

IOSB

*visIT*

[ KI für Autonome Systeme und Assistenzanwendungen ]

Fraunhofer

[www.iosb.fraunhofer.de](http://www.iosb.fraunhofer.de)

ISSN 1616-8240



Fraunhofer

IOSB

# Impressum

Fraunhofer  
IOSB

visIT erscheint etwa vier Mal pro Jahr und informiert über ausgewählte Forschungsthemen des Fraunhofer IOSB. Für die Bestellung von Einzelheften, ein kostenloses visIT-Abo sowie für Adressänderungen und Abbestellungen schicken Sie bitte eine E-Mail an [publikationen@iosb.fraunhofer.de](mailto:publikationen@iosb.fraunhofer.de)

## Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

## Redaktion

Ulrich Pontes

## Layout

Christine Spalek

## Druck

Stork Druckerei GmbH  
76646 Bruchsal

## Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Fraunhoferstr. 1  
76131 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6091-300  
Fax +49 721 6091-413  
[presse@iosb.fraunhofer.de](mailto:presse@iosb.fraunhofer.de)

© Fraunhofer IOSB  
Karlsruhe 2019

Ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft  
zur Förderung der angewandten  
Forschung e.V. München

20. Jahrgang  
ISSN 1616-8240

## Bildquellen

Seite 3, 4, 5, 12 Personenfotos  
indigo Werbefotografie  
Manfred Zentsch

Alle anderen Abbildungen:  
© Fraunhofer IOSB

Nachdruck, auch auszugsweise,  
nur mit vollständiger Quellenangabe und  
nach Rücksprache mit der Redaktion.

Belegexemplare werden erbeten.

# INHALT

## Essay

Seite 4 **ROBDEKON – Kompetenzzentrum und Forschungsstruktur**  
Janko Petereit

## Themen

Seite 6 **Autonome Systeme zur Altlastensanierung**  
Janko Petereit

Seite 8 **KI-basierte Assistenzsysteme für die Aufklärung  
und Überwachung**  
Jennifer Sander, Igor Tchouchenkov

Seite 10 **KI-basierte Assistenzsysteme zur dynamischen  
Netzüberwachung**  
André Kummerow

Seite 12 **KI für videogestützte öffentliche Sicherheit**  
Markus Müller

Seite 14 **Erkennung von Unterwasser-Dockingstationen  
durch Deep Learning**  
Divas Karimanzira

Liebe Freunde des Fraunhofer IOSB,

Künstliche Intelligenz (KI) ist derzeit in aller Munde. Dabei sind die praktischen Anwendungen weitaus vielfältiger, als es die mediale Berichterstattung, beispielsweise zu den Themen autonomes Fahren, Fake-Videos oder dem Google-Programm AlphaGo vermuten lässt.

In den letzten Jahren hat KI jedenfalls einen deutlichen Entwicklungsschub erfahren. Ein großer Erfolg des Fraunhofer IOSB ist in diesem Zusammenhang das vom BMBF geförderte Kompetenzzentrum ROBDEKON. Schwerpunkt ist hier die Erforschung und Entwicklung von Autonomiefähigkeiten automatisierter Baumaschinen für Dekontaminationsaufgaben.

Auch wenn es darum geht, Muster in großen Datenmengen (Big Data) zu erkennen, kann KI nutzstiftend eingesetzt werden. Diese Mustererkennung kann z. B. dabei helfen, Fehler oder Anomalien in Stromnetzen frühzeitig zu erkennen oder das automatische Andocken eines autonomen Unterwasserfahrzeugs (AUV) an eine Dockingstation im Meer zu ermöglichen. Mustererkennung mittels KI hilft auch bei der öffentlichen Sicherheit, indem etwa tätliche Übergriffe automatisch erkannt werden können.

KI kann in vielen Fällen unterstützend eingesetzt werden, bspw. bei der Entscheidungsfindung. Wesentlich ist dabei, sich zugleich selbstbewusst als auch kritisch mit den Ergebnissen von KI auseinanderzusetzen, denn letztlich bleibt es dem Menschen als Entscheider vorbehalten, den Ergebnissen der Maschine zu folgen.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre!

Fraunhofer IOSB, im Juni 2019

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Thomas Rauschenbach

Dr. Elisabeth Peinsipp-Byma

## Editorial



Prof. Dr.-Ing. habil.  
Jürgen Beyerer  
Institutleiter



Prof. Dr.-Ing. habil.  
Thomas Rauschenbach  
Fraunhofer IOSB Ilmenau



Dr. Elisabeth Peinsipp-Byma



## ROBDEKON

Robotersysteme für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen



Dr.-Ing. Janko Petereit

Mess-, Regelungs- und Diagnosesysteme (MRD)  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-578  
janko.petereit@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/MRD

# ROBDEKON – KOMPETENZ-ZENTRUM UND FORSCHUNGS-STRUKTUR

ROBDEKON steht für »Robotersysteme für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen« und ist ein nationales Kompetenzzentrum, welches der Erforschung von autonomen und teilautonomen Robotersystemen gewidmet ist. Diese Systeme sollen künftig eigenständig Dekontaminationsarbeiten ausführen, damit Menschen der Gefahrenzone fernbleiben können.

Seit Mitte Juni 2018 wird ROBDEKON vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms »Forschung für die Zivile Sicherheit« mit insgesamt zwölf Millionen Euro gefördert.

ROBDEKON wird vom Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB koordiniert. Hierzu wurde am Fraunhofer IOSB ein Koordinationsbüro eingerichtet, das die Aktivitäten der Partner abstimmt. Als Forschungsinstitutionen sind neben dem Fraunhofer IOSB auch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und das FZI Forschungszentrum Informatik beteiligt. Industriepartner im Konsortium sind die Götting KG, die Kraftanlagen Heidelberg GmbH, die ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH und die KHG Kerntechnische Hilfsdienst GmbH.

## GEFÄHRDUNG VON MENSCHEN

Eine Kontamination mit radioaktiven oder chemischen Gefahrstoffen kann schwerwiegende Folgen für Mensch und Umwelt haben. Deswegen ist beim Rückbau von Kernkraftwerken und bei der Sanierung von Altlasten eine gründliche und zügige Dekontamination von großer Wichtigkeit. Personen, die diese Arbeiten übernehmen müssen, werden derzeit hohen gesundheitlichen Belastungen ausgesetzt. Durch den Einsatz von Robotersystemen können Menschen geschützt und Gefährdungen weitgehend vermieden werden.

## ZIELE VON ROBDEKON

Das Kompetenzzentrum ROBDEKON soll als nationale Anlaufstelle für Fragen rund um Robotersysteme für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen etabliert werden. Es hat den Aufbau eines Experten- und Anwendernetzwerks zum Ziel und schafft für die Partner aus Wissenschaft und Industrie ein Innovationsumfeld für neue Technologien zur Dekontamination mittels Robotern. Damit entsteht eine Forschungsstruktur mit bundesweiter Bedeutung.

Zunächst konzentriert sich das Kompetenzzentrum auf drei relevante Bereiche: die Sanierung von Deponien und Altlasten, den Rückbau kerntechnischer Anlagen sowie die Dekontamination von Anlagenteilen.

