

# Arbeitsbericht NAB 13-57

**Vorbereitung 3D-Seismik für  
Etappe 3:  
Survey-Design-Studie,  
Gebiet Jura Ost**

Juli 2013

U. Scharf, M. Hertrich

Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen  
Telefon 056-437 11 11

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)



# Arbeitsbericht

## NAB 13-57

**Vorbereitung 3D-Seismik für  
Etappe 3:  
Survey-Design-Studie,  
Gebiet Jura Ost**

Juli 2013

U. Scharf, M. Hertrich

#### KEYWORDS

3D-Seismik, Reflexionsseismik, SGT, Survey-Design,  
Messgeometrie, Feldparameter, HAA/SMA, Jura Ost

Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen  
Telefon 056-437 11 11

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Forschungsaktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

“Copyright © 2013 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.”

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Figurenverzeichnis.....	II
Verzeichnis der verwendeten Symbole.....	III
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vorliegende Informationen .....</b>	<b>3</b>
<b>3 3D-Parameter-Bestimmung .....</b>	<b>5</b>
3.1 Verwendete Parameter.....	5
3.2 Auflösungsvermögen.....	6
3.3 Untergrund Datenpunktfläche "Bin" .....	6
3.4 Maximale Frequenzen ohne Aliasing-Effekt.....	7
3.5 Bestimmung des 3D-Überdeckungsgrades.....	8
3.6 Fresnel-Zone und Migrationsapertur .....	9
<b>4 3D-Basisblock- und Messflächen-Bestimmung .....</b>	<b>13</b>
4.1 3D-Basisblock-Bestimmung.....	13
4.2 Offset- und Überdeckungsanalyse.....	16
4.3 Erdoberfläche-bezogene Messflächenbestimmung .....	23
4.4 Einfluss des Mute .....	25
<b>5 Betrachtungen zur Sender- und Empfängergeometrie .....</b>	<b>29</b>
5.1 Sender- und Empfängerliniennetz .....	29
5.2 Sender- und Empfängergruppierung.....	30
<b>6 Registrierlänge und Abtastrate .....</b>	<b>33</b>
<b>7 Operationelle Gesichtspunkte.....</b>	<b>35</b>
<b>8 Zusammenfassung .....</b>	<b>37</b>
<b>9 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>39</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Untergrund Datenpunktfläche "Bin" .....	7
Tab. 2:	Maximale Frequenzen ohne Aliasing-Effekt.....	8
Tab. 3:	3D-Überdeckung.....	9
Tab. 4:	Bestimmung der Fresnel-Zone .....	11
Tab. 5:	Zusammenstellung der ermittelten Parameterwerte .....	12
Tab. 6:	Parameter der Basisblockvarianten.....	13
Tab. 7:	Sender- und Empfängergruppenlängen .....	30

## Figurenverzeichnis

Fig. 2:	Fresnel-Zone .....	10
Fig. 3:	Diffraktionsschema.....	11
Fig. 4:	Basisblock Variante V 3 .....	15
Fig. 5:	Offsetbereich 0 bis 250 m.....	17
Fig. 6:	Offsetbereich 0 bis 500 m.....	18
Fig. 7:	Offsetbereich 0 bis 700 m (Tiefe Opalinuston) .....	19
Fig. 8:	Offsetbereich 0 bis 1'100 m (Xmute bezogen) .....	20
Fig. 9:	Offsetbereich alle.....	21
Fig. 10:	"Rose"-Diagramm.....	22
Fig. 11:	Schema 3D-Messfläche .....	24
Fig. 12:	Messflächenoptimierung.....	26
Fig. 13:	Muting Beispiel - Opalinuston-Horizont .....	27
Fig. 14:	Sende- und Empfängerliniennetz.....	29
Fig. 15:	Beispiel Empfängergruppierung.....	31
Fig. 16:	Beispiel Sender- und Empfängergruppierung.....	32

## Verzeichnis der verwendeten Symbole

$A_v$	Vertikales Auflösungsvermögen
$A_F$	Fresnel-Zonen Radius
$A_M$	Migrationsapertur
$A_T$	Totaler Randbereich
$a_{3D}^x$	3D-Untergrunddatenpunktabstand in x-Richtung
$a_{3D}^y$	3D-Untergrunddatenpunktabstand in y-Richtung
$a_{2D}$	2D-Untergrunddatenpunktabstand
$C_{3D}$	3D-Gesamt-Überdeckungsgrad
$C_{3D}^x$	3D-Überdeckungsgrad in x-Richtung
$C_{3D}^y$	3D-Überdeckungsgrad in y-Richtung
$C_{2D}$	2D-Überdeckungsgrad
$f_{\max}$	Maximale in der Zielhorizonttiefe zu erwartende Frequenz
$f_N$	Nyquist Frequenz
$f_v$	Vorzugsfrequenz in der Zielhorizonttiefe
$P_L$	Sende- und Empfängergruppenlänge
$r_F$	Radius der ersten Fresnel-Zone
$S_L$	Sweep Länge
$S_R$	Sweep Rate
$t_0$	2-Weg-Laufzeit bis zum Zielhorizont
$t_R$	Registrierlänge
$v_d$	Durchschnittsgeschwindigkeit bis zum Zielhorizont
$v_i$	Intervallgeschwindigkeit oberhalb des Zielhorizontes
$x_{\max}$	Maximales Offset in x-Richtung
$x_{mute}$	Mute-bezogenes maximales Offset
$y_{\max}$	Maximales Offset in y-Richtung
$s_{\max}$	Maximales Offset in diagonaler Richtung

$z$	Tiefe des Zielhorizontes
$\Delta F_x$	Zone einfach bis voll überdeckt in x-Richtung
$\Delta F_y$	Zone einfach bis voll überdeckt in y-Richtung
$\Delta EL$	Empfängerlinienabstand
$\Delta EP$	Empfangspunktabstand
$\Delta SL$	Sendelinienabstand
$\Delta SP$	Sendepunktabstand
$\Delta f_B$	Frequenzbandbreite bezogen auf den Zielhorizont
$\Delta f_S$	Sweep Frequenzbandbreite
$\Delta t$	Abtastrate
$\alpha$	Reflexionswinkel
$\beta$	Neigungswinkel des Zielhorizontes



## 1 Einleitung

Für Etappe 3 des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager sind in den Standortregionen vertiefende, geologische Untersuchungen (u.a. 3D-seismische Messungen und Sondierbohrungen) notwendig.

Das Zürcher Weinland (jetzt Zürich Nordost) wurde bereits in den 90er Jahren für den Entsorgungsnachweis 3D-seismisch untersucht und am Wellenberg sind aufgrund seiner Topographie weitere seismische Messungen nicht sinnvoll. Da gemäß Sachplan geologische Tiefenlager noch nicht entschieden ist, welche Standortgebiete am Ende von Etappe 2 zurückgestellt werden, bereitet sich die Nagra darauf vor, die anderen vier Standortgebiete Jura Ost, Jura-Südfuss, Nördlich Lägern und Südranden zu untersuchen. Die Planung und Vorbereitungen der 3D-seismischen Messungen werden daher für die vier potenziell zu untersuchenden Gebiete durchgeführt und in separaten Berichten dokumentiert.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Bestimmung der Messgeometrie für das provisorisch geplante Messgebiet Jura Ost, westlich der Stadt Brugg im Kanton Aargau.

Die interessierenden Tiefen liegen im Bereich von etwa 250 bis 1'000 m, mit dem Schwerpunkt Basis Opalinuston, dessen Tiefenlage von ca. 300 bis 700 m reicht.

Für die voll überdeckte und voll migrierte Untergrundfläche wurden vom Auftraggeber 86,25 km<sup>2</sup>, bezogen auf einen Gesamtaperturbetrag von 75 %, angegeben.

Der Charakter der 3D-Seismik ist als sehr hochauflösend anzusehen, da einerseits sehr flach liegende Reflexionshorizonte und andererseits kleinräumige tektonische Störungen aufgelöst werden sollen.

Fig. 1 zeigt die seismische Linie 11-NS-04. Diese verläuft SSE-NNW quer durch das Standortgebiet Jura-Ost im Fallen der geologischen Schichten

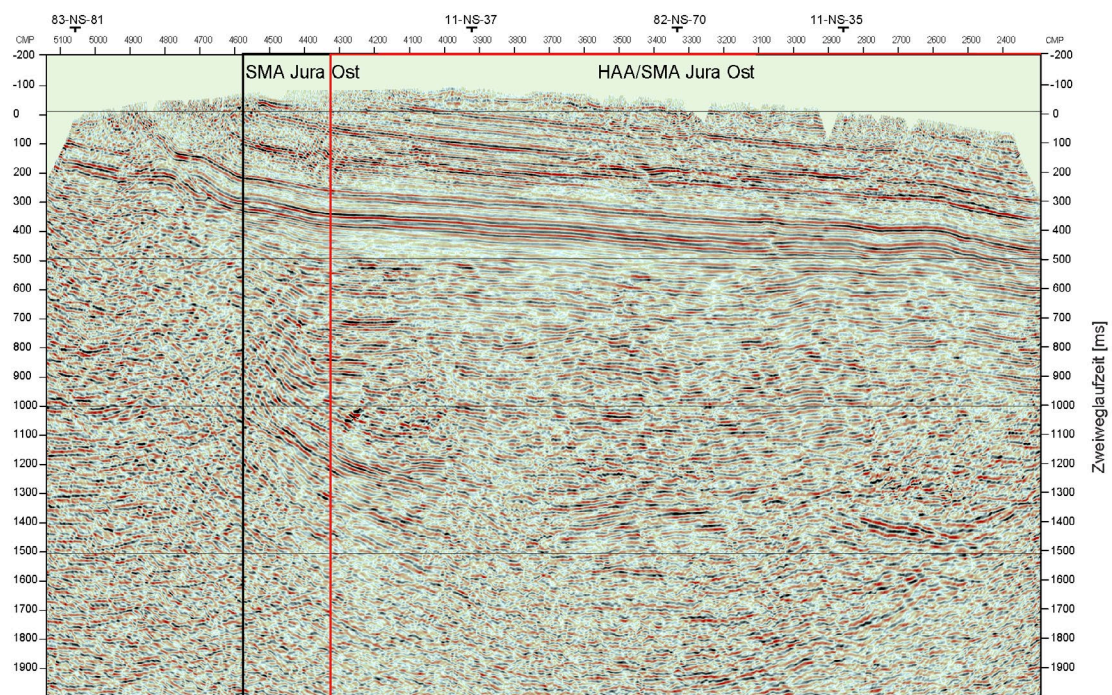


Fig.1: Seismiklinie 11-NS-04 im Standortgebiet Jura Ost (aus Madritsch et al., 2013)

## 2 Vorliegende Informationen

2011/12 wurden neue 2D-Profile digitaleismisch vermessen und bearbeitet. Zum Einsatz kamen überwiegend Vibrationsseismik und in geringem Umfang Sprengseismik. Weit ältere seismische 2D-Daten existierten ebenfalls, die allerdings Aufgrund der damaligen technischen Möglichkeiten und aus Gründen der Vergleichbarkeit nur in die Vorbereitung der Messkampagne 2011/12 einbezogen wurden.

### 2011/12 verwendete Feldparameter

Verfahren:	Vibrations- und Sprengseismik
Methode:	Zentralaufstellung ("Split Spread")
Kanalzahl:	660 und 330
Überdeckung:	330- und 165-fach nominal
Empfangspunktabstand ( $\Delta EP$ ):	6 m
Geofone pro Gruppe:	12
Anregungspunktabstand ( $\Delta AP$ ):	
• Vibrationsseismik	6 und 12 m
• Sprengseismik	12 m
Abtastrate:	2 ms
Registrierlänge:	4 s
Vibratoren:	Je 3+2, Mertz M12P/606, Hemi 48
Spitzenkraft (Peak Force):	45'100 und 30'300 lbs
Sweeps pro VP:	1, 2 und 4 auf der Stelle
Sweep Länge:	
• Vibrator 01	11 s
• Vibrator 02	18 s
• Vibrator 03	11 s
Frequenzband:	
• Vibrator 01	10/12 Hz bis 65/67 Hz
• Vibrator 02	10/12 Hz bis 100/102 Hz
• Vibrator 03	10/12 Hz bis 65/67 Hz
Plattenabstand:	12 m, später 13 m
Vorfahrabstand:	Ohne

Aus den Angaben errechnet sich eine Sweep Rate von:

$$S_R = \frac{\Delta f_S}{S_L} = \frac{65/67\text{Hz} - 10/12\text{Hz}}{11\text{s}} = 5 \frac{\text{Hz}}{\text{s}},$$

$$S_R = \frac{\Delta f_S}{S_L} = \frac{100/102\text{Hz} - 10/12\text{Hz}}{18\text{s}} = 5 \frac{\text{Hz}}{\text{s}}$$

die ein Mass für die in den Untergrund abgestrahlte Energie darstellt.

