

Entwicklung einer Multiparameter-Drohne mit unterschiedlichen Sensoren für eine breite, effiziente und sichere Erhebung von gewässerbezogenen Fernerkundungsdaten

Ingo Nienhaus, Daniel Höck und Hannah Strack (Lohmar)

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMBF-Verbundforschungsprojektes iWaGSS (integrated Water Governance Support System) wurden im südafrikanischen Projektgebiet des Lower Olifants Rivers eine Multiparameter-Drohne sowie Auswertungsverfahren entwickelt, um eine umfangreiche und aktuelle, gleichzeitig kosteneffiziente und vor allem sichere Datenerhebung per Drohne an Fließgewässern durchführen zu können. Der Fokus lag hierbei vor allem auf der Unterstützung der deutschen und südafrikanischen Projektpartner durch Datenerhebung und -erzeugung als wissenschaftliche Grundlage des Projektes. So wurden durch Befliegungen zahlreicher Gewässerteilstrecken georeferenzierte Luftbilder aufgenommen, aus denen unterschiedliche Luftbildprodukte resultierten. Es wurden Verfahren entwickelt, die die Auswertung der Daten erleichtern und deren Qualität verbessern sollten. Mit der Entwicklung und Erprobung der Multiparameter-Drohne und der Erhebung von hochpräzisen Daten wird nicht nur die Erreichung der Ziele des Verbundprojektes iWaGSS, sondern auch der Transfer von Technik und Workflows in andere Bereiche und Projekte ermöglicht. Das Ergebnis des Projektes ist ein wichtiger Beitrag zur Digitalisierung in der Wasserwirtschaft.

Schlagwörter: iWaGSS, Olifants River, Südafrika, Drohne, Digitalisierung, Luftbilder, Gewässerkartierung

DOI: 10.3243/kwe2020.10.004

Abstract

Developing a Multi-parameter Drone With Different Sensors for Broad, Efficient and Reliable Collection of Remote Sensing Data for Water

A multi-parameter drone and evaluation procedures have been developed in the project area of the Lower Olifants River in South Africa as part of the iWaGSS (Integrated Water Governance Support System) joint research project. These actions sought to collect extensive and up-to-date data in a way that is cost-efficient and, above all, safe by drone along watercourses. The project mainly focused on supporting German and South African project partners by collecting and generating data as the scientific basis for the project. Georeferenced aerial photographs were taken by flying over numerous stretches of water, which resulted in various aerial image products. Methods were developed to facilitate the evaluation of the data and improve their quality. The development and testing of the multi-parameter drone, workflows adapted to its use and the collection of high-precision data will not only enable the iWaGSS to reach its objectives, but also transfer technology and workflows to other areas and projects. The results of the project make a significant contribution to digitalisation in water management.

Key Words: iWaGSS, Olifants River, South Africa, drone, digitalisation, aerial image, mapping water bodies

Einführung

Im Rahmen des BMBF-Verbundforschungsprojektes „iWaGSS – integrated Water Governance Support System“ bearbeiteten DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! das Teilprojekt 8 – Fernerkundung. Ziel dieses Teilprojektes war die Entwicklung von effizienten und innovativen Techniken und Verfahren, um die verschiedenen Projektpartner mit – ansonsten nicht vorhandenen – Fernerkundungsdaten auszustatten. Nach einer ersten gemeinsamen Bedarfsanalyse wurden Datendefizite identi-

ziert und damit die notwendigen Bereiche der Methoden- und Verfahrensentwicklung abgesteckt. Das offene Forschungsdesign des Projektes erlaubte es, zunächst eine geeignete Erfassungsplattform auszuwählen. Schnell kristallisierte sich heraus, dass eine schwimmende Plattform zugunsten einer fliegenden Plattform verworfen werden konnte: Eine Trägerplattform sollte so modifiziert und erweitert werden, dass die im Rahmen des Projektes benötigten Daten erhoben werden konn-



Abb. 1: Bereiche der Methodenentwicklung und Datenerzeugung innerhalb des Teilprojektes 8 – Fernerkundung

ten. Wichtig dabei war, dass nicht mehrere verschiedene Einzellösungen konzipiert werden sollten, sondern eine Multiparameterdrohne zur Abdeckung einer möglichst großen Bandbreite der Datenerhebung.

Nach Auswahl einer geeigneten Drohne wurden zwischen 2017 und 2020 Techniken, Methoden und Verfahren in fünf unterschiedlichen Bereichen entwickelt (s. Abbildung 1), die in verschiedenen Feldkampagnen in Südafrika und in Deutschland getestet und optimiert wurden. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die entwickelten Techniken, Methoden und Verfahren.

Feldkampagnen und Datenerhebung

Die entwickelten Techniken, Methoden und Verfahren wurden in insgesamt sechs Feldkampagnen in Südafrika getestet. Während der ersten Feldkampagne im Oktober 2017 wurde das Projektgebiet des Lower Olifants Rivers intensiv besichtigt und die lokalen Gegebenheiten sowie die Erfordernisse an die Technik festgelegt. In diesem frühen Stadium des Projektes kam die bisher im Rahmen der Arbeiten in Deutschland eingesetzte Drohne, eine Yuneec Typhoon H zum Einsatz. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass die Typhoon H aus mehreren Gründen nicht geeignet war, um die Ziele des Projektes zu erreichen: Zum einen war die Datenerhebung im Gelände aufgrund des fehlenden teilautonomen, programmierbaren Flugmodus ineffizient und ungenau, zum anderen erfüllte weder die

Bildqualität der Kamera, noch die GPS-Genauigkeit der Drohne die erforderlichen Anforderungen an die spätere Datenqualität.