Durch die frühzeitige Einbeziehung von Anwendern wird sichergestellt, dass zeit-

nah praxistaugliche Systeme entwickelt werden, die Menschen entlasten und vor Gefährdungen schützen.

Forschungsthemen in ROBDEKON sind u. a. mobile Roboter für unwegsames Gelände, autonome Baumaschinen, und multisensorielle 3D-Umgebungskartierung. Zudem versetzen Methoden der künstlichen Intelligenz die Roboter in die Lage, zugewiesene Aufgaben autonom oder teil-autonom auszuführen.

#### AUS- UND WEITERBILDUNGSANGEBOTE

Neben der Entwicklung neuer Dekontaminationstechnologien hat sich das ROBDEKON-Konsortium ein hohes Engagement im Bereich der beruflichen Weiterbildung und universitären Lehre zum Ziel gesetzt.

Ergänzend hierzu führt das Kompetenzzentrum jährlich eine Partizipationsveranstaltung durch, in deren Rahmen externe Interessenten (z. B. Forschungsgruppen, Anwender, Experten) sich einbringen und die Arbeiten, Ergebnisse und Angebote des Kompetenzzentrums kennen lernen können. Die jährlichen Veranstaltungen haben unterschiedliche thematische Schwerpunkte und werden im Wechsel an den Standorten der Partner durchgeführt. Der Inhalt einer Partizipationsveranstaltung gliedert sich in drei Komponenten: Präsentation der wissenschaftlichen Arbeiten und Forschungsergebnisse des Kompetenzzentrums, Fachbeiträge durch externe Experten und praktische Demonstrations-



Abb. 1: Neue ROBDEKON-Laborhalle des Fraunhofer IOSB.

workshops in den jeweiligen Partnerlaboren mit Technologiewettbewerben. Durch den Wettbewerbscharakter innerhalb der Anwendungsworkshops soll ein Vergleich verschiedener Methoden und Robotersysteme aus der Forschung ermöglicht werden, wodurch eine intensivierete Problemdiskussion über die Grenzen des Kompetenzzentrums hinaus gewährleistet werden soll. Hier sind alle Interessierten eingeladen, ihre Technologien mit denen des Kompetenzzentrums zu verbinden.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# AUTONOME SYSTEME ZUR ALTLASTENSANIERUNG



Abb. 1: Automatisierter Bagger IOSB.BoB beim Bergen eines Fasses.



Dr.-Ing. Janko Petereit

Mess-, Regelungs- und Diagnose-  
systeme (MRD)  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-578  
janko.petereit@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/MRD

Innerhalb des BMBF-geförderten Kompetenzzentrums ROBDEKON steht am Fraunhofer IOSB neben der Gesamtkoordination des Kompetenzzentrums vor allem auch die wissenschaftliche Arbeit im Vordergrund. Hierbei werden in erster Linie Anwendungen rund um die Altlastensanierung von Industrieliegenschaften betrachtet, also z. B. das Abtragen kontaminierter Erdschichten.

Das wissenschaftliche Hauptziel der Arbeiten am Fraunhofer IOSB ist die Erforschung von Autonomiefähigkeiten für automatisierte Baumaschinen im Kontext der Dekontamination von Altlasten. Hierfür werden schwere Baumaschinen als mobiles Robotersystem samt Manipulator aufgefasst, welches befähigt werden muss, (teil-)autonom zu

agieren und eine Nutzfunktion auszuführen. Als Grundlage dienen Methoden aus der mobilen Robotik, die in diesem Projekt geeignet erweitert und angepasst werden.

### AUTONOMIEFUNKTIONEN

Wichtige Forschungsthemen am Fraunhofer IOSB im Rahmen von ROBDEKON sind Algorithmen für den Einsatz mobiler Roboter in unwegsamem Gelände wie z. B. Planungsalgorithmen und multisensorielle 3D-Umgebungskartierung sowie Dekontaminationskonzepte für Altlasten. Methoden der künstlichen Intelligenz versetzen die Roboter in die Lage, zugewiesene Aufgaben autonom oder teilautonom auszuführen.

Die erarbeiteten Autonomiefunktionen, zu denen bspw. 3D-Umgebungserfassung, Lokalisierung und Bahnplanung zählen, lassen sich je nach Anwendung für den vollautonomen Betrieb des Robotersystems oder für Assistenzfunktionen zur Bedienerunterstützung an einem Leitstand einsetzen. Insbesondere bei der Sanierung von Altlasten ist die teilautonome Fortbewegung in unstrukturiertem Gelände sowie die sich anschließende teilautonome Manipulation ein spannendes Forschungsfeld, für das das Institut aufgrund seiner Erfahrung in der mobilen Robotik hervorragend gerüstet ist.

#### TECHNOLOGIEDEMONSTRATOR

Eines der Ziele von ROBDEKON ist die Entwicklung von praxisnahen Technologiedemonstratoren, wobei am Fraunhofer IOSB das Abtragen kontaminierter Erdschichten im Vordergrund steht. Für diesen Zweck wird eine schwere Baumaschine mit Autonomiefunktionen ertüchtigt: Geeignete Sensorik erlaubt zum einen eine robuste Regelung und zum anderen eine präzise Erfassung des Umfelds – beides notwendige Voraussetzungen für erfolgreiches autonomes Arbeiten.

Das entwickelte Sensorkonzept für den Greifer beinhaltet die Erfassung seiner Drehung und Öffnung und wurde bereits prototypisch umgesetzt. Der Greifer ermöglicht eine Endlosrotation, was Auswirkungen sowohl auf den geeigneten Sensortyp als auch auf die Datenübertragung hat. Für die Erfassung der Drehung wurde ein Multi-Turn-Absolutencoder gewählt, da dieser auch Mehrfachdrehungen absolut erfassen kann. Für die Erfassung der Greiferöffnung wurde auf einen Seilzugsensor zurückgegriffen, welcher den Hub der antreibenden

Hydraulikzylinder misst. Da das Drehgelenk der Greifer eine Endlosrotation erlaubt, jedoch keine elektrische Drehdurchführung hat, wurde für die Datenübertragung eine batteriebetriebene Funklösung mit integriertem Mikrocontroller und WLAN-Modul entwickelt und umgesetzt.

Darüber hinaus wurde für die simultane Kartierung und Lokalisierung ein fortschrittliches Sensorfusionskonzept entwickelt und umgesetzt, welches Sensordaten beliebiger Modalität asynchron und in Echtzeit verarbeiten kann. Dadurch können alle Sensordaten unmittelbar verwendet werden, sobald sie am Fusionsknoten verfügbar sind. Dies gelingt ohne aufwändige Hardwarezeitsynchronisation der Sensor-komponenten. So wird die zur Verfügung stehende Information vollständig ausgenutzt und probabilistisch korrekt interpretiert. Im Ergebnis resultiert daraus eine genauere und robustere Eigenbewegungsschätzung und Lokalisierung.

