

Verbesserte Luftpulser-Arrays

PRAKLA-SEISMOS Report 2 / 75

Hohe Energieabstrahlung ist immer noch eine der wichtigsten Forderungen für eine Energiequelle in der Seeseismik. Außerdem sind ein gut gesteuerter Frequenzinhalt und absolute Reproduzierbarkeit der Signalform Voraussetzungen für ein modernes Processing der Meßdaten.

Luftpulser-Arrays haben in vieler Hinsicht günstige Eigenschaften. Sie erzeugen starke und gut definierte Druckimpulse bei schneller Schußfolge. Die an Bord gespeicherte Energieform ist lediglich komprimierte Luft, die heutzutage kaum ein Sicherheitsrisiko für die Besatzung bedeutet.

Bei den Kontraktoren gibt es jedoch beträchtliche Unterschiede in der Nutzbarmachung dieser Energiequelle. Der seismische Wirkungsgrad ist einer der Parameter, welcher in bar-Meter pro Liter komprimierter Luft, die pro Schuß abgegeben wird, angegeben werden kann. Werte von 0.75 bis 1 bar-Meter pro Liter werden als gut betrachtet. Werte bis zu 1.5 bar-Meter pro Liter können theoretisch erreicht werden. Diese Druckwerte werden in einer Entfernung gemessen, die groß ist, wenn man sie mit den Dimensionen der Luftpulser-Arrays vergleicht. In der Praxis genügt eine Entfernung von etwa 100 Metern. Die Zunahme des Druckes im Wasser, ΔP , die von der Energiequelle verursacht ist, kann nach der Bernouill'schen Gleichung für den hydraulischen Fluß im Fernfeld berechnet werden:

$$\Delta P = \frac{1}{r} \cdot \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{d^2V}{dt^2} \quad (1)$$

- ρ = Dichte des umgebenden Wassers
- V = Volumen der in einem Luftpulser komprimierten Luft – als kugelförmig angenommen
- r = Abstand vom Luftpulser

Das Produkt aus dem Druckimpuls ΔP und der Entfernung r kann für eine bestimmte Energiequelle als konstant angenommen werden.

Bubble-Signalformen

Die Signalformen der einzelnen Luftpulser sind nicht frei von Sekundäreffekten, die auf die Wechselwirkung zwischen dem freigesetzten Luftvolumen und der Wassermasse über dem getauchten Luftpulser zurückzuführen sind. Die Oszillation der freigesetzten Luft verursacht Bubble-Impulse, deren Frequenz, außer von anderen Parametern, von dem Kammervolumen des Luftpulsers abhängt.

Die Periode der Bubble-Impulse ist :

$$T_B = \frac{(P_c \cdot V_c)^{1/2}}{54 \cdot P_0^{3/4}} \quad (2)$$

Die in der Gleichung (2) vorkommenden Größen haben folgende Bedeutung: P_c = Kammerdruck in bar, V_c Kammervolumen in Litern, P_0 = hydrostatischer Druck in bar.

Figur 1 zeigt Signalformen von Luftpulsern, die ein Volumen von 0.16 bis 2.5 Litern haben.

Eine wohlbekannte Technik der Bubble-Unterdrückung ist die Addition der Signalformen von Luftpulsern, die verschiedene Bubble-Perioden haben. Die oberste Signalform in der Figur 1 ist, aus technischen Gründen in reduziertem Maßstab, das Ergebnis der Addition aller Signalformen, die darunter gezeigt sind.

