde mit den Gathern aus Kapitel 3 verfahren, dort kam jedoch eine auf diesen Gathern bestimmte Mute-Funktion zum Einsatz.

4.3.2 Residual Moveout Analyse (RMO)

Um den Restmoveout der Gather nach der PreSTM zu verringern, wurde eine RMO-Analyse durchgeführt. Die RMO-Funktionen wurden automatisch für jeden zehnten CMP bestimmt und dann geglättet. Es wurde eine maximale Änderung des Geschwindigkeitsfeldes von 15 % während der RMO-Analyse zugelassen.

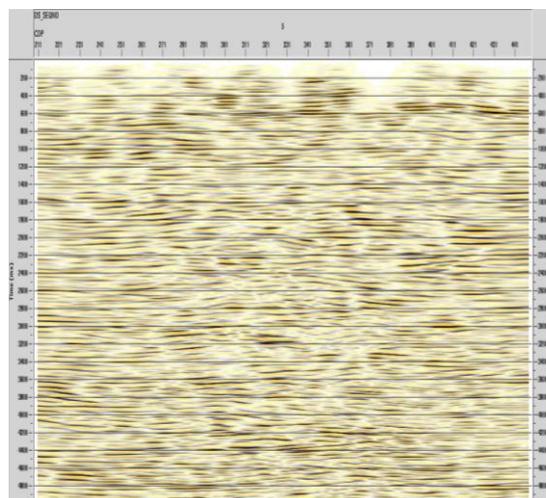


Abb. 4.9: DEK90-3A-Q12 - Finale Pre-Stack-Zeitmigration

4.4 Post-Stack Processing

Um das Signal-Rausch-Verhältnis und die laterale Kontinuität der Reflexionen zu verbessern, wurden verschiedene nachfolgende Prozesse auf die Zeitmigration nach der Stapelung angewendet.

Diese Schritte wurden in gleicher Art und Weise auf die finale Stapelung, welche sich aus der Sequenz in Kapitel 3 ergibt, und auf die PoSTM, angewendet.

4.4.1 Dip Attenuation

Die Dip Attenuation wurde auf die gestapelten Daten angewendet. Die in der Stapelung vorhandenen Neigungen (Dips) werden anhand einer festgelegten Geschwindigkeit (1000 m/s) und Frequenz (komplettes Spektrum des Signals) bestimmt und dann unterdrückt. Die Dip Attenuation verbessert die geologischen Strukturen sehr gut und wirkt sehr steilen „Noise-Events“ entgegen.

Ebenso wurde der Dip Scan Stack Prozess angewandt, welcher eine Tau-P-Transformation mit begrenzter Apertur verwendet, um die kohärenten seismischen Ereignisse zu verstärken. Der Prozess transformiert die Eingangs-x-t-Spuren in einen ausgewählten Bereich von geneigten oder schräg gestapelten Spuren (-11 bis 11 ms/Spur). Sample für Sample wird jede Neigungsspur mit der Semblance entlang dieser Neigung gewichtet. Diese Neigungsspur werden dann invers Tau-P- zurück in den x-t Raum transformiert. Die stärkeren, kohärenten, von der Neigung unabhängigen Ereignisse haben größere Gewichte und tragen proportional mehr zur inversen Transformation bei. Der Prozess transformiert Spuren innerhalb einer bestimmten Apertur von Spuren (11 Spuren). Die Apertur gleitet mit einer Überlappung von 50% über die Daten, und die Spuren werden invers transformiert und innerhalb der inneren Hälfte jeder Apertur ausgegeben.

4.4.2 F-K Filter und F-X Dekonvolution

Zur Hervorhebung des kohärenten Reflexionssignales wurde ein F-K Filter mit einem Power Exponent von 1,1 und eine F-X Dekonvolution mit einer horizontalen Fensterlänge von 12 Spuren für die Vorhersage und 7 Filter-Samples angewendet.

4.4.3 Skalierung

Für eine gleichwertige Charakterisierung der Reflexionen durch ihre Kohärenz und Amplitude wurde eine Skalierung angebracht. Dazu wurde ein AGC-Skalierungsfeld berechnet und herausgeschrieben. Dieses basiert auf der jeweiligen Stapelung mit angebrachten Post-Stack-Processing, bei der eine Mean-AGC mit einer Länge von 2000 ms und ohne die Option Robust-Scaling berechnet wurde. Dieses Skalierungsfeld wurde geglättet und exponiert. Das so erhaltene modifizierte Skalierungsfeld wurde dann auf die jeweilige Stapelung angebracht.

4.4.4 Bandpass-Filterung

Die gestapelten Ergebnisse wurden noch einmal im Bereich ihrer Sweep Range Bandpass-gefiltert (6 Hz - 12 Hz - 48 Hz - 60 Hz).

4.4.5 Nullphasen-Umwandlung

Der Operator zur Nullphasen-Transformation (Zero-Phasing) wurde auf der Grundlage eines gemittelten, minimalphasigen Wavelets bestimmt, welches aus der finalen PreSTM-

Stapelung statistisch extrahiert wurde. Die Zunahme der Impedanz wird durch einen positiven Wert repräsentiert.

5 PreStack-Tiefenmigration (PreSDM) der Querlinien (2D)

Aufbauend auf die Bearbeitung der Daten im Zeitbereich wurde eine PreStack-Tiefenmigration durchgeführt. Es wurden hierzu die im Laufe der Zeitbearbeitung erstellten preprozessierten CMP-Gather, die oberflächennahen Geschwindigkeitsfelder der Tauchwellen-Tomografie, die finalen PreSTM-Geschwindigkeitsfelder und die vom GFZ Potsdam bereitgestellten Krustengeschwindigkeitsmodelle verwendet (Mechie, J., 2007. A 3-D, P-wave velocity, crustal structure model for Germany derived from seismic refraction / wide-angle reflection data. 67th Annual Meeting of the German Geophysical Society (DGG), Aachen, 26-29.03.2007).

