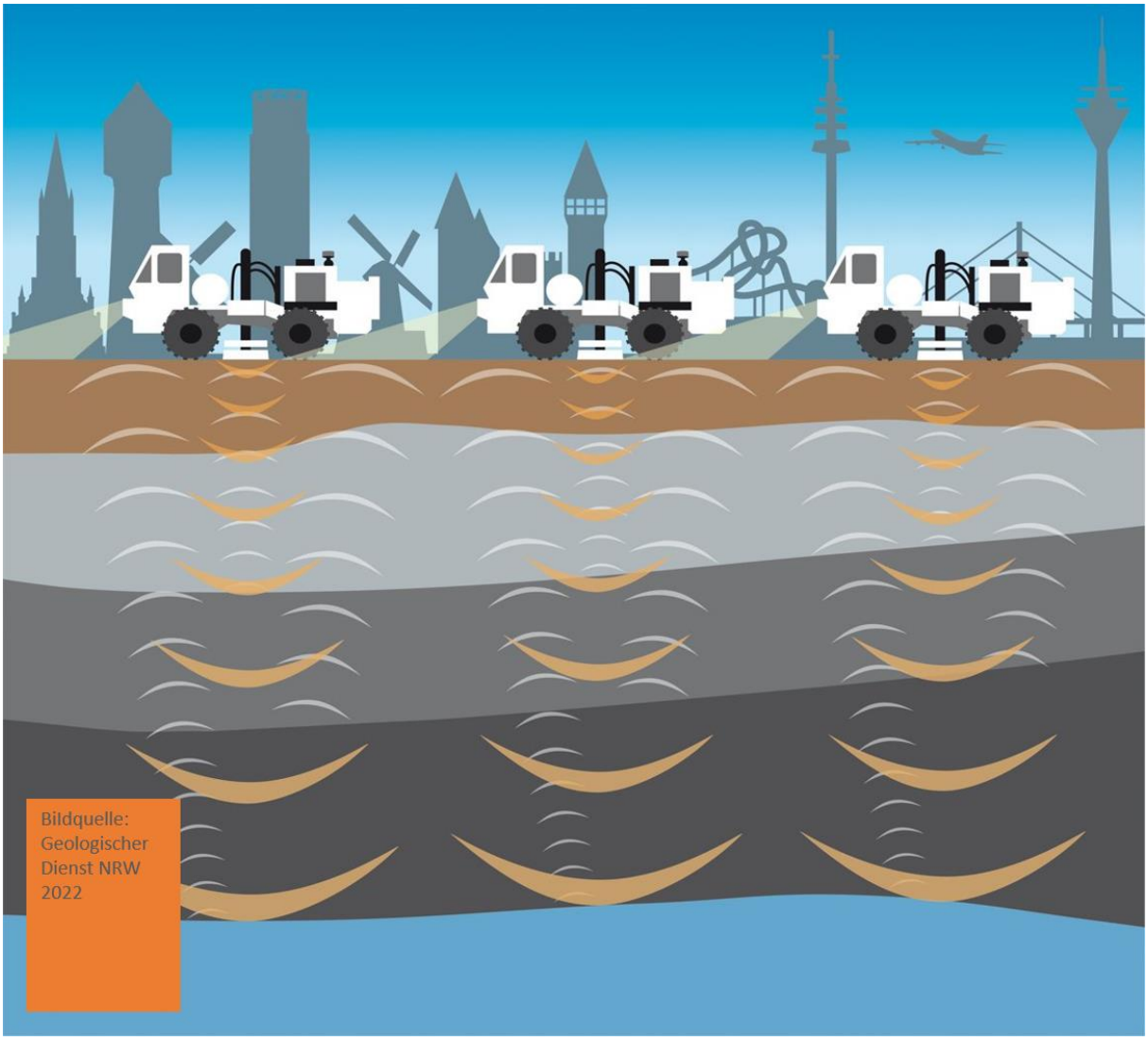
Bundesverband Geothermie

3D-Seismik bei Geothermieprojekten

Infohefte Heft C: Messequipment



0 Inhaltsverzeichnis

0 Inhaltsverzeichnis 2
1 Seismische Quellen (Vibroseismik) 3
1.1 Vibratoren 3
1.1.1 Vibratoren von GEOSVIP 3
1.1.2 Vibratoren von Sercel 9
1.1.3 Vibratoren von ION (I/O) 11
1.1.4 Vibratoren von IVI 13
1.2 Vibratorsteuerungen 13
2 Seismische Empfänger 16
2.1 Geophone 16
2.2 Geophongruppen (Geophone-Strings) 18
2.3 Seismik Empfänger für 3D 19
2.3.1 ARAM 20
2.3.2 ION 20
2.3.3 Sercel 21
2.4 Seismik-Empfänger für 2D 23
2.4.1 DMT 23
2.4.2 GEOMETRICS 24
2.4.3 Seismic Source Co 26
2.4.4 Seistronix 27
3 Literaturverzeichnis 29
4 Glossar 30
5 Abbildungsverzeichnis 31
6 Tabellenverzeichnis 32

1 Seismische Quellen (Vibroseismik)

Im Laufe der von uns durchgeführten Recherche zeigte sich schnell, dass nur wenige Anbieter für seismische Akquisitionssysteme, die für die geothermische Exploration in Frage kommen, existieren. Allerdings ist dieses Angebot ständigen Neuerungen und Entwicklungen unterworfen.

