

Frank Fuchs-Kittowski ·  
Andreas Abecker · Friedhelm Hosenfeld ·  
Heidrun Ortlob · Michael Klafft *Hrsg.*

# Umweltinformationssysteme – Vielfalt, Offenheit, Komplexität

Tagungsband des 29. Workshops  
“Umweltinformationssysteme  
(UIS 2022)“ des Arbeitskreises  
„Umweltinformationssysteme“ der  
Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“  
der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)



Springer Vieweg

---

## Umweltinformationssysteme – Vielfalt, Offenheit, Komplexität

---

Frank Fuchs-Kittowski · Andreas Abecker ·  
Friedhelm Hosenfeld · Heidrun Ortleb ·  
Michael Klafft  
(Hrsg.)

# Umweltinformations- systeme – Vielfalt, Offenheit, Komplexität

Tagungsband des 29. Workshops  
“Umweltinformationssysteme (UIS 2022)“  
des Arbeitskreises „Umweltinformations-  
systeme“ der Fachgruppe „Informatik  
im Umweltschutz“ der Gesellschaft für  
Informatik e.V. (GI)

*Hrsg.*

Frank Fuchs-Kittowski  
Umweltinformatik, HTW Berlin  
Berlin, Deutschland

Friedhelm Hosenfeld  
DigSyLand  
Husby, Deutschland

Michael Klafft  
Management Information Technologie, Jade  
Hochschule  
Wilhelmshaven, Deutschland

Andreas Abecker  
Disy Informationssysteme GmbH  
Karlsruhe, Deutschland

Heidrun Ortleb  
Angewandte Informatik, Jade Hochschule  
Wilhelmshaven, Deutschland

ISBN 978-3-658-39795-1      ISBN 978-3-658-39796-8 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-39796-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Daniel Fröhlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Vorwort

Dieses Buch präsentiert die wichtigsten Forschungsergebnisse der 29. Ausgabe der seit langem etablierten, interdisziplinären Konferenzreihe über Umweltinformationssysteme (UIS 2022) des Arbeitskreises Umweltinformationssysteme der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI).

Die Konferenz wurde vom Arbeitskreis Umweltinformationssysteme der Gesellschaft für Informatik vom 11. bis 13. Mai 2022 an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven durchgeführt und stand unter dem Motto „Vielfalt – Offenheit - Komplexität“. Sie wurde vom Arbeitskreis Umweltinformationssysteme der Gesellschaft für Informatik in Zusammenarbeit mit der Jade Hochschule Wilhelmshaven organisiert. Die Organisation lag in den Händen von Friedhelm Hosenfeld (DigSyLand), Dr. Andreas Abecker (Disy Informationssysteme GmbH), Anja Reineke (Umweltbundesamt) und Prof. Dr. Frank Fuchs-Kittowski (HTW Berlin) seitens des Arbeitskreises Umweltinformationssysteme sowie Prof. Dr. Heidrun Ortlob und Prof. Dr. Michael Klafft seitens der Gastgeberin Jade Hochschule Wilhelmshaven.

Ziel der Konferenzreihe „Umweltinformationssysteme (UIS)“ ist es, den neuesten Stand der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Umweltinformatik (UI) und umweltbezogener IT-Anwendungsbereiche vorzustellen und zu diskutieren. Dies umfasst sowohl Konzepte und Anwendungen von Umweltinformationssystemen als auch Technologien, die moderne Umweltinformationssysteme unterstützen und ermöglichen. Der offene Erfahrungsaustausch zwischen Fachleuten aus öffentlicher Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft steht dabei traditionsgemäß im Fokus der jährlich stattfindenden Konferenz.

Die Tagung richtet sich zum einen an UIS-Anwender:innen (z.B. aus Behörden) und Fachexpert:innen aus dem Umweltbereich (z.B. aus Geoökologie, Hydrologie, Biologie, Geographie etc.), zum anderen an UIS-Entwickler:innen (z.B. aus Unternehmen) und zudem an UIS-Wissenschaftler:innen (z.B. aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen). Der Workshop soll UIS-Entwicklern:innen ermöglichen, Lösungen vorzustellen und deren Nutzbarkeit mit Fachanwender:innen kritisch zu diskutieren. Er soll helfen, Erfahrungen und Anforderungen von UIS-Anwender:innen frühzeitig an Entwickler:innen zu kommunizieren, um neue Bedürfnisse zu identifizieren. Zudem

sollen neuartige Ideen und Ansätze aus der Forschung Perspektiven und Chancen für innovative UIS eröffnen.

Die zum „Aufruf zum Einreichen von Beiträgen“ eingereichten Beitragsvorschläge für die UIS2022 wurden einem intensiven Review durch das Programmkomitee unterzogen. Zu jedem Beitragsvorschlag wurden mehrere Gutachten erstellt. Als Ergebnis dieses Reviews wurden 23 Beiträge zum Vortrag auf der Tagung angenommen. Danach erfolgte ein weiteres Review der überarbeiteten Langfassungen durch das Programmkomitee mit mehreren Gutachten pro Beitrag, in dessen Ergebnis 13 Beiträge zur Veröffentlichung in diesem Konferenzband angenommen wurden.