Für die hochauflösende lage- und teufenrichtige seismische Abbildung von komplexen geologischen Strukturen in Verbindung mit lateral stark variierenden Geschwindigkeiten, ist die Tiefenmigration der Daten unbedingt notwendig. Im Gegensatz zu den seismischen Migrationsverfahren im Zeitbereich wird bei den Tiefenmigrationen neben dem Diffraktionsterm auch der sogenannte 'thin lens'-Term der Dispersionsrelation der Wellengleichung angewendet, der insbesondere die lateralen Änderungen des Geschwindigkeitsfeldes bei der Fokussierung der seismischen Daten berücksichtigt.

5.1 Erstellen des Geschwindigkeits-Tiefen-Modells

Wesentlicher Bestandteil der seismischen Datenbearbeitung im Tiefenbereich ist die Geschwindigkeits-Tiefen-Modellierung. Das Geschwindigkeitsfeld für die Prestack Tiefenmigration wird im Gegensatz zu konventionellen Geschwindigkeitsanalysen durch tomographische Inversion des Residual Move Outs (RMO) der resultierenden Image-Gather auf iterativem Wege bestimmt.

Der erste Schritt in der Geschwindigkeits-Tiefen-Modellierung ist die Ableitung eines zuverlässigen Startmodells. Das Startmodell wurde durch das Zusammenführen der drei oben genannten Geschwindigkeitsfelder gewonnen. Hierzu wurde das oberflächennahe Geschwindigkeitsfeld der Tauchwellen-Tomografie auf das finale Bezugsniveau gebracht und bis zu einer Tiefe von ca. 2 km beschnitten. Das in der Zeitbearbeitung abgeleitete finale PreSTM-Geschwindigkeitsmodell (RMS-Geschwindigkeiten) wurde in Intervallgeschwindigkeiten konvertiert (Methode der Smoothed Gradients) und in einem Tiefenbereich von ca. 2 km bis 6 km verwendet. Das Krustengeschwindigkeitsmodell wurde von einer Tiefe ab ca. 6 km bis Endteufe verwendet. Diese drei Modelle wurden kombiniert und nachfolgend horizontgebunden geglättet. Da vom Kunden keine Horizontinterpretationen zur Verfügung standen, wurden diese für die Glättung von DMT Petrologic anhand der identifizierbaren Reflektoren selbst festgelegt. Bereiche, die im Modell über der Topografie lagen, wurden mit der jeweiligen Korrektur-Geschwindigkeit aufgefüllt.

Input für die Prestack Tiefenmigration sind die finalen null-phasigen CMP-Gather aus der Zeitbearbeitung der seismischen Daten nach dem Premigration Processing (siehe Kapitel 3). Diese Daten wurden auf das jeweilige Bezugsniveau gebracht. Im Folgenden wurden durch Residual Move Out (RMO)-Analysen der resultierenden PreSDM-Gather und tomographische Inversion dieser Informationen das isotrope PreSDM-Geschwindigkeitsmodell iterativ verbessert. Diese Prozedur wurde wiederholt durchgeführt, bis die Reflexionen in den PreSDM-Gather ausgeglichen waren und somit die bestmögliche Abbildungsqualität erzielt wurde.

Normalerweise folgt nach der finalen PreStack-Tiefenmigration, die die bestmögliche Abbildungsqualität liefert, eine notwendige Anpassung der migrierten Tiefensektion an die im Messgebiet vorhandene Bohrung (Depthing). Der Unterschied in der Teufenlage zwischen Tiefenmigration und Bohrungsdaten wird durch das Depthing korrigiert. Da für das Messgebiet jedoch nur unzureichende Bohrungsdaten zur Verfügung standen, konnte dieser Arbeitsschritt nicht durchgeführt werden.

5.2 Finale PreStack-Tiefenmigration

Für die Tiefenmigration wurde eine Kirchhoff-PreStack-Tiefenmigration (PreSDM) verwendet. Die Strahllaufzeiten werden mit den Methoden des Raytracing und der Wellenfrontrekonstruktion berechnet. Das Raytracing durch das isotrope Geschwindigkeitsmodell erfolgte unter Verwendung eines maximal Amplituden-Raytracers in Kombination mit einem Eikonal-Solver, um die vom Raytracer hinterlassenen Lücken zu füllen.

Die vom Raytracer gelösten Gleichungen sind die Standard-Strahlungsgleichungen erster Ordnung, die auf der akustischen Annäherung basieren, dass die Scherwellengeschwindigkeit Null ist. Bei jedem Zeitschritt werden die Gleichungen mit der klassischen Runge-Kutta-Methode (RK4) gelöst.

Nach der isotropen Geschwindigkeits-Tiefen-Modellierung wurde die finale Prestack-Tiefenmigration mit folgenden Parametern durchgeführt:

Migrationsverfahren:	Kirchhoff
maximale Migrationsapertur:	0 m - 1000 m 1000 m - 1100 m 2500 m – 1500 m 3000 m - 1800 m 5000 m - 3000 m 16000 m - 9000 m 40000 m – 20000 m
maximaler Winkel:	50°, 10° Taper
maximale Migrationstiefe:	40 km - 70 km

5.3 Post-Migration Processing

Im Tiefenbereich wurde das gleiche Post-Migration Processing angewendet wie im Zeitbereich (siehe Kapitel 4.3).

5.4 Post-Stack Processing

Zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses der PreSDM-Stapelung wurden die Datensätze zunächst zurück in den Zeitbereich konvertiert und dann mit dem selben Post-Stack-Processing behandelt, wie es bei der Zeitbearbeitung verwendet wurde (siehe Kapitel 4.4). Danach wurden die Daten wieder zurück in den Tiefenbereich konvertiert.