1.1 Vibratoren

Vibratoren, die für die seismische geothermische Exploration verwendet werden können, werden derzeit hauptsächlich von drei Herstellern angeboten: der Firma GEOSVIP aus Russland, der Firma Sercel aus Frankreich und der Firma ION (früher I/O) aus den USA.

Im Folgenden werden die Vibratoren nach Herstellern geordnet mit ihren technischen Spezifikationen aufgelistet.

1.1.1 Vibratoren von GEOSVIP

SV-14/150 Seismic Vibrator

Abbildung 1: Vibrator SV-14/150 (GEOSVIP).

Tabelle 1: Technische Daten des Vibrators SV-14/150 (GEOSVIP) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Truck, 6 x 6
Max. Kraft, kN	140.1 kN (30920 lbf)
Kolbenfläche	67,7 cm^2
Maximale Auslenkung	80 mm
Gewicht Bodenplatte	1165 Kg
Größe Bodenplatte	1790x979x124 mm
Fläche Bodenplatte	1,6 m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	16330 kg

SV-27/150K Seismic Vibrator

Abbildung 2: Vibrator SV-27/150K (GEOSVIP).

Tabelle 2: Technische Daten des Vibrators SV-27/150K (GEOSVIP) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Truck, 8 x 8
Max. Kraft, kN	266,8 kN (50070 lbf)
Kolbenfläche	129 cm^2
Maximale Auslenkung	76 mm
Gewicht Bodenplatte	2134 kg
Größe Bodenplatte	2240x1110x156 mm
Fläche Bodenplatte	2,3m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	25000 kg

SV-27/150-362 Seismic Vibrator

Abbildung 3: Vibrator SV-27/150-362 (GEOSVIP).

Tabelle 3: Technische Daten des Vibrators SV-27/150-362 (GEOSVIP) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Crab-Steering Buggy, 4 x 4
Max. Kraft, kN	300,6 kN (66380 lbf)
Kolbenfläche	145,3 cm^2
Maximale Auslenkung	76 mm
Gewicht Bodenplatte	2257 kg
Größe Bodenplatte	2295x1169x180 mm
Fläche Bodenplatte	2,68m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	31000 kg

SV-27/150BKG Buggy-Mounted Seismic Vibrator

Abbildung 4: Vibrator SV-27/150BKG (GEOSVIP).

Tabelle 4: Technische Daten des Vibrators SV-27/150BKG (GEOSVIP) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Articulated Buggy, 8 x 8
Max. Kraft, kN	300,6 kN (66380 lbf)
Kolbenfläche	145,3 cm^2
Maximale Auslenkung	76 mm
Gewicht Bodenplatte	1744 kg
Größe Bodenplatte	2283x1110x156 mm
Fläche Bodenplatte	2,5m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	28000 kg

SV-20/150MTK Seismic Vibrator

Abbildung 5: Vibrator SV-20/150MTK (GEOSVIP)

Tabelle 5: Technische Daten des Vibrators SV-27/150BKG (GEOSVIP) im Überblick.

Fahrgestell/ Typ	Truck, 6x6
Max. Kraft, kN	201,7 kN (44525 lbf)
Kolbenfläche	97,5 cm^2
Maximale Auslenkung	70 mm
Gewicht Bodenplatte	1690 kg
Größe Bodenplatte	2028x976x124 mm
Fläche Bodenplatte	1,97 m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	21300 kg

1.1.2 Vibratoren von Sercel

Nomad 65/65T

Abbildung 6: Vibratoren Nomad 65 (links) und Nomad 65 T für aride Gebiete (rechts) (Sercel).

Tabelle 6: Technische Daten der Vibratoren SV-Nomad 65/65T (Sercel) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Nomad 65 4 x 4	Nomad 65T 4 x 4
Max. Kraft, kN	276 kN (62000 lbf)	276 kN (62000 lbf)
Kolbenfläche	133,4 cm^2	133,4 cm^2
Maximale Auslenkung	76,2 mm	76,2 mm
Gewicht Bodenplatte	1560 kg	1560 kg
Größe Bodenplatte	1230x2130 mm	1230x2130 mm
Fläche Bodenplatte	2,62 m^2	2,62 m^2
Vibratorsteuerung	Sercel VE 432	Sercel VE 432
Gesamtgewicht	28571 kg	41500 kg

Nomad 90/90T

Abbildung 7: Vibratoren Nomad 90 (links) und Nomad 90T für aride Gebiete (rechts) (Sercel)