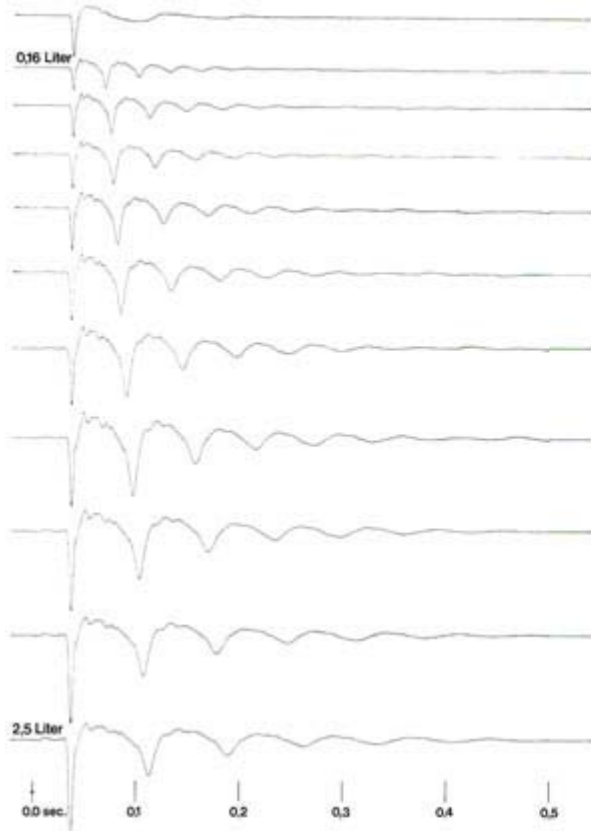


Fig. 1 Signalformen von Luftpulsern verschiedener Volumina
Signatures of airguns with different volumes

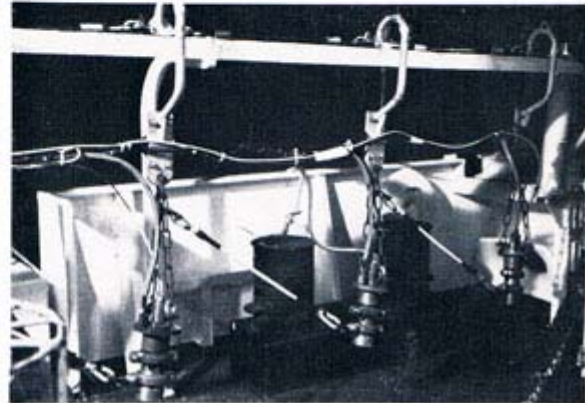
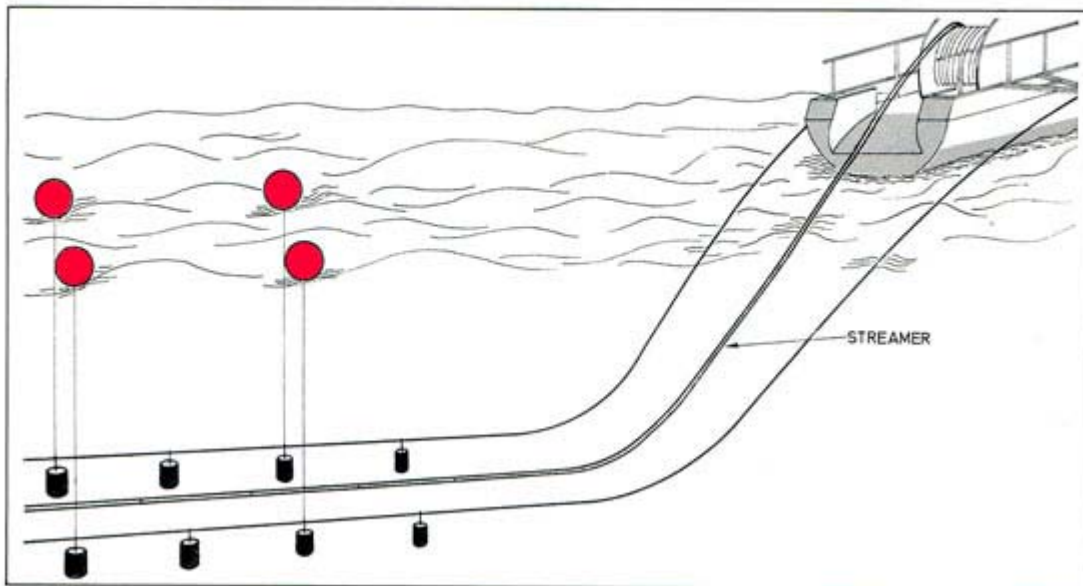