#### NEUE FAHRZEUGHALLE FÜR ROBDEKON

Um eine optimale Laborinfrastruktur für hardwarenahe Arbeiten an mobilen Robotersystemen im Rahmen von ROBDEKON zur Verfügung zu stellen, hat das Fraunhofer IOSB für diesen Zweck eine neue Laborhalle errichtet, welche im Rahmen der offiziellen ROBDEKON-Eröffnungsfeier offiziell ihrer Bestimmung zugeführt wurde. Diese ROBDEKON-Halle erlaubt es dem Institut, seine Aktivitäten im Bereich der mobilen Plattformen für menschenfeindliche Umgebungen zu bündeln, und bietet ein ideales Entwicklungsumfeld für den gemeinsamen Aufbau partnerübergreifender Technologiedemonstratoren.



ROBDEKON wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms »Forschung für die Zivile Sicherheit« gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Themen



Dipl.-Math. Jennifer Sander

Interoperabilität und Assistenzsysteme (IAS)  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-546  
jennifer.sander@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/IAS



Dr.-Ing. Igor Tchouchenkov

Interoperabilität und Assistenzsysteme (IAS)  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-552  
igor.tchouchenkov@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/IAS

# KI-BASIERTE ASSISTENZSYSTEME FÜR DIE AUFKLÄRUNG UND ÜBERWACHUNG

Entscheidungsträger in der Aufklärung und Überwachung benötigen einen hohen Grad an Situationsbewusstsein, um zeitgerechte, ausreichend fundierte und situationsangepasste Entscheidungen zu treffen und angemessene Handlungen ableiten zu können. Hochwertige und rechtzeitig verfügbare Informationen bilden eine wichtige Grundlage dafür. Moderne Aufklärung und Überwachung basieren heutzutage oftmals auf großen Mengen heterogener Informationen, für deren rechtzeitige Gewinnung, Analyse, Verifizierung, Fusion und bedarfsgerechte Verteilung adäquate technische und organisatorische Lösungen erforderlich sind. Für die Informationsgewinnung werden vermehrt heterogene, auch unbemannte Plattformen eingesetzt, die unterschiedliche Fähigkeiten besitzen (z. B. bzgl. Reichweite, Abstandsfähigkeit, vorhandener Sensorik). KI-basierte Assistenzsysteme bieten zusätzliches Potential im Hinblick auf die Steigerung von Effizienz und Effektivität ihres Einsatzes sowie im Hinblick auf die bestmögliche Ausnutzung der verfügbaren Informationen.

Als Teil eines durch die Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnik und Elektronik geförderten Forschungsvorhabens wurden vom Fraunhofer IOSB Methoden für die aufgabengerechte Auswahl von ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) Ressourcen und die Optimierung ihrer Zuordnung zu Aufklärungs- und Überwachungszielen erarbeitet [1]. Diese Methoden stellen die Basis für das in Abbildung 1 dargestellte Assistenzsystem ISR-Manager App(lication) dar. Dabei wird ein zweistufiger Ansatz für die ressourcen-

optimierende Sensoreinsatzplanung umgesetzt. Zuerst erfolgt eine interaktive Vorauswahl und Eignungsprüfung der verfügbaren ISR-Ressourcen für die jeweiligen Aufklärungs- und Überwachungsziele (Abb. 1, links). Stufe 2 umfasst die automatische Zuordnung der ISR-Ressourcen zu den Zielen und die zeitliche Einplanung der Informationsgewinnung (Abb. 1, rechts).

Gewonnene Informationen müssen i. d. R. schon während der Mission ausgewertet, verifiziert und für Entscheider aufbereitet werden. Um Gruppen autonomer Systeme effizient und effektiv einzusetzen, müssen ihre Missionen nicht nur sorgfältig geplant, sondern auch situationsabhängig durchgeführt werden (z. B. Anpassung an sich während der Missionsdurchführung dynamisch verändernde Szenarien). Komplexe Aufgabestellungen werden dabei durch hierarchische Dekomposition und flexible Kombination von KI-Funktionen auch mit begrenztem Personal beherrschbar. Der Mensch und höhere KI-Ebenen formulieren abstraktere Ziele und Aufgaben, die von unteren Ebenen automatisch konkretisiert, geplant und ausgeführt werden [2]. Die beauftragenden Ebenen können den Ablauf überwachen und bei Bedarf korrigieren. Bei den am Fraunhofer IOSB entwickelten Verfahren zur Missionsplanung und -steuerung von heterogenen Gruppen mobiler Systeme kommen unterschiedliche KI-Systeme zum Einsatz: Agententechnologien leisten Unterstützung bei der Simulation und Implementierung interagierender autonomer Systeme; genetische Algorithmen unterstützen die Missionsplanung; die verhaltensbasierte Steuerung einzelner Systeme und ihrer

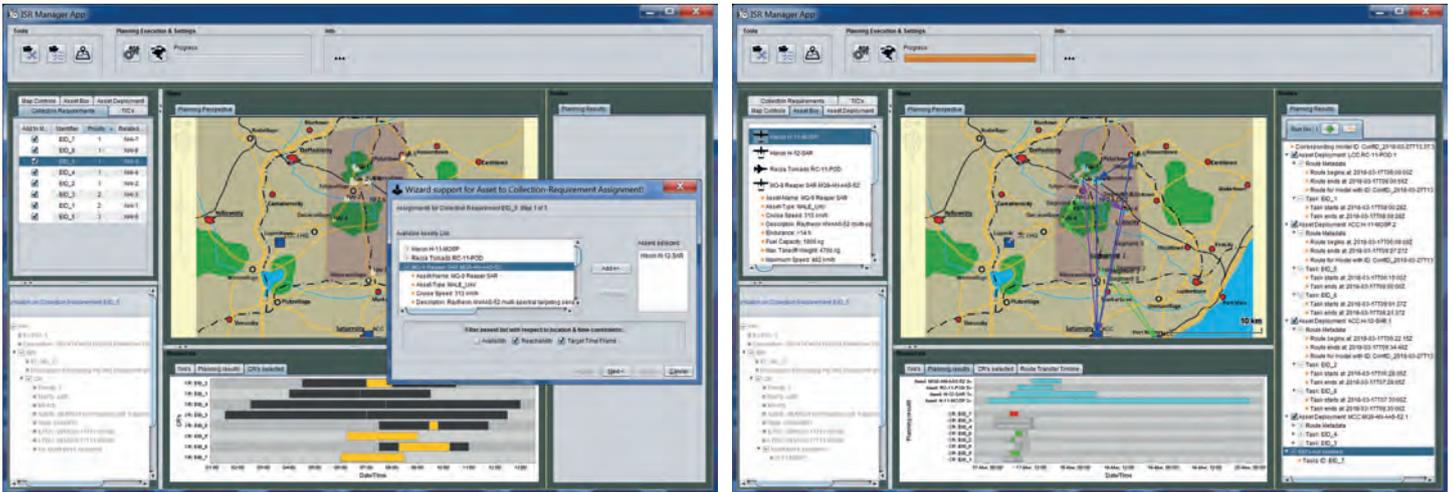


Abb. 1: Assistenzsystem ISR-Manager App(lication).

Gruppen gewährleistet die situationsabhängige Adaption in dynamischen Szenarien.

