

# Pulsformdesign für monostatische MIMO Sonarsysteme mit experimentellen Untersuchungen im Hafengebiet

Sven Schröder<sup>1</sup>, Jens Reermann<sup>2</sup>, Sarah Barnes<sup>1</sup>, Dieter Kraus<sup>3</sup> and Anton Kummert<sup>4</sup>

<sup>1</sup>German Aerospace Center, Institute for the Protection of Maritime Infrastructures, Germany

<sup>2</sup>ATLAS ELEKTRONIK GmbH, Germany

<sup>3</sup>City University of Applied Sciences Bremen, Germany

<sup>4</sup>University of Wuppertal, Germany

## Einleitung

Aktive Sonarsysteme bestehen üblicherweise aus einem Sender (oder Sender-Array) und einem Empfänger-Array und sind bekannt als Single-Input-Multiple-Output (SI-MO) -System. Ein Multiple-Input-Multiple-Output (MI-MO) -Sonar hingegen verwendet mehrere Sender, welche unterschiedliche Sendepulse in dasselbe Raumgebiet emittieren. In einer monostatischen Anordnung kann dadurch eine Vervielfachung der Laufzeitinformationen erzielt werden, wodurch sich eine hohe Winkelauflösung bei vergleichsweise geringem Hardwareaufwand realisieren lässt. Der Kern des MIMO-Prinzips besteht darin, die Sendepulse in der empfangsseitigen Signalverarbeitung voneinander trennen zu können. Diese Trennung kann durch das Senden in verschiedenen Frequenz- oder Zeitfenstern erreicht werden, was jedoch zu einer eingeschränkten Bandbreite bzw. einer erhöhten gesamten Ping-Periode führt. In dieser Arbeit wird eine auf Kodierungsverfahren basierende Methode zur Pulstrennung im Zusammenhang mit Korrelationsfiltern eingesetzt, wodurch die zuvor genannten Einschränkungen nicht länger gelten [1]. Dieses Paper zeigt verschiedene Kodierungsverfahren und die damit erzeugten Sendepulse für ein monostatisches MIMO-Sonarsystem auf. Dabei kommen zum einen Standard-Sonarpulse, wie linear-frequenzmodulierte (LFM) und hyperbolisch-frequenzmodulierte (HFM) -Pulse zum Einsatz. Zum anderen werden neue Ansätze wie z.B. orthogonale Frequenzmultiplexverfahren, LFM-Sequenzen und LFM-Ketten und für den Einsatz von MIMO-Sonarsystemen untersucht.

## Sendepulsdesign

### LFM-Up/Down-Sweep

Der LFM-Sendepuls ist ein viel verwendeter Signaltyp in aktiven Sonarsystemen. Durch die Vorgabe der Modulationsrichtung kann eine Kodierung für zwei Sendesignale erzielt werden, womit sich dieser Pulstyp für MIMO-Sonare mit zwei Sendern eignet. Die Signale können dabei beschrieben werden durch

$$s_{\text{LFMU}}(t) = e^{j(2\pi f_0 t + \pi \frac{B}{T} t^2)}, \quad 0 \leq t < T, \quad (1)$$

und

$$s_{\text{LFMD}}(t) = e^{j(2\pi(f_0+B)t - \pi \frac{B}{T} t^2)}, \quad 0 \leq t < T, \quad (2)$$

mit  $f_0$  als Startfrequenz,  $B$  als Bandbreite,  $T$  als Pulsdauer und  $t$  als Zeit.

