

# AUFBAU UND EVALUIERUNG EINES PASSIVEN RADARSENSORS AUF BASIS KOMMERZIELLER HARDWARE

S. Orasch, H. Flühr

FH JOANNEUM, Studiengang Luftfahrt/Aviation, Alte Poststraße 149, 8020 Graz, Österreich

## Zusammenfassung

Durch den Einsatz kommerziell erhältlicher Hardware soll ein passiver Radarsensor konzeptioniert werden. Ziel der Arbeit ist es, einen Laufzeitunterschied der empfangenen Signale zu detektieren. Die geographische Trennung von Sender und Empfänger und der Einsatz von bereits vorhandenen Signalquellen als Sender resultieren in geometrischen Besonderheiten. Des Weiteren ergeben sich zusätzliche Anforderungen an den Empfänger, wodurch technische Maßnahmen getroffen werden müssen. Eine umfangreiche Messkampagne mit unterschiedlichen Szenarien und Zielen findet statt. Es kann gezeigt werden, dass der passive Radarsensor gewisse Ziele detektiert, da zwischen dem Empfang und Auftreten des Ziels ein zeitlicher Zusammenhang besteht. Es wird angenommen, dass der passive Radarsensor in der Lage ist, Laufzeitunterschiede zu detektieren, wobei Verbesserungen im Bereich der digitalen Signalverarbeitung notwendig sind.

## 1. GRUNDLAGEN VON PASSIVEN RADAR

Passives Radar nutzt bereits vorhandene Signalquellen, um Objekte zu detektieren. Im Gegensatz zu Aktivradar, wird kein eigens für diesen Zweck generiertes Signal ausgesandt. Stattdessen greifen passive Radarsysteme auf lokale Sendestationen zurück und betrachten diese als Sender. Anhand der verursachten Reflektionen am Ziel, können Laufzeitunterschiede und Dopplerverschiebungen empfangen und gemessen werden [1, p.16][2, p.30]. Im bistatischen Fall besteht der Empfänger des passiven Radarsensors aus zwei Empfangseinheiten. Einerseits wird das Direktsignal des Senders empfangen, andererseits empfängt eine zum Ziel gerichtete Antenne die Reflexionen der elektromagnetischen Wellen [3, p.9].

### 1.1. Geometrie eines passiven Radars

Durch die geographische Trennung von Sender und Empfänger ergibt sich eine abgewandelte Geometrie. Wie in BILD 1 zu entnehmen ist, befinden sich Sender (TX) und Empfänger (RX) an den Brennpunkten einer sogenannten bistatischen Ellipse. Das zu erfassende Objekt befindet sich auf dieser bistatischen Ellipse. Somit ergibt sich die Distanz  $R_T$  vom Sender zum Objekt, die Distanz  $R_R$  vom Objekt zum Empfänger und die Standlinie  $L$  vom Sender zum Empfänger. Der eingeschlossene Winkel wird als bistatischer Winkel  $\beta$  bezeichnet. Im dreidimensionalen Fall befindet sich das Objekt auf einem sogenannten bistatischen Ellipsoid [1, p.32][3, p.10][4, p.231].

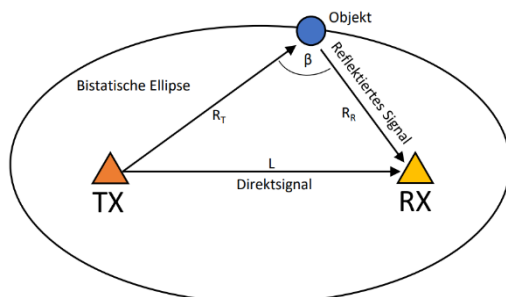


BILD 1. Geometrie eines bistatischen Systems

Im Gegensatz zu aktiven Radarsystemen, wird nicht die Radialentfernung gemessen, sondern die bistatische Entfernung  $R_{Bistatic}$ . Diese lässt sich durch Gleichung (1) bestimmen. Passive Radarsysteme korrelieren das Direktsignal und das reflektierte Signal, um einen Laufzeitunterschied  $\tau$  zu bestimmen. Unter der Annahme einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ , lässt sich die bistatische Reichweite mithilfe von Gleichung (2) messen [3, p.10,11].

$$(1) R_{Bistatic} = R_T + R_R - L$$
$$(2) R_{Bistatic} = c\tau$$

Die bistatische Geschwindigkeit  $V_{Bistatic}$  beschreibt die zeitliche Änderung der bistatischen Entfernung  $R_{Bistatic}$ . Diese lässt sich durch die Dopplerverschiebung  $f_d$  und der Wellenlänge  $\lambda$  des Trägersignals bestimmen. Dieser Zusammenhang wird durch Gleichung (3) beschrieben. [3, p.12].

$$(3) V_{Bistatic} = -\lambda f_d$$

Da eine positive Dopplerverschiebung  $f_d$  eine Verringerung der bistatischen Entfernung  $R_{Bistatic}$  bedeutet, wird definitionsgemäß die Geschwindigkeit negativ angenommen [3, p.12].