### 3 3D-Parameter-Bestimmung

#### 3.1 Verwendete Parameter

Dem Auftraggeber wurde ein Fragespiegel zur Verfügung gestellt, um an Hand der Auswertung der 2D-Daten der Messung von 2011/12, durchgeführt von der Firma Petrologic GmbH, Hannover, die für die Bestimmung des 3D-Basisblocks erforderlichen Informationen abzuleiten. Es resultierten daraus die nachfolgend zusammengestellten Daten, die als Grundlage für die weitere Parameter Berechnung zur Planung der 3D-Messung dienen.

Horizont	Flach	Mittel	Tief
Zieltiefe	250 m	700 m	1'000 m
$t_0$	180 ms	350 ms	550 ms
$f_{\max}$	120 Hz	120 Hz	110 Hz
$f_v$	60 Hz	60 Hz	55 Hz
$v_d$	3'200 ms <sup>-1</sup>	3'600 ms <sup>-1</sup>	3'700 ms <sup>-1</sup>
$v_i$	3'600 ms <sup>-1</sup>	4'000 ms <sup>-1</sup>	4'200 ms <sup>-1</sup>
$x_{\max}$ (Annahme)	250 m	700 m	1'000 m
$x_{\text{mute}}$ (ermittelt)		1'100 m	
$\beta$	10°	15°	15°
Horizontale Auflösung erwartet		10 m	
Vertikale Auflösung erwartet		10 m	

Aus der Analyse der 2D-Testmessungen konnte ein Frequenzgehalt von bis zu 120 Hz nachgewiesen werden, so dass für die 3D-seismischen Messungen eine Anregung bis 120 Hz angestrebt wird.

Vereinbarungsgemäss beziehen sich alle weiteren Untersuchungen auf das Hauptziel Opalinuston-Horizont.

Die für die Ableitung der Messparameter verwendeten Geschwindigkeiten wurden in den vom Auftraggeber (Nagra) festgelegten Profilausschnitten der 2D-Seismik 2011/2012 an Hand der finalen Prestack Time Migration Geschwindigkeitsfelder bestimmt. Es handelt sich dabei um seismische Geschwindigkeiten für die entsprechenden Abbildungsbereiche, die für die zuverlässige Bestimmung der Messparameter im Survey-Design notwendig sind. Es handelt sich dabei nicht - insbesondere bei den Intervallgeschwindigkeiten - um Geschwindigkeiten, die explizit einer bestimmten geologischen Formation zuzuordnen sind.

### 3.2 Auflösungsvermögen

Unter Verwendung der Formeln (s. Vermeer 1997, Cordsen et al. 2000)

$$A_v = \frac{c}{2} \cdot \frac{v_i}{f_{\max} \cdot \cos \alpha}, \quad \text{mit } c = 0,715 \text{ und } \alpha = \arctan \cdot \frac{x_{\text{mute}}}{2z}$$

resultiert mit den o. a. Werten für die vertikale Auflösung

$$A_v \approx 0,45 \cdot \frac{4.000 \text{ms}^{-1}}{120 \text{Hz}} \approx 15,2 \text{m}$$

### 3.3 Untergrund Datenpunktfläche "Bin"

Anhand der Formeln (s. Cordsen et. al, 2000) gilt für

Aliasing	Horizontale Auflösung
$a_{3D} = \frac{v_i}{4 \cdot f_{\max} \cdot \sin \beta}$	$a_{3D} = \frac{v_i}{m \cdot f_d} \quad m = 2, 3, 4$

Damit ergeben sich die in Tab. 1 zusammengestellten Bin Werte, wobei  $v_i = 4'000 \text{ ms}^{-1}$  gewählt und konstant gehalten wurde. Die Schichtneigung und Maximalfrequenz wurden variiert.

Die maximale Schichtneigung des Zielhorizontbereiches beträgt ca.  $15^\circ$ . Hierbei ist aber zu beachten, dass vorhandene Störungen und Auf- und Abschiebungen erheblich steiler in verschiedenen Richtungen einfallen können. Auf diesen Punkt wird im Abschnitt Migrationsapertur eingegangen.

Tab. 1: Untergrund Datenpunktfläche "Bin"

Bezug: Aliasing,  $v_i = 4'000 \text{ ms}^{-1}$ 

$\beta$ [°]	$f_{\max}$ [ Hz]					
	110	115	120	125	130	135
	$a_{3D}$					
5	104	100	96	92	88	85
10	52	50	48	46	44	43
15	35	34	32	31	30	29
20	27	25	24	23	22	22
25	22	21	20	19	18	18
30	18	17	17	16	15	15
35	16	15	15	14	13	13
40	14	14	13	12	12	12
45	13	12	12	11	11	10

Bezug: Horizontale Auflösung,  $v_i = 4'000 \text{ ms}^{-1}$ 

m	$f_v$ [ Hz]					
	40	50	60	70	80	90
	$a_{3D}$					
2	50	40	33	29	25	22
3	33	27	22	19	17	15
4	25	20	17	14	13	11

**Empfehlung:** Eine quadratische Bin Fläche ( $a_{3D}$ ) von 15 m x 15 m kann empfohlen werden. Der ungerundete Wert liegt in der Tab. bei  $a_{3D} = 16,7 \text{ m}$ .

Es wird der grosse Unterschied zwischen Aliasing und horizontal bezogener Bin Grösse deutlich.

### 3.4 Maximale Frequenzen ohne Aliasing-Effekt

Entsprechende Werte wurden unter Verwendung der Formel

$$f_{\max} = \frac{v_i}{4 \cdot a_{3D} \cdot \sin \beta}, \quad \text{mit } v_i = 4'000 \text{ ms}^{-1}$$

Und der vorgeschlagenen Bin Grösse von 15 x 15 m berechnet und in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Maximale Frequenzen ohne Aliasing-Effekt

$\beta$ [°]	$a_{3D}$ [m]					
	5	10	15	20	25	30
$f_{\max}$ ohne Aliasing						
5	2'295	1'147	765	574	459	382
10	1'152	576	384	288	230	192
15	773	386	258	193	155	129
20	585	292	195	146	117	97
25	473	237	158	118	95	79
30	400	200	133	100	80	67
35	349	174	116	87	70	58

Für die erwartete maximale Frequenz von 120 Hz bei 15° se lbst noch bei 30° Schichtneigung gibt es keinen Konflikt in Bezug auf Aliasing.

### 3.5 Bestimmung des 3D-Überdeckungsgrades

Aufgrund von Erfahrungswerten kann für den optimalen 3D-Überdeckungsgrad ein Wert von 50 % des optimalen 2D-Überdeckungsgrades als grober Anhaltspunkt angesetzt werden, wobei einige Autoren sogar bis 100 % gehen.

Der Grund für eine geringere 3D-Überdeckung liegt bei 3D-Messungen in der Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses gegenüber 2D-Messung um etwa den Faktor 2, was mit der 3D Migration verbunden ist.

Damit ergibt sich die Faustformel

$$C_{3D} \approx \frac{1}{2} \cdot C_{2D} \quad \text{bzw.} \quad \left( \frac{1}{2} \cdot C_{2D} \leq C_{3D} \leq C_{2D} \right).$$

Aufgrund der Messgeometrie der 2D-Seismik 2011/12 mit i) kleinen Source- und Receiver-abständen für eine hohe Auflösung steilstehender Strukturen und ii) grossen Offsets für eine gute Abbildung auch von tiefen Reflektionen ergibt sich eine bis zu 330-fache Überdeckung. Mit der als optimal angenommenen Überdeckung von ca. 100-fach für die 2D-Daten resultieren damit Werte im Bereich von 50 bis 100-fach für die nominale optimale 3D-Überdeckung.

Die 3D-Überdeckung kann auch anhand der nachfolgenden Formel (Krey, 1987) exakter berechnet werden:

$$C_{3D} = C_{2D}^{opt.} \cdot \frac{a_{3D}^x \cdot a_{3D}^y \cdot f_v \cdot \pi \cdot 0,401}{a_{2D}^{opt.} \cdot v_d}$$



Verwendet man diese Formel ergeben sich mit den Parameterwerten für den Opalinuston

$f_v$	60 Hz
$v_d$	3'600 ms <sup>-1</sup>
$C_{2D}$ (Annahme)	100-fach
$a_{2D}^{opt.}$ (Annahme)	12 m
$a_{3D}$ (s. Tab. 1)	16,7 m

folgende Werte für den 3D-Überdeckungsgrad (Tab. 3):

Tab. 3: 3D-Überdeckung

$a_{2D}$ [m]	$C_{2D}$ [fach]		
	80	100	120
	$C_{3D}$ [fach]		
9,5	49	61	74
12,0	39	49	58
14,5	32	40	48

**Empfehlung:** Anhand der Berechnungen kann ein nominaler 3D-Überdeckungsgrad von  $\geq 50$ -fach empfohlen werden, zumal zu berücksichtigen ist, dass dieser sich infolge ausfallender und zu verschiebender Energieanregungspunkte bezogen auf den Opalinuston-Horizont noch reduziert.

### 3.6 Fresnel-Zone und Migrationsapertur

Die Fresnel-Zone hat Einfluss auf die horizontale Auflösung vor der Migration. Bei dieser werden geneigte Reflexionshorizonte und Störungen in ihrer korrekten Position dargestellt und Diffraktionswellen auf deren Energiezentrum fokussiert (siehe Fig. 2). Diffraktierte Wellen entstehen an scharfen Schichtgrenzen, Störungen und rauen Oberflächen. Mit diesen Effekten ist im Messgebiet zu rechnen.

Zur Bestimmung der auf die Erdoberfläche bezogenen Messfläche müssen ausgehend von der vom Auftraggeber vorgegebenen voll überdeckten und voll migrierten Kernfläche sowohl die Fresnel-Zone als auch die Migrationsapertur ermittelt und gegeneinander abgewogen werden, wobei die Aperturzone nicht kleiner als die Fresnel-Zone gewählt werden darf.

Zusätzlich ist der Bereich von der einfachen bis zur vollen Überdeckung beim Hinein- und Herausrollen am Beginn und Ende der Messfläche zu beachten, der durch das Messschema bestimmt und später diskutiert wird.

## Fresnel-Zonen-Radius

Dieser kann unter Verwendung der Formel (das Glied 2<sup>ter</sup> Ordnung wurde vernachlässigt)

$$A_F \cong \sqrt{\frac{v_d \cdot z}{2 \cdot f_v}}$$

mit den nachfolgenden Werten berechnet werden (siehe Tab. 4 und Fig. 2).

$v_d$	3'600 ms <sup>-1</sup>
$z$	700 m
$f_v$	60 Hz

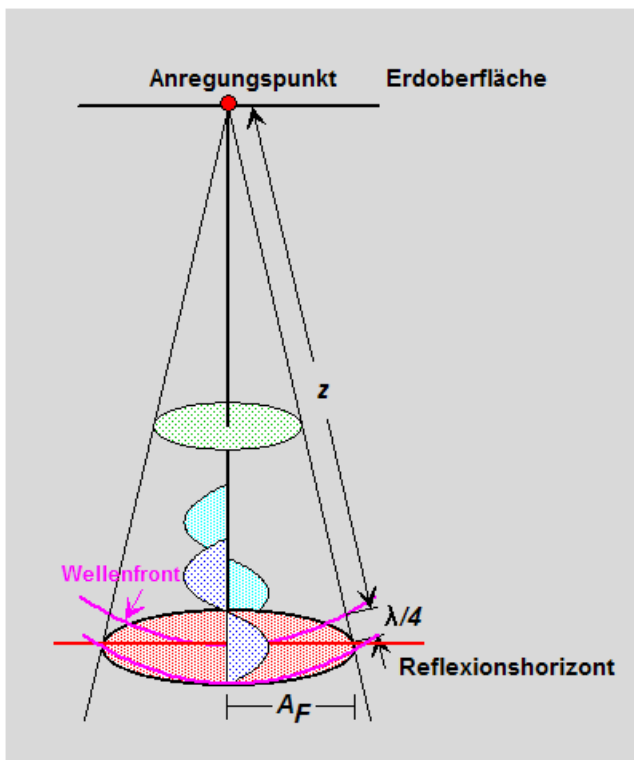


Fig. 2: Fresnel-Zone

Tab. 4: Bestimmung der Fresnel-Zone

$f_v$ [ Hz ]	$v_d$ [ $\text{ms}^{-1}$ ]		
	3'400	3'600	3'800
	$A_F$ [ m ]		
55	147	151	156
60	141	145	149
65	135	139	1430

Es ergibt sich ein Wert von 145 m für den Radius der Fresnel-Zone. Verwendet man diesen, werden diffraktierte Wellen nur in einem Streuwinkelbereich von ca.  $15^\circ$  und damit nur etwa 70 % von deren Energie erfasst. Besser ist es jedoch den Streuwinkel auf  $30^\circ$  zu erhöhen, um etwa 95 % der Energie der Diffraktionswellen refokussieren zu können (Fig. 3).