### HFM-Up/Down-Sweep

Der hyperbolisch-frequenzmodulierte (HFM)-Up-Sweep ist ebenfalls ein gängiges Breitbandsignal, welches per Design nahezu dopplerinsensitiv ist, wodurch bewegte Objekte zuverlässiger detektiert werden können. Das analytische Signal wird definiert durch

$$s_{\text{HFMU}}(t) = e^{j2\pi \left( \frac{\ln(1+kf_0 t)}{k} \right)}, \quad 0 \leq t < T, \quad (3)$$

mit dem Modulationsfaktor

$$k = \frac{-(B/T)}{f_0(f_0 + B)} \quad (4)$$

Der HFM-Down-Sweep wird als analytisches Signal definiert durch

$$s_{\text{HFMD}}(t) = e^{-j2\pi \left( \frac{\ln(1+kf_0(t-T))}{k} \right)}, \quad 0 \leq t < T, \quad (5)$$

### OFDM-Signale

Ein weiterer Puls-kandidat stellt das Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing (OFDM) -Signal dar. OFDM-Signale haben ihren Ursprung in der Kommunikationstechnik und stellen für die Anwendung in Radarsystemen ein vergleichsweise neues Forschungsfeld dar[2]. Das Prinzip basiert auf ein Multiplex-Verfahren unter der Verwendung von orthogonalen Trägerfrequenzen. Dafür wird das Sendefrequenzband in Subfrequenzbänder  $B_{\text{sub}}$  aufgeteilt, deren Breite von der Länge des OFDM-Signals über die Orthogonalitätsbedingung  $T = 1/B_{\text{sub}}$  abhängt. Ist diese Bedingung erfüllt, so liegen im Frequenzbereich die Trägerfrequenzen in den ersten Nullstellen der Sinc-Funktion der benachbarten Trägerfrequenzen. Im Zeitbereich besitzt jede Trägerfrequenz eine ganzzahlige Anzahl von Perioden. In der vorliegenden Arbeit werden zwei OFDM-Symbole verwendet, welche erzeugt werden durch

$$s_{\text{OFDM}}(t) = A \cdot \sum_{n=0}^{N_c-1} c_n \cdot e^{j2\pi f_n t} \quad (6)$$

mit  $f_n = f_0 + n \cdot B_{\text{sub}}$  und  $N_c = B \cdot T$ , sowie die Sequenz  $c_n \in \{-1, 1, -j, j\}$  für  $n = 0, \dots, N_c - 1$ , wodurch jede Trägerfrequenz eine Information von zwei Bit enthält.

### LFM-Sequenzen

Die LFM-Pulssequenz (LFMS) besteht aus einer Aneinanderreihung von LFM-Subpulsen  $s = \{s_0, s_1, \dots, s_{N-1}\}$ , wobei jeder Subpuls definiert ist durch

$$s_m(t) = e^{j \left( 2\pi f_{0,m} t + \pi \frac{(f_{1,m} - f_{0,m})}{T} t^2 \right)}, \quad 0 \leq t < T, \quad (7)$$

## LFM-Ketten

Bei der Verkettung von LFM-Pulsen (LFMC) stimmen darüberhinaus die Stopp- und die Startfrequenz zweier aufeinander folgender Pulse überein:

$$f_{0,m} = \begin{cases} \text{Beliebig in } [f_0, f_e] & m = 0 \\ f_{1,(m-1)} & m \geq 1. \end{cases} \quad (8)$$

Die Stoppfrequenz  $f_{\beta,m}$  kann dabei beliebig in  $[f_0, f_e]$  verteilt werden. Zudem wird die Phasenlage zwischen benachbarten Pulsen angepasst, sodass das Zeitsignal stetig ist.