Weitere KI-basierte Systeme können die durch die Plattformen gewonnenen (sensoriellen) Informationen durch Abgleich mit anderen, auch nichtsensoriellen Informationsquellen verifizieren und weiter anreichern sowie darüber hinaus gehende Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen

ableiten [3] (Abb. 2). Eine besondere wissenschaftliche Herausforderung stellt gerade auch hier die durchdachte Kombination von Verfahren des maschinellen Lernens mit anderen Forschungsgebieten der KI (z. B. wissensbasierte Ansätze) dar.

**AUSBLICK**

Aufklärung und Überwachung werden zunehmend weiter von der Unterstützung

durch KI profitieren. Die endgültige Bewertung von Informationen sowie wichtige Entscheidungen werden dabei jedoch den Menschen überlassen bleiben. Transparenz und Erklärbarkeit von KI sind deshalb wesentliche Grundvoraussetzungen für die Eignung KI-basierter Unterstützungskomponenten und stellen wichtige Forschungsthemen dar, welche am Fraunhofer IOSB adressiert werden.

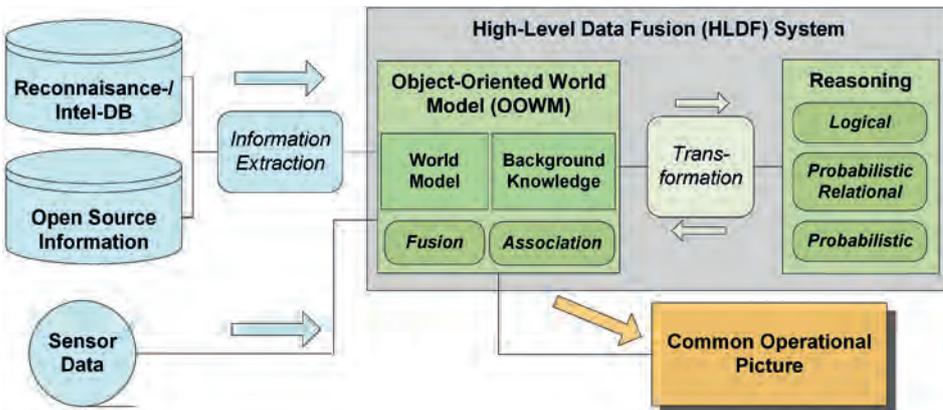


Abb. 2: Beispiel für eine Komponente zur Integration von sensoruellen und nicht-sensoruellen Informationen in eine gemeinsame Wissensbasis, zum Schlussfolgern und zur Generierung höherwertiger Informationen.

**Literatur:**

[1] Sander, J; Rodenbeck, R.; Reinert, F.; Müller, W.; Berude, K.: »Sensor Operation Deployment with Multiple Routes per Asset«, In: 21st International Conference on Information Fusion (FUSION), 2018, DOI: 10.23919/ICIF.2018.8455861

[2] Segor, F.; Tchouchenkov, I.; Buller, A.; Kollmann, M.; Müller, W.: »Controlling swarm complexity: a management by objective approach«. In: Proceedings SPIE Vol. 11015, Open Architecture / Open Business Model Net-Centric Systems and Defense Transformation 2018, 110150R, 2019, DOI: 10.1117/12.2518608

[3] Kuwertz, A.; Mühlenberg, D.; Sander, J.; Müller, W.: »Applying Knowledge-Based Reasoning for Information Fusion in Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance«. In: Lee S., Ko H., Oh S. (Eds.), »Multisensor Fusion and Integration in the Wake of Big Data, Deep Learning and Cyber Physical System. MFI 2017«, Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 501, S. 119-139, Springer, 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-90509-9\_7

## KI-BASIERTE ASSISTENZSYSTEME ZUR DYNAMISCHEN NETZÜBERWACHUNG

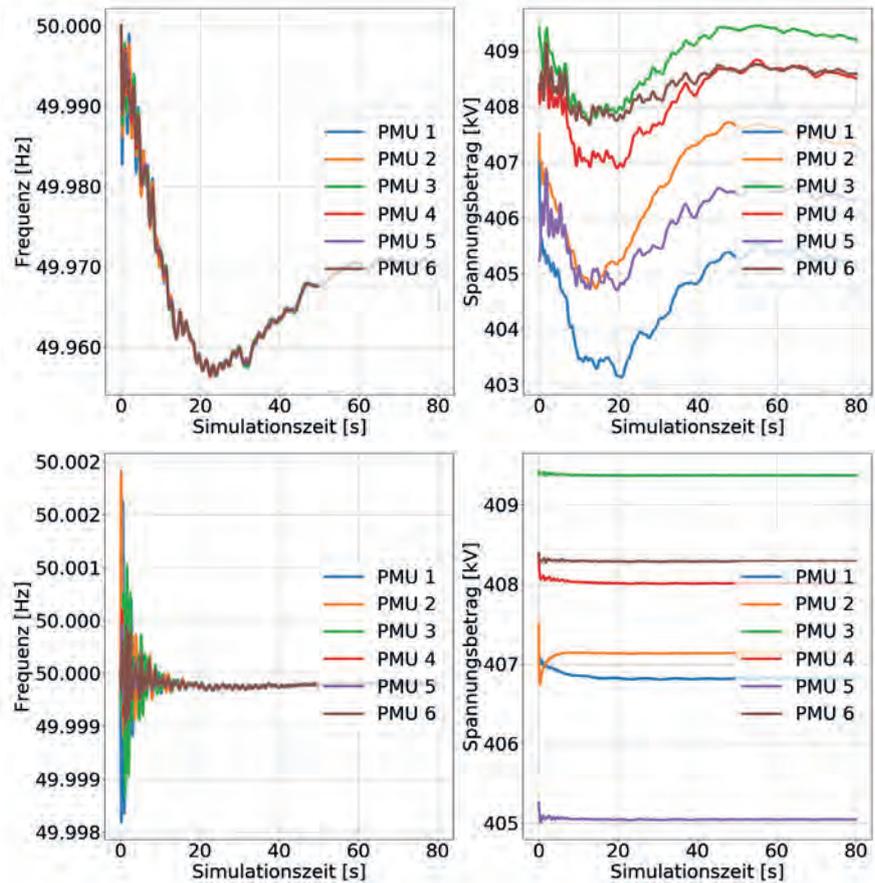


Abb. 1: Simulierte Frequenz- und Spannungsverläufe für sechs verschiedene PMUs am Beispiel eines Generatorsausfalls (oben) sowie Leitungsausfalls (unten).



André Kummerow M.Sc.