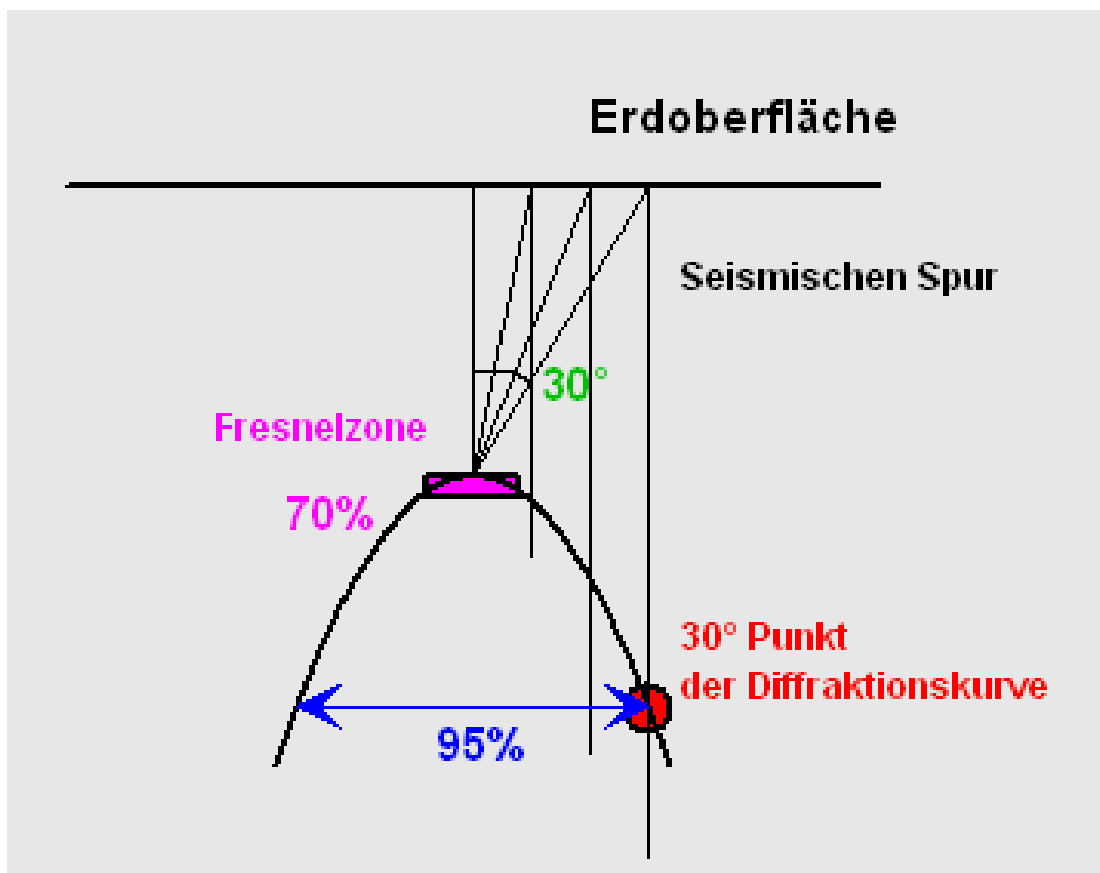


Fig. 3: Diffractionsschema

## Migrationsapertur

Diese kann anhand der Beziehung  $A_M \geq z \cdot \tan \beta$  abgeschätzt werden.

Bei vorgegebener maximaler Reflektorneigung von  $15^\circ$  für alle Bereiche, bzw. Verwendung eines Streuwinkels von  $30^\circ$ , der für die Bestimmung des Migrationsoperators mindestens verwendet wird, ergeben sich für den Opalinuston-Horizont die Werte:

Strukturneigung  $15^\circ \geq 188 \text{ m}$

Migration  $30^\circ \geq 404 \text{ m}$

**Empfehlung:** Um den o. a. Kriterien zu genügen, werden die Aperturwerte bezogen auf  $30^\circ$  empfohlen. Dies ist auch insofern wichtig, da im Messgebiet mit Störungen, möglicherweise verbunden mit Auf- und Abschiebungsbereichen zu rechnen ist.

In Tab. 5 sind die aus den 2D-Messungen bekannten und berechneten Parameterwerte zusammengestellt, die die Grundlage für die 3D-Basisblockbestimmung bilden.

Tab. 5: Zusammenstellung der ermittelten Parameterwerte

Opalinuston-Horizonttiefe	[m]	700
Opalinuston-Muting-Grenze	[m]	1'100
Durchschnittsgeschwindigkeit	[ms <sup>-1</sup> ]	3'600
Intervallgeschwindigkeit	[ms <sup>-1</sup> ]	4'000
Maximale Frequenz (erwartet)	[ Hz]	120
Vorzugsfrequenz (Annahme)	[ Hz]	60
Vertikale Auflösung	[m]	15
Bin Grösse: Bezug Aliasing	[m x m]	32 x 32
Bin Grösse: Bezug horizontale Auflösung	[m]	17 x 17
Überdeckungsgrad nominal	[fach]	49
Fresnel-Zone	[m]	145
Neigungsapertur $15^\circ$	[m]	188
Migrationsapertur $30^\circ$	[m]	404

## 4 3D-Basisblock- und Messflächen-Bestimmung

### 4.1 3D-Basisblock-Bestimmung

Anhand der empfohlenen Parameter wurden 3 Basisblock-Varianten entwickelt. Deren Parameter sind in Tab. 6. zusammengestellt.

Tab. 6: Parameter der Basisblockvarianten

Variante		V 1	V 2	V 3
Fläche, geschätzt	[km <sup>2</sup> ]	86	86	86
Ausdehnung	[km]	13,4 x 7,3	13,4 x 7,3	13,4 x 7,3
Überdeckung				
Total	[fach]	56	56	56
In X-Richtung	[fach]	8,0	8,0	7,0
In Y-Richtung	[fach]	7,0	7,0	8,0
<b>Energieabstrahlung</b>				
Bin in Y-Richtung	[m]	15,0	15,0	15,0
Linienabstand	[m]	120	150	150
Linien pro Basisblock		17	17	15
Pkt. Abstand	[m]	30	30	30
Pkt. pro Basisblock	[Az.]	4,0	5,0	4,0
Pkt. pro km <sup>2</sup>	[Az.]	277,8	222,2	222,2
Pkt. total	[Az.]	23'961	19'169	19'169
Abstand 1 volle Überdeckung	[m]	360,0	450,0	420,0
<b>Energieempfang</b>				
Bin in X-Richtung	[m]	15,0	15,0	15,0
Linien pro Basisblock	[Az.]	14	14	16
Linien rollen	[Az.]	1	1	1
Pkt. pro Linie	[Az.]	64	80	70
Pkt. pro Basisblock	[Az.]	896	1'120	1'120
Linienabstand	[m]	120	150	120
Pkt. Abstand	[m]	30	30	30
Pkt. pro km <sup>2</sup>	[Az.]	277,8	222,2	277,8
Pkt. total	[Az.]	23'961	19'169	23'961
Abstand 1 volle Überdeckung	[m]	420,0	525,0	450,0

Variante		V 1	V 2	V 3
<b>Entfernungen</b>				
Max.Min. Offset	[m]	148,5	190,9	171,0
Xmax	[m]	945	1'185	1'035
Ymax	[m]	825	1'035	945
Smax	[m]	1'254	1'573	1'402
Ymax/Xmax	[m]	0,87	0,87	0,91

Unter Berücksichtigung technischer Aspekte (Anzahl aktiver Linien / Kanäle) und operativer Randbedingungen (Sendelinienabstände, Empfängerlinieneabstände) sowie resultierender Überdeckung und Offsetwerten stellt **Variante V 3** die günstigste Kombination der Messparameter dar und wird für die weiteren Studien verwendet.

Den Basisblock der Variante 3 zeigt Fig. 4. Bezugspunkt für dessen Berechnung ist der durch den Mute erreichbare und ungestörte maximale Offsetwert, woraus dann eine höhere Überdeckung in Empfängerlinienrichtung resultiert.

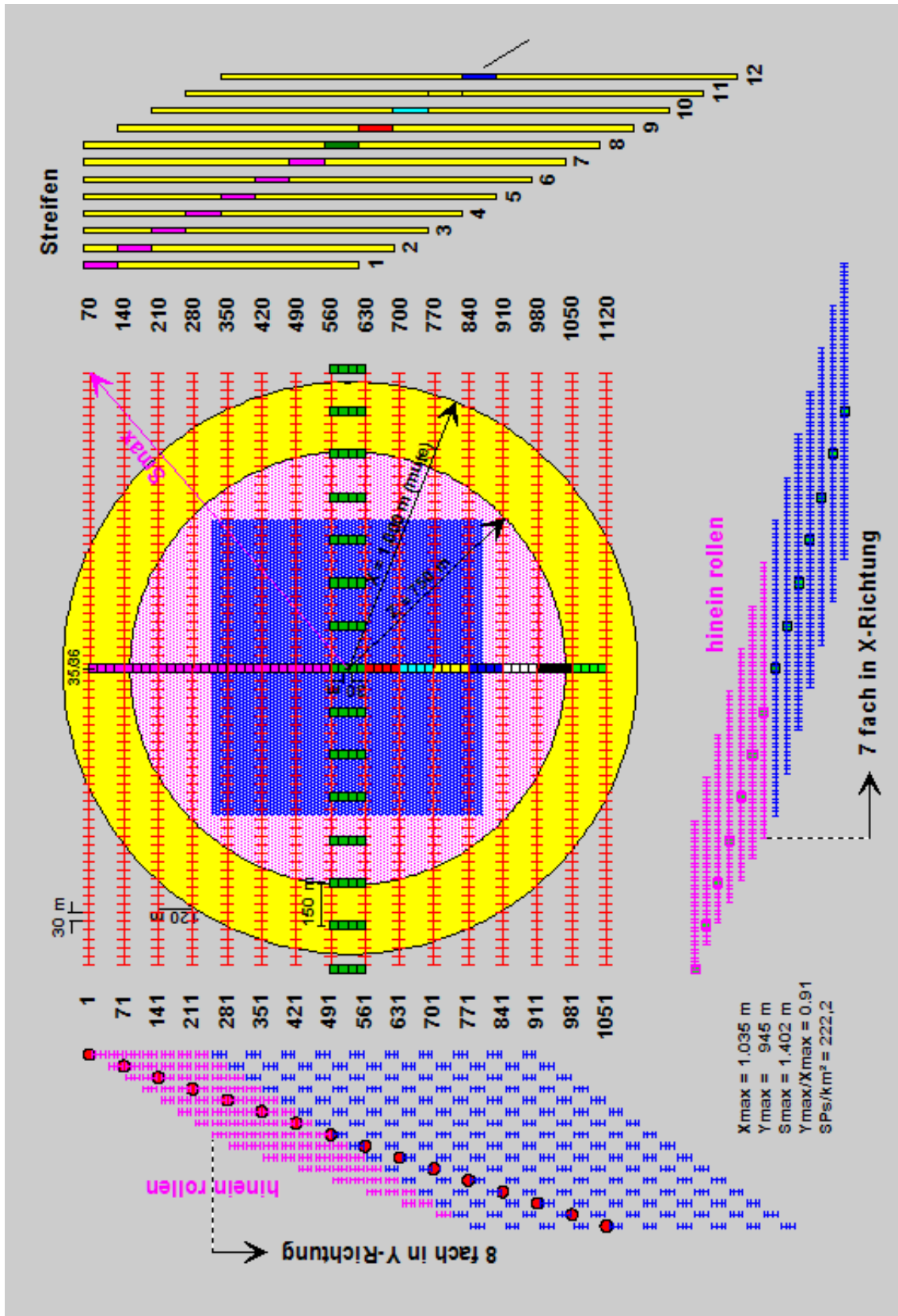


Fig. 4: Basisblock Variante V 3

## 4.2 Offset- und Überdeckungsanalyse

Um einen Anhaltspunkt hinsichtlich der Überdeckung für verschiedene Offsetbereiche zu erhalten, erfolgte die Darstellung für die mit dem Auftraggeber abgestimmten nachfolgenden Offsetbereiche einschliesslich der Offset- und Azimutverteilung ("Rose"-Diagramm). Damit ergeben sich die nachfolgenden ungefähren Überdeckungen.

<b>Offset</b>	<b>Variante V 3</b>
0 bis 250 m	1- bis 5-fach
0 bis 500 m	13- bis 15-fach
0 bis 700 m	19- bis 22-fach (Tiefe Opalinuston)
0 bis 1'100 m	47- bis 50-fach ( $X_{mute}$ bezogen)
Alle	56-fach

O - Tiefe Opalinuston

M - Muting Grenze

Die jeweiligen Grafiken sind in den Fig. 5 bis 10 dargestellt.