Tabelle 7: Technische Daten der Vibratoren SV-Nomad 90/90T (Sercel) im Überblick

Fahrgestell/ Typ	Nomad 90 4 x 4	Nomad 90T 4 x 4
Max. Kraft, kN	400,3 kN (89995 lbf)	400,3 kN (89995 lbf)
Kolbenfläche	157 cm^2	157 cm^2
Maximale Auslenkung	10,16 mm	10,16 mm
Gewicht Bodenplatte	2300 kg	2300 kg
Größe Bodenplatte	2000x1430 mm	2000x1430 mm
Fläche Bodenplatte	2,86 m^2	2,86 m^2
Vibratorsteuerung	Sercel VE 432	Sercel VE 432
Gesamtgewicht	38500 kg	44200 kg

1.1.3 Vibratoren von ION (I/O)

AHV-IV

Abbildung 8: Vibrator AHV-IV (ION

Tabelle 8: Technische Daten des Vibrators AHV-IV von ION im Überblick.

Fahrgestell/ Typ	Buggy, 4x4
Max. Kraft, kN	275 kN (61800 lbf)
Kolbenfläche	132,9 cm^2
Maximale Auslenkung	98,3 mm
Gewicht Bodenplatte	3683 kg
Größe Bodenplatte	
Fläche Bodenplatte	2,5 m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	25968 kg – 29937 kg

X-Vib

Abbildung 9: Vibrator X-Vib (ION

Die technischen Spezifikationen des X-Vib gleichen in großen Teilen denen des AHV-IV bis auf den Raupenantrieb.

Tabelle 9: Technische Daten des Vibrators X-Vib von ION im Überblick.

Fahrgestell/ Typ	Buggy, 4x4
Max. Kraft, kN	275 kN (61800 lbf)
Kolbenfläche	132,9 cm^2
Maximale Auslenkung	98,3 mm
Gewicht Bodenplatte	3683 kg
Größe Bodenplatte	
Fläche Bodenplatte	2,5 m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro
Gesamtgewicht	3956 kg

1.1.4 Vibratoren von IVI

HEMI 50

Abbildung 10: Vibrator HEMI 50 (IVI)

Tabelle 10: Technische Daten des Vibrators HEMI 50 von IVI im Überblick.

Fahrgestell/ Typ	Truck, 4x4 oder 6x6
Max. Kraft, kN	223,1 kN (50160 lbf)
Kolbenfläche	107,9 cm^2
Maximale Auslenkung	76,2 mm
Gewicht Bodenplatte	2640 kg
Größe Bodenplatte	
Fläche Bodenplatte	2,73 m^2
Vibratorsteuerung	Pelton Advanced III / Vib Pro ?
Gesamtgewicht	25593 kg

1.2 Vibratorsteuerungen

Momentan dominieren die Vibratorsteuerungssysteme von Pelton (jetzt ION) (Advanced III/Vib Pro) und Sercel (VE-432) den Markt. Fast alle Vibratoren greifen auf diese Steuerungseinheiten zurück.

Pelton Vib Pro

Abbildung 11: Vibratorsteuerung Vib Pro der Firma Pelton (Quelle: ION).

Tabelle 11: Wichtigste technische Daten der Pelton Vib Pro Vibratorsteuerung im Überblick.

Frequenzbereich	1 Hz – 500 Hz
Maximale Vibratoranzahl	31
Genauigkeit der Uhr	1 ppm
Genauigkeit T_0	+/- 20 µs

Sercel VE-432

Abbildung 12: Vibratorsteuerung VE-432 von Sercel.(Quelle: Sercel)

Tabelle 12: Wichtigste technische Daten der Sercel VE-432 Vibratorsteuerung im Überblick.

Frequenzbereich	1 Hz – 250 Hz in 1 Hz Schritten
Maximale Vibratoranzahl	28
Genauigkeit der Uhr	1 ppm
Genauigkeit T_0	+/- 50 µs

2 Seismische Empfänger

Unter Empfänger verstehen wir hier die gesamte Ausrüstung auf der Empfängerseite, also

- Geophone
- Geophongruppen
- Empfängerelektronik
- Verkabelung

2.1 Geophone

Die durch die seismische Quelle erzeugten Bodenbewegungen werden mit kleinen Seismometern, den sogenannten Geophonen über einen möglichst großen Frequenzbereich (von einigen Hz bis zu 100 Hz, gemessen. Bei Geophonen kann man zwischen passiven analogen Geräten und modernen digitalen Beschleunigungssensoren unterscheiden.

Analoge passive Geophone bestehen im Wesentlichen aus einer Spule und einem Permanentmagneten.

Abbildung 13 zeigt eine schematische Darstellung eines Geophons. Ein zylindrischer Permanentmagnet, in den eine kreisförmige Nut gefräst wurde. Diese Nut trennt den zentralen Südpol vom ringförmigen Nordpol des Permanentmagneten. Eine Spule aus feinem Draht ist an leichten Blattfedern so aufgehängt, dass sie zentriert in der Nut schwingen kann.