## Methodik und Evaluation

### Autokorrelation

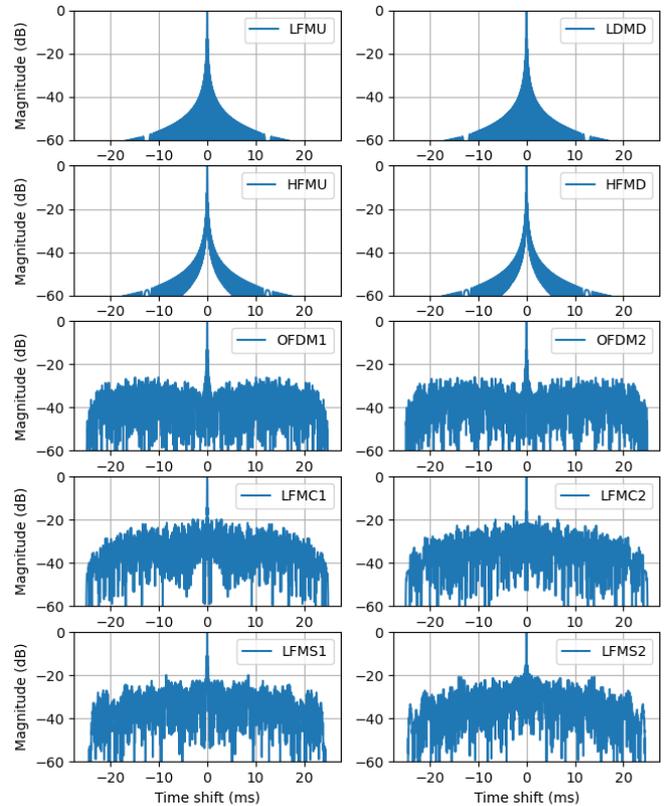
Die Autokorrelation lässt Schlussfolgerungen auf das Verhalten des Matched-Filterausgangs bei Empfangen eines Echos zu. Idealerweise wird die gesamte Energie des Pulses auf einen kleinen Zeitbereich komprimiert (auch als Pulskompression bezeichnet), um gleichermaßen eine hohe Entfernungsauflösung und hohes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zu erreichen. Das Maximum der Hauptkeule (engl. Peak Level (PL)) gilt dabei als Amplitudenschätzung des Sendesignals. Bei einer konstanten, normalisierten Amplitude ist  $PL = 0$  dB. Sendepulse mit nicht konstanter, normalisierten Amplitude besitzen hingegen ein  $PL < 0$  dB. Für praktische Anwendungen bedeutet dies, dass weniger Energie abgestrahlt werden kann. Das SNR in der Autokorrelation gibt das Verhältnis des PL zu dem quadratischen Mittel der neben der Hauptkeule übrigen Signalanteile in der Autokorrelation an. Diese Signalanteile führen zu Störanteilen im Sonarbild, die nicht vermieden werden können. Die 3 dB-Breite der Hauptkeule  $\Delta T$  ist mit  $\Delta r = c\Delta T/2$  ein Maß für die Entfernungsauflösung, wobei  $c$  die Schallgeschwindigkeit ist. Ein weiteres Merkmal der Autokorrelation ist die Ausprägung der Nebenkeulen. Nebenkeulen führen zu Hintergrundrauschen und Mehrdeutigkeiten im Sonarbild, was eine Interpretation des Sonarbildes erschwert und damit die Detektionsleistung eines Sonars mindert. Dabei ist der maximale Nebenkeulen-Level (engl. Peak Sidelobe Level (PSL)) sowie die Anzahl von Nebenkeulen relevant für die Sonarbildqualität. In der Auswertung in Tabelle 1 wird daher eine Nebenkeulenstatistik (engl. Sidelobe Level Statistic (SLS)) aufgeführt, in der die Nebenkeulen für bestimmte Pegelbereiche gezählt werden. Die Grenzen der einzelnen Zählbereiche sind gegeben mit

$$I_i = [a_i, a_{i+1}], \text{ mit } a_i = -36, -18, -12, -6, -3, 0 \text{ dB} \quad (9)$$

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung für alle betrachteten Sendepulse. Zunächst kann wie erwartet bei allen FM Pulsen mit konstanter Amplitude ein PL von 0 dB festgestellt werden. Lediglich das OFDM Sendepulspaar besitzt ein PL von ca. -19 dB, was in einer Anwendung zu einem reduzierten SNR gegenüber Umgebungsrauschen aufgrund der reduzierten Energieabstrahlung führt. Für praktische Anwendungen müsste dies im Hardware-Design der Sender berücksichtigt werden, da für die vergleichbare Energieabstrahlung hohe Amplituden und damit hohe elektrische Spannungen benötigt