### 1.2 Bistatische Radargleichung

Die Radargleichung stellt eine fundamentale Gleichung da, die für den bistatischen Fall adaptiert werden muss. Diese beruht auf den monostatischen Fall, wobei die Leistungsdichte  $S$  des Senders und Empfängers nicht dieselbe Entfernung aufweisen. Die Sendeleistung  $P_T$  ist abhängig vom gewählten Beleuchter. Da die Entfernungen  $R_T$  und  $R_R$  variieren, müssen beide Distanzen in Betrachtung gezogen werden. Zusätzlich ist der Radarquerschnitt  $\sigma$  verändert, da Einfallswinkel und Ausfallswinkel sich um den bistatischen Winkel  $\beta$  unterscheiden. Somit hängt die reflektierte Leistung  $P_{Ref}$  vom bistatischen Radarquerschnitt  $\sigma_{Bistatic}$  ab. Der Antennengewinn des Senders  $G_T$  und Empfängers  $G_R$  sind getrennt zu betrachten. Die empfangene Leistung  $P_R$  ergibt sich durch Gleichung (4) [3, p.20][5].

$$(4) P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma_{Bistatic}}{(4\pi)^3 R_T^2 R_R^2}$$

Die Besonderheit der bistatischen Radargleichung ist, dass durch den Term  $R_T^2 R_R^2$  sogenannte Cassinische Kurven entstehen. Somit verursacht eine große Entfernung des Objekts zum Sender zwangsläufig keinen Abfall der empfangenen Leistung  $P_R$ . Das Objekt kann sich in diesem Fall nah am Empfänger befinden [3, p.24][5][6, 23.6]. BILD 2 zeigt Isolinien, die eine konstant empfangene Leistung  $P_R$  aufweisen. Im monostatischen Fall entfällt diese Besonderheit, wodurch sich isozentrische Kreise um den Sender/Empfänger bilden [6, 23.7].

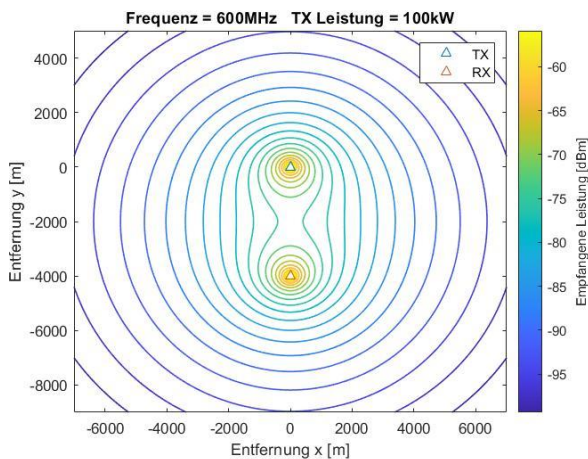


BILD 2. Cassinische Kurven mit einer konstant empfangenen Leistung  $P_R$

### 1.3 Verwendung potenzieller Beleuchter

Passives Radar nutzt bereits vorhandene Signalquellen, wobei jene Signale primär nicht für diesen Zweck entwickelt wurden. Jene Quellen werden auch als Beleuchter bezeichnet und werden nicht vom passiven Radarsystem kontrolliert [5]. Für die Evaluierung des passiven Radarsensors wurden drei potenzielle Beleuchter näher betrachtet.

- UKW-Rundfunk
- DVB-T2
- DAB

Ein Werkzeug für die Feststellung der Nutzbarkeit vorhandener Beleuchter ist die Ambiguitätsfunktion. Sie entspricht hierbei der Autokorrelation des Direktsignals. Sie gibt Aufschluss über die Ambiguität (Mehrdeutigkeit) des Signals und visualisiert periodische Elemente wie Pilotsignale [1, p.57][3, p.37].

Das Entfernungsauflösungsvermögen  $\Delta R$  eines passiven Radars ist eine Funktion der Bandbreite  $B$  der Signalquelle und lässt sich durch Gleichung (5) beschreiben. Digital modulierte Signale wie DVB-T2 weisen eine höhere Bandbreite auf als UKW-Rundfunk [3, p.13][5].

$$(5) \Delta R = \frac{c}{B}$$

Für alle Beleuchter gilt jedoch, dass das Direktsignals sich mit dem reflektierten Signal im Empfangskanal überlagern kann, wodurch die Korrelation beeinträchtigt wird. Zusätzliche Maßnahmen sind erforderlich, um diesen negativen Einfluss zu reduzieren [1, p.96].