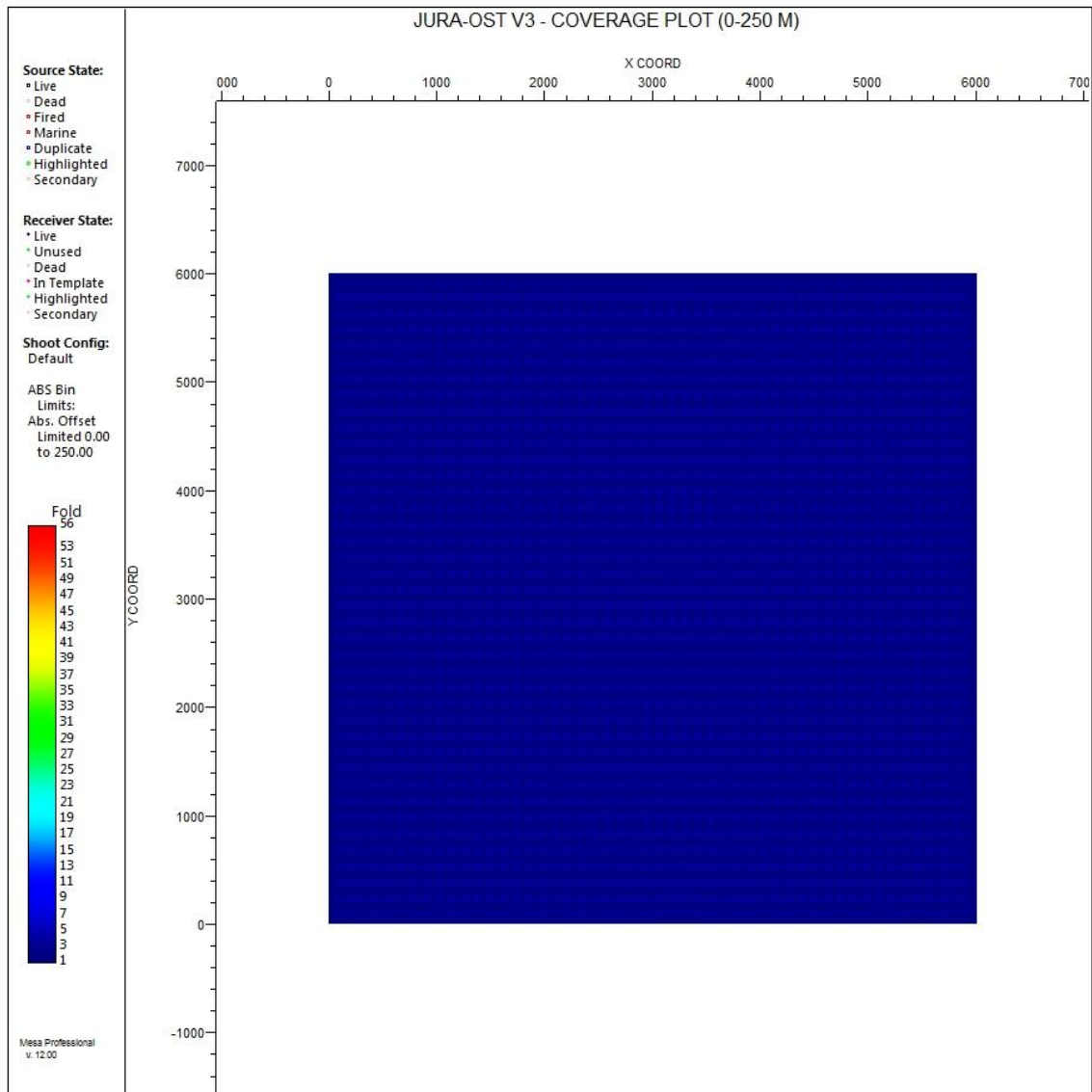
Die Bestimmung der Muting Grenze erfolgte an zwei repräsentativen CDP Punkten der 2D-Messung von 2011/12, siehe Abschnitt 4.5.

Bei Offsets bis 250m ist eine geringe aber lückenlose Überdeckung gegeben. Soll ein flacher Horizont mit solch kleinen Offsets vollständig abgebildet werden ist bei Anregungspunktausfällen und -verschiebungen besondere Aufmerksamkeit erforderlich.

Das "Rose"-Diagramm zeigt bis etwa 1'000 m eine gute homogene Offsetverteilung.

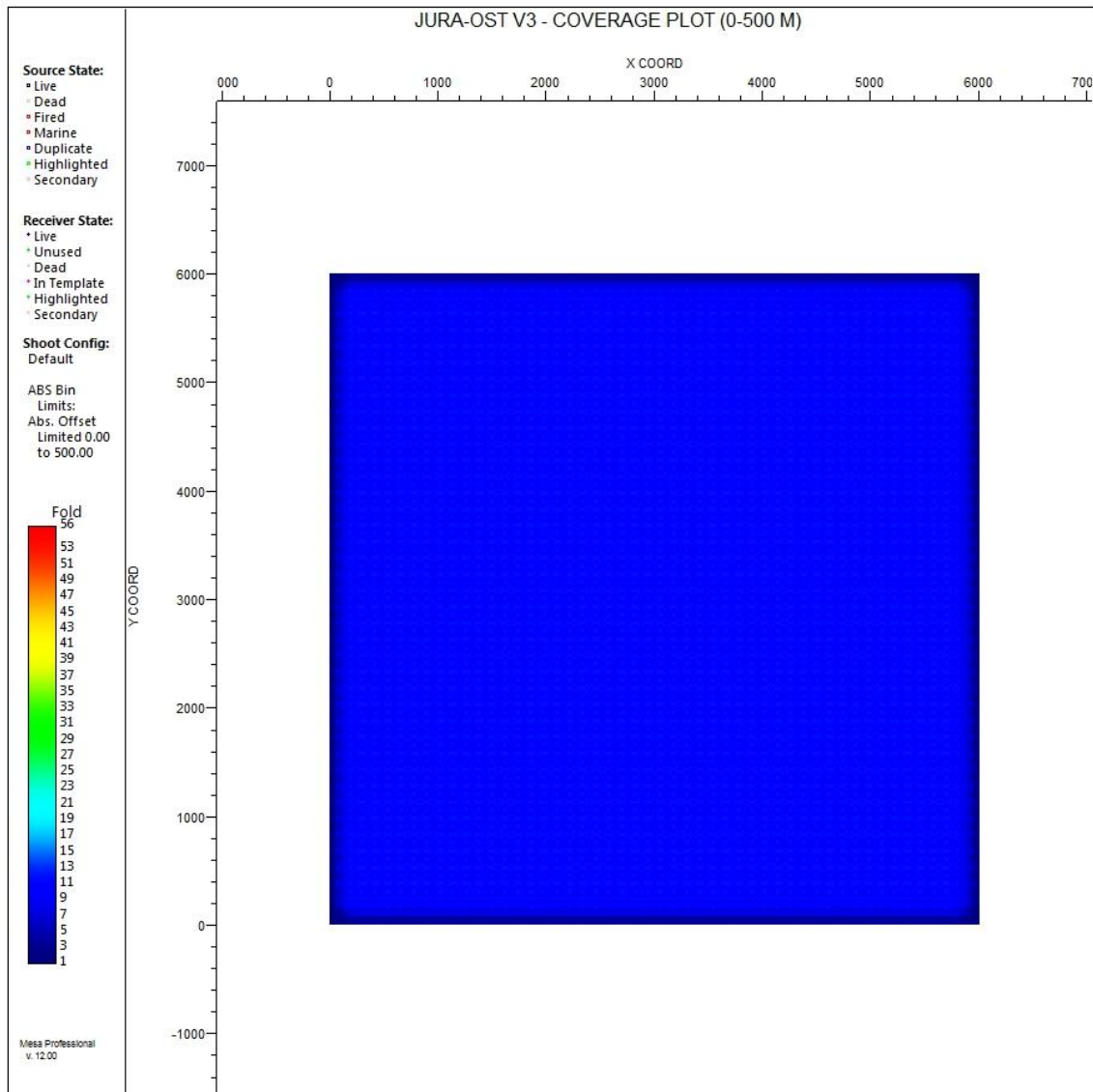
Aus Fig. 4 wird ersichtlich, dass eine höhere Überdeckung von ca. 47- bis 50-fach erst unter Einbeziehung der Mute-bedingten längeren Offsets für den Opalinuston erreicht wird