Die in diesem Tagungsband enthaltenen Beiträge bilden eine breite Vielfalt an Themen und aktuellen wissenschaftlichen Diskussionen zum Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) im Umweltbereich ab. Die Beiträge wurden in vier Blöcken strukturiert:

- KI und Maschinelles Lernen im Umweltbereich
- Innovative Umweltdatenbereitstellung und -visualisierung
- Modellierung mariner Systeme
- Moderne Anwendungen für Behörden und zur Entscheidungsunterstützung

Der erste Block „**KI und Maschinelles Lernen im Umweltbereich**“ zeigt, wie im Umweltbereich innovative Methoden der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens eingesetzt werden können. Der erste Beitrag in diesem Block stellt ein Konzept vor, in dem Maschinelle Lernverfahren zur Verarbeitung (z.B. zur Interpolation) von Satellitendaten eingesetzt werden, um diese Daten zur Überwachung der Meere sowie zum Aufbau eines digitalen Zwillings, der die Meere realistisch digital abbildet, nutzen zu können. Im zweiten Beitrag wird ein auf KI-Methoden basiertes Verfahren vorgestellt, das aus an bestimmten Beobachtungspunkten aufgenommenen Bildern des Wattbodens die Bereiche mit Seegras extrahiert und aus diesen die Bedeckung berechnet. Der dritte Beitrag stellt die Ergebnisse einer Analyse des Einflusses des Wetters auf die Fahrgeschwindigkeiten von Lastkraftwagen und Fernbussen mittels KI-basierter Methoden vor, um damit Navigationssysteme und Frühwarnsysteme zu verbessern. Der letzte Beitrag in diesem Block präsentiert ein mehrstufiges Verfahren (Prozessmodell), in dem Geodaten mit Algorithmen der Künstlichen Intelligenz verarbeitet werden, um damit 3D-Objekte effizient und automatisiert zu identifizieren und zu generieren.

Der zweite Block „**Innovative Umweltdatenbereitstellung und -visualisierung**“ wird von einem Beitrag eröffnet, der eine mobile Anwendung mit Erweiterter Realität (Augmented Reality) zur dreidimensionalen Visualisierung geplanter Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen präsentiert, sodass bereits in der Planungsphase solche Anlagen realitätsnah vor Ort visualisiert und potenzielle Auswirkungen auf das Landschaftsbild

diskutiert werden können. Danach folgt ein Beitrag, der sich mit der Bereitstellung der Datengrundlagen für ein Modell zur Berechnung der potenziellen Treibhausgaseinsparungen durch den Einsatz von Holz als Baumaterial beschäftigt, sodass die geplanten Berechnungen effizient und deutschlandweit durchgeführt werden können. Der letzte Beitrag in diesem Block beschreibt, wie die neue Generation von OGC-Standards (insb. OGC API Features und OGC SensorThings API) genutzt werden kann, um Luftqualitätsdaten und zugehörige Stationsinformationen leichtwichtig und entwicklerfreundlich bereitzustellen.

Ein besonderer Schwerpunkt der UIS-Tagung lag in diesem Jahr aufgrund des Veranstaltungsorts Wilhelmshaven auf der „**Modellierung mariner Systeme**“. Die Beiträge im dritten Block befassen sich mit diesem Thema. Der erste Beitrag in diesem Block stellt ein Konzept vor zur Erstellung eines Umweltzustandsbildes (als Teil eines Küstenzustandsbildes), um marine Ökosysteme und Einflüsse des Küstenschutzes auf diese zu beschreiben. Auch der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der Zustandsbewertung mariner Ökosysteme, wobei mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzes Habitate des Bäumchenröhrenwurms detektiert werden. Der letzte Beitrag in diesem Block stellt die Ergebnisse der Anforderungsanalyse an ein System zur Überwachung und Zustands erfassung mariner Umgebungen vor, das auf Basis von KI-Methoden in Echtzeit anhand unterschiedlicher Umweltparameter Ereignisse frühzeitig detektieren und passende Aktionen auslösen soll.

Im vierten Block „**Moderne Anwendungen für Behörden und zur Entscheidungsunterstützung**“ werden UIS-Anwendungen in der öffentlichen Verwaltung und als Angebot der öffentlichen Verwaltung präsentiert. Der Block beginnt mit einem Beitrag, der die Konzeption eines räumlichen Entscheidungshilfesystems für Niedrigwasser und Trockenheit (NiTro) vorstellt, das Akteure aus unterschiedlichen Sektoren durch aktuelle und einheitliche Informationen über Gewässer und ihre Einzugsgebiete unterstützen soll. Der zweite Beitrag in diesem Block stellt eine Web-Anwendung zum zentralen Management von Maßnahmendaten für die Europäische Wasserrahmenrichtlinie vor, die allen zuständigen Akteurinnen und Akteuren im Freistaat Sachsen einen Zugang zur interaktiven Bearbeitung und Auswertung des gemeinsamen Datenbestandes bietet. Der letzte Beitrag in diesem Block schließt auch den Tagungsband ab. In diesem Beitrag werden drei zusammenhängende Projekte vorgestellt, deren Ziel es ist, Methoden und Prototypen zu entwickeln, mit denen die Umweltinformationen des Landes Baden-Württemberg umfassend, interaktiv und in einer modernen, innovativen Form der Öffentlichkeit, der Fachöffentlichkeit und der Verwaltung präsentiert und zur Verfügung gestellt werden sollen.

Ergänzend zum vorliegenden Tagungsband stehen Vortragspräsentationen und -videos von der Tagung zum Download auf der Homepage des Arbeitskreises <https://www.ak-uis.de/> zur Verfügung. Dort finden sich unter anderem auch Links auf die Tagungsbände der Konferenzen vorangegangener Jahre.