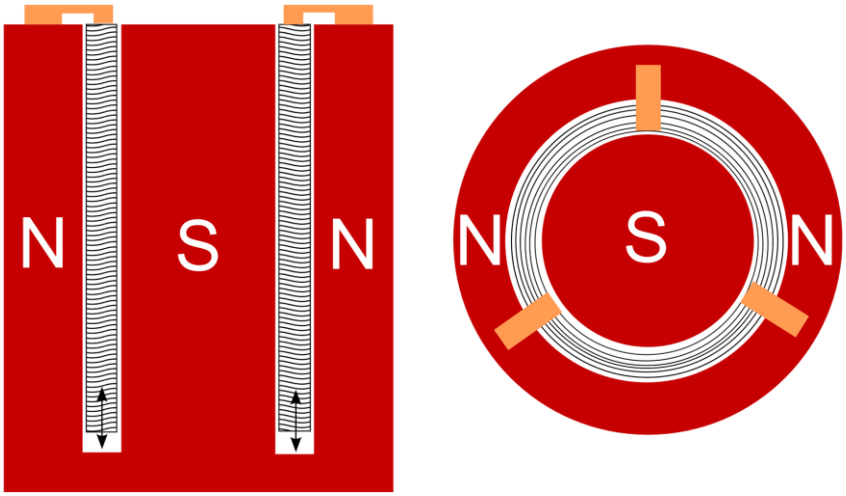


Abbildung 13: schematische Darstellung eines analogen TauchspulenGeophons. Links im Schnitt, rechts in der Aufsicht

Wenn sich der Boden unter Einwirkung einer elastischen Welle vertikal bewegt, bewegt sich der Magnet mit, während die Spule aufgrund ihrer Trägheit in ihrer Lage bleibt. Durch die Relativbewegung zwischen der Spule und dem magnetischen Feld des Magneten wird in der Spule eine Spannung induziert.

Diese Spannung ist proportional zur Stärke des Feldes des Permanentmagneten, der Induktivität der Spule und der Relativgeschwindigkeit zwischen Spule und Magnet. Da die Spule auch nach Abklingen der Bodenbewegung weiterschwingen würde, muss im Geophon für eine Dämpfung gesorgt werden. Die Spule und die Blattfedern bilden ein oszillierendes System mit einer Eigenschwingung von 4 - 15 Hz. Ein solches Geophon wird in der Reflexionsseismik eingesetzt. Geräte mit einer Eigenfrequenz von 1 - 10 Hz. in der Refraktionsseismik.

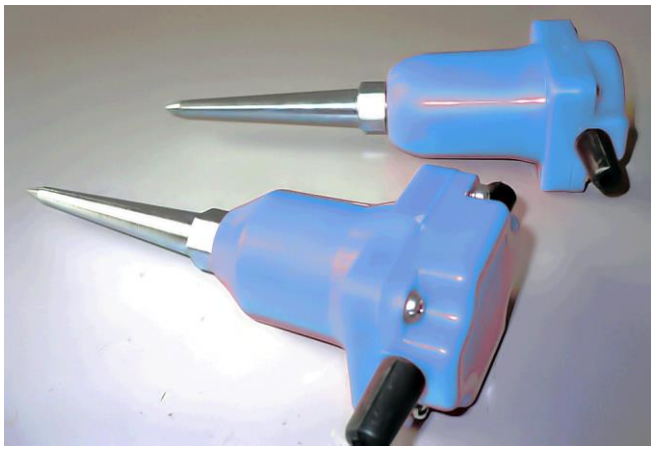


Abbildung 14: Geophone im stoßfesten Kunststoffgehäuse

Für die effektive Durchführung seismischer Messkampagnen wird eine große Anzahl von Geophonen benötigt, die im Feld ständig versetzt und transportiert werden. Entsprechend rau ist der Umgang mit diesen Geräten, die gern mittels eines beherzten Fußtritts in den Boden gerammt werden. Die Geophone sind daher stoßfest ausgeführt und in Kunststoffgehäusen spritzwassergeschützt verkapselt, wie in Abbildung 14 dargestellt.

Moderne digitale Beschleunigungssensoren bestehen aus einem oder mehr MEMS (micro-electro-mechanical systems). Abbildung 15 zeigt das Gehäuse und das Innenleben eines 3 Komponenten Beschleunigungssensors der Firma ION. Der Vorteil solcher 3-Komponenten- Sensoren ist, dass Scherwellen-Daten aufgezeichnet werden können. Zu erwähnen ist, dass ebenso analoge 3-Komponenten-Geophone am Markt erhältlich sind. MEMS-Sensoren zeichnen sich durch einen extrem weiten Frequenzbereich von 0 Hz bis 800-100 Hz aus. Sie sind ebenso empfindlich wie Geophone, sind temperaturstabil und benötigen keine externe Digitalisiereinheit.