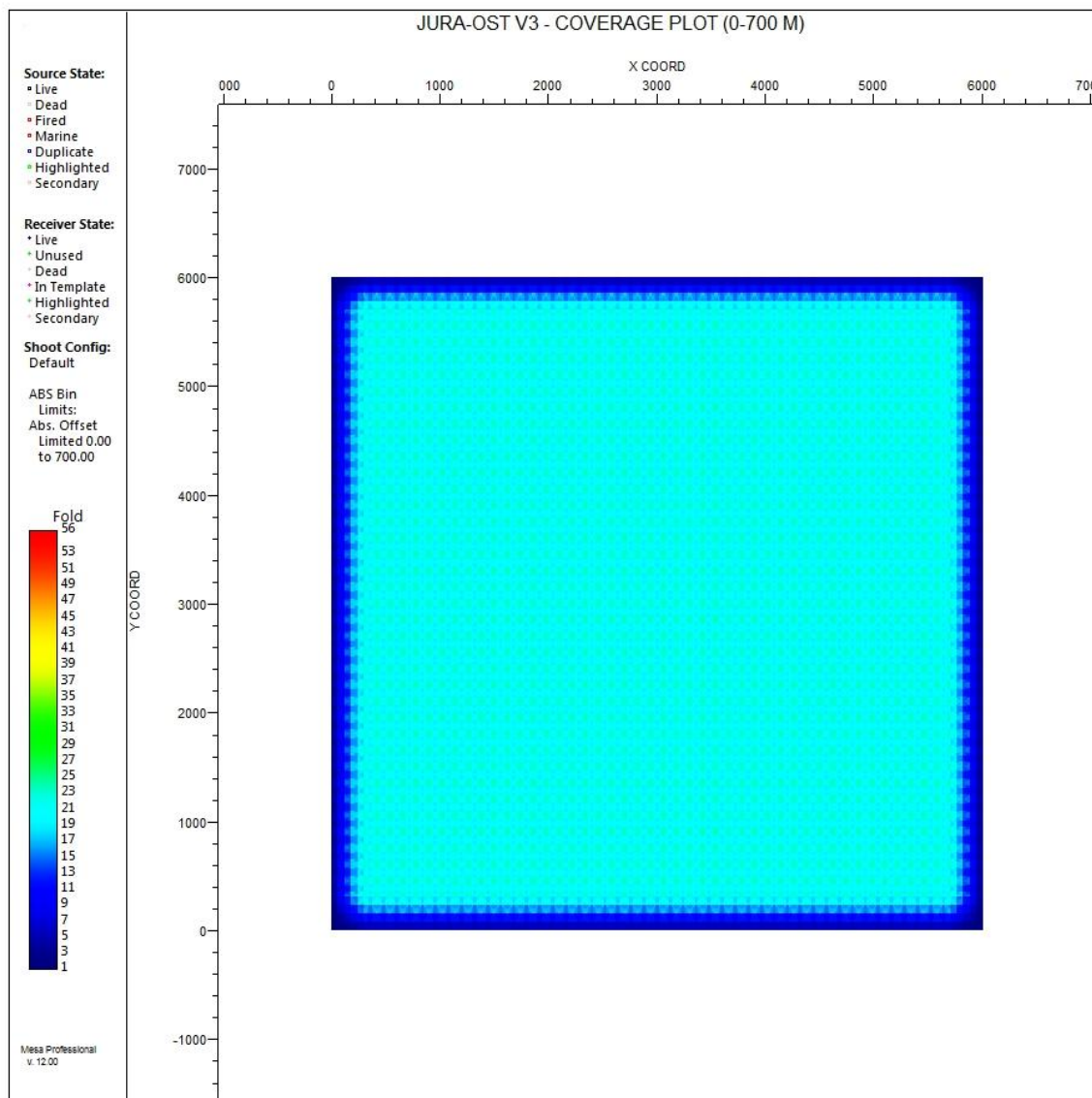
Variante V 3

Fig. 5: Offsetbereich 0 bis 250 m



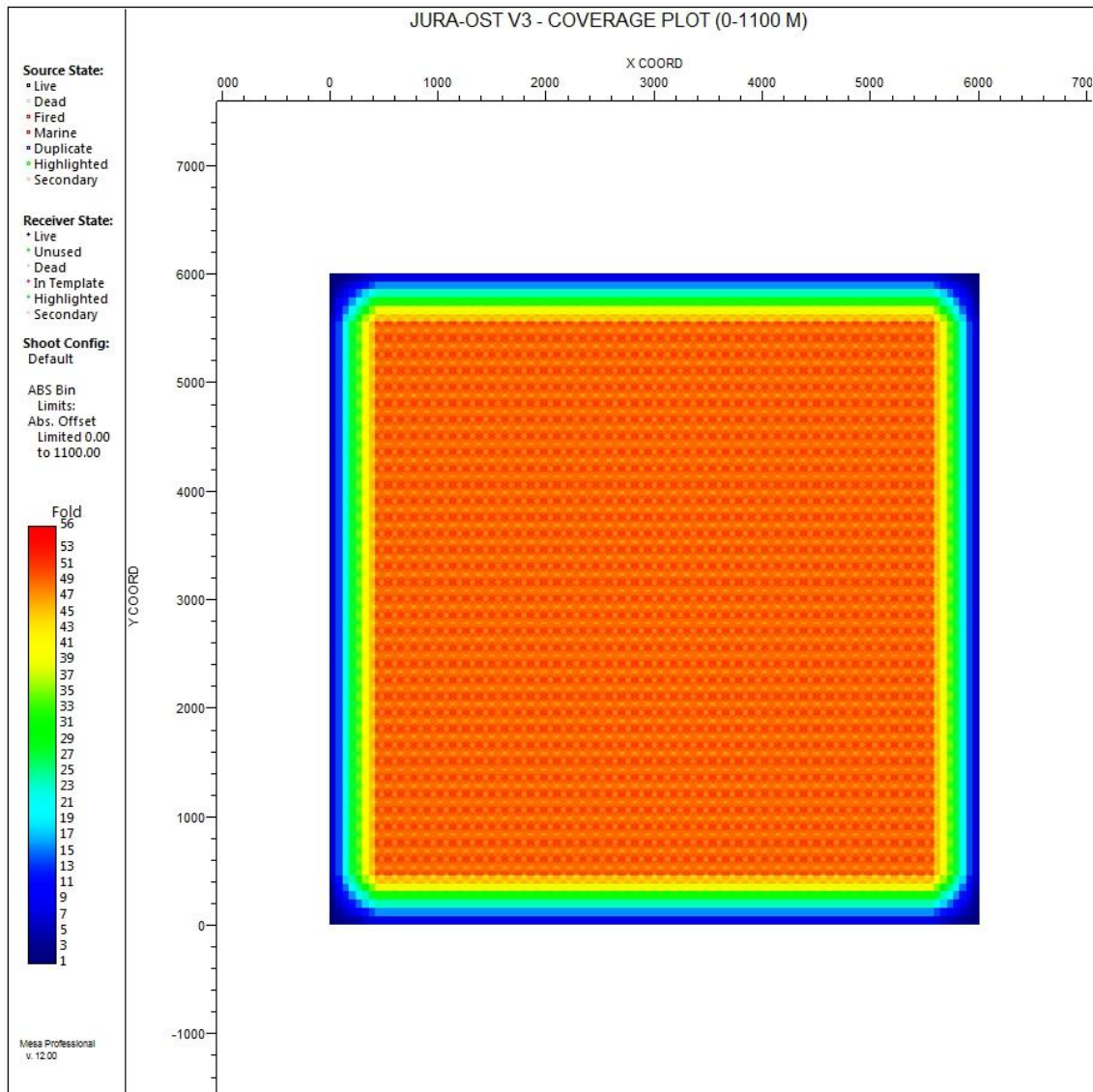
Variante V 3

Fig. 6: Offsetbereich 0 bis 500 m



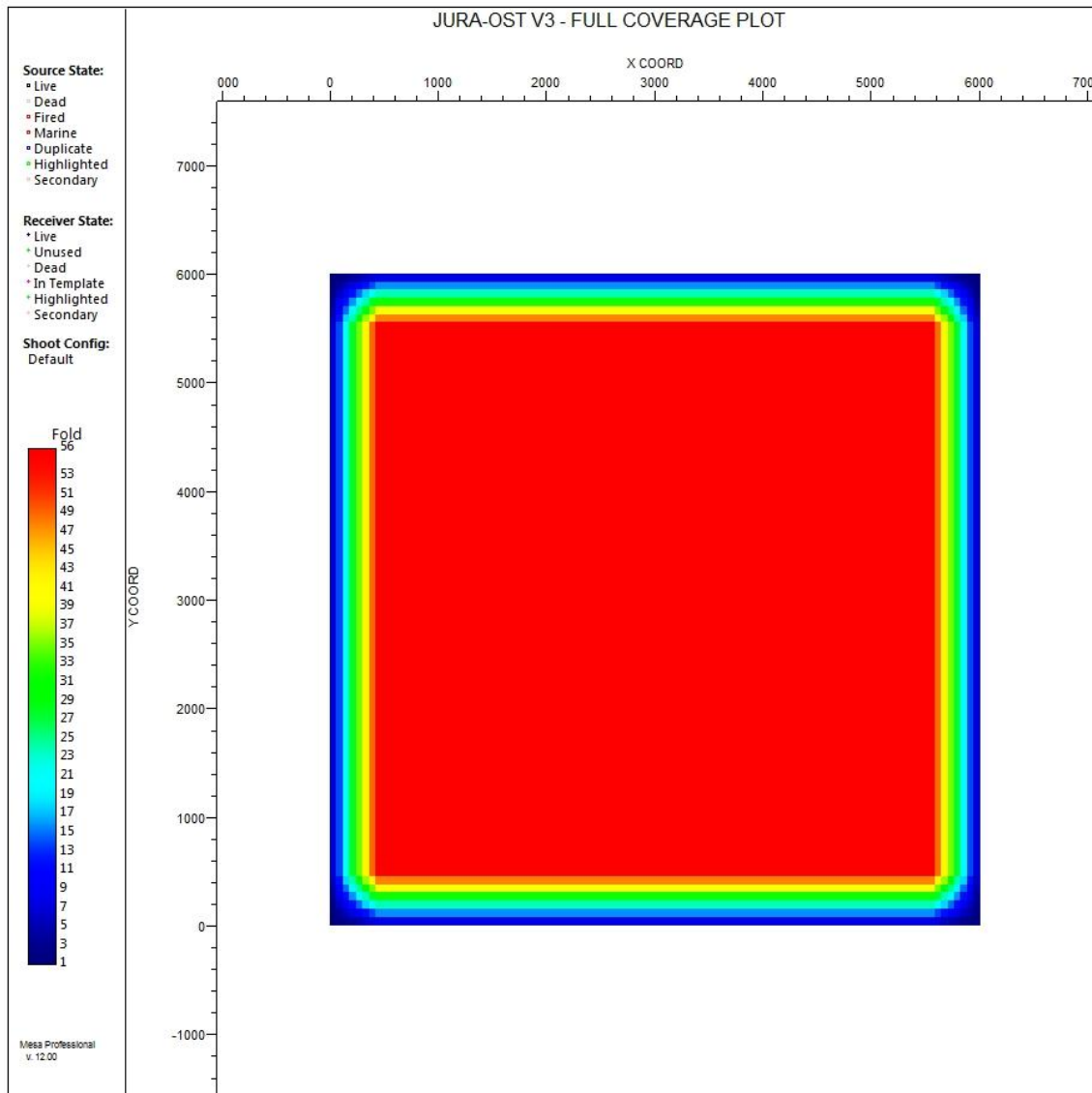
Variante V 3

Fig. 7: Offsetbereich 0 bis 700 m (Tiefe Opalinuston)



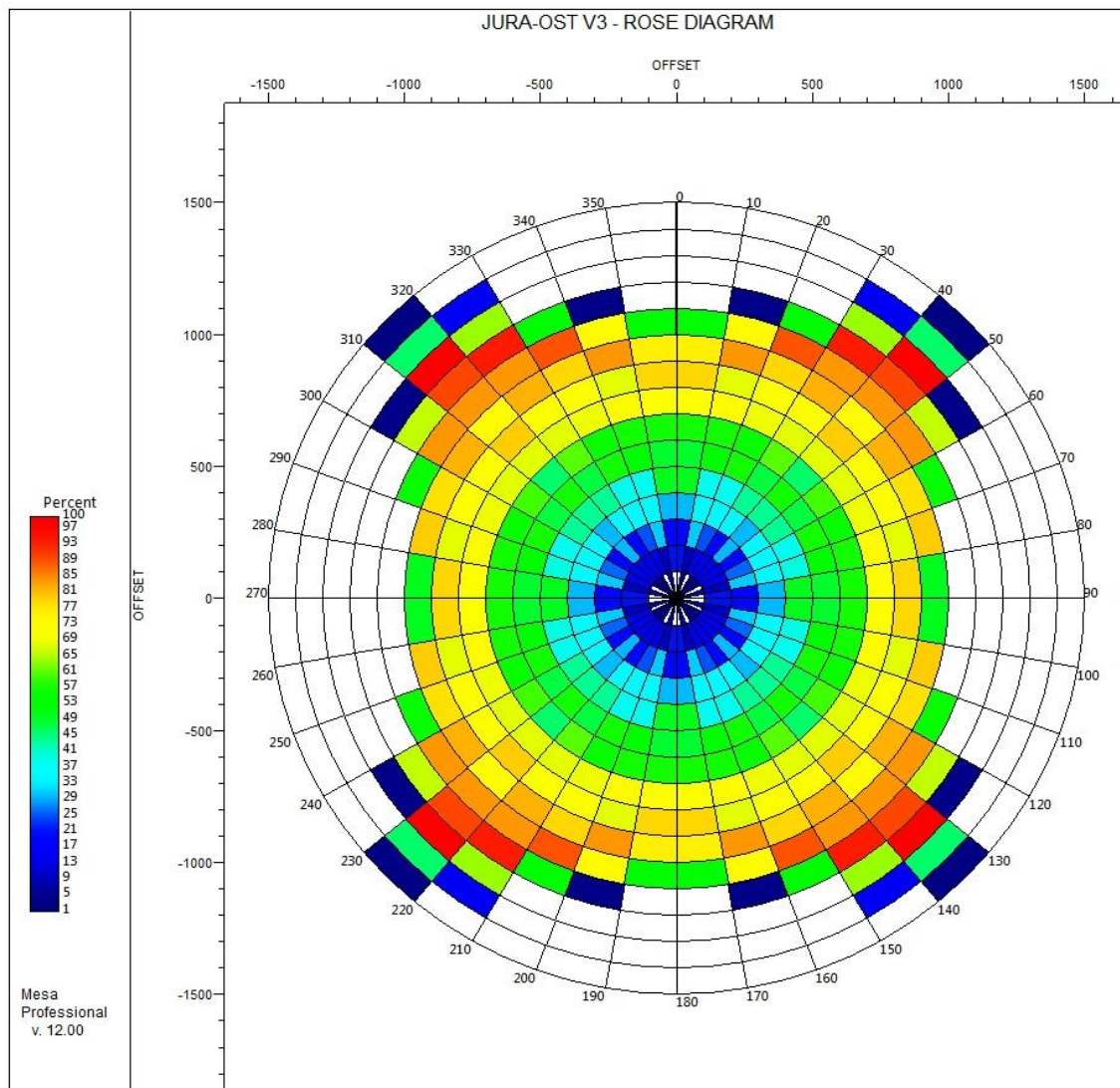
Variante V 3

Fig. 8: Offsetbereich 0 bis 1'100 m (Xmute bezogen)



Variante V 3

Fig. 9: Offsetbereich alle



Variante V 3

Fig. 10: "Rose"-Diagramm

### 4.3 Erdoberfläche-bezogene Messflächenbestimmung

#### Bestimmung der Zone einfach bis volle Überdeckung

Für eine voll überdeckte und voll migrierte Kernfläche sind an den Rändern folgende Aperturen hinzuzufügen:

- Zone einfach bis volle Überdeckung (Überdeckungsapertur)
- Grösse der Fresnel-Zone oder Migrationsapertur

Der Betrag für den Bereich von der einfachen bis zur vollen Überdeckung lässt sich anhand der Formeln bestimmen,

$$\Delta F_x = \frac{1}{2} \cdot (C_{3D}^x - 1) \cdot \Delta SL \quad \Delta F_y = \frac{1}{2} \cdot (C_{3D}^y - 1) \cdot \Delta EL.$$

Mit den Parameterwerten aus Tab. 6 resultieren für Variante V 3 die Werte:

$$\Delta F_x = \frac{1}{2} [(7 - 1) \cdot 150m] = 450m \quad \Delta F_y = \frac{1}{2} [(8 - 1) \cdot 120m] = 420m.$$

#### Ermittlung der Gesamtapertur

Die minimale Gesamtapertur entspricht dem Abstand von der einfachen bis zur vollen Überdeckung ("Fold Taper" in x oder y Richtung) plus der berechneten Fresnel-Zone. Die maximale Gesamtapertur der des Abstands von der einfachen bis zur vollen Überdeckung plus der berechneten Migrationsapertur bezogen auf den 30° Streuwinkel (siehe auch Punkt 3.6).