## 2. AUFBAU DES PASSIVEN RADARSENSORS

Ziel des Versuchsaufbau ist festzustellen, ob ein reflektiertes Signal empfangen und identifiziert werden kann. Gleichzeitig soll evaluiert werden, ob dies mit der eingesetzten Hard- und Software erreicht werden kann. Der passive Radarsensor wird in einem bistatischen Szenario eingesetzt, wodurch sich die Anzahl der Empfänger auf zwei reduziert. BILD 3 zeigte eine schematische Übersicht des Messvorgangs.

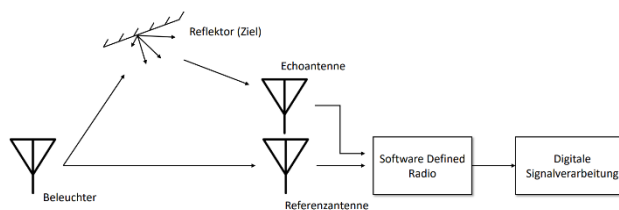


BILD 3. Schematische Übersicht des Demonstrators

### 2.1. Auswahl von potenziellen Beleuchtern

Für die Messung werden DVB-T2 Sendestationen verwendet, da dieses Signal sich durch eine geeignete Sendeleistung, hohe zeitunabhängige Bandbreite und Verfügbarkeit auszeichnet. Örtlich verfügbar sind einerseits der Sender Graz 1 – Schöckl, der über eine ERP (Effective Radiated Power) von 75 kW aufweist. Andererseits steht der Sender Graz 4 – Fürstenstand zur Verfügung, der über eine ERP von 8 kW besitzt, jedoch näher am Messstandort platziert ist. Für die vorgestellten Messungen wurde der Sender Graz 4 – Fürstenstand gewählt, da eine Sichtverbindung stets erreicht werden konnte [8].

### 2.2. Wahl des Empfängers

Um eine Messung vornehmen zu können, muss der Empfänger folgende Kriterien erfüllen [9, p.6]:

- Lokale Oszillatoren sind kohärent
- Synchrone Datenübermittlung
- Vermeidung von Störungen durch Direktsignal

Für den Aufbau kommen zwei RTL-SDR Blog V3 Empfänger zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um Software Defined Radio, wodurch benötigte Hardware durch digitale Signalverarbeitung ersetzt wird. Der RTL-SDR Blog V3 Dongle deckt einen Frequenzbereich von 500kHz bis 1766 MHz ab, besitzt eine stabile Bandbreite von bis zu 2,4 MHz und eine 8-Bit Abtastung. Zusätzlich bietet er die Möglichkeit den lokalen Oszillator zu entfernen, wodurch eine Master/Slave Konfiguration ermöglicht wird. Hierzu wird der Oszillator des Echokanals entfernt und mit dem Referenzkanal verbunden, wodurch ein kohärenter Empfang erwartet wird [7][9][10].

Für eine synchrone Datenübertragung wurde ein USB 2.0 Hub verwendet. Jedoch ist festzustellen, dass beide Dongles nicht gleichzeitig initialisiert werden, wodurch eine Latenz zu Beginn auftritt. Diese ist zwar bei jedem Versuch variierend, jedoch wurden nach der Initialisierung keine Schwankungen festgestellt [9].

### 2.3. Wahl der Antenne

Für den Messaufbau wurden zwei LDWS100DA von LD Systems verbaut. Hierbei handelt es um eine Richtantenne, die im Frequenzbereich von 490-960 MHz eingesetzt werden kann. Somit kann der Frequenzbereich 470-690 MHz, welcher für DVB-T2 vorgesehen ist, abgedeckt werden.

### 2.4. Eingesetzte Software

Für die Steuerung der Empfänger kommt GNU Radio zum Einsatz. Mithilfe der GUI (Graphical User Interface) GNU Radio Companion ist es möglich, dass Befehle übersichtlich durch Operationsblöcke miteinander verbunden werden. Damit der RTL-SDR Blog V3 Dongle erkannt wird, wurde der osocom GNU Radio Block und die rtl-sdr library installiert [9, p.3].

Die aufgezeichneten Daten wurden mithilfe von MATLAB® ausgewertet. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass MATLAB® beide Dongles steuert, jedoch wurde dies aufgrund von Problemen mit der erkannten Seriennummern der Dongles nicht realisiert [11]. MATLAB® wird für die Berechnung der Kreuzkorrelation und der Range-Doppler Map benötigt.

### 2.5. Passiver Radarsensor im Einsatz

Bei der Auswahl der Komponenten wurde auf Mobilität Wert gelegt, da Messungen auch im unbefestigten Gelände durchgeführt wurden. Der passive Radarsensor kann ohne großem Aufwand zügig errichtet und betrieben werden. BILD 4 zeigt den Aufbau auf einem Dach in Graz. Zu erkennen sind beide Antennen, die zu einem USB-Hub führen. Mithilfe eines Laptop wurden die Empfänger gesteuert und versorgt.