**Tabelle 1:** Statistische Merkmale der Autokorrelationsfunktionen

Pulse	PL [dB]	SNR [dB]	$\Delta T$ [ $\mu$ s]	PSL [dB]	SLS
LFMU	-0.0	36.0	46.9	-13.3	32 4 0 0 1
LDMD	-0.0	36.0	46.9	-13.3	32 4 0 0 1
HFMU	-0.0	35.2	46.9	-12.7	36 4 0 0 1
HFMD	-0.0	35.2	46.9	-12.7	36 4 0 0 1
OFDM1	-19.1	32.4	46.9	-13.3	486 4 0 0 1
OFDM2	-19.4	32.3	46.9	-13.4	456 4 0 0 1
LFMC1	-0.0	28.5	46.9	-14.5	418 2 0 0 1
LFMC2	-0.0	29.1	57.3	-16.0	374 2 0 0 1
LFMS1	-0.0	29.1	36.5	-11.0	512 4 2 0 1
LFMS2	-0.0	28.6	36.5	-15.5	462 6 0 0 1



**Abbildung 1:** Autokorrelationen aller betrachteten Sendepulskandidaten

würden. Das SNR ist beim LFM sowie HF Up- und Down-Sweep signifikant höher als bei OFDM, LFMS und LFMC Signalen. Insbesondere die LFM-Ketten und Sequenzen weisen ein bis zu 7,5 dB geringeres SNR gegenüber den LFM Up- und Down-Sweep auf. Dies lässt sich durch das hohe Aufkommen von Signalanteilen neben der Hauptkeule in den auf Kodierung basierenden Ansätzen erklären (vgl. Abbildung 1). Besonders deutlich wird dieser Unterschied in der Nebenkeulenstatistik (SLS), insbesondere die Anzahl der Maxima im Bereich -36 bis -18 dB, die für die codebasierten Pulse signifikant höher ist als bei den LFM- und HF-Sendepulsen. Der PSL hingegen ist für alle Pulsformen vergleichbar.

### Kreuzkorrelation

Die Merkmale der Kreuzkorrelation zwischen den Sendepulsen sind entscheidend für die Leistungsfähigkeit eines MIMO-Sonar-Systems, da diese das Übersprechen der Sendesignale in der empfängerseitigen Signalverarbeitung beschreiben. Dadurch, dass bei dem CDMA-Prinzip alle Sendepulse im gleichen Zeit- und Frequenz-

**Tabelle 2:** Statistische Merkmale der Kreuzkorrelationsfunktionen

Pulses	PL [dB]	E [dB]	SLS
LFMU	-27.444	-30.006	251 0 0 0 0
HFMU	-25.779	-29.773	246 0 0 0 0
OFDM1	-19.203	-30.133	528 0 0 0 0
LFMC1	-19.067	-29.733	397 0 0 0 0
LFMS1	-19.267	-30.097	489 0 0 0 0

**Tabelle 3:** Statistische Merkmale der Mehrdeutigkeitsfunktionen

Pulse	$\Delta v_{3dB}$ [m/s]	$r_{3dB}$ [m]	SLS
LFMU	20.557	2.571	0 0 0 0 1
LDMD	20.413	2.563	5 1 0 0 1
HFMU	174.411	21.926	38 4 0 0 1
HFMD	173.474	21.872	38 4 0 0 1
OFDM1	0.433	0.063	64473 20 0 0 1
OFDM2	0.433	0.063	65952 34 0 0 1
LFMC1	0.433	0.063	49370 118 4 0 1
LFMC2	0.433	0.078	48169 134 2 0 1
LFMS1	0.433	0.047	73947 182 4 0 1
LFMS2	0.433	0.047	72742 164 2 0 1