Für die Auswahl gilt die Beziehung

$$(A_F + \Delta F_{x,y}) < A_T^{x,y} \leq (A_M^{30^\circ} + \Delta F_{x,y})$$

mit  $A_T$  - totale Apertur. Damit ergeben sich die Werte:

$$(145m + 450m) < A_T^x \leq (404m + 450m) \quad (595m) < A_T^x \leq (854m)$$

$$(145m + 420m) < A_T^y \leq (404m + 420m) \quad (565m) < A_T^y \leq (824m)$$

Damit ergeben sich mit  $\Delta F_{x,y}^M$  als Mittelwert von x und y Werten z. B. folgende Möglichkeiten:

$$A_T^{100\%} = (A_M^{30^\circ} + \Delta F_{x,y}^M) \quad A_T^{100\%} = (404m + 435m) = 839m$$

$$A_T^{75\%} = \frac{3}{4} \cdot (A_M^{30^\circ} + \Delta F_{x,y}^M) \quad A_T^{75\%} = \frac{3}{4} \cdot (404m + 435m) \approx 629m$$

$$A_T^{50\%} = \frac{1}{2} \cdot (A_M^{30^\circ} + \Delta F_{x,y}^M) \quad A_T^{50\%} = \frac{1}{2} \cdot (404m + 435m) \approx 420m$$

Bei Anwendung des maximalen totalen Aperturbereiches erweitert sich die Messfläche gegenüber der Kernfläche erheblich, verbunden mit beträchtlichen Kostensteigerungen.

In der Praxis wird in der Regel ein Kompromiss derart eingegangen, dass man eine teilweise Überlappung des Migrationsapertur-Bereiches und des Bereiches von der einfachen bis zur vollen Überdeckung zulässt, um eine zu starke Kostensteigerung zu vermeiden.

Es wird daher vorgeschlagen einen Wert von etwa 75 % zu verwenden.

Damit dürften im Randbereich der Messfläche auftretende Störungen, verbunden mit der Erzeugung von diffraktierten Wellen, noch einigermaßen gut abzubilden sein.

Eine etwas grössere Überlappung könnte zwar in Erwägung gezogen werden, sollte aber bei steil einfallenden Störungen, die zusätzlich auch mit Auf- und Abschiebungen von Schichten verbunden sein können, vermieden werden, da sonst deren korrekte Abbildung in Gefahr gerät. Fig. 11 zeigt die schematisierte Messfläche, Fig.12 eine Grafik zur Messflächenoptimierung.

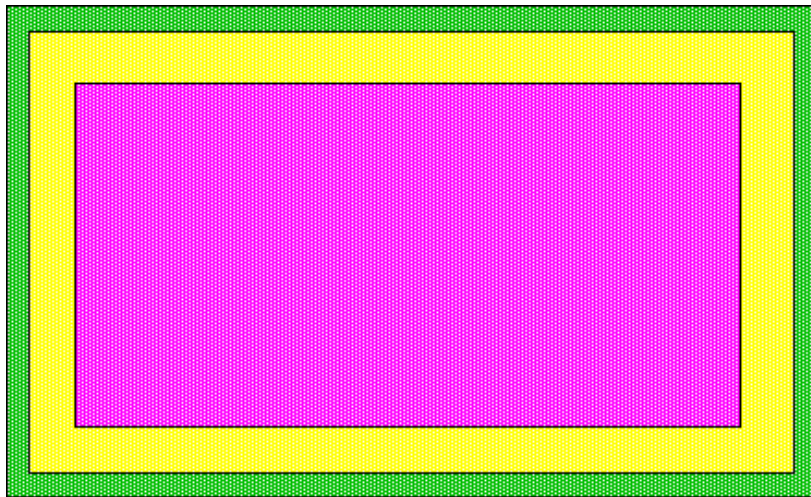


Fig. 11: Schema 3D-Messfläche

- Grün: Einfach bis partiell voll überdeckt
- Gelb: Teil bis voll migriert und partiell bis voll überdeckt
- Violett: Voll migriert und voll überdeckt



#### 4.4 Einfluss des Mute

Aus den Daten der 2D-Seismik von 2011/12 wurde der Mute nach dem Anbringen des Normal Move Out (NMO) bestimmt. Dabei wurde ein 35 % Stretch-Mute-Wert angewendet. Damit ergeben sich die nachfolgenden maximal nutzbaren Offsetwerte:

<b>Reflektortiefe</b>	700 m (entspricht als Faustwert dem maximalen Offset)
<b>Muting Grenze</b>	~1'100 m

Fig. 13 zeigt zwei Beispiele, roter Punkt - Opalinuston-Horizont.

Aus ökonomischer Sicht begrenzt man den maximalen Offsetwert in x-Richtung auf 85 % des auf den Mute bezogenen maximal nutzbaren Offsets.

In y-Richtung werden 85 % des maximalen Offsets in x-Richtung gewählt, also,

$$X_{\max} = 0,85 X_{\text{mute}}$$

$$Y_{\max} = 0,85 X_{\text{mute}}$$

Damit wird die Grösse der Messfläche reduziert und die im Bereich der Ecken des Rechtecks/Quadrates auftretenden langen Offsets, die grösser als die Mute bezogenen Werte (diagonale Richtung) und nicht nutzbar sind, bleiben relativ gering. Daraus resultiert eine kostenmässige Optimierung der Messfläche (siehe auch Fig. 12, unten).

Im vorliegenden Falle wurde allerdings  $X_{\max} = X_{\text{mute}}$  für die Basisblockbestimmung verwendet, um die Überdeckung nicht zu reduzieren, wobei der Wegfall von eventuell mehr seismischen Strahlenwegen mit langen Offsets grösser  $X_{\text{mute}}$  bei der Datenbearbeitung in Kauf genommen wird. Andererseits können die langen Offsets für ein korrektes Migrieren der mit Störungen im Zusammenhang stehenden langen Strahlenwege dennoch benötigt werden.

Für die Feldmessung könnte angestrebt werden, die gesamte Empfängerlinien Länge zu registrieren, womit für die Datenbearbeitung hinsichtlich der Verwendbarkeit der langen Offset-Werte keine Einschränkung besteht und alle Optionen offen sind. Inwieweit dies durchführbar ist, hängt von der vom Auftragnehmer zur Verfügung gestellten Menge des Feldmaterials und der Stabilität der Messauslage über längere Zeiträume ab.

Fig. 13 zeigt das Muting Beispiel an zwei analysierten Punkten, abgeleitet aus der 2D-Messung von 2011/12.

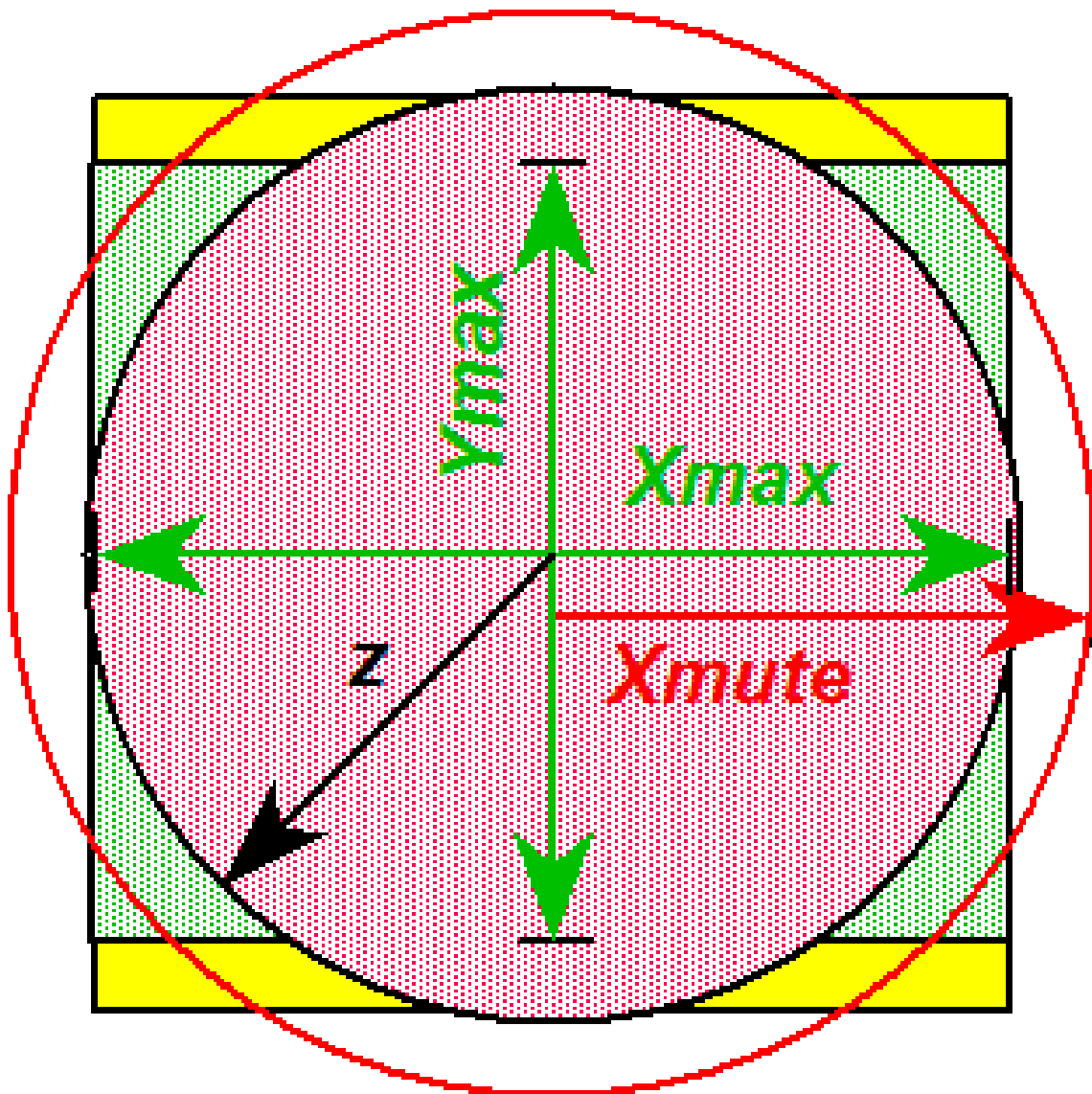


Fig. 12: Messflächenoptimierung

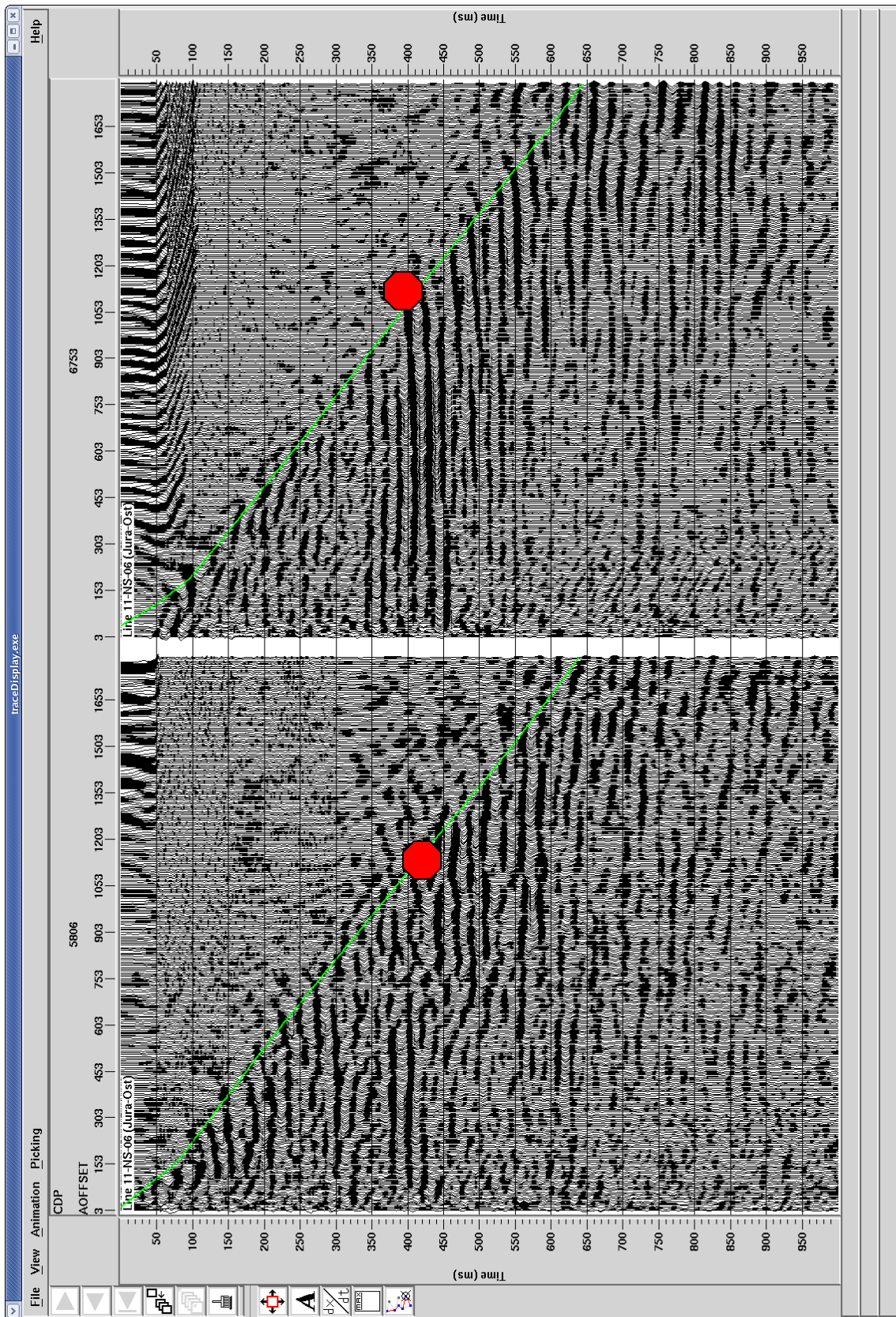


Fig. 13: Muting Beispiel - Opalinuston-Horizont



## 5 Betrachtungen zur Sender- und Empfängergeometrie

### 5.1 Sender- und Empfängerliniennetz

Das Messnetz sollte so angelegt werden, dass die Empfängerlinien den schmalen Bereich der Messfläche überqueren. Die Sendelinien verlaufen senkrecht dazu. Diese Wahl kann in Abhängigkeit vom benötigten Feldmaterialbedarf u. U. operationelle Vorteile haben, weil man damit möglicherweise in die Lage versetzt wird, die Empfängerlinien über die gesamte Länge aufbauen zu können. Der Auftragnehmer wird dies ins Kalkül ziehen, um Registrierzeit einzusparen. Eine spezielle Orientierung des Messnetzes ist bei einem für die 3D-Messung gewählten nahezu homogenen Messschema unerheblich. Eine noch vorläufige Version ist in Fig. 14 dargestellt.