Die Herausgebenden danken allen Beitragenden zur Konferenz und zu diesem Konferenzband. Ein besonderer Dank geht auch an die Mitglieder des Programm- und Organisationskomitees. Insbesondere danken wir der Jade Hochschule für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Tagung. Nicht zuletzt ein herzliches Dankeschön an unsere Sponsoren, die die Veranstaltung unterstützt haben.

Mai 2022

(die Herausgebenden)

Frank Fuchs-Kittowski

Andreas Abecker

Friedhelm Hosenfeld

Heidrun Ortleb

Michael Klafft

---

# Organisation

## **Tagungsleitung und Organisationskomitee**

Dr. Andreas Abecker, Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe

Prof. Dr. Frank Fuchs-Kittowski, HTW Berlin

Friedhelm Hosenfeld, DigSyLand, Husby

Prof. Dr. Michael Klafft, Jade Hochschule, Wilhelmshaven

Prof. Dr. Heidrun Ortlob, Jade Hochschule, Wilhelmshaven

Anja Reineke, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

## **Mitglieder des Programmkomitees**

Dr. Andreas Abecker, Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe

Dr. Matthias Bluhm, con terra GmbH, Münster

Dr. Julian Bruns, Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe

Ulrike Freitag, Condat AG, Berlin

Prof. Dr. Frank Fuchs-Kittowski, HTW Berlin

Friedhelm Hosenfeld, DigSyLand, Husby

Prof. Dr. Michael Klafft, Jade Hochschule, Wilhelmshaven

Prof. Dr. Gerlinde Knetsch, HTW Berlin

Prof. Dr. Heidrun Ortlob, Jade Hochschule, Wilhelmshaven

Anja Reineke, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Prof. Dr. Dietmar Wikarski, TH Brandenburg a.d. Havel

---

# Inhaltsverzeichnis

## KI und Maschinelles Lernen im Umweltbereich

<b>Maschinelle Lernverfahren zur Verarbeitung von Satellitendaten als Grundlage eines digitalen Zwillings der Nordsee . . . . .</b>	<b>3</b>
André Klüner, Christoph Manss, Janina Schneider und Oliver Zielinski	
<b>Entwicklung von KI-Methoden zur Berechnung der Bedeckung des Meeresbodens mit Seegras . . . . .</b>	<b>15</b>
Friederike Nowak, Jörn Kohlus, Hannah Böhm, Marian Platzer und Ina Reis	
<b>KI-basierte Analyse des Einflusses von Wetter auf die Fahrgeschwindigkeiten von Fernbussen und Lastkraftwagen . . . . .</b>	<b>31</b>
David Plavcan, Eridy Lukau, Michael Klafft und Moritz Piening	
<b>KI-basierte 3D-Objektidentifikation in Geodaten . . . . .</b>	<b>49</b>
Nicol Mencke, Andreas Pape, Tobias Pietz, Sravani Dhara, Falk Sichert und Tino Winkelbauer	

## Innovative Umweltdatenbereitstellung und -visualisierung

<b>Mobile Anwendung zur Visualisierung von geplanten Freiflächen-PV-Anlagen mit mobiler Erweiterter Realität . . . . .</b>	<b>67</b>
Simon Burkard, Frank Fuchs-Kittowski, Maximilian Deharde und Marius Poppel	
<b>Ermittlung und Überprüfung der Datengrundlage für das Modell zur Einsparung von Treibhausgasen durch stoffliche Holznutzung im Bauwesen im Holzbau-GIS für die Stadt Menden . . . . .</b>	<b>87</b>
Philip Menz, Christian Jolk, Caya Zernicke, Annette Hafner und Andreas Abecker	
<b>Nutzung von OGC API Features und OGC SensorThings API zur INSPIRE-konformen Bereitstellung von Umweltdaten . . . . .</b>	<b>101</b>
Simon Jirka, Antje Kügeler und Marco Hohmann	

**Modellierung mariner Systeme**

<b>Umweltzustandsbilder auf der Basis modularer Küstenbeobachtungen . . . . .</b>	115
Claudia Thölen und Oliver Zielinski	
<b>Prädiktive Modellierung des Bäumchenröhrenwurms im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer auf Basis von einem Faltungsnetz und Seitensichtsonar-Mosaiken . . . . .</b>	131
Gavin Breyer, Ulrike Schückel, Pedro Martínez Arbizu, Klaus Ricklefs und Roland Pesch	
<b>Anforderungsanalyse für ein System zur automatisierten Ereignisdetektion in marinen Umgebungen . . . . .</b>	149
Iring Paulenz, Daniel Lukats, Janina Schneider, Elmar Berghöfer, Frederic Theodor Stahl, Lars Nolle und Oliver Zielinski	
<b>Moderne Anwendungen für Behörden und zur Entscheidungsunterstützung</b>	
<b>Konzeption eines Entscheidungshilfesystems für Niedrigwasser und Trockenheit . . . . .</b>	169
Ruben Müller und Bernd Pfützner	
<b>Web-Anwendung zum Datenmanagement von WRRL-Maßnahmen in Sachsen . . . . .</b>	187
Friedhelm Hosenfeld, Roland Dimmer und Christoph Mattes	
<b>Umweltinformationen digital 4.0 . . . . .</b>	201
Lisa Hahn-Woernle, Wolfgang Schillinger, Thorsten Schlachter, Nicolas Doms, Mathias Trefzger, Thomas Schlegel, Andreas Wolf und Anja Preiß	

---

# Herausgeber- und Autorenverzeichnis

---

## Über die Herausgeber

**Prof. Dr. Ing. Frank Fuchs-Kittowski** studierte Informatik (TU Berlin) und ist Professor für Umweltinformatik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin sowie Bereichsleiter für Umweltinformationssysteme am Fraunhofer FOKUS. Den Schwerpunkt seiner Lehr- und Forschungstätigkeit bilden mobile Anwendungen sowie Wissens- und Kooperationssysteme im Umweltbereich und im Katastrophenschutz.