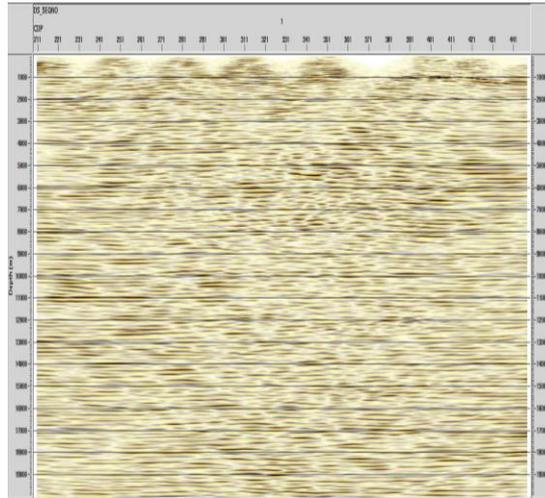


Abb. 5.10: DEK90-3A-Q12 - Finale Pre-Stack-Tiefenmigration

6 Processing der Querlinien (3D)

Die Bearbeitung der 3D-Einfachüberdeckung entspricht nahezu identisch der der 2D-Querlinie. Daher sollen an dieser Stelle lediglich die Unterschiede aufgelistet werden.

6.1 Aufsetzen der Geometrie

Um die einzelnen Spuren zu verwalten und eine Zuordnung zu geographischen Punkten im Feld zu erhalten, müssen geographische und geometrische Informationen, wie die Koordinaten der Quell- und Empfängerpositionen sowie die Zuordnung zwischen Quellpunkt und Empfänger in die Datenbank von ProMAX eingetragen werden. Dabei berechnet das System automatisch gemeinsame Mittelpunkte zwischen Quell- und Empfängerpositionen.

Wegen der orthogonalen Ausrichtung von Quellen und Empfängerlinie zueinander ergibt sich theoretisch eine 3D-Einfachüberdeckung. Aus den Akquisitionsparametern resultiert ein Abstand der Inlines (parallel zur Empfängerlinie) von 40 m und ein Abstand der Crosslines (orthogonal zur Empfängerlinie) von 50 m zueinander.

Der Azimuth des für jede der Queraufstellungen definierten Grids variiert und ist vom lokalen Azimuth des Hauptprofils an der jeweiligen Schnittstelle von Hauptprofil und Queraufstellung abhängig.

6.2 Weitere Besonderheiten

Die theoretische Einfachüberdeckung ist in der Realität oft nicht gegeben, wenn Schuss- oder Empfängerpositionen von der theoretischen/nominellen Position abweichen. Daher kommt es bei der Einfachüberdeckung trotz sorgfältiger Bestimmung der Binning-Parameter zu Bins, die keine Spuren aufweisen und anderen Bins, die mehr als eine Spur enthalten. Diese Spuren wurden im weiteren Verlauf der Bearbeitung jeweils aufeinandergestapelt.

Da die Bins mit Spuren verschiedener Offsets gefüllt sind, muss für eine sinnvolle Betrachtung der Daten eine Moveout-Korrektur angebracht werden. Hierfür wurde, wie bei den 2D-Querlinien auch, auf die Geschwindigkeitsfunktion an der Schnittstelle zum Hauptprofil zurückgegriffen.

Die berechnete Reststatik ist jeweils nur für die mehr als einfach gefüllten Bins sinnvoll und führt dort zu einer Verbesserung des Stapelergebnisses.

6.3 Kerbfilter

Zusätzlich zu dem nach der Dekonvolution angebrachten Bandpassfilter wurde ein Kerbfilter für die Frequenz $16 \frac{2}{3}$ Hz angebracht, da diese dominant alle Daten überlagerte.

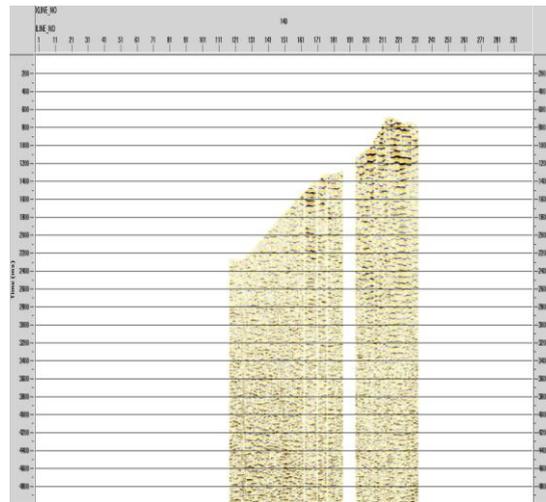


Abb. 6.11: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Stapelung nach Noise Cleaning

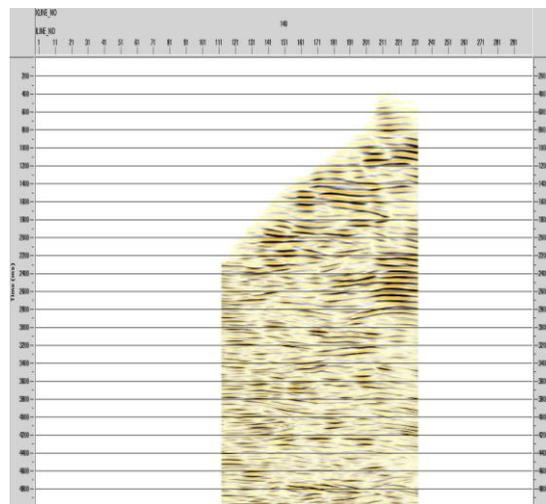


Abb. 6.12: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Stapelung nach CRS