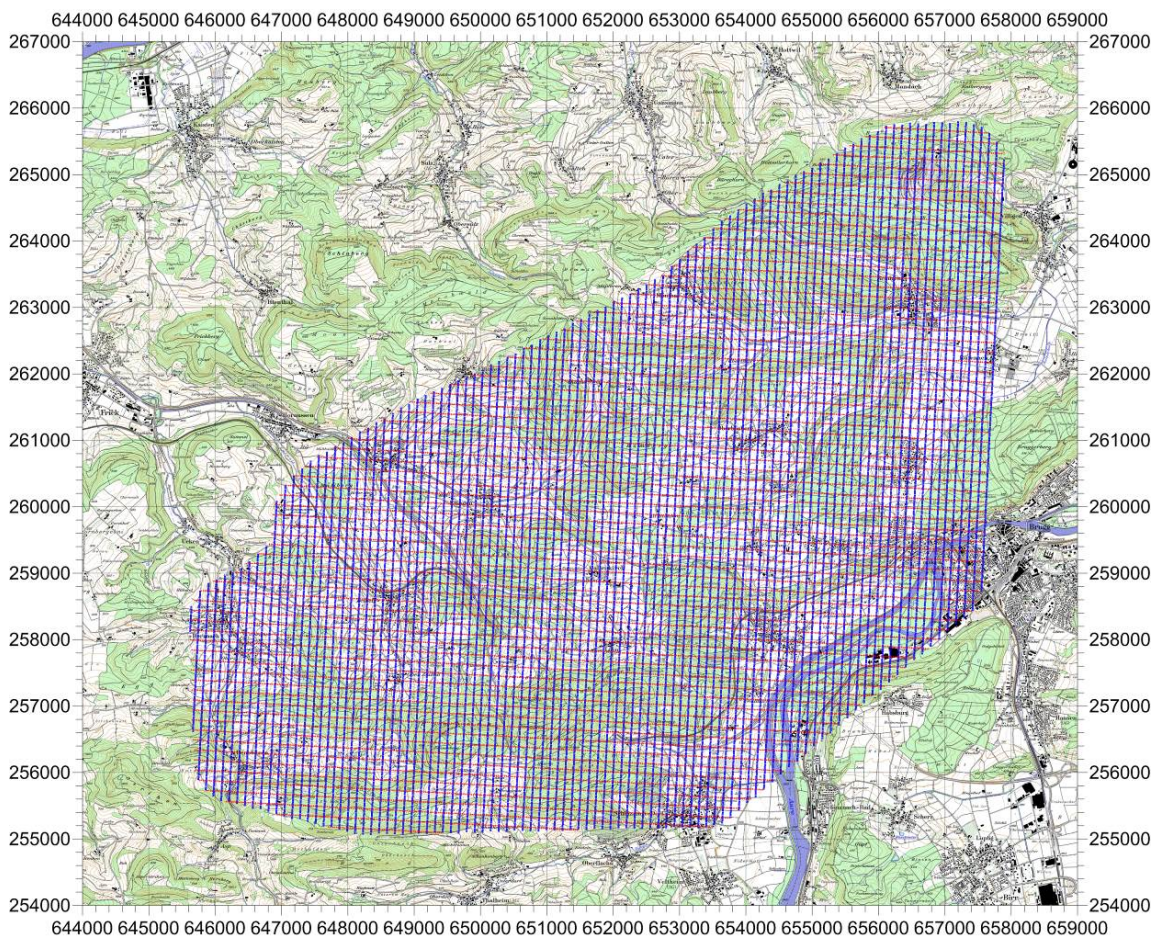


Fig. 14: Sende- und Empfängerliniennetz

## 5.2 Sender- und Empfängergruppierung

### Allgemeine Betrachtung

Die Sender- und Empfängergruppierung ist so anzulegen, dass möglichst keine Dämpfung der Nutzsignale bis zur maximal zu erwartenden Frequenz eintritt und energiestarke Oberflächenwellen bereits bei der Registrierung unterdrückt werden. Eine Abschätzung für geneigte Reflexionshorizonte kann anhand der Faustformel (Kreitz, E., 1981)

$$P_L \leq \frac{v_i}{2,2 \cdot f_{\max} \cdot \sin(\alpha + \beta)}, \quad \alpha = \arctan \frac{x_{\max}}{2 \cdot z}$$

mit  $\alpha$  als Reflexionswinkel und  $\beta$  als Schichtneigungswinkel getroffen werden. Für  $x_{\max}$  werden in diesem Falle  $x_{\text{mute}} = 1'100$  m gewählt. In Tab. 7 sind entsprechende Werte zusammengestellt.

Tab. 7: Sender- und Empfängergruppenlängen

$f_{\max}$ [ Hz ]	$V_i$ [ms <sup>-1</sup> ]		
	3'800	4'000	4'200
	$P_L$ [m]		
115	19	20	21
120	18	19	20
125	17	18	19

### Empfängergruppierung

Empfohlen werden kann, die Empfängergruppen auf den halben Empfangspunktabstand, also 15 m, äquidistant zu verteilen.

Dabei ist zu beachten, dass bei starken Geländeneigungen der Empfängergruppenabstand verkürzt werden muss, um Signalauslöschungen, bedingt durch den Zeitunterschied der an den Empfängern ankommenden Wellen, zu vermeiden. Gruppierung am Aufnahmepunkt ist die Alternative, über die im Feld zu entscheiden ist. Fig. 15 zeigt drei Varianten.

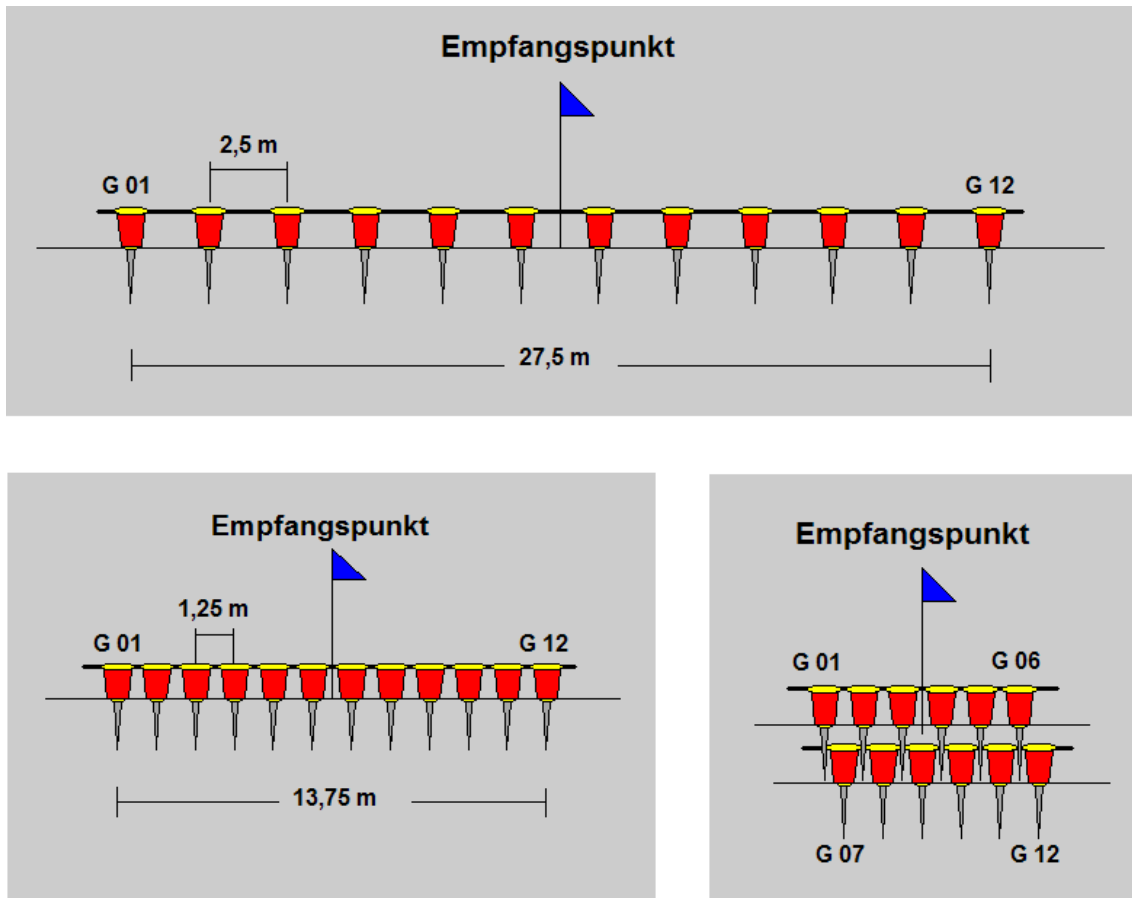


Fig. 15: Beispiel Empfängergruppierung

### Vibratorgruppierung

Aus den Testergebnissen der 2D-Messung 2011/12 ging hervor, dass mit

- zwei Vibratoren und ca. 40'000 lbs Peak Force
- zwei Sweeps pro Messpunkt
- 18 s Sweep Länge

genügend Energie zur Verfügung steht, um die zu erfassenden Reflektoren gut abzubilden. Zudem besteht die Möglichkeit, die anzuwendende Peak Force von 80 % hinsichtlich der auftretenden Distortion zu geringeren Werten hin variieren zu können.

Fig. 16 zeigt ein Beispiel für die 3D-Sende- und Empfängergruppierung. Der Plattenabstand hängt dabei vom Typ der verwendeten Vibratoren und speziell deren Länge ab. Im Beispiel ist ein einmaliges Vorfahren der Vibratoren angewendet worden. Damit erreicht man eine bessere Erfassung der Untergrundstruktur. Diese Version könnte angewendet werden, wenn man auf festem Untergrund (Strassen und befestigte Wege) vibriert. Auf weichem Boden ist es besser auf der gleichen Stelle zu vibrieren, um den Untergrund beim ersten Sweep zu verdichten.