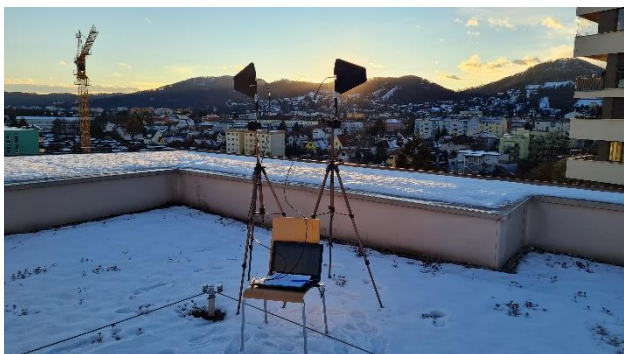


BILD 4. Aufbau und Platzierung des Radarsensors

## 3. MESSVORGANG

Für die Messung wurden insgesamt sieben Szenarien erstellt, wobei stets neue Objekte als Ziel bestimmt wurden.

### 3.1 Messstandorte

TAB 1 beinhaltet die geographischen sowohl als auch die geometrischen Parameter der Messungen. BILD 5 zeigt den Ort des Messaufbaues. Zusätzlich werden die Positionen der Beleuchter markiert.

| Nr. | Ort            | Ziel              | L        | R <sub>Bistatic</sub> |
|-----|----------------|-------------------|----------|-----------------------|
| 1   | Autobahnbrücke | Kraftwerk Mellach | 16,76 km | 4,75 km               |
| 2   | Eggenberg      | Hochhaus          | 2,85 km  | 0,19 - 3,71 km        |
| 3   | Pulverturmstr. | Fabrikgebäude     | 15,43 km | 0,78 km               |
| 4   | Körmiweg       | Radarreflektor    | 11,71 km | 1,14 km               |
| 5   | Sauerbrunnstr. | Verkehr           | 15,67 km | < 0,84 km             |
| 6   | Schachenweg    | Referenzmessung   | 15,48 km | /                     |
| 7   | Schachenweg    | Radarreflektor    | 15,48 km | 1,15 km               |

TAB 1. Übersicht der durchgeführten Messungen

Durch die zeitverzögerte Initialisierung entsteht eine Latenz zu Beginn der Messung. Aus diesem Grund wurde für Messung 1 und 2 in GNU Radio der Multi-RTL Block von Piotr Krysiak implementiert. Dadurch soll eine Synchronisation während dem Betrieb der Empfänger ermöglicht werden [12]. Für die restlichen Messungen wurde auf diese Funktion verzichtet. Der entstandene Offset muss nachhinein durch die Kreuzkorrelation bestimmt werden.

Um den Einfluss des Direktsignals im Echokanal zu reduzieren, wurde der pseudo-monostatische Fall angewendet. Das Ziel befindet sich in der verlängerten Standlinie L, wodurch die Echoantenne 180° versetzt aufgestellt wird. Diese Konfiguration kann man in BILD 4 erkennen. Der Antennengewinn G<sub>R</sub> ist an der Rückseite verringert.

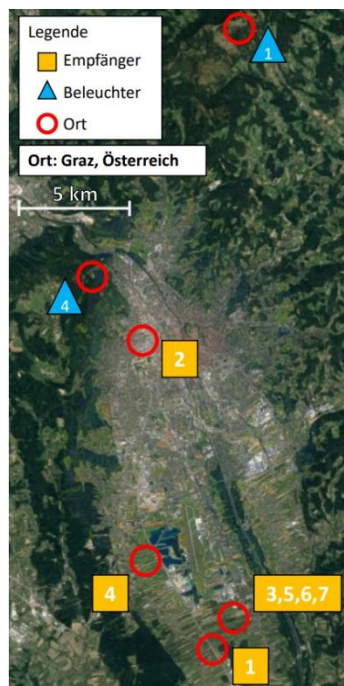


BILD 5. Orte der Messungen und Beleuchter [17]

### 3.2 Zielauswahl

Es wurden statische und dynamische Ziele ausgewählt. Einerseits wurden markante Gebäude in der Landschaft bestimmt, andererseits wurde der Verkehr von Straßenfahrzeugen aufgezeichnet. Für statische Gebäude (0 Hz Doppellerschiebung) wird mithilfe der Kreuzkorrelation beider Signale eine mögliche Übereinstimmung erwartet [5, p.14]. Da die bistatische Reichweite R<sub>Bistatic</sub> und die Abtastfrequenz f<sub>s</sub> a-priori bekannt sind, lässt sich der erwartende Sampleoffset N anhand Gleichung (6) berechnen.

$$(6) N = \left( \frac{R_{Bistatic}}{c} \right) f_s$$

Für dynamische Ziele wird die Range-Doppler Map berechnet. Dankeswerterweise wird der Quellcode durch Jean-Michel Friedt zur Verfügung gestellt, welcher selbst Versuche mit vergleichbarer Hardware durchführte [9][13].