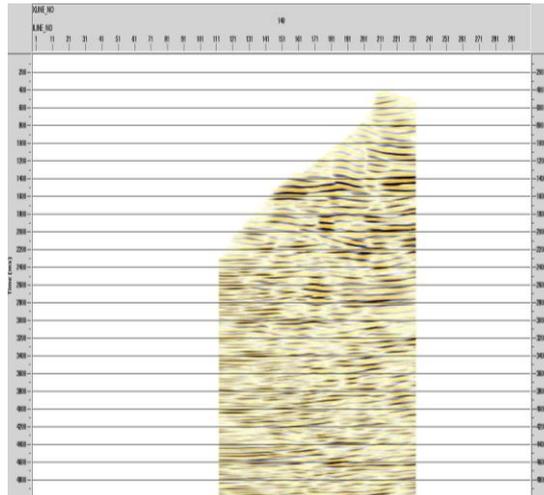


Abb. 6.13: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Post-Stack-Zeitmigration

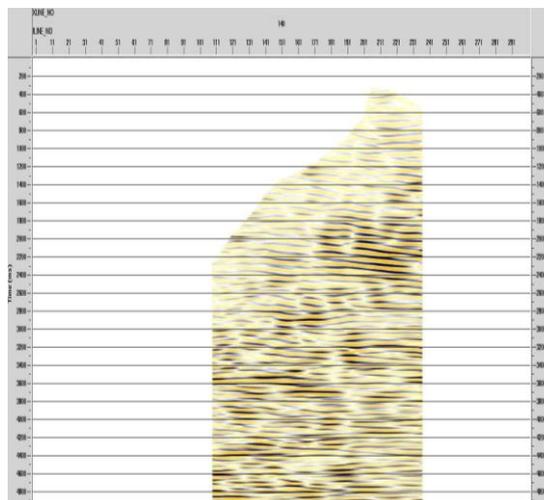


Abb. 6.14: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Pre-Stack-Zeitmigration

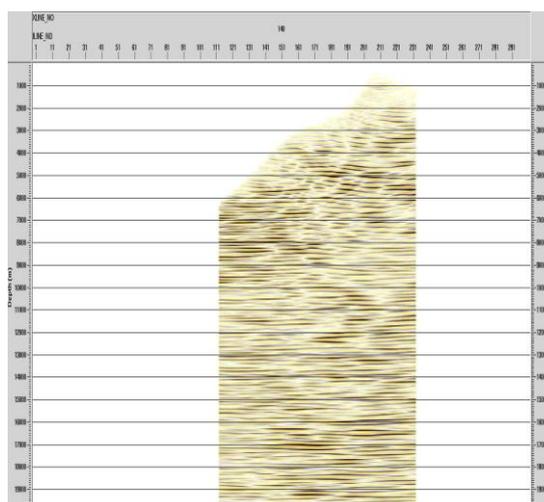


Abb. 6.15: DEK90-3A-Q12-3D, XL 140 - Finale Pre-Stack-Tiefenmigration

7 Datenübergabe

7.1 Ausgaben als SEG-Y

Die Ergebnisse in Zeit und Tiefe wurden zur weiteren Verarbeitung im Interpretationssystem als Dateien im SEG-Y-Format ausgegeben. Die Spuren wurden im Zeitbereich mit einer Spurlänge von 14 s bei DEK90-3A und DEK90-3B mit einer Samplingrate von 4 ms, im Tiefenbereich mit einer Spurlänge von 45 km bei DEK90-3A und DEK90-3B mit einer Samplingrate von 4 m exportiert.

Es wurden folgende Daten übergeben:

Pre-Stack

- Schuss-Gather ohne Processing mit Geometrie; SEG-Y
- CMP-Gather nach Premigration Processing; SEG-Y
- CRS-Gather; SEG-Y
- PreSTM-Gather; SEG-Y
- PreSDM-Gather; SEG-Y

Post-Stack

- Roh-Stapelung ohne post-stack S/R-Verbesserung, unskaliert und nullphasig; SEG-Y
- Finale Stapelung mit post-stack S/R-Verbesserung, skaliert und nullphasig; SEG-Y
- Roh-PostStack-Zeitmigration ohne post-stack S/R-Verbesserung, unskaliert und nullphasig; SEG-Y
- Finale PostStack-Zeitmigration mit post-stack S/R-Verbesserung, skaliert und nullphasig; SEG-Y
- Roh-PreStack-Zeitmigration ohne post-stack S/R-Verbesserung, unskaliert und nullphasig; SEG-Y
- Finale PreStack-Zeitmigration mit post-stack S/R-Verbesserung, skaliert und nullphasig; SEG-Y
- Roh-PreStack-Tiefenmigration, ohne post-stack S/R-Verbesserung, nullphasig; SEG-Y
- Finale PreStack-Tiefenmigration, mit post-stack S/R-Verbesserung, nullphasig; SEG-Y

Geschwindigkeiten

- Stapelung (RMS, Final Datum); SEG-Y
- PostStack-Zeitmigration (Intervall, Final Datum); SEG-Y
- PreStack-Zeitmigration (RMS, Final Datum); SEG-Y
- PreStack-Tiefenmigration (Intervall, Final Datum); SEG-Y

Tauchwellen-Tomografie

- Tomografie-Geschwindigkeitsfeld, ungemuted (Intervall, Tiefe); SEG-Y
- Tomografie-Geschwindigkeitsfeld, gemuted mit Bottom-Mute (Intervall, Tiefe); SEG-Y
- Tomografie-Nodecount, ungemuted (Intervall, Tiefe); SEG-Y

Verschiedenes

- Bericht der Datenbearbeitung; PDF
- ProMAX-Archive

8 Zusammenfassung

Die Bearbeitung der Querlinien und der 3D-Einfachüberdeckungen im Bereich der Querlinien folgte der Bearbeitung der Hauptprofile DEK90-3A und DEK90-3B.