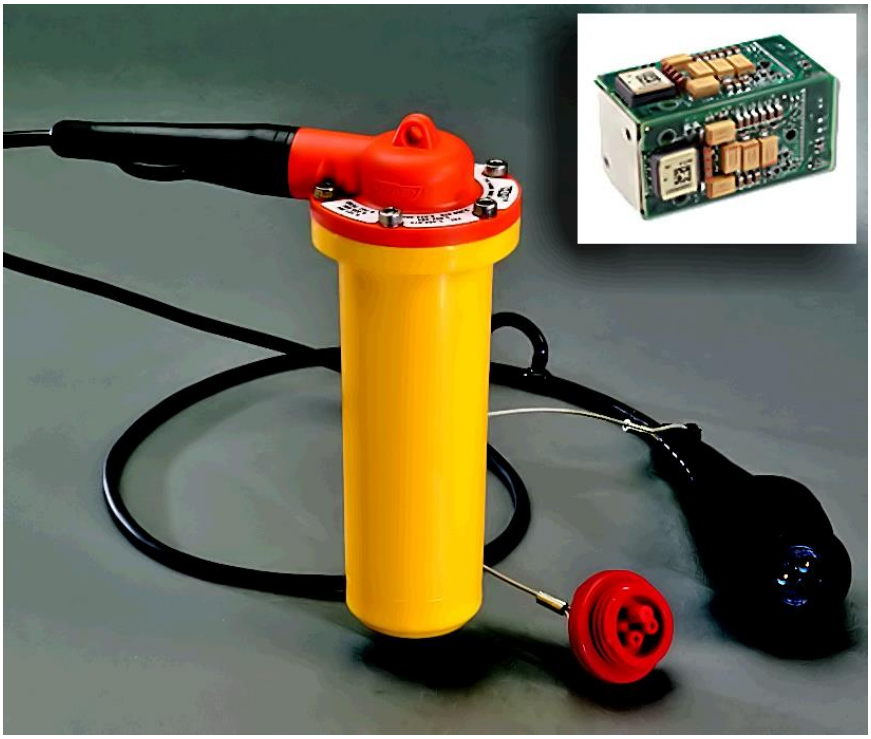


Abbildung 15: Gehäuse und das Innenleben eines 3 Komponenten-Beschleunigungssensors

2.2 Geophongruppen (Geophone-Strings)

In der Regel werden bei der Registrierung seismischer Signale keine EinzelGeophone sondern mehrere in Reihe oder parallel geschaltete Geophongruppen (Geophone-Strings) verwendet. Geophongruppen (Abbildung 16) sind weniger von zufälligen Ankopplungsbedingungen im Gelände abhängig. Die Geophone einer Gruppe sind so geschaltet, dass sie sich gegenseitig dämpfen. Dagegen können MEMS-Sensoren nicht gebündelt werden. Hier muss eine entsprechende Bündelung während des Processings erfolgen.

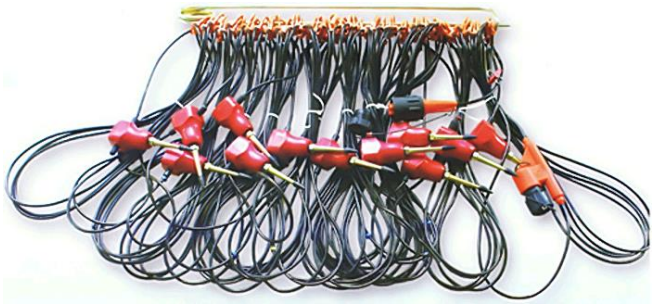


Abbildung 16: Geophongruppe

Rauschen, das zum Beispiel durch Wind oder Niederschläge hervorgerufen wird, kann durch Geophongruppen gedämpft werden. Werden Geophone in sogenannten Patterns (Figuren) aufgebaut, wirken sie als Wellenlängen-Filter und dämpfen Störsignale, deren Wellenlänge in der Größenordnung dieser Patterns liegt. Die gilt zum Beispiel für eine durch Verkehr oder Maschinen verursachte Bodenunruhe oder auch für Störsignale, die von der seismischen Quelle ausgehen.

Der wichtigste technische Parameter von Geophonen ist deren Eigenfrequenz. Die Eigenfrequenz gibt an, bis zu welcher tiefsten Frequenz das Geophon eingesetzt werden kann. Die Wahl der Eigenfrequenz bietet die Möglichkeit tieffrequente Störsignale bereits schon mithilfe des Geophons zu dämpfen. Eine Möglichkeit, von der allerdings angesichts der hohen Dynamik moderner seismischer Apparaturen praktisch kein Gebrauch mehr gemacht wird.

2.3 Seismik Empfänger für 3D

Bei 3D-seismischen Erkundungen zur Exploration von geothermischen Lagerstätten werden ähnliche Rahmenbedingungen wie bei der Kohlenwasserstoffexploration vorgefunden. Aus diesem Grund wird auf dieselben drei Standard-Apparaturen der drei Hersteller ARAM, ION und Sercel zurückgegriffen, die den Markt dominieren. Es sind die einzigen Systeme, die sich nach Kanalzahl fast beliebig aufstocken lassen.