Energie (NRG)  
Fraunhofer IOSB Ilmenau

Telefon +49 3677 461-107  
andre.kummerov@iosb-ast.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/AST

Photovoltaik- und Windkraftanlagen sprießen im Zuge der Energiewende aus dem Boden und stellen Netzbetreiber vor neue Anforderungen. Solche Anlagen werden als dezentral fluktuierende Einspeiser bezeichnet und führen einerseits zu einer zunehmenden Netzbelastung vor allem im dynamischen Zeitbereich und sind andererseits anfälliger gegenüber Versorgungsausfällen oder Instabilitäten als bspw. Kohle- oder Atomkraftwerke. Eine Echtzeitbewertung des Netzzustands wird erforderlich, zur automatischen und schnellen Erkennung kritischer Betriebssituationen auf Basis hochdynamischer Messungen. Dadurch kann auf plötzlich eintretende Betriebsstörungen unmittelbar reagiert und passende Gegenmaßnahmen zur Aufrechterhaltung eines

stabilen und sicheren Netzbetriebs eingeleitet werden. Die Phasormesstechnik (engl.: phasor measurement unit, PMU) ermöglicht die präzise Beobachtung und Erfassung hochdynamischer Netzphänomene und wird bereits seit einigen Jahren erfolgreich im Bereich der Übertragungsnetze eingesetzt (vorrangig USA, Indien). Dabei werden auf Basis einer hochfrequenten Abtastung (z. B. 50 Hz) komplexe Strom- und Spannungszeiger ermittelt und mittels GPS-Signal zeit-synchronisiert. Die gleichzeitige Auswertung mehrerer, im Netz verteilter PMUs ermöglicht die Weitbereichsüberwachung in Übertragungs- oder Verteilnetzen. Abbildung 1 zeigt hierzu exemplarische Simulationsergebnisse für einen Generator- und Leitungsausfall aufgezeichnet von sechs verschiedenen PMUs.

Algorithmus / Methode	Merkmalsbildung	Klassifikator
<b>DTW-kNN:</b> Dynamic Time Warping k-Nearest-Neighbor	Distanzmatrix auf Basis dynamischer Zeitnormierung	k-Nächste-Nachbarn Verfahren
<b>GAK-SVM:</b> Global Alignment Kernel Support Vector Machine	Kernel-Matrix auf Basis Global Alignment Kernel	Support-Vektor-Maschine
<b>LTS:</b> Learning Time Series Shapelets	Distanzmatrix auf Basis von Shapelets	Logistische Regression
<b>LSTM:</b> Long Short-Term Memories	LSTM-Zellen / -Netzwerk	Softmax-Funktion
<b>BoF-RF:</b> Bag-of-Features Random Forest	lokale und globale Zeit-Frequenz-Analyse	Entscheidungsbäume

Tabelle 1: Übersicht untersuchter Klassifikatoren zur Fehleridentifikation und -lokalisierung.

Die aus Phasormessungen gesammelten Informationen können je nach Einsatzgebiet sehr hohe Datenvolumen (mehrere GB am Tag) verursachen und sind über manuelle Auswertungsroutinen kaum beherrschbar. Mittels künstlicher Intelligenz (KI) lassen sich diese Datenmengen effizient verarbeiten und automatisiert auswerten. Hierzu werden die Messsignale im Zeit- und Frequenzbereich analysiert: Unter Verwendung statistischer Kenngrößen und Verfahren zur Zeit-Frequenz-Transformation können charakteristische Muster erkannt und extrahiert werden. Auf Basis dieser identifizierten Muster können bestimmte Ereignisse im Netz (z. B. Leitungsausfälle, Kurzschlüsse) erkannt und dem Netzbetreiber als Information zur Verfügung gestellt werden. Dies betrifft die Erkennung von Unregelmäßigkeiten bzw. Anomalien sowie die Identifikation und Lokalisierung von Betriebsstörungen (z. B. Generator- und Leitungsausfälle). Hierzu werden im Vorfeld umfangreiche, dynamische Netzsimulationen für bestimmte Ausfallszenarien (engl.: contingencies) durchgeführt. Die daraus extrahierten Trainingsdaten werden

zum Anlernen des KI-Verfahrens verwendet, welches in der anschließenden Anwendungsphase auf Basis der Phasormessungen die Identifikation des Fehlertyps, die Lokalisierung des Fehlers im Netz und die Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit automatisiert und in Echtzeit vornimmt. Hierzu wurden am Fraunhofer IOSB-AST verschiedene Klassifikationsverfahren entwickelt und in mehreren Parameterstudien untersucht. Neben künstlichen neuronalen Netzen kamen hierbei auch weitere maschinelle Lernverfahren wie Support-Vektor-Maschinen oder Entscheidungsbäume zum Einsatz. Eine entsprechende Übersicht zeigt Tabelle 1.

Zur Bewertung der Klassifikatoren wurden verschiedene Tests auf Basis einer 10-fachen Kreuzvalidierung durchgeführt und die Klassifikationsgenauigkeit sowie die benötigte Berechnungszeit für eine Prädiktion ermittelt (Abb. 3).

Zur weiteren Erhöhung der Effizienz bei der Datenverarbeitung könnten hierzu z. B.

mehrere Netzbeobachter dezentral im Netz verteilt werden. Auch der Einsatz Digitaler Zwillinge in elektrischen Netzen wird aktuell untersucht und bietet erhebliches Entwicklungspotenzial für neuartige KI-basierte Assistenzsysteme.

Förderprojekt:

DGCC DynaGridControlCenter  
(Kennzeichen: 03ET7541D)

aus der Forschungsinitiative »Zukunftsfähige Stromnetze« des BMWi sowie BMBF.

#### Literatur:

Brosinsky, Ch.; Kummerow, A.; Naumann, A.; Kronig, A.; Balischewski, S.; Westermann, D. (2017): A new development platform for the next generation of power system control center functionalities for hybrid AC-HVDC transmission systems. In: 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 16-20 July 2017. 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). Chicago, IL. Power & Energy Society; Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Power & Energy Society; IEEE Power & Energy Society General Meeting; IEEE PES General Meeting; PESGM; PES-GM. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1-5

Kummerow, A.; Nicolai, S.; Bretschneider, P.: Ensemble approach for automated extraction of critical events from mixed historical PMU data sets. In: 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). Portland, OR, USA, S. 1-5

Kummerow, A.; Nicolai, S.; Bretschneider, P. (2018): Outlier Detection Methods for Uncovering of Critical Events in Historical Phasor Measurement Records. In: E3S Web Conf. 64 (1), S. 8006. DOI: 10.1051/e3sconf/20186408006

Kummerow, A.; Nicolai, S.; Bretschneider, P.: Spatial and temporal PMU data compression for efficient data archiving in modern control centres. In: 2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON). Limassol, Cyprus, S. 1-6