Wegen der deutlich schlechteren Datenqualität der Eingangsdaten auf Grund der verwendeten Aufzeichnungsparameter und -geometrie konnte keine Verbesserung der Ergebnisse in dem Maße erzielt werden, wie es die Bearbeitung der Hauptprofile erhoffen ließ.

Zur Übersicht und Referenz befindet sich im Anhang ein Flussdiagramm der jeweiligen Processing-Schritte und Ausgaben für die Bearbeitung der Querlinien und der 3D-Einfachüberdeckungen.

9 Anhang

9.1 Processingschritte der Querlinien (2D)

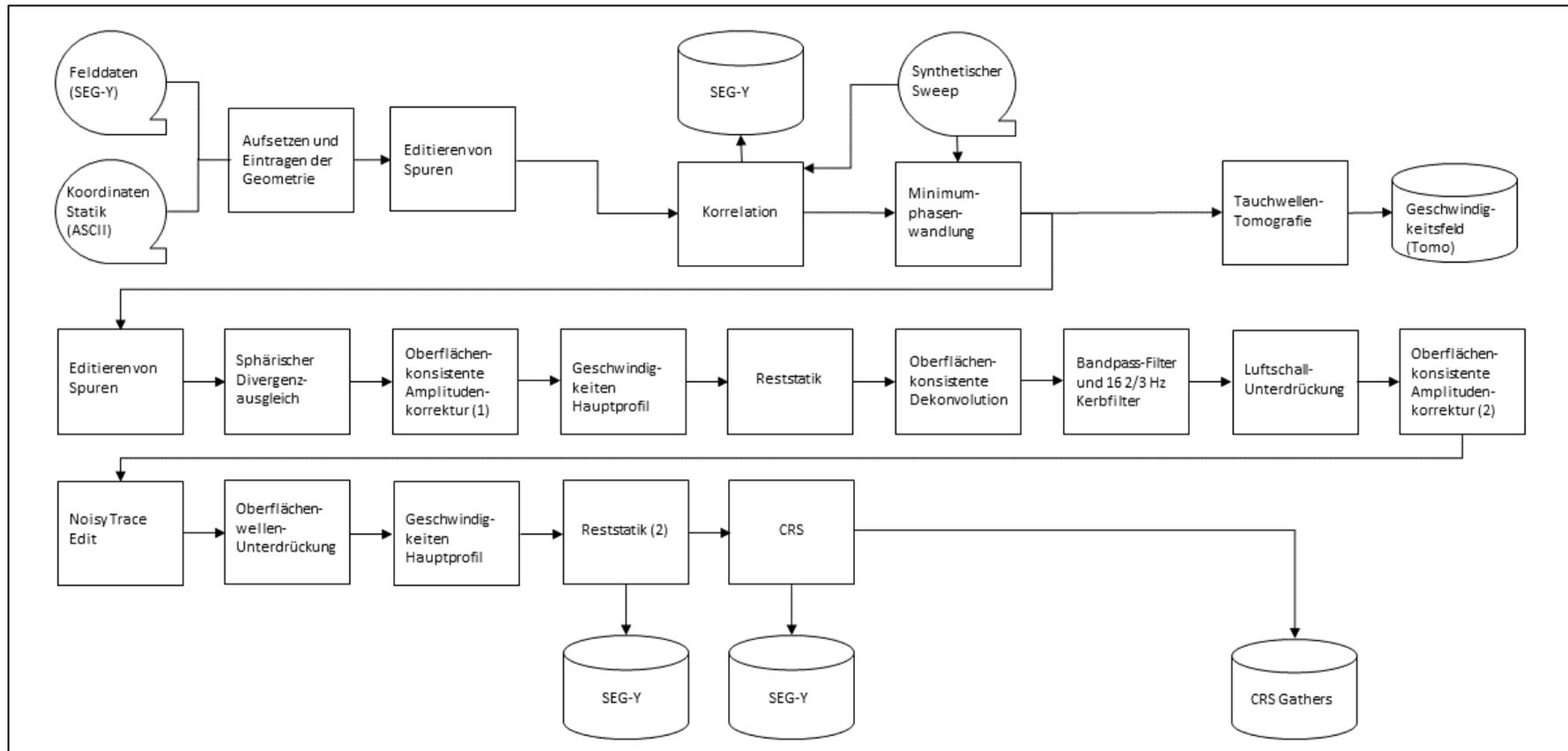


Abb. 9.16: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 1- Dateneingabe bis CRS