**Dr. Andreas Abecker** ist diplomierte (TU Kaiserslautern) und promovierter (Karlsruher Institut für Technologie) Informatiker, arbeitete in der angewandten Forschung am DFKI Kaiserslautern und am FZI Forschungszentrum Informatik Karlsruhe und leitet seit 2010 das Innovationsmanagement bei der Disy Informationssysteme GmbH.

**Friedhelm Hosenfeld** studierte Informatik (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) und ist Sprecher des Arbeitskreises „Umweltinformationssysteme“. Bei DigSyLand (Institut für Digitale Systemanalyse und Landschaftsdiagnose – Partnerschaft Hosenfeld & Rinker, Naturwissenschaftler) ist er als Mitinhaber und Geschäftsführer schwerpunktmäßig im Bereich Umweltinformatik tätig.

**Prof. Dr. Heidrun Ortlob** studierte Mathematik an der Technischen Universität Dresden, promovierte an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und ist Professorin (im Ruhestand) für angewandte Informatik an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven. Sie arbeitete viele Jahre in der Ökosystemforschung Niedersächsisches Wattenmeer.

**Prof. Dr. Michael Klafft** ist diplomierter Wirtschaftsingenieur (TU Darmstadt) und promovierter Wirtschaftsinformatiker (HU Berlin). Derzeit ist er Professor für Wirtschaftsinformatik und digitale Medien an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven. Sein aktueller Forschungsschwerpunkt ist die Risiko- und Krisenkommunikation mittels digitaler Medien.

## Autorenverzeichnis

**Dr. Andreas Abecker** Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe, Deutschland

**Prof. Dr. Pedro Martínez Arbizu** Senckenberg am Meer, Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, Wilhelmshaven, Deutschland

**Elmar Berghöfer** Marine Perception, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Oldenburg, Deutschland

**Gavin Breyer** Senckenberg am Meer, Abteilung Meeresforschung, Wilhelmshaven, Deutschland

**Simon Burkard** Umweltinformatik, HTW Berlin, Berlin, Deutschland

**Hannah Böhm** Dataport, Altenholz, Deutschland

**Maximilian Deharde** Umweltinformatik, HTW Berlin, Berlin, Deutschland

**Sravani Dhara** Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Deutschland

**Roland Dimmer** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Deutschland

**Nicolas Doms** Institut für Automation und angewandte Informatik, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland

**Prof. Dr. Ing. Frank Fuchs-Kittowski** Umweltinformatik, HTW Berlin, Berlin, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner** Ressourceneffizientes Bauen, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

**Dr. Lisa Hahn-Woernle** Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Kompetenzzentrum Umweltinformatik, Karlsruhe, Deutschland

**Marco Hohmann** Geodatenmanagement, Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland

**Friedhelm Hosenfeld** Institut für Digitale Systemanalyse & Landschaftsdiagnose (DigSyLand), Husby, Deutschland

**Dr. Simon Jirka** 52°North GmbH, Münster, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Christian Jolk** GIS und Digitalisierung, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Deutschland

**Prof. Dr. Michael Klafft** Jade Hochschule, Wilhelmshaven, Deutschland

**André Klüner** DFKI Marine Perception, Oldenburg, Deutschland

**Jörn Kohlus** Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Geschäftsbereich Nationalpark, Tönning, Deutschland

**Antje Kügeler** con terra GmbH, Münster, Deutschland

**Daniel Lukats** Marine Perception, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Oldenburg, Deutschland

**Eridy Lukau** Fraunhofer FOKUS, Berlin, Deutschland

**Christoph Manss** DFKI Marine Perception, Oldenburg, Deutschland

**Christoph Matthes** Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe, Deutschland

**Nicol Mencke** Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Deutschland

**Philip Menz** Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

**Dr. Ruben Müller** Büro für Angewandte Hydrologie GmbH, Berlin, Deutschland

**Prof. Dr. Lars Nolle** Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Jade Hochschule, Wilhelmshaven, Deutschland

**Dr. Friederike Nowak** Dataport, Altenholz, Deutschland

**Andreas Pape** Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Deutschland

**Iring Paulenz** Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Jade Hochschule, Wilhelmshaven, Deutschland

**Prof. Dr. Roland Pesch** Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Jade Hochschule Oldenburg, Oldenburg, Deutschland

**Dr. Bernd Pfützner** Büro für Angewandte Hydrologie GmbH, Berlin, Deutschland

**Moritz Piening** Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

**Tobias Pietz** Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

**Marian Platzer** Dataport, Altenholz, Deutschland

**David Plavcan** UBIMET GmbH, Wien, Österreich

**Marius Poppel** Umweltinformatik, HTW Berlin, Berlin, Deutschland

**Anja Preiß** Naturschutzzentrum Karlsruhe-Rappenwört, Karlsruhe, Deutschland

**Ina Reis** Dataport, Altenholz, Deutschland

**Dr. Klaus Ricklefs** Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Büsum, Deutschland

**Wolfgang Schillinger** Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Kompetenzzentrum Umweltinformatik, Karlsruhe, Deutschland

**Dr.-Ing. Thorsten Schlachter** Institut für Automation und angewandte Informatik, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegel** Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme, Hochschule Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland