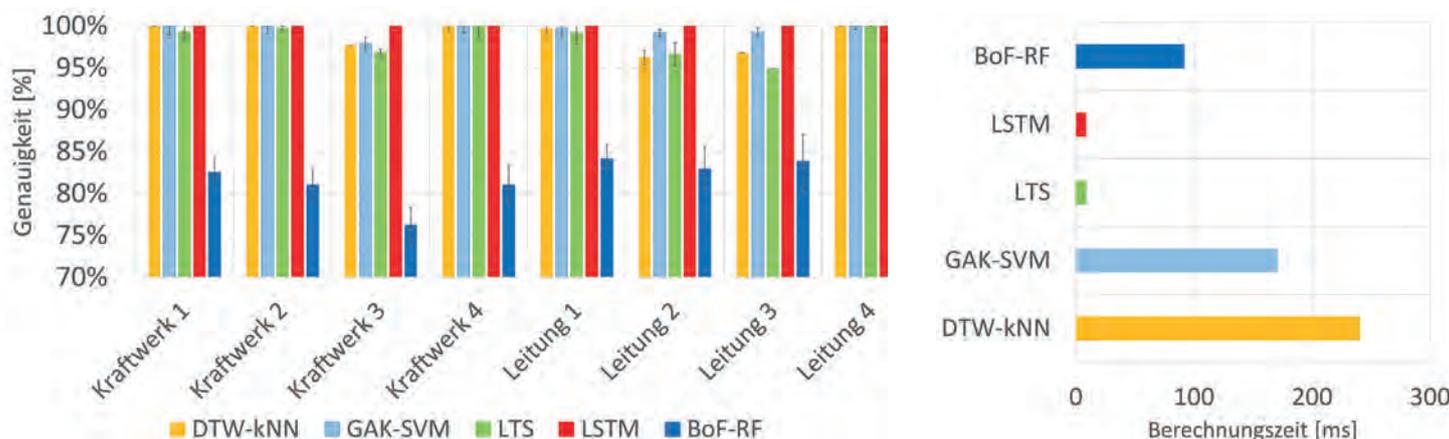


Abb. 3: Klassifikationsgenauigkeiten (links) und Ausführzeiten (rechts).

## KI FÜR VIDEOGESTÜTZTE ÖFFENTLICHE SICHERHEIT

Künstliche Neuronale Netze (KNN) kommen häufig bei nichtlinearen Aufgabenstellungen zu Einsatz, also immer dann, wenn der Mensch durch sein Verhalten – im Guten wie im Schlechten – einwirkt. Sie zeichnen sich durch Lernfähigkeit und Fehlertoleranz aus, können mit Unschärfen und schwer Vorhersagbarem umgehen und ermöglichen eine stark parallelisierbare Verarbeitung.

Im Zeitalter der digitalen Transformation, der weltweiten Vernetzung sowie der Globalisierung werden nach wie vor jeden Tag »analoge« Straftaten »lokal« begangen. Hier sind moderne Technologien notwendig, um folgende Ziele zu erreichen:

- Den Schutz des Bürgers vor Straftaten und
- gleichzeitig den Schutz seiner Persönlichkeitsrechte zu verbessern.

Durch das Erreichen dieser Zielsetzungen erhält man ein passendes Vertrauen in die Arbeit der Strafverfolgungsbehörden sowie der legislativen Entscheidungsinstanz der Politik.

### ZIELE NUR DURCH »INTELLIGENTE BILD- UND VIDEOAUSWERTEVERFAHREN« ERREICHBAR

Im präventiven Bereich zeigen wir durch das Kooperationsprojekt mit der Stadt Mannheim, dem dortigen Polizeipräsidium sowie dem Innenministerium von Baden-Württemberg auf, wie eine solche Umsetzung möglich ist [1]. Die erste Zielsetzung

des Projekts besteht in der automatisierten Erfassung von tätlichen Übergriffen (Treten, Schlagen, Würgen). Dazu müssen die Videoströme aller angeschlossenen Kameras live entsprechend ausgewertet werden, um dann im Bedarfsfall einen Videobeobachter auf einen erkannten Vorfall hinzuweisen. Diese Person ist der Entscheidungsträger, der darüber befindet, ob der Vorfall als relevant oder irrelevant einzustufen ist und der entscheidet, was im Einzelfall zu tun ist (z. B. eine Streife dirigieren). Das System agiert lediglich als Assistenz. Ferner benötigt die Aufgabenstellung bzw. die Umsetzung keinen Identifikationsschritt. Gesichtsidentifikationsverfahren wie beim Experiment am Bahnhof Südkreuz / Berlin sind nicht vorgesehen. Sobald eine entsprechende Leistungsfähigkeit des Systems erreicht ist, könnte man die visualisierten Videoströme komplett verpixeln und die Klarsicht nur für relevante Situationen freischalten. Dieser Ansatz kommt dem Datenschutz und dem Schutz der Persönlichkeitsrechte der Bürger sehr entgegen. So wundert es nicht, dass sich laut einer Umfrage der »Forschungsgruppe Wahlen« 85 Prozent der Mannheimer für diese Form der Videoüberwachung aussprachen [2].

Zum technischen Vorgehen: Zentral ist vorliegend die Frage, wie eine lokale Bildstruktur nicht nur als »Person« erkannt wird, sondern auch, welche »Pose« diese »Person« einnimmt. Diesbezügliche Arbeiten star-



Dr.-Ing. Markus Müller

Videoauswertesysteme (VID)  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-250  
markus.mueller@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/VID



teten am Fraunhofer IOSB schon vor ca. 10 Jahren (vgl. z. B. [3]). Die Fragen der Personendetektion und der Posenschätzung werden unter Anwendung von KNN in einem Schritt beantwortet.

Um eine erfasste Person bzw. deren Pose zur Kontrolle zu visualisieren, wird in die Szene an entsprechender Stelle ein digitales Skelett (»Strichfigur«) projiziert. Durch diese Skelettierung kann man die Pose mit ca. 30 Parametern beschreiben. Im weiteren Verlauf soll die Pose bzw. die Posenabfolge bei aufeinanderfolgenden Bildern gemäß Aufgabenstellung klassifiziert werden: entweder als »don't care« oder als »relevant«. Der zweite Fall deutet auf Posen oder Posenabfolgen hin, die typischerweise beim Schlagen oder Treten zu beobachten sind. Ein entsprechender Hinweis (sowie die ggf. noch durchzuführende Klarsichtschaltung bei ansonsten verpixeltem Bild) kann also innerhalb kürzester Zeit (Sekunden oder Bruchteile davon) für den Videobeobachter generiert werden.

Die Strafverfolgungsbehörden erhoffen sich durch diese Hinweise wesentlich frühere Interventionszeiten. Tatsächlich wird durch den Systemansatz zwar nicht der erste Schlag, also die Körperverletzung verhindert, ggf. jedoch der weitere, eskalierende Verlauf. Das System ermöglicht es Polizisten in Situationen einzugreifen, bevor eine schwere Körperverletzung oder ein

versuchter oder gar vollzogener Totschlag stattfindet. In diesem Sinne wirkt es auf eine Weise präventiv, wie es konventionelle Videoüberwachungssysteme nicht leisten können.

Das Erfassungsszenario bezieht sich natürlich nicht nur auf eine Kamera. Hat der Video-beobachter eine Situation als »relevant« verifiziert und entsprechende Maßnahmen eingeleitet, beginnt eine Phase der Intervention und damit der Repression. Im repressiven Fall sind weitergehende Möglichkeiten, auch digitaler Art, möglich. So sollen die an einem tätlichen Übergriff Beteiligten technisch »verfolgt« werden. Das kann speziell dann eingesetzt werden, wenn der Übergriffige sich vom Ort des Geschehens entfernt und damit auch den Erfassungsbereich der Kamera verlässt. Diese digitale »Verfolgung« (Tracking) der Zielperson benötigt wiederum eigene Auswerteverfahren. Insbesondere ist die Person beim Eintritt in den Erfassungsbereich einer anderen Kamera wiederzuerkennen. Diese Wiedererkennung basiert auf soft-biometrischen Merkmalen (hier: Erscheinungsbild). Entsprechende Arbeiten werden im Hause intensiv verfolgt, damit man die Zielpersonen auch aus unterschiedlichen Ansichtswinkeln, idealerweise auch von hinten, mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit wiedererkennt [4].