#### 4. MESSERGEBNISSE

Insgesamt wurden 50 Messungen durchgeführt, wobei eine Auswahl an Messergebnissen präsentiert wird.

##### 4.1 Messung 1 – Kraftwerk Mellach

Für die Messung 1 wurde das Kraftwerk Mellach ausgewählt, da es ein landschaftlich markantes Gebäude darstellt. Die Synchronisation der Empfänger wird durch den Multi-RTL Block realisiert [12].

BILD 6 zeigt die berechnete Kreuzkorrelation, wobei die y-Achse den normierten Korrelationskoeffizienten und die x-Achse die Samples präsentiert. Der Spitzenwert befindet sich im Punkt (0/0.065). Es wird angenommen, dass dieser Wert aufgrund der Ausprägung des Direktsignals im Echo-Kanal verursacht wird. Mithilfe der Gleichung (6) wird ein Sampleoffset N von 30 Samples erwartet. Eine Übereinstimmung kann festgestellt werden.

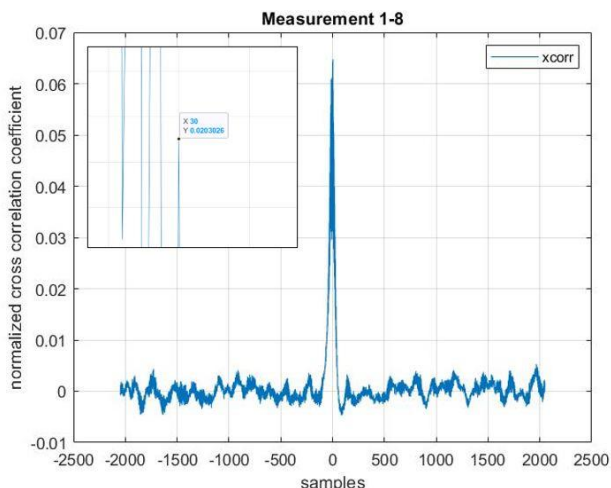


BILD 6. Kreuzkorrelation von Messung 1

##### 4.2 Messung 3 – Fabrikgebäude

Ziel der Messung 3 ist es gewesen, ein markantes Fabrikgebäude mit einem großem Silo zu detektieren. Im Zuge der Messung wurde auf die vorherige Synchronisierung verzichtet. BILD 7 zeigt, dass eine geringe Latenz durch die Initialisierung entsteht.

Erneut bildet sich ein gut erkennbarer Spitzenwert aus, wobei angenommen wird, dass dieser durch das Direktsignal verursacht wird. Der erwartete Spitzenwert ist nicht identifizierbar, wie man in der Nahaufnahme erkennen kann. In gleichmäßigen Abständen von rund 500 Samples sind geringe Spitzenwerte festzustellen, die auf die periodischen Signalelemente zurückzuführen sind. Auch erkennt man seitlich der Hauptkeule kleinere Nebenkeulen, die ein Ziel möglicherweise verdecken können.

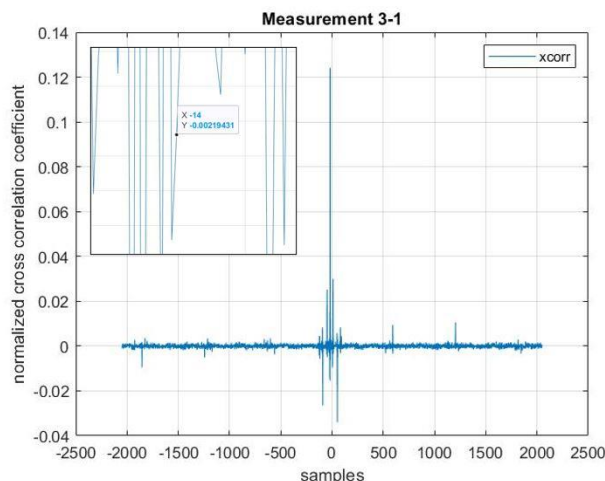


BILD 7. Kreuzkorrelation von Messung 3

##### 4.3 Messung 4 – Radarreflektor

Im Zuge der Messung 4 wurde die Echoantenne auf einen Radarreflektor gerichtet, der sich in der verlängerten Standlinie L befand. Eine vielbefahrene Straße kreuzt jene Sichtlinie, weswegen eine Range-Doppler Map für diesen Fall berechnet wurde.