**Janina Schneider** Marine Perception, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Oldenburg, Deutschland

**Dr. Ulrike Schückel** Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Tönning, Deutschland

**Falk Sichert** GEO-METRIK Ingenieurgesellschaft mbH Stendal, Stendal, Deutschland

**Dr. Frederic Theodor Stahl** Marine Perception, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Oldenburg, Deutschland

**Claudia Thölen** Zentrum für Marine Sensorik, Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Wilhelmshaven, Deutschland

**Mathias Trefzger** Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme, Hochschule Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland

**Tino Winkelbauer** GEO-METRIK Ingenieurgesellschaft mbH Stendal, Stendal, Deutschland

**Andreas Wolf** Naturschutzzentrum Karlsruhe-Rappenwört, Karlsruhe, Deutschland

**Caya Zernicke** Ressourceneffizientes Bauen, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

**Prof. Dr. Oliver Zielinski** Marine Perception, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Oldenburg, DeutschlandZentrum für Marine Sensorik, Universität Oldenburg, Wilhelmshaven, Deutschland

---

## KI und Maschinelles Lernen im Umweltbereich



---

# Maschinelle Lernverfahren zur Verarbeitung von Satellitendaten als Grundlage eines digitalen Zwillings der Nordsee

André Klüner, Christoph Manss, Janina Schneider und Oliver Zielinski

---

## Zusammenfassung

Satellitendaten können einen großen Beitrag zur Überwachung der Meere leisten. Jedoch bringen sie auch verschiedene Herausforderungen mit sich. Diese liegen unter anderem in der Validierung der Satellitendaten, der Interpolation der Daten und der Erweiterung in tiefere Meeresschichten. Diese Arbeit stellt ein Konzept vor, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Nach diesem Konzept wurden zuerst Satellitendaten in einem festen Raster abgebildet, um gleichbleibende Punkte und eine höhere Auflösung zu bekommen. Dafür wurden verschiedene Methoden zur Interpolation – Gaußsche Prozesse, k-nächste Nachbarn (kNN) und Lineare Regression – evaluiert. Die Gaußschen Prozesse erreichten die besten Ergebnisse. Für die Validierung der Satellitendaten wurde, da noch nicht genug In-situ-Daten zur Verfügung standen, ein hydrographisches Modell verwendet. Für die Validierung wird

---

A. Klüner (✉) · C. Manss · J. Schneider · O. Zielinski  
DFKI Marine Perception, Oldenburg, Deutschland  
E-Mail: [andre.kluener@dfki.de](mailto:andre.kluener@dfki.de)

C. Manss  
E-Mail: [christoph.manss@dfki.de](mailto:christoph.manss@dfki.de)

J. Schneider  
E-Mail: [janina.schneider@dfki.de](mailto:janina.schneider@dfki.de)

O. Zielinski  
E-Mail: [oliver.zielinski@uol.de](mailto:oliver.zielinski@uol.de)

J. Schneider · O. Zielinski  
ICBM, Zentrum für Marine Sensorik (ZfMarS), Wilhelmshaven, Deutschland

die Abweichung zwischen diesem hydrographischen Modell und den Satellitendaten berechnet. Die Verarbeitung der Satellitendaten ist ein erster Schritt, um diese Daten weiter zu nutzen, zum Beispiel im Kontext eines digitalen Zwilling der Nordsee. Ein solcher digitaler Zwilling soll Möglichkeiten zur Datenarchivierung, -visualisierung und Vorhersage bieten.

### Schlüsselwörter

Satellitendaten · Digitaler Zwilling · Machine Learning · Künstliche Intelligenz · Fernerkundung · Operationelle Beobachtungssysteme · Kriging · Gaußsche Prozesse

## 1 Einleitung

Essentielle Klimavariablen sind Parameter, die zur Charakterisierung unseres Erdklimas herangezogen werden können. Diese essenziellen Klimavariablen sind ebenfalls gut geeignet zur Zustandserfassung unserer Ozeane [3]. Der Salzgehalt an der Wasseroberfläche (Sea Surface Salinity – SSS) zum Beispiel ist eine solche essenzielle Klimavariablen [7]. Die Messung des Salzgehalts an der Wasseroberfläche ermöglicht Rückschlüsse auf Niederschlag, Verdunstung und Wasserzufluss durch Flüsse und schmelzende Gletscher [6]. Dies hilft mehr über den globalen Wasserkreislauf zu erfahren. Den Salzgehalt der Ozeane flächendeckend zu messen, stellt aufgrund ihrer räumlichen Dimension eine schwierige Aufgabe dar [2]. Erdbeobachtungssatelliten sind ein mächtiges Werkzeug für die flächendeckende Messung des Salzgehalts an der Oberfläche [23]. Jedoch haben die Satellitenmessungen einige Nachteile. Sie haben nur eine geringe Auflösung, es werden große Flächen zusammengefasst und es wird häufig nur die Oberfläche und nicht die tieferen Schichten der Ozeane gemessen [22]. Beispielsweise ist es notwendig den Salzgehalt in tieferen Wasserschichten zu messen, um den Ozean und seine Prozesse hinsichtlich des Klimawandels zu beobachten [6]. Es müssten daher In-situ-Messungen mit den Satellitendaten fusioniert werden, um die essenziellen Klimavariablen der Ozeane in geeigneter Weise zu überwachen.

In einem digitalen Zwilling könnten Satellitendaten und In-situ-Messungen in einem gemeinsamen Modell zusammenfließen und weiterverarbeitet werden. Der digitale Zwilling könnte den Ozean abbilden und könnte so eine Überwachung des Salzgehalts erlauben. Des Weiteren kann der digitale Zwilling mithilfe der historischen Daten Prognosen erstellen.