#### Literatur:

- [1] Pietsch, K. und Müller, M.: »Projekt „Videoüberwachung Mannheim 2017“«, pvt – Polizei, Verkehr + Technik, Heft 2, 2019
- [2] Kaiser, O.: »Das System ist keine moralische Instanz«, Rhein-Neckar-Zeitung, 17.05.2019
- [3] Müller, J.; Arens, M.: »Human pose estimation with implicit shape models«, ARTEMIS '10 Proceedings of the first ACM international workshop on Analysis and retrieval of tracked events and motion in imagery streams, pp. 9-14, 2010
- [4] Schumann, A.; Stiefelhagen, R.: »Person Re-Identification by Deep Learning Attribute-Complementary Information«, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017

## ERKENNUNG VON UNTERWASSER-DOCKINGSTATIONEN DURCH DEEP LEARNING

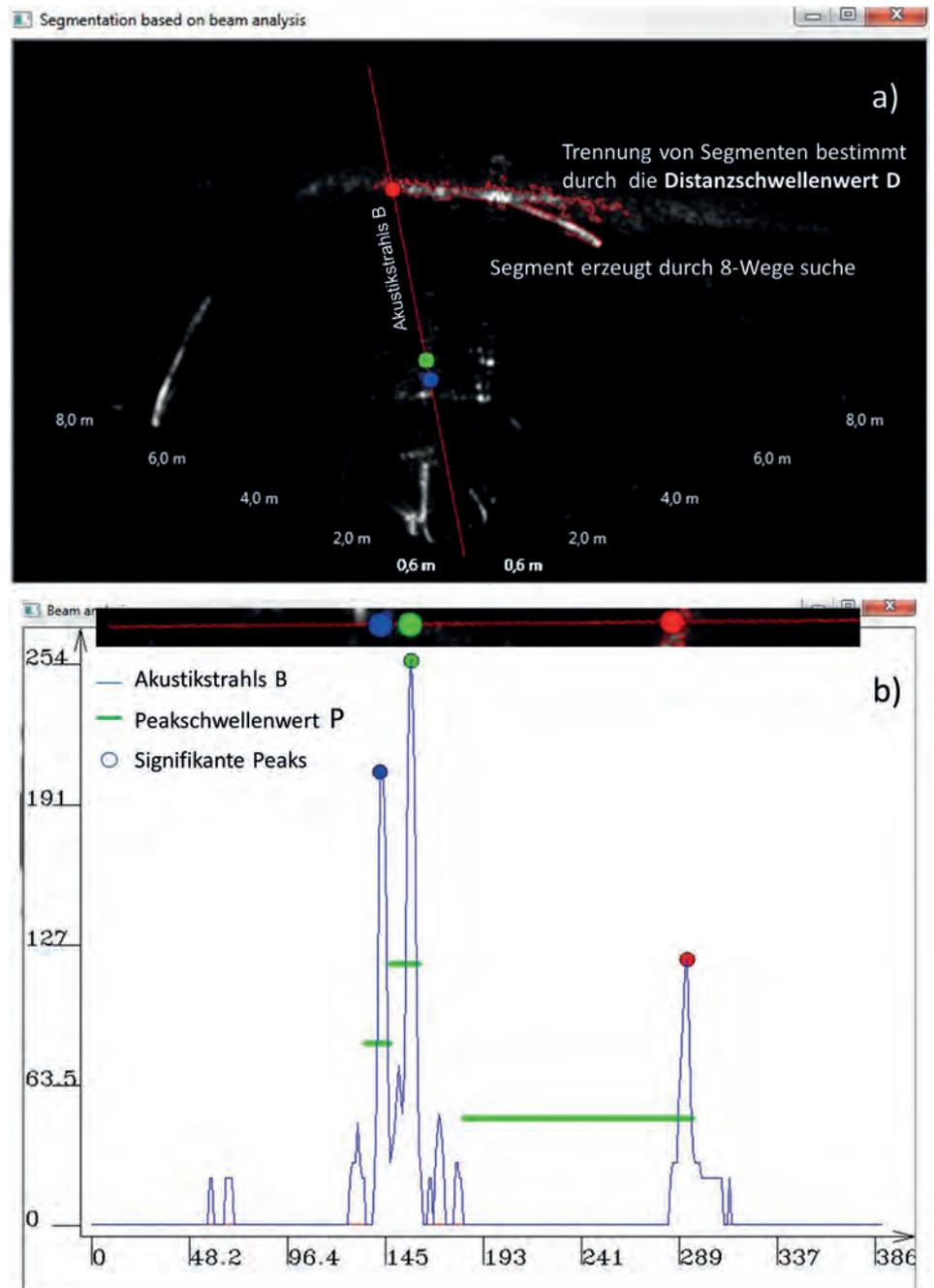


Abb. 1: a) Automatische Bildsegmentierung basiert auf b) der Analyse eines Sonarstrahls.



Dr.-Ing. Divas Karimanzira

Wasser und mobile Systeme (WMS)  
Fraunhofer IOSB Ilmenau

Telefon +49 3677 461-175  
divas.karimanzira@iosb-ast.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de/AST

Ausgedehnte Unterwassereinsätze mit autonomer Batterieladung und Datenübertragung, z. B. für die Inspektion von Tiefseekabeln, erfordern ein autonomes Unterwasserfahrzeug (AUV) mit automatischer Andockfähigkeit. Voraussetzung für das automatische Andocken ist die Erkennung

und Lokalisierung der Andockstation. Hierfür werden i. d. R. Sonarbilder verwendet. Die Objekterkennung und Lokalisierung durch Sonarbildern (FLS, forward looking sonar) ist aber aufgrund von akustischen Bildproblemen wie inhomogener Auflösung, ungleichmäßiger Intensität, Rauschen und akustischer

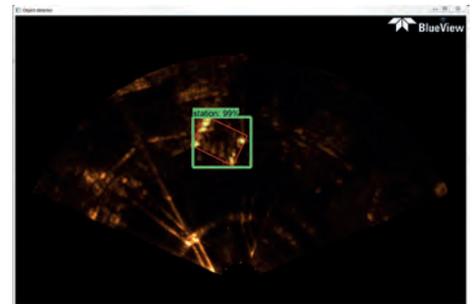
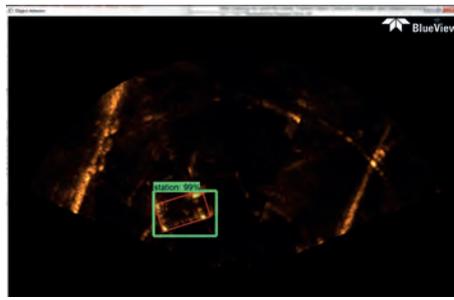


Abb. 2: Beispiele für Objektdetektion und Lokalisierung.