bereich abgestrahlt werden, können diese lediglich durch ein Matched-Filter unterdrückt werden. Die Energie (E) des jeweilig anderen Sendepulses bleibt somit am Ausgang des Matched-Filter als Kreuzkorrelationsrauschen erhalten, jedoch mit einer von der Kreuzkorrelation abhängigen zeitlichen Verteilung. Entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Sonars ist der maximale Pegel in der Kreuzkorrelation (engl. Peak Level (PL)) sowie die Anzahl lokaler Maxima (engl. Peak Level Statistic (PLS)). Der LFM-Up- und Down-Sweep gilt hierbei als optimal, da die Sendeenergie des jeweilig anderen Pulses näherungsweise als Rechteck verteilt ist, womit für dieses Pulspaar eine Überlegenheit gegenüber anderen Ansätzen zu rechnen ist. In Tabelle 2 werden die ermittelten Merkmale für jeweils ein Pulspaar gezeigt. Hierbei ist ein signifikanter Unterschied von bis zu 8,3 dB zwischen konventionellen FM-Sendepulsen und den neuen codebasierten Ansätzen im PL zu erkennen. Da die gesamte Sendeenergie in Form von Korrelationsrauschen erhalten bleibt, zeigen sich auch in dieser Untersuchung keine signifikanten Unterschiede in der Energie zwischen den Kreuzkorrelationen. Die Maxima der Kreuzkorrelation befinden sich in der SLS unter -18 dB, unterscheiden sich jedoch in ihrer Anzahl. Auch hier weisen die codebasierten Ansätze eine größere Anzahl an lokalen Maxima in der Kreuzkorrelation auf, welche im Sonarbild Hintergrund-Rauschen verursachen können.

### Mehrdeutigkeitsfunktion

Die Mehrdeutigkeit gibt Aufschluss über die Dopplersensitivität der hier vorgestellten Sendepulse. Um die Sensitivität quantitativ ausdrücken zu können, wird die 3 dB-Breite der Hauptkeule der Mehrdeutigkeitsfunktion sowohl in der Dopplergeschwindigkeit  $v$  als auch der Entfernung  $r$  bestimmt. Zusätzlich werden ähnlich wie bei der Analyse der Autokorrelation die Anzahl der Nebenkeulen in den Pegelbereichen aus (9) bestimmt, da diese Aufschluss über mögliche Mehrdeutigkeiten im Fall einer Dopplerverschiebung der Sendepulse geben können. Tabelle 3 zeigt die 3 dB-Breite der Hauptkeule in Doppler-

**Tabelle 4:** Statistische Merkmale der Punktantwort

Pulses	PL [dB]	SNR [dB]	PSL [dB]	SLS
LFMU	-80.485	47.378	-13.981	417 6 0 0 1
HFMU	-80.790	46.716	-11.716	399 4 2 0 1
OFDM1	-99.653	46.184	-14.141	588 6 0 0 1
LFMC1	-80.090	44.356	-13.473	503 2 0 0 1
LFMS1	-80.634	44.488	-11.761	650 9 1 0 1

geschwindigkeit  $v$  sowie Entfernung  $\Delta r$  sowie die Maximastatistik (SLS) für die hier untersuchten Sendepulse. Wie zu erwarten hebt sich der HFM aufgrund seines Designs deutlich von den übrigen Sendepulskandidaten ab. Auch Objekte mit hohen Geschwindigkeiten können zuverlässig mit einem HFM-Up- und Down-Sweep detektiert werden, jedoch ist mit einer erheblichen Fehlschätzung in der Entfernung zu rechnen. Gerade für MIMO-Systeme kann dieser Aspekt jedoch einen praktischen Nutzen haben, da die Fehlschätzung eines Objektes in der Entfernung  $r$  entgegengesetzt für den Up- und Down-Sweep ist und ein Ziel als zwei Kontakte in einem Sonarbild erscheint. Um den geometrischen Mittelpunkt dieser Kontakte kann auf die tatsächliche Position und über die Distanz auf die Dopplergeschwindigkeit geschlossen werden. Auch der LFM-Up- und Down-Sweep ist noch für die Detektion bewegter Ziele mit bis zu 20 m/s geeignet und besitzt ebenfalls in diesem Bereich die Eigenschaft der gegensätzlichen Kontaktverschiebung im Sonarbild. Die codebasierten Ansätze hingegen unterscheiden sich wesentlich von den Standard-Sendepulsen. Sie besitzen eine Nadel im Zentrum der Mehrdeutigkeitsfunktion, wodurch, mit einer einfachen Implementierung der Matched-Filter, Ziele schon mit geringen Geschwindigkeiten nicht mehr detektiert werden können. Ist die Geschwindigkeit eines Ziel jedoch bekannt, können die Matched-Filter auf diese abgestimmt werden. Dies erlaubt eine Detektion mit genauer Positionsschätzung. Ein weiterer Unterschied zwischen den FM und den codebasierten Sendepulsen liegt in der Maxima-Statistik. Hierbei zeigen insbesondere die LFMC- und LFMS-Sendepulse eine hohe Anzahl an lokalen Maxima, welche zu Fehlinterpretationen und Mehrdeutigkeiten im Sonarbild bei z.B. bewegten Zielen führen können.