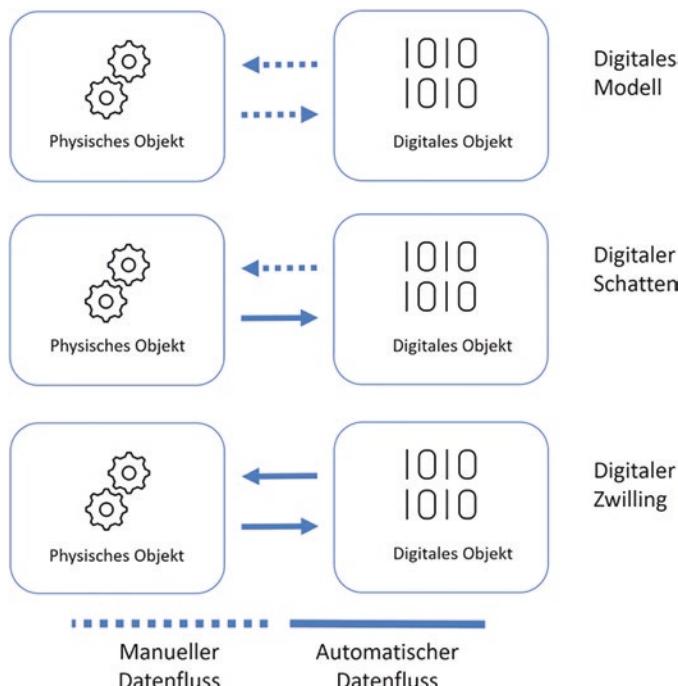
Diese Arbeit ist im Rahmen des Projekts NorthSat-X [20] entstanden und stellt ein Konzept vor, wie wir Satellitendaten von Erdbeobachtungssatelliten, wie SMOS [13] oder SMAP [16] für eine Kartierung des Salzgehalts verarbeitet haben und so eine Basis für die Fusion mit In-situ-Daten bildeten. Nach der Verarbeitung könnten die Daten genutzt werden, um einen Beitrag zu einem digitalen Zwilling der Nordsee zu leisten. Die Definition des Begriffs digitaler Zwilling ist der Einstieg in diese Arbeit.

## 2 Der digitale Zwilling

Das Ziel der in dieser Arbeit genauer beschriebenen Datenverarbeitung ist die Erstellung eines Modells, welches in einem digitalen Zwilling als Datengrundlage verwendet werden kann. Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation einer physischen Entität, die die Eigenschaften des physischen Vorbilds abbildet. Dementsprechend hat ein digitaler Zwilling immer ein Vorbild. Essenziell ist ein automatisierter Datenaustausch zwischen dem physischen und dem digitalen Objekt [17, 19].

Erstmals wurde das Konzept eines digitalen Zwillinges von Michael Greeves 2003 in einer Präsentation an der Universität Michigan unter dem Begriff *mirrored space model* im Produktionskontext vorgestellt [10]. Digitale Repräsentationen von physischen Objekten lassen sich in drei unterschiedliche Kategorien (Abb. 1) unterteilen, die sich über den Grad des automatisierten Datenaustauschs unterscheiden:

- ein digitales Modell,
- ein digitaler Schatten,
- ein digitaler Zwilling.



**Abb. 1** Verschiedene Kategorien von digitalen Abbildern nach [8, 11], die sich über eine Automatisierung des Datenaustauschs definieren:

---

Entsprechend dieser Definition erhält das digitale Modell manuell Daten und gibt ebenso Daten manuell an das physikalische Objekt zurück. Der digitale Schatten erhält automatisiert Daten vom physischen Objekt und kann diese verarbeiten. Für die Daten des digitalen Schattens zum physischen Objekt gibt es keinen automatischen Fluss. Die dritte Kategorie – der digitale Zwilling – besitzt einen automatischen Datenfluss in beide Richtungen. Hier erhält der digitale Zwilling automatisch die Sensordaten und gibt ebenfalls automatisch seine Daten zurück an das reale Objekt [8, 11].

Bei einem digitalen Zwilling in der Produktion ist der automatische Datenfluss einfach vorstellbar: ändert sich ein Attribut bei dem digitalen Zwilling, wird diese Änderung automatisch auch am physischen Modell vorgenommen. Bei digitalen Zwillingen der Ozeane ist diese sofortige Änderung nicht möglich, da beispielsweise eine Veränderung des Salzgehalts im digitalen Zwilling nicht zu einer automatischen Änderung des Salzgehalts im gesamten Ozean führt. Jedoch kann der digitale Zwilling die folgende Entwicklung der Attribute prognostizieren. Bei richtiger Prädiktion verändert sich der reale Zwilling so wie vorhergesagt.

Nach dieser Definition benötigt ein digitaler Zwilling der Nordsee Daten, um den aktuellen Status der Nordsee darstellen zu können und die Möglichkeit Prognosen über den Verlauf des Status treffen zu können. Die Möglichkeit Prognosen zu erstellen, soll mit maschinellen Lernverfahren realisiert werden.

---

### 3 Die Daten

Im weiteren Verlauf dieses Artikels werden zwei Arten von Daten verwendet: Satellitendaten und ein hydrographisches Modell des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Im Folgenden werden die verwendeten Datenarten, sowie In-situ Daten genauer vorgestellt.