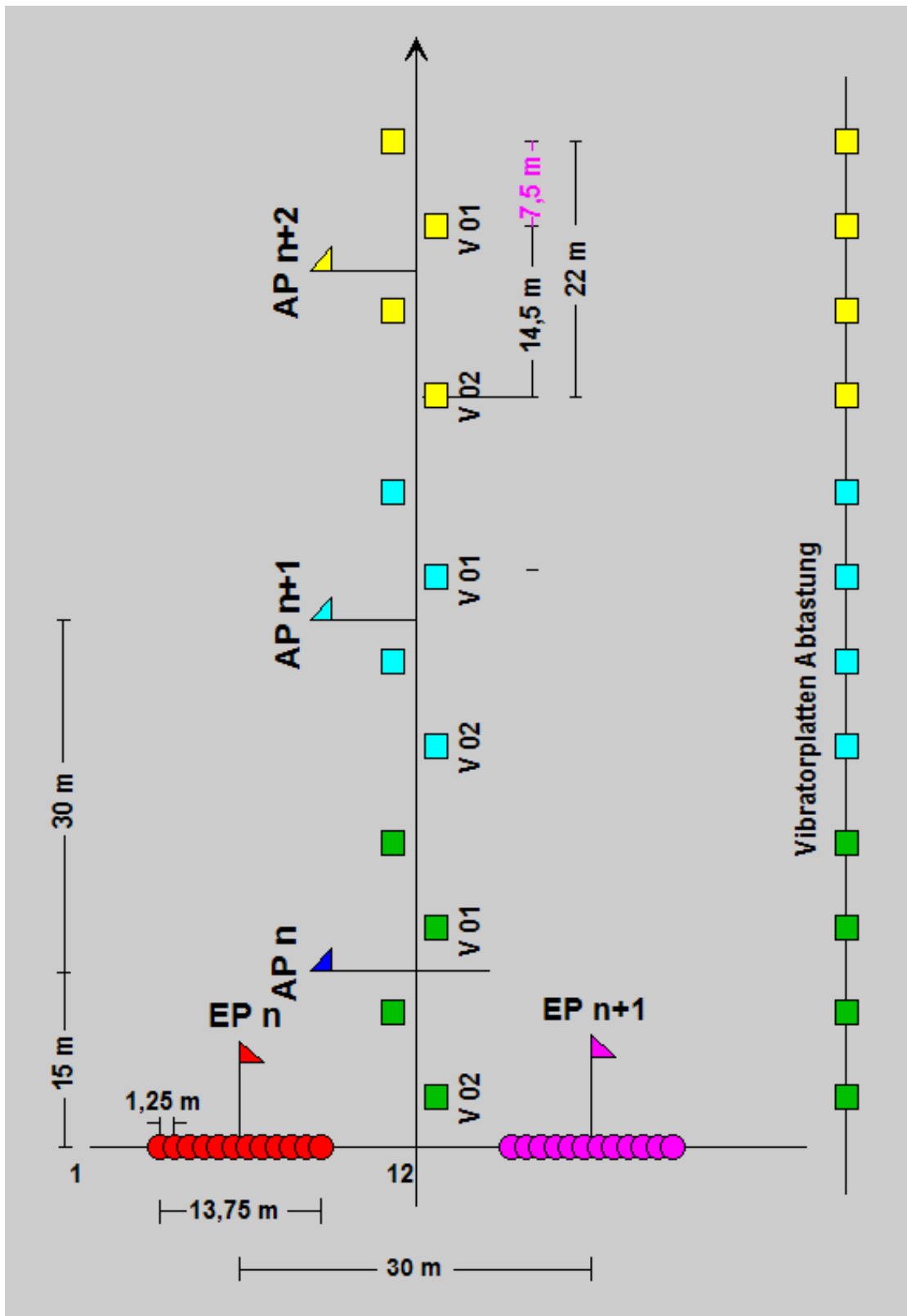


Fig. 16: Beispiel Sender- und Empfängergruppierung



## 6 Registrierlänge und Abtastrate

### Registrierlänge

Die erforderliche Registrierlänge der Felddaten, bezogen auf die Zieltiefe, kann anhand der Formel

$$t_R = \frac{2 \cdot z}{v_d \cdot \cos \alpha}, \quad \alpha = \arctan \frac{x_{\max}}{2 \cdot z}$$

abgeschätzt werden, wobei  $\alpha$  der Reflexionswinkel bezogen auf den maximalen Offsetwert  $x_{\max}$  und die Zieltiefe ist.

Berücksichtigt wird in diesem Falle  $z = 700 \text{ m}$  und  $x_{\max} = 1'100 \text{ m}$ , womit folgt

$$t_R = \frac{2 \cdot 1'100 \text{ m}}{3'600 \text{ m s}^{-1} \cdot 1} = 0,61 \text{ s}$$

Zusätzlich zu berücksichtigen sind allerdings:

- statische Verschiebungen
- Multiplen-Effekte
- instrumentell bedingte Effekte
- Diffraktionsäste
- Move-out-Einflüsse
- tiefere Reflexionen
- Störungsverfolgung nach grösseren Tiefen hin

### Abtastrate

Die Aliasing-freie obere Grenzfrequenz (Nyquist Frequenz) ergibt sich aus

$$f_N = \frac{1}{2 \cdot \Delta t}$$

Setzt man für die Abtastrate  $\Delta t$  2 ms an und fordert zur sicheren Darstellung aller Nutzfrequenzen anstelle von zwei (hier könnten im schlimmsten Falle zwei Nulldurchgänge einer Schwingung abgetastet werden) mindestens drei bis 4 Abtastwerte, resultiert daraus

$$f_N = \frac{1}{3 \dots 4 \cdot 2 \text{ ms}} = 125 \dots 167 \text{ Hz}$$

Bei zu erwartenden Frequenzen von 120 Hz sind 2 ms Abtastrate daher ausreichend, da Aliasing erst bei höheren Frequenzen eintritt.

**Empfehlung:** 2 s Registrierlänge und 2 ms Abtastrate können empfohlen werden.

## 7 Operationelle Gesichtspunkte

Das Messgebiet weist übersichtsmässig folgende Merkmale auf:

- Es existiert ein erheblicher Waldanteil (ca. 50 bis 60 %), wo z.T. mit grösseren Bohraktivitäten zu rechnen ist, da auch Steillagen vorhanden sind.
- Das Wegenetz ist relativ dichtmaschig (auch in den Waldgebieten). Zu prüfen ist, inwieweit es speziell für Vibratoren gut befahrbar ist. Eine Vorzugsrichtung ist allerdings nicht erkennbar, die eine Richtungsänderung des Messnetzes erfordern würde.
- Am Südwestrand ist die **Aare** mit einem Nebenarm zu überqueren. Hier kann es möglicherweise aufgrund von Genehmigungsproblemen zu grösseren Anregungspunktausfällen kommen. Einzuhaltende Sicherheitsabstände zu Dämmen und Deichen zu sind zu beachten. Oftmals sind die Uferzonen auch Naturschutzgebiete. Ein rechtzeitige und sorgfältige Prüfung ist sicher zu stellen. Zu klären ist auch, ob artesisch gespanntes Wasser auftritt.
- Ebenfalls am Südwestrand befindet sich die Stadt **Brugg** mit dichter Bebauung. Strassen und Industrieanlagen mit versiegelten Flächen. Hier ist ein erhöhter Rauschpegel zu erwarten. Es sollte geprüft werden ob Nachtarbeit möglich ist. Mit einer Vielzahl unterirdischer Leitungen und Einbauten ist zu rechnen.
- Einige kleinere Ortschaften, verbunden mit Lärmbelastigungen durch die Vibratoren, sind ebenfalls zu durchqueren.
- Auf unbefestigten Waldwegen und bei der Überquerung landwirtschaftlicher Flächen mit den Vibratoren/Bohrgeräten sind bei schlechtem Wetter grössere Flurschäden zu erwarten.

Vibrationsseismik wird generell bevorzugt, jedoch ist mit einem Sprengseismikanteil, vor allem in den Waldgebieten, zu rechnen, um Überdeckungslücken zu vermeiden. Hierfür kann erst eine detaillierte Felderkundung Auskunft geben.

Den avisierten Auftragnehmern ist eine Geländeerkundung vor Abgabe eines Angebotes dringend zu empfehlen, um die Situation im Detail zu klären. Darauf sollte in der Ausschreibung gezielt hingewiesen werden.

Speziell müssen das Wegenetz, die Kupierung des Geländes in Verbindung mit Hangneigungen und Forstgebiete in Bezug auf die Befahrbarkeit mit Vibratoren und Bohrgeräten und die jahreszeitlich bedingten Besonderheiten erkundet werden.

Auch die Erfassung von Bienenstöcken ist in Abhängigkeit vom Zeitbereich der Messungen wegen einzuhaltender Sicherheitsabstände wichtig.

Die Ermittlung aller Brunnen und Quelfassungen, verbunden mit deren Leitungssystemen ist ebenso zu beachten. Dies betrifft insbesondere die sprengseismischen Messpunkte, da hier die einzuhaltenden Sicherheitsabstände kleiner sind.

Die Felderkundung wird zudem Aufschluss über den Sprengseismikaufwand geben. Es wird mit etwa 10 % gerechnet. Die Kosten pro Sprengpunkt liegen erheblich höher als jene für Vibrationspunkte.

Zwei Vibratoren plus 1 Vibrator Reserve mit ca. 40'000 lbs Spitzenkraft werden Aufgrund der Tiefe des Zielhorizontes und die teilweise komplizierten oberflächengeologischen Verhältnisse für die Energieerzeugung empfohlen. Möglicherweise ist der Einsatz von zwei Vibratorgruppen

sinnvoll, um Umfährungszeiten zu sparen und damit die Tagesproduktion zu erhöhen. Dies hat der zu wählende Auftragnehmer zu entscheiden.

Von den in Frage kommenden Auftragnehmern sollte ein detailliertes Bohrkonzept, verbunden mit der Durchführung eines Bohrtests vor Beginn der Messung, im Rahmen der Ausschreibung abverlangt werden. Dies soll dazu dienen, den Bohrgerätepark bezgl. der schwierigen Bohrbedingungen optimal abzustimmen, mit dem Schwerpunkt, auch möglichst 3 x 3 m tiefe Gruppenbohrungen realisieren zu können.

Aus der Erfahrung der 2D-Messung 2011/12 werden 2 Sweeps bei 18s Sweeplänge als ausreichend angesehen, um die Aufgabenstellung optimal zu lösen. Kann aus operationellen Gründen nur ein Vibrator eingesetzt werden sollten vier Sweeps pro Position angewendet werden. Inwieweit bei "Low Force" Operation sicherheitshalber 3 Sweeps pro Position gewählt werden sollte, ist noch zu diskutieren.

Pro Empfängerstation können für den Energieempfang

- eine Kette a 12 Geofone
- ein Drei Komponenten DSU Beschleunigungsempfänger
- FDUs oder Unites

in Frage kommen. Dies kann man in der Ausschreibung mit Optionen regeln.

Zu bemerken ist, dass die Auftragnehmer alle operationellen Gesichtspunkte im Angebot nach ihren Vorstellungen wahrnehmen werden. Im Bietergespräch kann dies dann hinterfragt werden, wenn Unklarheiten bestehen sollten.

Falls zwei oder vier 3D-Messflächen vorgesehen werden ist eine Kopplung aller sinnvoll, um Mobilisations- und Demobilisationskosten zu sparen. Zudem könnte dies für den Auftragnehmer von entscheidender Bedeutung sein DSU Beschleunigungsempfänger bzw. "Unites" in ausreichender Zahl anzuschaffen, da ein Anmieten sehr teuer ist. Damit scheint ein solches Angebot gegenüber Geofonketten von vorn herein aussichtslos zu sein.

Inwieweit man die gesamte Geofonlinienlänge auf einmal präparieren kann, hängt davon ab, wie viel Feldmaterial vom Auftragnehmer zur Verfügung gestellt wird.

Der hohe Materialaufwand im Feld kann allerdings die Stabilität der Messauslage und damit den Produktionsfortschritt gefährden, was vom Auftragnehmer abzuschätzen ist.

Als Vorgabe für die maximal zulässigen lateralen Verschiebungen der Energieanregungspunkte wird je ein halber Abstand zur Energieanregungslinie nach beiden Seiten vorgeschlagen ( $\pm 60$  m). Sind grössere Abstände erforderlich, ist dies mit dem Feldsupervisor vorher abzusprechen und über die Überdeckungskontrolle zu prüfen.

## 8 Zusammenfassung

Auf der Grundlage der aus den 2D-seismischen Messungen 2011/12 abgeleiteten Parameter wurden im Rahmen der Studie gemäss Auftrag Messschemata (Basisblöcke) für die 3D-Messung ermittelt, die speziell auf den Zielhorizont Opalinuston optimiert wurden.

Als geeignetste Messkonfiguration für das Gebiet Jura Ost ergibt sich folgende Geometrie:

Sendelinienabständen:	150m
Sendepunktabstand:	30m
Empfängerlinienabständen:	120m
Empfangspunktabstand:	30m
Bingrösse	15x15m
nominelle Überdeckung	56

Das Überdeckungs- und Offsetverhalten dieser Messgeometrie wurde ausführlich für verschiedene Tiefenlagen analysiert.

Betrachtungen zur Gruppierung von Vibratoren, Empfängern, Registrierlänge, Abtastrate und zu operationellen Gesichtspunkte wurden diskutiert und entsprechende Empfehlungen zur Wahl der Parameter ausgesprochen.



## 9 Literaturverzeichnis

- Cordsen, A., Galbreith, M. & Peirce, J., (2000): Planning Land Seismic 3-D Surveys, Geophysical Developments Series No. 9, SEG
- Kreitz, E. (1981): Grundformeln für seismische Feldarbeiten, Prakla-Seismos GmbH
- Krey, Th.C. (1987): Attenuation of random noise by 2D and 3D CDP stacking and Kirchhoff migration, Geophys. Prosp. 35, p. 135 - 147
- Madritsch, H., Meier, B., Kuhn, P., Roth, P., Zingg, O., Heuberger, S., Naef, H. & Birkhäuser, P. (2013): Regionale struktureologische Zeitinterpretation der Nagra 2D-Seimik 2011/12. Nagra Arbeitsbericht. NAB 13-010.
- Vermeer, G.J.O. (1999a): Factors affecting spatial resolution: Geophysics 64, p. 942 - 953
- Vermeer, G.J.O. (1997): Factors affecting spatial resolution: 67<sup>th</sup> Ann. Internnat. Meeting, SEG, expanded abstracts