Es zeigt sich, dass beim Passieren von Fahrzeugen Detektionen zu vermerken sind. Dieses Phänomen trat mehrmals während der Auswertung auf. BILD 8 veranschaulicht jene Detektionen und gibt anhand der Farbleiste den normierten Korrelationskoeffizienten an.

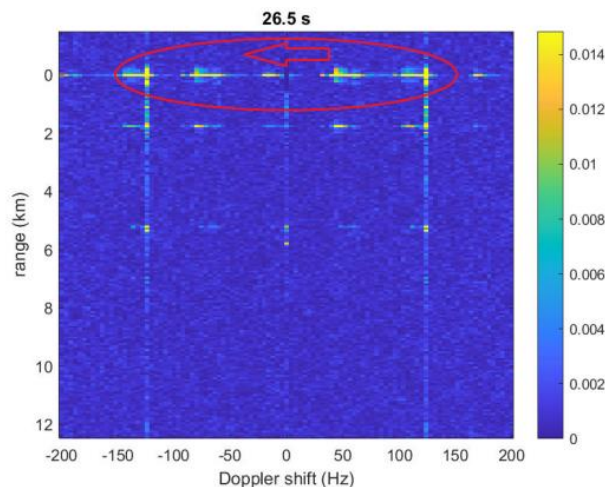


BILD 8. Range-Doppler Map von Messung 4

##### 4.4 Messung 5 – Verkehr

Messung 5 dient dazu festzustellen, ob bewegte Fahrzeuge mithilfe des passiven Radarsensors detektiert werden können. Dazu wurde ein Ort ausgewählt, der eine möglichst günstige Rückstrahlung des Ziels ermöglicht. Hierzu wurde die Antenne parallel zur Straße ausgerichtet, wodurch Fahrzeuge frontal sich dem Versuchsaufbau nähern.

BILD 9 zeigt die Range-Doppler Map der Messung 5 und beinhaltet eine Auffälligkeit. Eine Detektionen, gekennzeichnet durch einen roten Kreis, tritt in einem gewissen

Zeitintervall auf und verringert ihre bistatische Entfernung  $R_{\text{Bistatic}}$  kontinuierlich. Ein zeitlicher Zusammenhang mit einem real fahrenden Fahrzeug ist gegeben. Nachdem das Fahrzeug den passiven Radarsensor passiert hat, folgt eine Range-Doppler Map, wie sie bereits in BILD 8 zu sehen ist.

BILD 10 veranschaulicht die Kreuzkorrelation für das beschriebene Szenario. Die Latenz ist erkennbar, zusätzlich sind periodische Signalelemente identifizierbar. Der vorhergesagte Sampleoffset  $N$  trifft in diesen Fall zu.

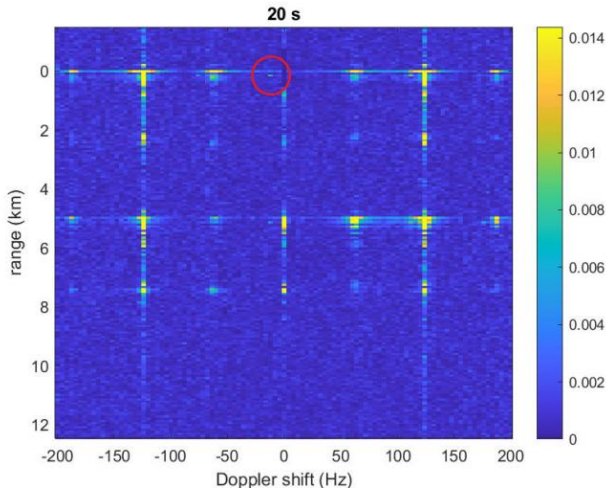


BILD 9. Range-Doppler Map von Messung 5

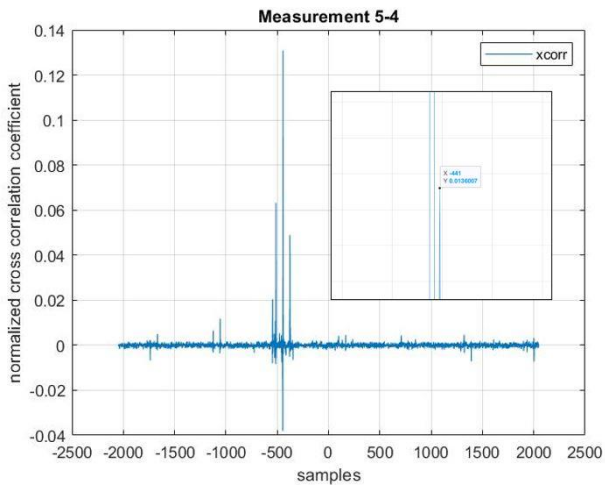


BILD 10. Kreuzkorrelation von Messung 5

## 5. EVALUIERUNG DER ERGEBNISSE

Anhand der Ergebnisse sollt bestimmt werden, ob der passive Radarsensor einen Laufzeitunterschied  $\tau$  detektieren kann.