#### 3.1 Satellitendaten

Im Fokus dieser Arbeit stehen Messungen des Erdbeobachtungssatelliten Soil Moisture Passive Active (SMAP) der NASA [16]. Dabei wird der Datensatz des Forschungsinstituts Remote Sensing Systems (RSS) *RSS SMAP Salinity* in der Verarbeitungsstufe (Level) 2C verwendet [14]. Für diesen Datensatz werden die SMAP Level 1B Radiometermessungen der *Brightness Temperature* [1] in Salzgehaltswerte umgerechnet [16]. Es entstehen Daten mit einer räumlichen Auflösung von 40 km [14]. Der Datensatz steht öffentlich zu Verfügung (<https://www.remss.com/missions/smap/salinity/>).

Der Salzgehalt wird in Practical Salinity Units (psu) [12] in Gramm Salz pro Kilogramm Wasser angegeben. Befindet sich ein Stück Landmasse in der Messung, kann dieses die Messung kontaminieren. Aus diesem Grund sind Küstenbereiche in dem *RSS SMAP Salinity* Datensatz großräumig entfernt worden.

Weil der Satellit SMAP den Salzgehalt nicht direkt misst, sondern die *Brightness Temperature*, die dann in Salzgehalt umgerechnet wird, können die Salzgehaltswerte fehlerbehaftet sein [16]. Die RSS Daten können mit Messungen oder Modellen validiert werden, um Erkenntnisse über diesen Fehler zu erlangen. Die geringe Auflösung der Satellitenpixel macht diese Validierung schwierig, da In-situ-Messungen häufig nur einen kleinen Bereich erfassen. Des Weiteren können Lücken in einem Messbereich entstehen, da die Flugbahn des Satelliten sich stetig ändert.

### 3.2 In-situ- und Modelldaten

Die In-situ-Daten werden zum Validieren und Erweitern der Satellitendaten verwendet. Es existieren verschiedene Messmöglichkeiten wie Messinstrumente auf Schiffen, Bojen, Drifter oder stationäre Sensorsysteme [9, 24]. Diese Messungen sind sehr genau und können häufig und gezielt durchgeführt werden, decken aber nur eine kleine Fläche ab. Ein Satelliten-Pixel ist im Fall von SMAP deutlich größer.

Da aktuell noch nicht genug In-situ-Messungen zur Verfügung stehen, wird zum Validieren ein hydrographisches Modell des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie verwendet [4]. Dieses prognostiziert verschiedene Attribute des Wassers in der Deutschen Bucht, wie Temperatur, Salzgehalt und Strömung mit einer räumlichen Auflösung von 900 m. In dieser Arbeit werden Tage des Jahres 2019 betrachtet. Für dieses Jahr enthält das BSH-Modell weder Satellitenmessungen noch In-situ-Messungen, sondern verwendet ein atmosphärisches Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und berechnet damit den Salzgehalt der Ozeane an der Oberfläche [4].

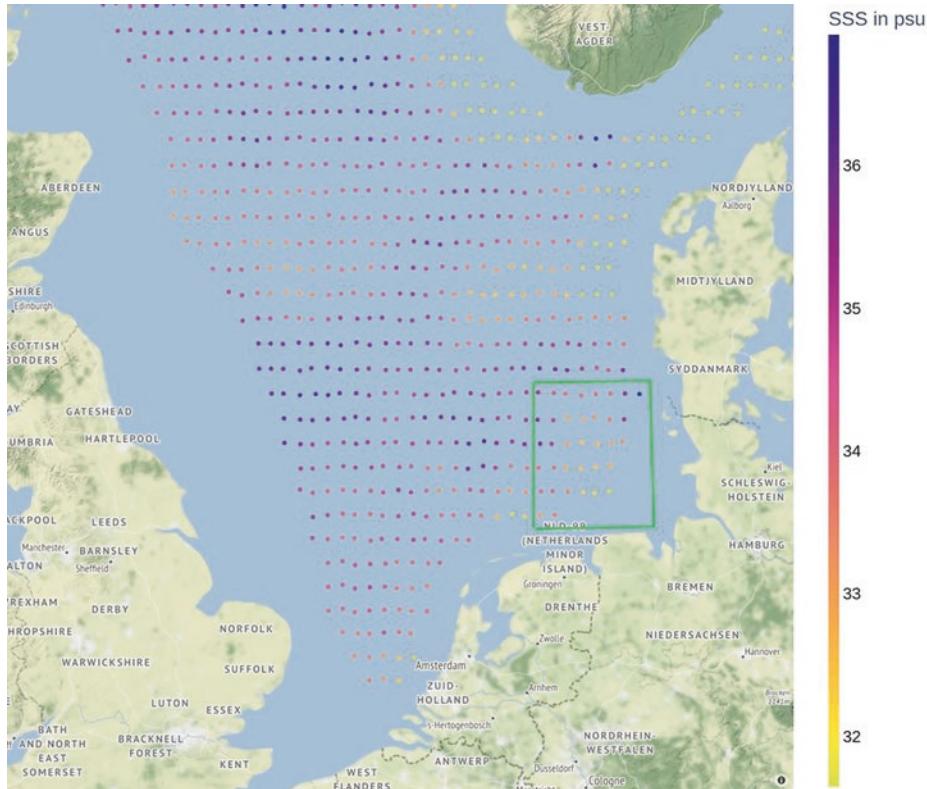
---

## 4 Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung erfolgt in mehreren Schritten. Diese beginnt damit, dass die Satellitendaten auf ein räumlich invariantes Raster übertragen werden, das den Bereich abdeckt, der betrachtet wurde, welcher in Abschn. 4.1 beschrieben wird. Die Satellitenmessungen wurden auf dieses Raster übertragen und die restlichen Rasterpunkte interpoliert, was in Abschn. 4.2 beschrieben wird. Abschn. 4.3 beschreibt die Validierung der Satelliten-Messungen und der Interpolation. Das Modell, das am Ende entsteht, wird für einen digitalen Zwilling der Nordsee verwendet.