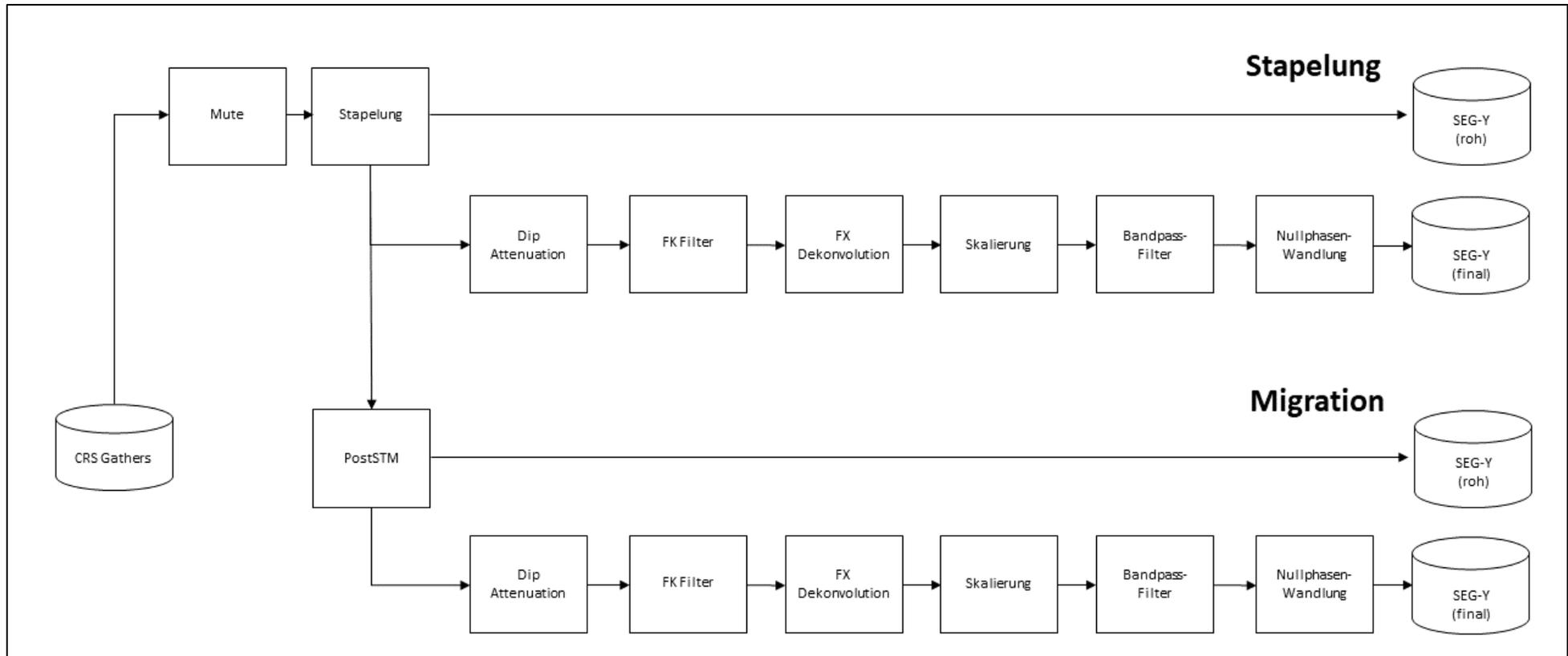


Abb. 9.17: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 2- Stapelung und PostSTM