### 5.1 Synchronisation der Empfänger

Im Zuge der Messung wurden zwei Arten der Synchronisation vorgestellt. Es konnte durch die Verwendung des Multi-RTL Blocks kein Vorteil erzielt werden. Berechnete Kreuzkorrelationen, welche auf diese Funktion verzichten, weisen ein präziseres Ergebnis auf und geben die periodischen Signalelemente wie Pilotsuren wieder [3, p.62].

Jedoch muss bei Verwendung keiner Synchronisation die anfängliche Latenz berücksichtigt werden.

### 5.2 Evaluierung von Messung 1

Die berechnete Kreuzkorrelation aus Messung 1 erfüllt die Erwartung. Aufgrund des kaskadenförmigen Abstiegs des Spitzenwertes ist jedoch nicht auszuschließen, ob es sich hierbei tatsächlich um ein reales Ziel handelt. Dieses Ergebnis kann als Indikator für eine potenzielle Detektion gesehen werden.

### 5.3 Evaluierung von Messung 3

Messung 3 wurde ausgewählt, um vorzuzeigen, wie eine Kreuzkorrelation im Falle einer Nichterfüllung der Erwartungen entspricht. Eine beinahe symmetrische Kreuzkorrelation stellt sich ein, was auf einen starken Empfang des Direktsignals vermuten lässt. Zusätzlich ist anzunehmen, dass die Oberflächenbeschaffenheit des Gebäudes keine sonderbare Rückstrahlung ermöglicht und somit nicht detektierbar ist.

### 5.4 Evaluierung von Messung 3

Für die Messung wurde ein Radarreflektor im Gelände errichtet. Eine durchgeführte Kreuzkorrelation führte jedoch zu keinem nennenswerten Ergebnis, da dieser nicht detektiert wurde.

Jedoch lässt sich zeigen, dass der Verkehr offenbar durch den passiven Radarsensor empfangen wurde. Reflexionen an Fahrzeugen verursachen einen Laufzeitunterschied  $\tau$ . Des Weiteren wird durch die anhaltende Fahrt eine Dopplerverschiebung verursacht. Die übrigen schachbrettartig angeordneten Detektionen werden hierbei nicht als Ziel identifiziert, da diese dem Beleuchtersignal zugeordnet werden. Eine eindeutige Identifizierung der Fahrzeuge ist mithilfe des passiven Radarsensors nicht möglich, jedoch besteht ein Zusammenhang mit dem Auftreten von Fahrzeugen während des Messvorgangs.

### 5.5 Evaluierung von Messung 5

Messung 5 richtet sich explizit an den Straßenverkehr und soll eine Reproduzierung der Ergebnisse aus Messung 4 ergeben. Tatsächlich können vergleichbare Resultate erzielt werden, wodurch ein weiterer Indikator für eine erfolgreiche Detektion erfüllt wird. Durch den zeitlichen Zusammenhang mit einem Fahrzeug, wird angenommen, dass der passive Radarsensor in der Lage ist, bewegte Ziele zu detektieren.

Ob der erwartete Sampleoffset  $N$  in BILD 10 tatsächlich dem Verkehr zuordenbar ist, kann nicht eindeutig evaluiert werden. Jedoch kann auch diese Tatsache als weiterer Indiz für eine Detektion gesehen werden. Aufgrund der Signalstruktur können potenzielle Detektionen maskiert werden.

### 5.6 Eignung des passiven Radarsensors

Anhand der erreichten Resultate wird angenommen, dass der passive Radarsensor in der Lage ist, Laufzeitunterschiede  $\tau$  zu detektieren. Im Falle einer dynamischen Messung mithilfe von Fahrzeugen, können Detektionen in der Range-Doppler Map gezeigt werden. Statische Messungen ergeben keine Auffälligkeiten in der Range-Doppler Map, wodurch anzunehmen ist, dass der Verkehr jene

Detektionen verursacht. Eine zweifelsfreie Identifikation der Ziele ist jedoch nicht möglich. Der Einfluss des Direktsignals verursacht Störungen, wodurch der Empfang des reflektierten Signal beeinträchtigt ist.

Für eine ausführlichere Erklärung und Analyse wird auf die Arbeit *Conception of a Low-cost Bistatic Passive Radar* von Orasch S. verwiesen. Jene Arbeit beinhaltet detaillierte Angaben zum passiven Radarsensor und zu den Messvorgängen.