### Punktantwort

Die Punktantwort beschreibt das Auflösungsverhalten des Systems bezogen auf ein ideales Punktziel. In dieser Arbeit wird die Punktantwort für ein Beispielsystem mit 32 Empfängern und 2 Sendern simulativ ermittelt. Typische Merkmale der Punktantwort sind die der Hauptkeule (engl. Peak Level (PL)) und 3 dB Breite  $\Delta r$  in Entfernungsrichtung), sowie die der Nebenkeulen (engl. Peak Sidelobe Level (PSL) und Sidelobe Statistic (SLS)). Zudem wird das Verhältnis zwischen Hauptkeulen-Pegel und dem quadratischen Mittelwert des Hintergrundes (SNR) verglichen. Das Maximum der Hauptkeule (PL) hängt von der Energie des Echos ab und damit von der Energie der verwendeten Sendepulse. Alle Pulsformen mit konstanter Amplitude weisen daher einen gleichwertigen Pegel im Bereich um 80 dB auf. Die OFDM Sendepulse zeigen in diesem Test einen um 19 dB reduzierten Pegel, was mit dem reduzierten PL in Tabelle 1 übereinstimmt.

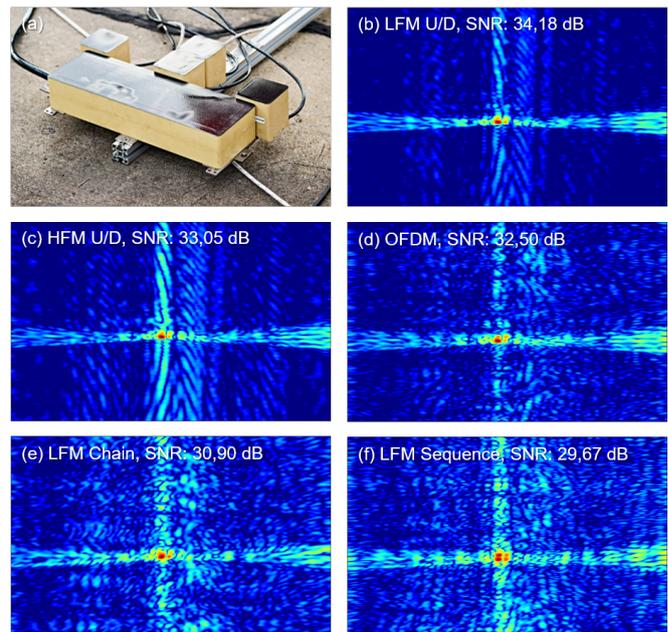
Das SNR ist beim konventionellen LFM Sendepuls im Vergleich zu den codebasierten Ansätzen um bis zu 3 dB größer. Dies lässt sich durch die bessere Pulstrennung erklären, welche auch bei den Kreuzkorrelationsfunktionen beobachtet werden kann. Unter den codebasierten Sendepulsen weißt das OFDM Sendepulspar das beste SNR auf.