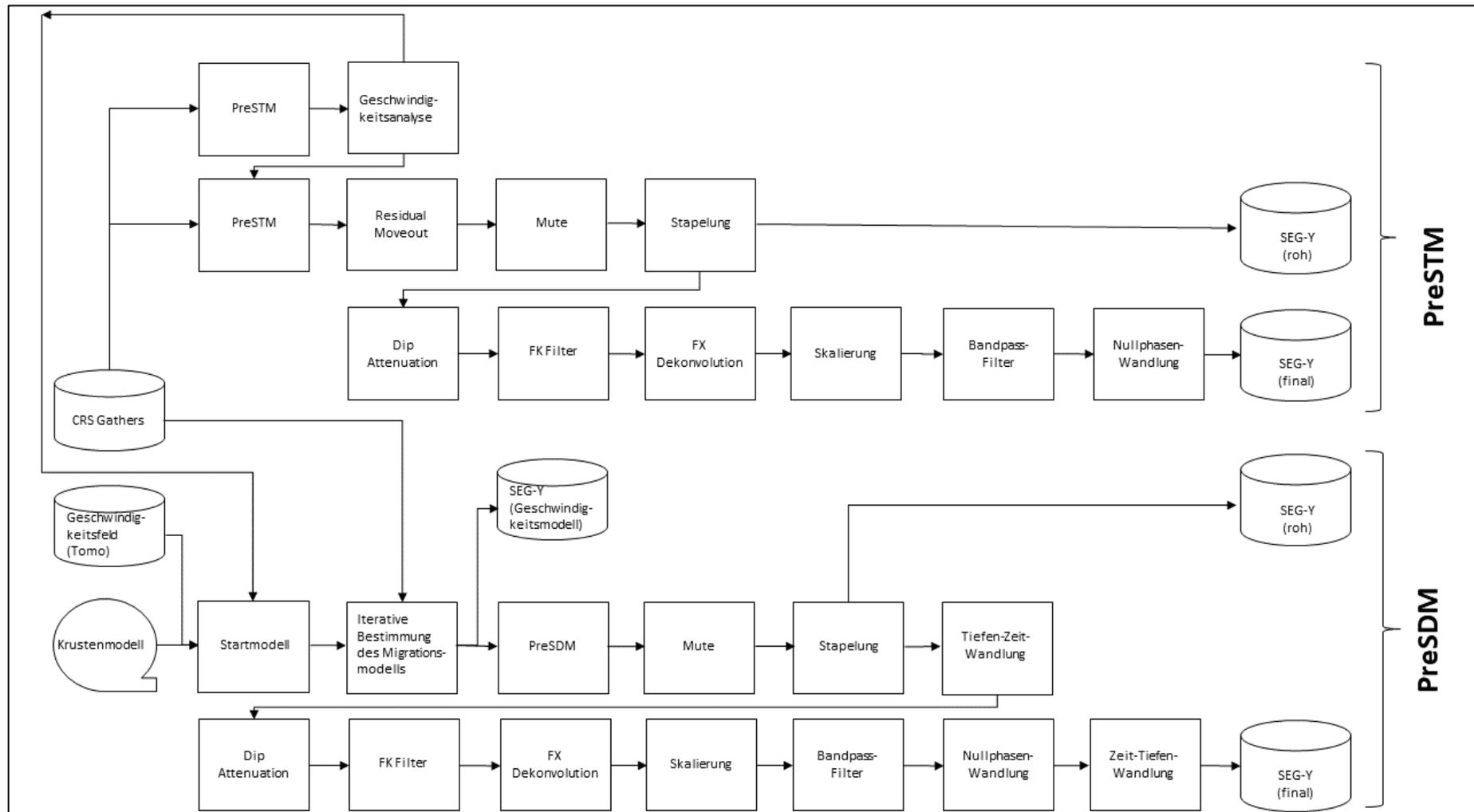


Abb. 9.18: Flussdiagramm Querlinien (2D) Teil 3 - PreSTM und PreSDM

9.2 Processingschritte der Querlinien (3D)

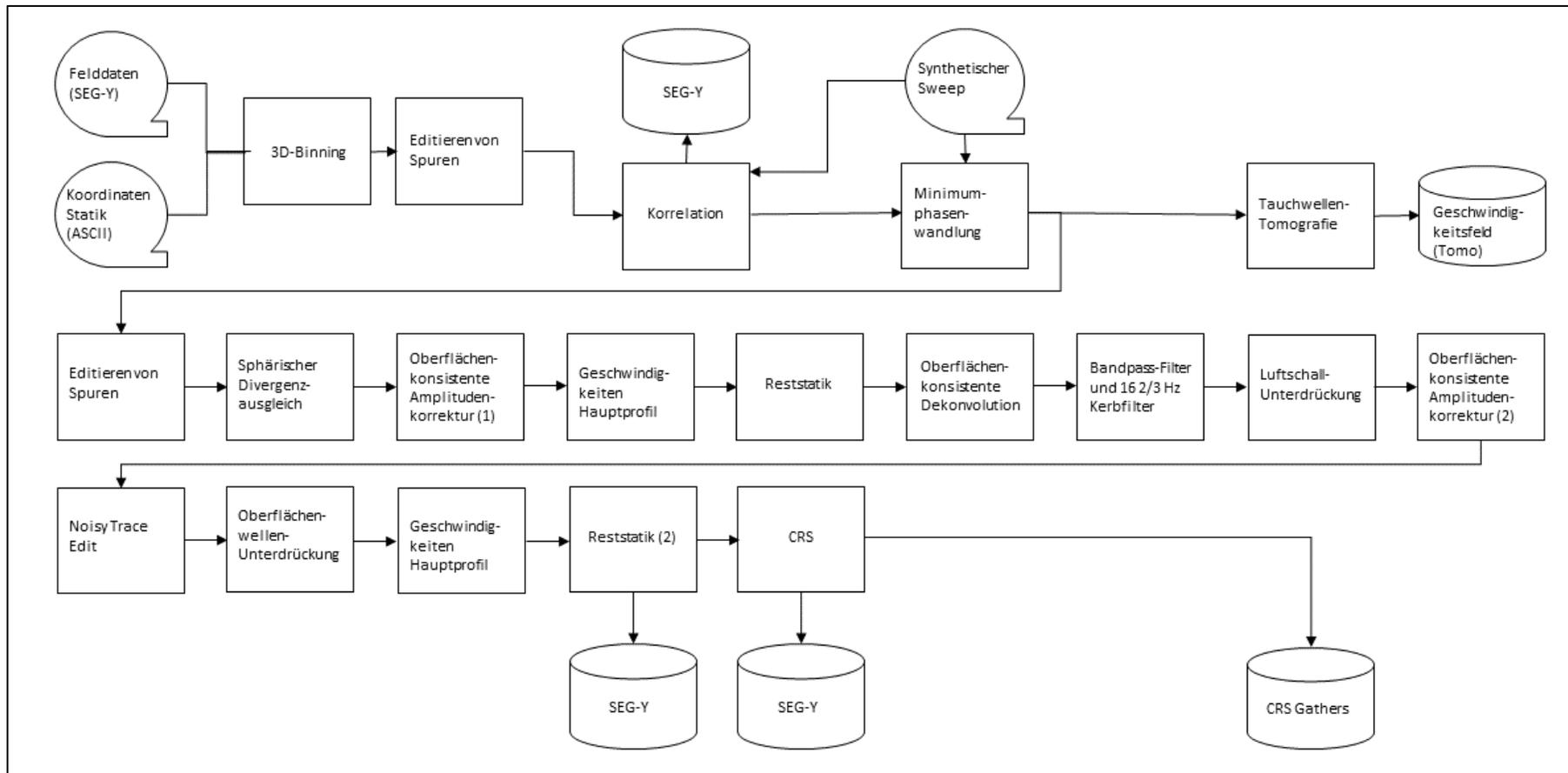


Abb. 9.19: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 1- Dateneingabe bis CRS