## 6. AUSBLICK

Der vorgestellte passive Radarsensor hat im Hinblick auf die digitale Signalverarbeitung Verbesserungspotential [14]. Zusätzlich können periodische Schutzintervalle, wie sie bei DVB-T2 auftreten, entfernt werden. Dadurch kann die Ambiguitätsfunktion verbessert werden, da Nebenkeulen das tatsächliche Ziel verdecken können [15]. Es ist üblich das Direktsignal zu demodulieren und anschließend zu modulieren, sofern die Modulationsart bekannt ist. Dies ermöglicht die Verringerung des Direktsignals im Echokanal [5][15]. Zusätzlich ist die Realisierung eines CFAR (Constant False Alarm Rate) Algorithmus möglich, wodurch in weiterer Folge ein Tracker realisiert werden kann. Dieser basiert in vielen Fällen auf einen Kalman Filter [3, 208][3, 232].

Dass passive Radarsysteme heutzutage nicht mehr experimentelle Geräte darstellen, beweist das passive Radarsystem PARASOL (Radar basierte Schaltung der Objektkennzeichnung für die Luftfahrt). Das multistatische System erfasst Flugobjekte mittels drei Sensoren und berechnet die Position in Echtzeit. Dadurch können in Zukunft die Hindernisbefreiung in Windparks bei Nacht ausgeschaltet bleiben, sofern sich kein Flugzeug in der Nähe befindet. Dies reduziert die Lichtverschmutzung und erhöht die Akzeptanz gegenüber Windkraftanlagen [16].

**Kontaktadresse:** sergio.orasch@edu.fh-joanneum.at

## Literatur

- [1] Griffiths, H. D. and Baker, C. J., *An Introduction to Passive Radar*, ARTECH HOUSE, 2017.
- [2] "IEEE Standard for Radar Definitions," in IEEE Std 686-2017 (Revision of IEEE Std 686-2008), pp.1-54, 13 Sept. 2017, doi: 10.1109/IEEEESTD.2017.8048479.
- [3] Malanowski, M., *Signal Processing for Passive Bistatic Radar*, ARTECH HOUSE, 2019.
- [4] Cherniakov, M., *Bistatic Radar: Principles and Practice*, John Wiley Sons Ltd, 2007.
- [5] Kuschel, H., Cristallini, D., and Olsen, K. E., "Tutorial: Passive radar tutorial," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 34, No. 2, 2019.
- [6] Skolnik, M. I., *Radar Handbook*, The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [7] RTL-SDR.COM, "RTL-SDR BLOG V.3. DONGLES USER GUIDE," [Website], URL: <https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-blog-v-3-dongles-user-guide/>, 2022, [zitiert 08.09.2022]
- [8] Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG, "Hörfunk- und Fernsehfrequenzen - Steiermark," [Website], URL: <https://www.ors.at/de/gateways/antenne/frequenzlisten/>, 2022, [zitiert 08.09.2022].
- [9] Feng, W., Cherniakov, G., Friedt, J. M., and Sato, M., *Software defined radio implementation of passive RADAR using low-cost DVB-T receivers*, *International Union of Radio Science (URSI)*, 2017.
- [10] Vierinen, J., "\$16 dual-channel coherent digital receiver," [Website], URL: <http://kaira.sgo.fi/2013/09/16-dual-channel-coherent-digital.html>, 2013, [zitiert 08.09.2022].
- [11] The Math Works, "RTL-SDR Support from Communications Toolbox," [Website], URL: <https://de.mathworks.com/hardware-support/rtl-sdr.html>, 2022, [zitiert 08.09.2022].
- [12] Krysik, P., "Multi-channel receiver with use of RTL-SDR dongles," [Website], URL: <https://github.com/ptrkrysik/multi-rtl>, 2017, [zitiert 08.09.2022].
- [13] Friedt, J.-M., "Passive radar measurements using synchronized RTL-SDR DVB-T receivers," [Website], URL: [https://github.com/jmfriedt/passive\\_radar](https://github.com/jmfriedt/passive_radar), 2021, [zitiert 08.09.2022].
- [14] C. R. Berger, B. Demissie, J. Heckenbach, P. Willett and S. Zhou, "Signal Processing for Passive Radar Using OFDM Waveforms," in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 4, no. 1, pp. 226-238, Feb. 2010, doi: 10.1109/JSTSP.2009.2038977.
- [15] D. W. O'Hagan, M. Setsubi and S. Paine, "Signal reconstruction of DVB-T2 signals in passive radar," 2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18), 2018, pp. 1111-1116, doi: 10.1109/RADAR.2018.8378717.
- [16] H. Kuschel, J. Heckenbach and M. Ummenhofer, "Passive radar collision warning system PARASOL," in *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 32, no. 2, pp. 40-52, February 2017, doi: 10.1109/MAES.2017.150267.
- [17] Google LLC, "Google Maps," [Website], URL: <https://www.google.at/maps/>, 2022, [zitiert 08.09.2022].