2.3.1 ARAM

ARIES RAM

Abbildung 17: RAM Apparatur von ARAM (Quelle: ARAM

Bei dem RAM (Remote Acquisition System) System der Firma ARAM handelt es sich um 24 Bit (23 Bit + Sign) Empfängerapparatur (Abbildung 17) mit 4,6 oder 8 Kanälen (Anzahl programmierbar) pro Einheit. Zusätzlich werden noch LTU (Line Tap Unit).

2.3.2 ION

Aktuell bietet die Firma ION drei Systeme an: das kabelgebundene Scorpion-System, das kabellose FireFly-System und das RSR/VRSR (Remote Seismic Recorder/VectorSeis Remote Seismic Recorder) System. Alle Systeme arbeiten sowohl mit analogen Geophonen, als auch mit VectorSeis digitalen 3-D Beschleunigungssensoren. Für geothermische Explorationen eignen sich vor allem das Scorpion-System und sein kabelloses Äquivalent, das FireFly System.

Abbildung 18: AU Empfänger (unten links) mit BBU und XLU (oben links). Rechts oben ist die Empfängereinheit AU2 dargestellt) (Quelle: ION).

Das Scorpion-System kann entweder auf analoge 24 Bit (23 Bit + Sign) Empfängerapparaturen, AU oder AU2 (Abbildung 18), mit maximal 3 Kanälen (Anzahl programmierbar) pro Einheit zugreifen, oder digitale Empfängerapparaturen (D-Units) mit maximal 3 Kanälen (a 3 Komponenten) für Vector-Seis Beschleunigungssensoren) ansteuern. Zusätzlich werden noch Crossline Units (XLU) und Battery Booster Units (BBU) benötigt.

Abbildung 19: VectorSeis digitaler 3D-Beschleunigungssensor (links) und FireFly Station mit Antenne (rechts) (Quelle: ION).

2.3.3 Sercel

Sercel bietet aktuell zwei kabelgebundene Systeme (408 UL und 428 XL) die auch teilweise kabellos betrieben werden können und ein kabelloses System (Unite) an.

Das neuere 428 XL-System kann im Gegensatz zum älteren 408 UL-System (Abbildung 20) auch mit digitalen Beschleunigungssensoren DSU3-428 bestückt werden. Um die Systeme kabellos betreiben zu können, werden Wireless Line Repeater Units (LRU) benötigt. Zusätzlich werden auch drahtlos kommunizierende LAUR-428 Empfängerstationen mit bis zu 30 Kanälen angeboten.

Abbildung 20: Empfänger des 408 UL-Systems (links) und des 428 XL–Systems (rechts). (Quelle: Sercel)

Das kabellose Unite-System besteht aus Empfängern (Units) mit maximal 4 analogen Kanälen pro Empfängerbox (Abbildung 21). Die Empfängerboxen kommunizieren drahtlos mit sogenannten Cell Acess Nodes (CAN) die wiederum drahtlos mit der zentralen Steuerungseinheit verbunden sind.

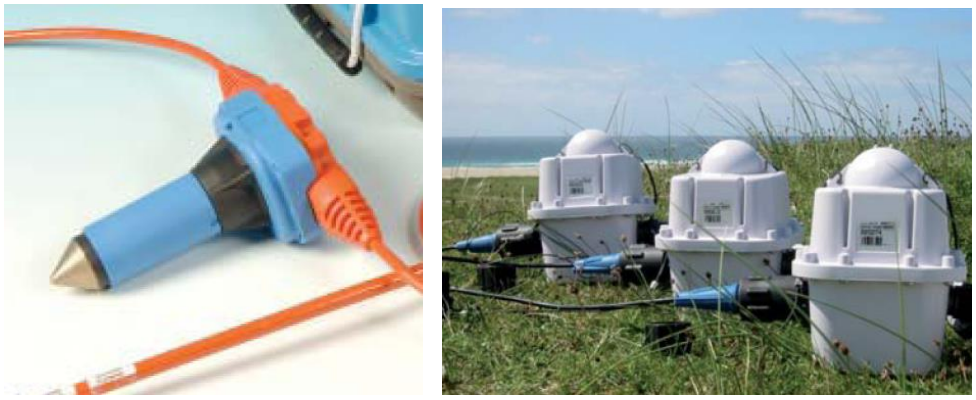


Abbildung 21: Digitaler Beschleunigungssensor DSU3-428 (links) und drahtlose Unite Empfänger (rechts) (Quelle: Sercel)

2.4 Seismik-Empfänger für 2D

Die folgenden Apparaturen sind eher für kleine 3D Surveys geeignet und werden deswegen hauptsächlich für 2D-seimische Messkampagnen eingesetzt. Zum einen ist bei diesen Systemen die maximale Anzahl der Kanäle oft beschränkt, zum anderen ist die Kommunikationsgeschwindigkeit zwischen Empfängern und der zentralen Steuerungseinheit bei großer Kanalzahl, vor allem bei Ethernet-basierten Netzwerken, oft langsam.