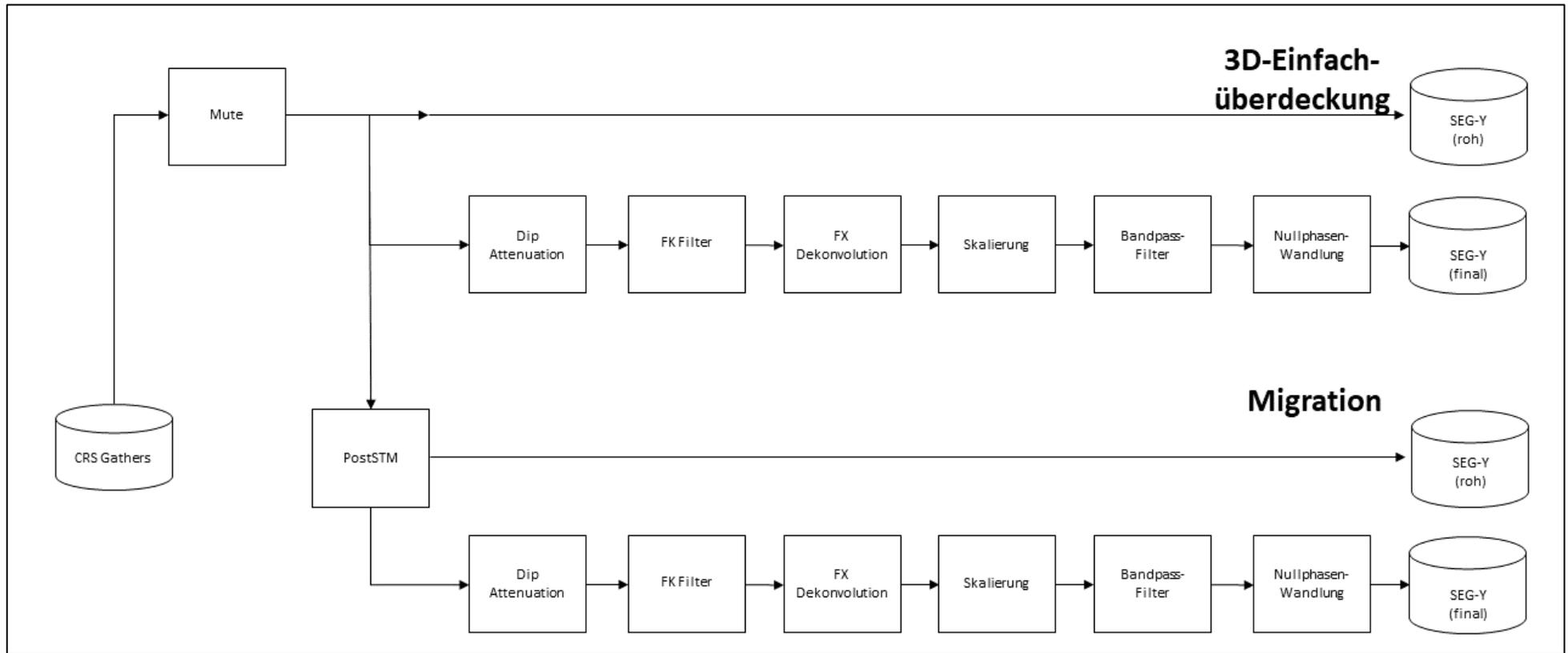


Abb. 9.20: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 2- Stapelung und PostSTM

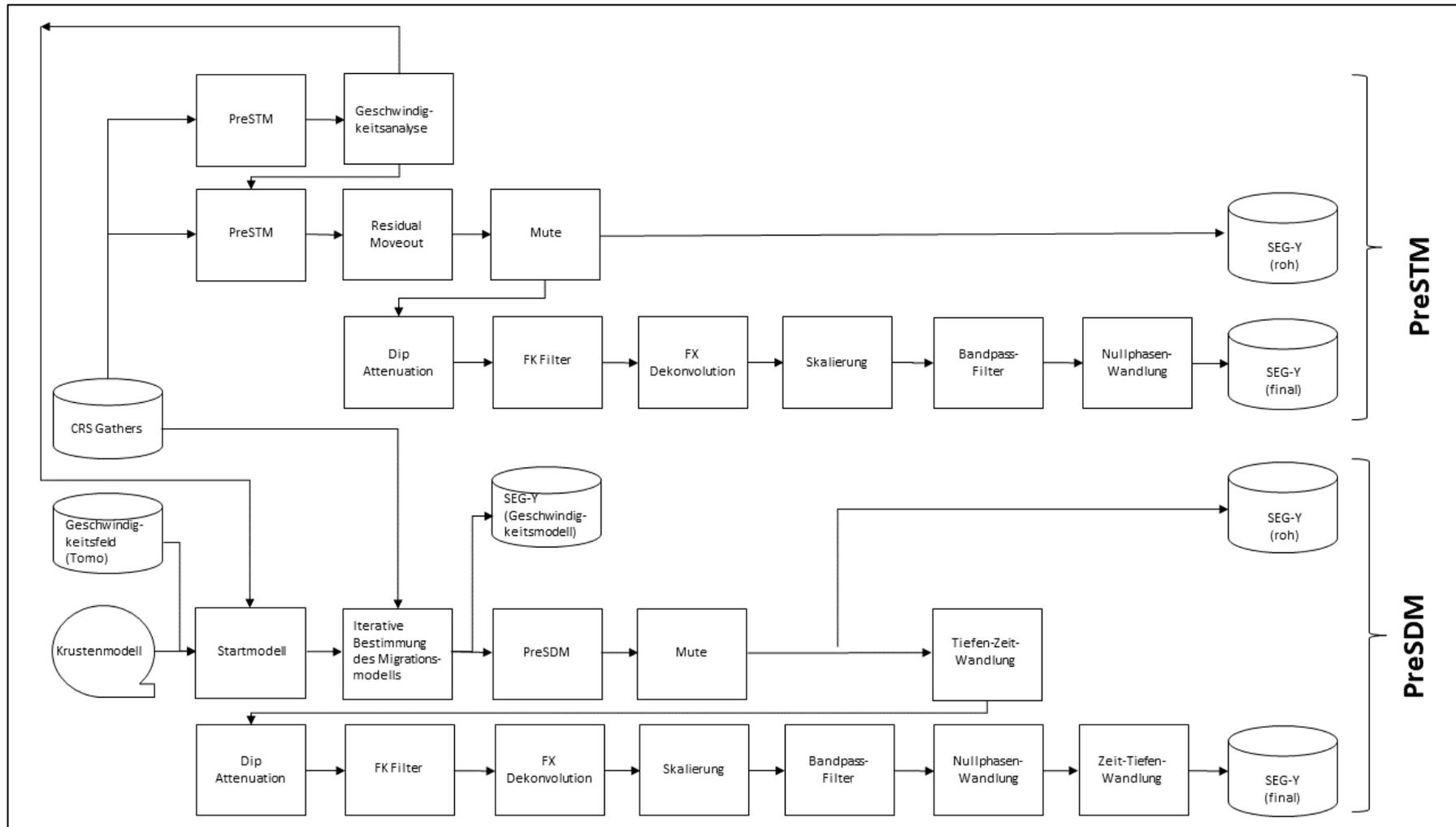


Abb. 9.21: Flussdiagramm Querlinien (3D) Teil 3 - PreSTM und PreSDM