## Experimentelle Untersuchungen

Zu den zuvor gezeigten simulativen Untersuchungen wurden Experimente im Fischereihafen Bremerhaven durchgeführt. Das MIMO-Sonar verfügt über ein Line-Array mit 32 Kanälen als Empfänger und 2 Sendemodulen, welche an den Enden des Systems angebracht sind. Die Steigerung der Winkelauflösung durch das MIMO-Prinzip wurde bereits in [3, 4, 5] gezeigt. Zum Vergleich der Leistungsfähigkeit des MIMO-Demonstrators mit den verschiedenen MIMO-Signaltypen wird ein Punktziel in  $0^\circ$  Richtung vor das Sonar gebracht, um die Punktantwort des Systems zu ermitteln. Das Verhältnis zwischen Hauptkeulen-Pegel und dem quadratischen Mittelwert des Hintergrundes der Punktantwort ist dabei ein entscheidendes Kriterium um neben der Auflösung eines Sonars die Leistungsfähigkeit hinsichtlich des SNRs ermitteln zu können. Durch den nicht idealen akustischen Kanal und dem Vorhandensein weiterer Rückstreuer ist im Experiment ein geringeres SNR als in der Simulation zu erwarten, da der Nachhall im Kanal zu zusätzlichem Rauschen im Hintergrund führt. Abbildung 2 zeigt das Versuchssystem und die Punktantworten für die jeweiligen Sendepulse. Zudem ist das ermittelte SNR in den jeweiligen Unterabbildungen angegeben. Absolut betrachtet, ist das SNR im Experiment aufgrund der oben beschriebenen Effekte geringer als in den Simulationen. Das Verhältnis des SNRs zwischen den Punktantworten zeigt hingegen eine hohe Übereinstimmung zu den Simulationen. So zeigen die klassischen Sendepulse wie der LFM- und HFM-Up- und Down-Sweep ein größeres SNR als die codierten Pulse. Diese Beobachtung deckt sich mit dem qualitativen Vergleich zwischen den in Abbildung 2 gezeigten Punktantworten, in denen das Hintergrund-Rauschen mit abnehmenden SNR zunimmt.

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden fünf potentielle Sendepuls-kandidaten für MIMO-Sonar-Systeme vorgestellt und analysiert. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Gütemaße betrachtet, in der Eigenschaften der Auto- und Kreuzkorrelation, Mehrdeutigkeitsfunktion sowie Punktantwort eines Testsystems berücksichtigt werden. Insbesondere in der Ausprägung von Nebenkeulen zeigen sich in den genannten Maßen deutliche Unterschiede zwischen klassischen Sonarpulsen und neuen, auf Kodierung basierenden Pulsen. Damit zusammenhängend wird auch eine Verschlechterung und zunehmendes Rauschen in der Punktantwort beobachtet. Insbesondere in Umgebungen mit einer hohen Anzahl von Rückstreuern führt dieser Effekt zu einem verrauschten Hintergrund, welcher die Detektion von Objekten mit geringem Zielmaß erschwert. Da nach wie vor klassische Sonarpulse neuere Ansätze in der dargestellten Metrik weitestgehend



**Abbildung 2:** Bild des Sonarsystems und Punktantworten für die jeweiligen Puls-kandidaten im Experiment

übertreffen, allerdings auf zwei Sender beschränkt sind, ist die Wahl der Pulsform ein entscheidendes Designkriterium für zukünftige MIMO Systeme.

## Literatur

- [1] Y. Pailhas, Y. Petillot, “Wideband CDMA Waveforms for Large MIMO Sonar Systems”, *2015 Sensor Signal Processing for Defence (SSPD)*, 1-4 (2015).
- [2] Hakobyan, Gor., “Orthogonal frequency division multiplexing multiple-input multiple-output automotive radar with novel signal processing algorithms.”, (2018).
- [3] S. Schröder, Z. Qiao, D. Kraus & N. Theuerkauf, “Investigation of the resolution enhancement achieved by MIMO Sonar systems”, *Jahrestagung für Akustik DAGA*, (2018).
- [4] S. Schröder, J. Reermann, M. Stephan, D. Kraus, & A. Kummert “ Experimental demonstration of the angular resolution enhancement of a monostatic MIMO sonar”. In *Proceedings of Meetings on Acoustics UACE (Vol. 44, No. 1, p. 070009)*. Acoustical Society of America, (2021).
- [5] S. Schröder, J. Reermann, M. Stephan, D. Kraus, & A. Kummert “ Experimental investigation of a virtual planar array for MIMO sonar systems”. In *Proceedings of Meetings on Acoustics ICUA2022 (Vol. 47, No. 1, p. 070005)*. Acoustical Society of America, (2022).