Schattierung sehr schwierig. Zusätzlich sind die Daten oft nur Querschnitte der Objekte.

### ANALYSE DER EIGENSCHAFTEN VON FLS-DATEN IM RAHMEN DER OBJEKTERKENNUNG

Ein FLS kann auch bei niedrigen oder Null-Sichtverhältnissen die Abbildung von Unterwasserumgebungen ermöglichen. Seine Dateninterpretation und -analyse ist jedoch nach wie vor eine Herausforderung, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Die Bestimmung der Schwellenparameter P und D für eine robuste Objektdiskriminierung ist sehr schwierig bis zu unmöglich. Werden die Parameter zu groß gewählt, können Pixel getrennt werden, die zu einem einzigen Objekt gehören; wählt man sie zu klein, werden mehrere Objekte zu einem verbunden und eine Objektdiskriminierung ist nicht mehr gegeben. Dadurch sind auch traditionelle Methoden basierend auf der Pipeline (Daten → Merkmalbildung → Lernalgorithmus → Output) für diese Problemstellung nicht robust genug und nicht ohne weiteres anwendbar.

### EINBLICK IN DEEP LEARNING (DeepL) ALGORITHMEN FÜR DIE OBJEKTERKENNUNG

Deep Learning (DeepL) Ansätze für die Objekterkennung in Sonarbildern stehen in ihrer Entwicklung noch ganz am Anfang, vor allem aufgrund der Knappheit der Daten, die in der Trainingsphase benötigt werden. Im Gegensatz zu den reichlich und öffentlich verfügbaren optischen Bildern, sind Unterwasserbilder oft nur preisintensiv zu beschaffen oder müssen zeitaufwendig selbst erstellt werden.

DeepL-Algorithmen sind sowohl für optische als auch für Sonardaten geeignet, weil sie

lernen, ein Bild in einen Feature-Vektor umzuwandeln. Das bedeutet, dass sie Bilder anhand von Merkmalen erkennen können – ähnlich der menschlichen Wahrnehmung. Es gibt mehrere Ansätze zur Objekterkennung, z. B. das Faster RCNN und Single Shot Multibox Detector (SSD). Oft werden DeepL Algorithmen traditionell verwendet, indem die **Merkmalbildung** durch ein Convolutional Neural Network (CNN) erfolgt. Dies hat den Nachteil, dass die Merkmale von einem Domänenexperten identifiziert werden müssen. Damit die Lernalgorithmen funktionieren, muss ein Mensch die Komplexität der Daten reduzieren und Muster sichtbar machen. Deep-Algorithmen versuchen automatisch, »High-Level-Features« aus Daten inkrementell zu lernen. Wir nutzen DeepL in einer »End-to-End«-Manier (Daten → Lernalgorithmus → Output), um die Einschränkungen des traditionellen Ansatzes zu überwinden – Voraussetzung dafür sind allerdings große Datenmengen.

### METHODIK UND ERGEBNISSE

Unser erster Versuch mit der Objekterkennung in Sonarbildern eines FLS am Fraunhofer IOSB-AST zeigte vielversprechende Ergebnisse. Wir haben dafür die TensorFlow-Objekterkennungs-API verwendet. Hierbei handelt es sich um ein auf TensorFlow basierendes Open-Source-Framework, das das Erstellen, Trainieren und Bereitstellen von Objekterkennungsmodellen vereinfacht und eine Sammlung von Erkennungsmodellen verfügbar macht, die auf verschiedenen Datensätzen vorgelehrt wurden. Eines der vielen Erkennungsmodelle ist die Kombination aus SSDs und MobileNets-Architekturen, die schnell und effizient sind und keine großen Rechenleistungen erfordern, um die Objekterkennungsaufgabe auszuführen.

Modelle von Grund auf neu zu trainieren ist ein sehr rechenintensiver Prozess, der Tage oder sogar Wochen in Anspruch nehmen kann. Dafür wurde am Fraunhofer IOSB-AST das »Transfer learning« durchgeführt und vorgefertigte und vortrainierte Modelle verwendet. Daten wurden über ein bestücktes Unterwasserfahrzeug per FLS erfasst, indem das Fahrzeug von verschiedenen Startpositionen zur Dockingstation fuhr. Danach wurden 200 repräsentative Frames ausgewählt, markiert und für die Anpassung der vortrainierten Modelle verwendet. Der Rest der Frames diente zur Validierung.

Nach dem Training haben wir den neu trainierten Objektdetektor verwendet und exemplarisch die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse erzielt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Andockstation in der mit einem grünen Rechteck markierten Region mit 99 Prozent Wahrscheinlichkeit erkannt wurde. Die Weiterverarbeitung gibt die exakte Position der Andockstation und die 2D-Ausrichtung an, die durch das rote Dreieck gekennzeichnet ist.

Um das Problem der geringen Datenbasis anzugehen, wurde folgende Vorgehensweise präferiert: **Daten → Stilübertragung → Bildmanipulation → Output**. Ein Sonarframe erfährt zufällig Stilübertragung und Bildmanipulation (Rotation, Translation, Verzerrung und Skalierung) – auf diese Weise kann künstlich aus den vorhandenen Daten ein Vielfaches der Datenmenge generiert werden.

Das Projekt wird im Rahmen des Forschungsauftrages von Kraken Robotics Inc. durchgeführt. Der Prototyp des Objektdetektors wird voraussichtlich Ende 2019 in der Praxis getestet.

## Karlsruhe

Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Fraunhoferstraße 1  
76131 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6091-0  
Fax +49 721 6091-413  
info@iosb.fraunhofer.de  
www.iosb.fraunhofer.de

## Ettlingen

Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Gutleuthausstraße 1  
76275 Ettlingen  
Telefon +49 7243 992-0  
Fax +49 7243 992-299  
www.iosb.fraunhofer.de

## Ilmenau

Fraunhofer IOSB, Institutsteil für  
angewandte Systemtechnik AST  
Am Vogelherd 50  
98693 Ilmenau  
Telefon +49 3677 4610  
Fax +49 3677 461-100  
info@iosb-ast.fraunhofer.de  
www.iosb-ast.fraunhofer.de

## Görlitz

Fraunhofer IOSB, Institutsteil für  
angewandte Systemtechnik AST  
Außenstelle Görlitz,  
Abteilung Energie  
Brückenstraße 1  
02826 Görlitz  
Telefon +49 3581 7925354  
joerg.laessig@iosb-ast.fraunhofer.de

## Lemgo

Fraunhofer IOSB, Institutsteil  
für industrielle Automation INA  
Campusallee 6  
32657 Lemgo  
Telefon +49 5261 94290-22  
Fax +49 5261 94290-90  
juergen.jasperneite@iosb-ina.fraunhofer.de  
www.iosb-ina.fraunhofer.de

## Beijing

Representative for Production and  
Information Technologies  
Unit 0610, Landmark Tower II  
8 North Dongsanhuan Road  
Chaoyang District  
100004 Beijing, PR China  
Telefon +86 10 6590 0621  
Fax +86 10 6590 0619  
muh@fraunhofer.com.cn