### 4.1 Festlegung der Messpunkte des Modells

Der beobachtete Bereich befindet sich in der südöstlichen Nordsee zwischen N 53,7 und N 55, sowie E 6 und E 8,2 (Abb. 2). Der Abstand der Rasterpunkte beträgt 0,01 Grad, sodass ein Raster mit  $130 \times 220$  Punkten entsteht. Mit diesem Raster ist es möglich, feste

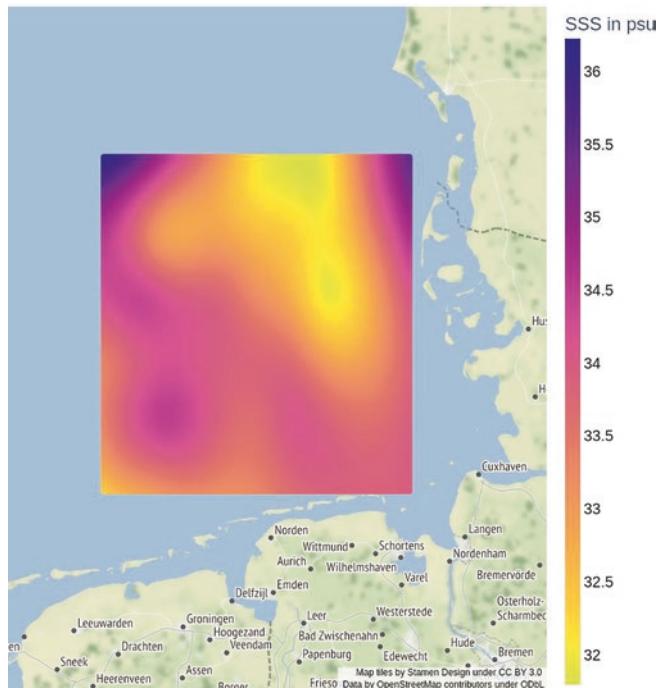


**Abb. 2** Das Rechteck markiert den Bereich in der Deutschen Bucht, der beobachtet wurde (Rasterbereich). Die Punkte sind Daten aus dem RSS SMAP Level 2C Datensatz aus einem Überflug

Messpunkte, für das Modell zu definieren. Auf diese Messpunkte wurden die Satelliten-daten und die Daten des BSH-Modells übertragen. Der nächstliegende Rasterpunkt bekam den Salzgehaltwert der Satellitenmessung bzw. des BSH-Modells. Zur Distanzmessung zwischen dem Punkt der Satellitenmessung und dem Rasterpunkt kam eine Python-Bibliothek zum Einsatz, die die Haversine-Formel verwendet (<https://pypi.org/project/haversine/>). Es wurden aus dem *RSS SMAP Salinity* Datensatz nur die Daten betrachtet, die sich innerhalb des Rasterbereichs (Rechteck in Abb. 2) befanden. Mit den übertragenen Werten konnte das Raster für die Vervollständigung der Daten weiterverwendet werden.

## 4.2 Vervollständigen der Satellitendaten

Im Rasterbereich sind 28.600 Punkte, aber nur 36 Satellitenmesspunkte enthalten. Mit Hilfe Gaußscher Prozesse (GP) [18] mit einem Matern Kernel wurde der Salzgehalt für die Rasterpunkte ohne Messdaten interpoliert.



**Abb. 3** Die Satellitendaten wurden in das Raster eingefügt und die leeren Punkte wurden interpoliert. Mit der Farbskala wird der Salzgehalt in psu dargestellt

Abb. 3 zeigt das Raster mit Messungen und interpolierten Daten. In diesem Bild ist zu sehen, wie aus den Satellitenmessungen eine komplette Abdeckung des Bereichs wird, jedoch ohne Angaben über die Korrektheit der Interpolation zu machen.

Die durch das Verfahren der Gaußschen Prozesse ermittelten Werte wurden mit den Ergebnissen der Verfahren k-nächste Nachbarn (kNN) und Lineare Regression verglichen (Abb. 4). Dabei wurden für verschiedene Tage die Satellitenmessungen aufgeteilt in Trainings- (80 %) und Testdatensatz (20 %). Für den Testlauf wurde der Mean Squared Error (MSE) gebildet. Dies wurde für jeden Tag 60-mal mit jeweils zufällig ausgewählten Trainings- und Testdatensätzen durchgeführt. Über alle Durchläufe wird das arithmetische Mittel der Mean Squared Error gebildet und für alle betrachteten Tage verglichen. Hierbei erreichten die Gaußschen Prozesse den geringsten Mean Squared Error. Das k-nächste Nachbarn Verfahren erreichte allerdings an drei Tagen einen geringeren Mean Square Error als die Gaußschen Prozesse.

Abb. 5 zeigt die Interpolation entlang eines Längengrades. Eine geringere Standardabweichung zeigt sich in Regionen, wo Satellitendaten vorliegen. Die Form der Standardabweichung ist durch den Matern Kernel gegeben. Weil die Level 2 Daten für den Küstenbereich (Längengrad > 8.0) nicht vorliegen, steigt in diesen Gebieten auch die Unsicherheit des Modells an.