Fig. 2 Teil einer Luftpulserkette
Part of an airgun-chain



Die beste Bubble-Unterdrückung kann erreicht werden, wenn die einzelnen Bubble-Signalformen optimal abgestuft sind in Bezug auf Periode und Druckamplitude. Dies kann mittels verschiedener Techniken erreicht werden, z.B. durch gesteuerte Wechselwirkung von Luftpulsern oder durch das verzögerte Freisetzen von einer zusätzlichen Luftmenge in das expandierende Bubble-Volumen.

Der primäre Druckimpuls

Wie auch immer die Bubble-Effekte beeinflusst werden eine Beeinträchtigung des primären Druckimpulses muß vermieden werden. Im Gegenteil muß versucht werden, die Druckimpuls-Amplitude zu erhöhen. Um dies zu erreichen, scheint die Vergrößerung des Gesamtvolumens des Luftpulser-Arrays der einfachste Weg zu sein. Es ist aber auch bekannt, daß der Spitzendruck einer Sprengstoffladung nicht proportional mit dem Gewicht der Ladung wächst.

Eine ähnliche Beziehung gilt für die Luftpulser:
(Vc und ΔP aus den Gleichungen (1) und (2))

$$\Delta P \sim V_c^\alpha \quad (3)$$

Für einen bestimmte n Luftpulsertyp ist α etwa ½.

Um die Einschränkungen durch das Quadratwurzelgesetz zu überwinden, werden gewöhnlich kleinere Volumina über eine größere Fläche verteilt. Damit kann erreicht werden, daß die Druckzunahme ΔP proportional ist dem Kammervolumen des Luftpulsers:

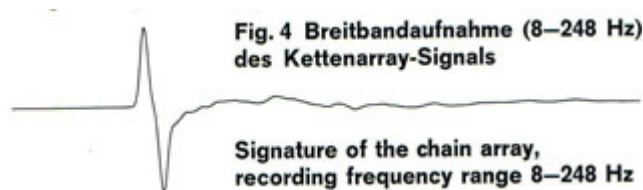
$$\Delta P \sim V_c \quad (4)$$

Um den Vorteil eines Luftpulser-Arrays mit vergrößertem Volumen voll ausnützen zu können, müssen deshalb die einzelnen Luftpulser über eine größere Fläche verteilt werden. Durch die Größe des Meßschiffes werden für die Handhabung und das Schleppen von weit ausgelegten Luftpulsern enge Grenzen gesetzt. Der Spitzendruck, der mit einem bestimmten Luftvolumen erreicht wird, ist umso größer, je besser die Beziehung (4) angenähert werden kann.

In Figur 2 ist ein Teilstück der Kette zu sehen, an der die Luftpulser hintereinander aufgereiht sind. Ein Array mit etwa 30 Litern Volumen pro Schuß - über eine Fläche von etwa 400 m² verteilt - wurde für unsere Meßschiffe PROSPEKTA und EXPLORA angefertigt. Dieses Array besteht aus zwei Ketten, die jeweils an steuerbord und backbord geschleppt werden. Durch Schwimmkörper werden die Luftpulser in einer vorbestimmten Tiefe gehalten. Die Maximallänge einer Kette beträgt etwa 30 Meter. Eine Prinzipskizze ist in Figur 3 gezeigt.



Das neu entwickelte Ketten-Array wurde in tiefem Wasser getestet. Figur 4 zeigt eine Breitbandaufnahme des erzeugten Signals.



Bereits seit geraumer Zeit wird das neue Array bei seeseismischen Vermessungen eingesetzt. Die hohen Ansprüche des Bedienungspersonals auf den Schiffen und die der Explorations-Geophysiker konnten hierbei voll befriedigt werden.

Dr. H. A. K. Edlmann