2.4.1 DMT

Die Firma DMT bietet mit der SUMMIT II PLUS (Abbildung 22) ein System von 24-Bit-Empfängern mit 2 Kanälen pro Empfänger an. Die Kommunikation der Empfänger erfolgt kabelgebunden mit der zentralen Steuerungseinheit (PC). Zusätzlich werden bei größeren Auslagen Repeaterboxen benötigt.

Abbildung 22: SUMMIT II Plus Empfänger der Firma DMT (Quelle: DMT)

2.4.2 GEOMETRICS

Geode

Das Geode System (Abbildung 23) der Firma GEOMETRICS besteht aus 24-Bit Einzelempfängern mit bis zu 24 Kanälen. Die einzelnen Geoden können kabelgebunden zu einem Netzwerk von Empfängern ausgebaut werden, sodass größere Auslagen möglich werden.

Abbildung 23: Geode Empfänger der Firma GEOMETRICS (Quelle: GEOMETRICS).

Geode DZ

Das Geode DZ System beinhaltet 24-Bit-Empfänger (Abbildung 24) mit bis zu 8 Kanälen (Anzahl mittels Software konfigurierbar), die kabelgebunden, über ein Ethernet-Netzwerk mit dem Zentralrechner kommunizieren. Zusätzlich werden bei größeren Auslagen mit mehreren Lines noch Line Tap Units (LTU) benötigt. Die maximale Linienanzahl wird vom Hersteller mit 16 angegeben, wobei pro Linie maximal 480 Kanäle angeschlossen werden können.

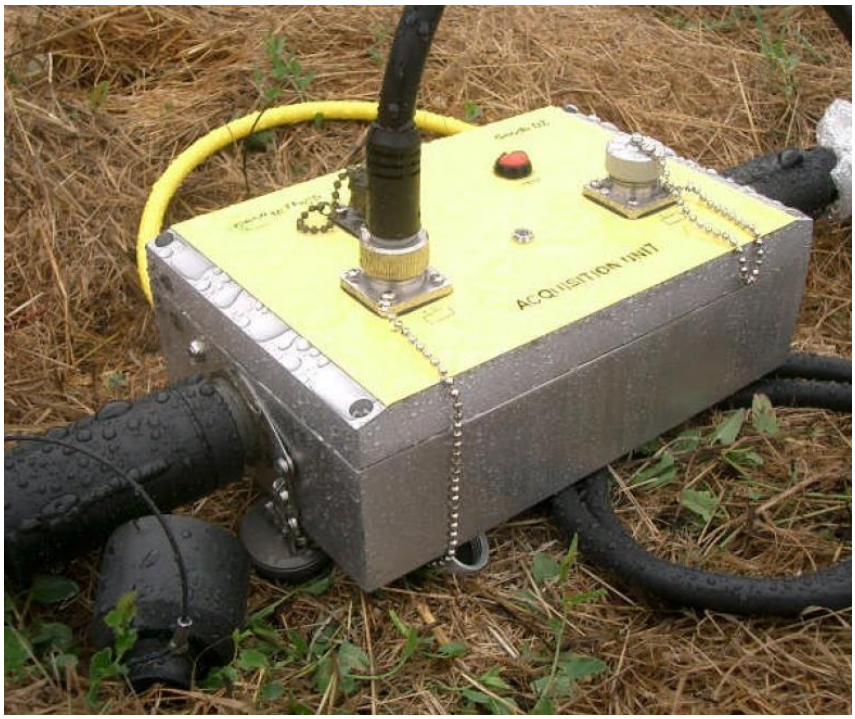


Abbildung 24: Geode DZ Empfänger der Firma GEOMETRICS (Quelle: GEOMETRICS).

2.4.3 Seismic Source Co

DAQ Link II

Seismic Source bietet mit dem DAQ Link II System 24-Bit-Empfänger (Abbildung 25) an, mit 6 bis 24 Kanälen, an die kabelgebunden über ein Ethernet-Netzwerk mit dem Zentralrechner kommunizieren.

Abbildung 25: DAQ Link II Empfänger der Firma Seismic Source Co (Quelle: Seismic Source Co).

2.4.4 Seistronix

RAS-24

Das RAS-24-System (Abbildung 26) der Firma Seistronics besteht aus 24-Bit Einzelempfängern mit 12 bis zu 24 Kanälen. Die einzelnen Empfänger können kabelgebunden zu einem Netzwerk von Empfängern mit maximal 240 Kanälen ausgebaut werden.

Abbildung 26: RAS-24 Empfänger der Firma Seistronix (Quelle: Seistronix).

Das RAS-24 System wird auch von der schwedischen Firma ABEM als ABEM – Apparatur vertrieben. Der Unterschied zum Seistronix-Gerät besteht in der ABEM-typischen, orangen Gehäusefarbe.

EX-6 Explorer

Das EX-6 Explorer System der Firma Seistronix beinhaltet 24-Bit-Empfänger (Abbildung 27), mit 6 Kanälen, die kabelgebunden mit dem Zentralrechner kommunizieren. Zusätzlich werden bei größeren Auslagen mit mehreren Lines noch Line Tap Units (LTU) und außerdem Repeater Units benötigt. Die maximale Kanalzahl auf einer Linie wird mit 600 angegeben. Die maximale Linienanzahl beträgt laut Hersteller 64, wobei maximal 2400 Kanäle angeschlossen werden können.

Abbildung 27: EX-6 Empfänger der Firma Seistronix (Quelle: Seistronix).

3 Literaturverzeichnis

Siehe Heft X

4 Glossar

Siehe Heft Y

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vibrator SV-14/150 (GEOSVIP). 3
Abbildung 2: Vibrator SV-27/150K (GEOSVIP). 5
Abbildung 3: Vibrator SV-27/150-362 (GEOSVIP). 6
Abbildung 4: Vibrator SV-27/150BKG (GEOSVIP). 7
Abbildung 5: Vibrator SV-20/150MTK (GEOSVIP) 8
Abbildung 6: Vibratoren Nomad 65 (links) und Nomad 65 T für aride Gebiete (rechts) (Sercel). 9
Abbildung 7: Vibratoren Nomad 90 (links) und Nomad 90T für aride Gebiete (rechts) (Sercel) 10
Abbildung 8: Vibrator AHV-IV (ION 11
Abbildung 9: Vibrator X-Vib (ION 12
Abbildung 10: Vibrator HEMI 50 (IVI) 13
Abbildung 11: Vibratorsteuerung Vib Pro der Firma Pelton (Quelle: ION). 14
Abbildung 12: Vibratorsteuerung VE-432 von Sercel.(Quelle: Sercel) 15
Abbildung 13: schematische Darstellung eines analogen TauchspulenGeophons. Links im Schnitt, rechts in der Aufsicht 16
Abbildung 14: Geophone im stoßfesten Kunststoffgehäuse 17
Abbildung 15: Gehäuse und das Innenleben eines 3 Komponenten-Beschleunigungssensors.. 18
Abbildung 16: Geophongruppe 18
Abbildung 17: RAM Apparatur von ARAM (Quelle: ARAM 20
Abbildung 18: AU Empfänger (unten links) mit BBU und XLU (oben links). Rechts oben ist die Empfängereinheit AU2 dargestellt) (Quelle: ION). 21
Abbildung 19: VectorSeis digitaler 3D-Beschleunigungssensor (links) und FireFly Station mit Antenne (rechts) (Quelle: ION). 21
Abbildung 20: Empfänger des 408 UL-Systems (links) und des 428 XL–Systems (rechts). (Quelle: Sercel) 22
Abbildung 21: Digitaler Beschleunigungssensor DSU3-428 (links) und drahtlose Unite Empfänger (rechts) (Quelle: Sercel) 22
Abbildung 22: SUMMIT II Plus Empfänger der Firma DMT (Quelle: DMT) 23
Abbildung 23: Geode Empfänger der Firma GEOMETRICS (Quelle: GEOMETRICS). 24
Abbildung 24: Geode DZ Empfänger der Firma GEOMETRICS (Quelle: GEOMETRICS). 25
Abbildung 25: DAQ Link II Empfänger der Firma Seismic Source Co (Quelle: Seismic Source Co).26
Abbildung 26: RAS-24 Empfänger der Firma Seistronix (Quelle: Seistronix). 27
Abbildung 27: EX-6 Empfänger der Firma Seistronix (Quelle: Seistronix). 28

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten des Vibrators SV-14/150 (GEOSVIP) im Überblick 4
Tabelle 2: Technische Daten des Vibrators SV-27/150K (GEOSVIP) im Überblick 5
Tabelle 3: Technische Daten des Vibrators SV-27/150-362 (GEOSVIP) im Überblick 6
Tabelle 4: Technische Daten des Vibrators SV-27/150BKG (GEOSVIP) im Überblick..... 7
Tabelle 5: Technische Daten des Vibrators SV-27/150BKG (GEOSVIP) im Überblick..... 8
Tabelle 6: Technische Daten der Vibratoren SV-Nomad 65/65T (Sercel) im Überblick..... 9
Tabelle 7: Technische Daten der Vibratoren SV-Nomad 90/90T (Sercel) im Überblick..... 10
Tabelle 8: Technische Daten des Vibrators AHV-IV von ION im Überblick. 11
Tabelle 9: Technische Daten des Vibrators X-Vib von ION im Überblick. 12
Tabelle 10: Technische Daten des Vibrators HEMI 50 von IVI im Überblick. 13
Tabelle 11: Wichtigste technische Daten der Pelton Vib Pro Vibratorsteuerung im Überblick.. 14
Tabelle 12: Wichtigste technische Daten der Sercel VE-432 Vibratorsteuerung im Überblick. . 15