Für die Datenerhebungen der folgenden Feldkampagnen wurde daher die gegenüber der Typhoon H technisch besser ausgestattete Drohne Yuneec Typhoon H520 eingesetzt (s. Abbildungen 2 und 3).

Die Datenerhebung im Gelände mit der hier eingesetzten Kamera E90 von Yuneec, diente in erster Linie der Erstellung von Luftbildmosaiken und hochpräzisen digitalen Oberflächenmodellen. Da die erstellten Modelle allerdings an der Wasseroberfläche endeten (es wurden nur Luftbilder im RGB-Bereich zur Modellerstellung verwendet), wurden unterschiedliche Erhebungsmöglichkeiten des Gewässerprofils unter der Wasseroberfläche getestet und eingesetzt. Hierzu zählten u. a. ein einfacher Drohnen-getragener Sonarsensor, eine Kombination mit einem Ultraschall-Doppler-Profil-Strömungsmesser (ADCP) sowie verschiedene Techniken der Handmessung.

Um zusätzliche gewässerökologische Informationen erheben zu können, wurde im weiteren Projektverlauf ein Multispektralsensor (MicaSense RedEdge-MX, 5 Kanaltechnik) eingesetzt. Damit konnten Vegetations- und Algenindizes erstellt werden. Abgerundet wurde das Spektrum der Techniken, Methoden und Verfahren durch die Entwicklung von Möglichkeiten zur Wasserprobennahme mit der Drohne und Direktmessungen. Alle Feldkampagnen im Projektgebiet wurden unter völlig anderen Arbeitsschutzbedingungen durchgeführt, als es in Deutschland der Fall gewesen wäre (s. Abbildungen 4 und 5), daher wurde das Thema Arbeitssicherheit bei der Freilandarbeit in Afrika intensiv betrachtet.

Die Feldkampagnen wurden neben der Datenerhebung auch für einen intensiven fachlichen Austausch mit den südafrikanischen Partnern genutzt, um deren Bedürfnisse zu berücksichtigen und für den südafrikanischen Raum geeignete Techniken, Methoden und Verfahren zu entwickeln. Hier sei vor allem auf die gute Zusammenarbeit mit SAEON (South African Environmental Observation Network) und SANPARKS (South African National Parks) hingewiesen. Darüber hinaus wurde im Rahmen von Workshops und Vortragsveranstaltungen der projektbezogener Austausch mit lokalen Stakeholdern und Behördenvertretern vorangetrieben. Ein geplanter Wissenstransfer in Form einer Intensivschulung der GEWÄSSER-EXPERTEN! in Südafrika musste aufgrund des Covid-19 bedingten Einreiseverbots verschoben werden, soll jedoch nachgeholt werden, wenn die Rahmenbedingungen es wieder zulassen.



Abb. 2 und 3: Unterschiedliche Bedingungen wie Staub und starke Sonneneinstrahlung forderten Mensch und Drohne gleichermaßen



Abb. 4 und 5: Während der Feldkampagnen erfolgte die Geländearbeit unter zum Teil unvorhersehbaren Gegebenheiten, die sich auf die Arbeitssicherheit auswirkten.

Drohnen- und Sensortechnik

Bei dem verwendeten Trägersystem für die verschiedenen Sensoren, der Drohne Yuneec Typhoon H520, handelt es sich um einen äußerst stabilen Hexakopter, der gemäß Herstellerangaben für den Industrieinsatz konzipiert wurde und von den Anschaffungskosten im unteren Preissegment liegt. Die theoretische Flugzeit pro Akku beträgt max. 25 min, das Startgewicht liegt im Serienzustand bei weniger als 2 kg und die Nutzlast beträgt max. 0,5 kg. Je nach Zusatzausstattung mit Sensoren oder Probennehmern, steigt das Startgewicht und reduziert sich folglich die Flugzeit pro Akku deutlich. Die Reichweite des Steuersignals liegt unter optimalen Bedingungen bei 1,6 km, und wurde im Rahmen der Feldkampagnen bis 1,3 km getestet. Es sei allerdings der Hinweis gestattet, dass bei den meisten Anwendungen in Deutschland lediglich Sichtflug erlaubt ist.

Der große Vorteil dieser Drohne liegt in der Möglichkeit, Missionsflüge zu planen, welche die Drohne dann teilautonom durchführt. Dabei ist die Wahl der richtigen Missionseinstellungen entscheidend für die spätere Datenqualität. Auf diese Weise konnten Gewässerflächen und Fließgewässerstrecken im südafrikanischen Projektgebiet einfach und effizient zur Datenerfassung befliegen werden.

Die Drohne wurde mit dem Kameramodell E90 von Yuneec ausgestattet. Diese Kamera hat eine Auflösung von 20 Megapi-

xel und eine Brennweite von 23 mm und ist daher gut für die Erstellung von Schräg- und Senkrechtluftbildern sowie Videos in 4K-Qualität geeignet. Durch den 3-achsigen, vibrationsdämpfenden Gimbal ist die Kamera um 360° schwenkbar und 90° neigbar. Sie liefern damit in fast allen Flugsituationen stabile Aufnahmebedingungen. Die Standortinformationen zur Aufnahme der Luftbilder bezieht die Kamera direkt vom GPS-Modul der Drohne. Die genauen Koordinaten der Drohne zum Zeitpunkt der Aufnahme werden zwingend in der späteren Verarbeitung der Daten zu Luftbildmosaiken und digitalen Oberflächenmodellen benötigt.

Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde ein differentielles GPS (DGPS) verwendet. Mit diesem wurden zusätzliche Festpunkte (sog. GCP = Ground Control Points) eingemessen, welche die Genauigkeit der digitalen Oberflächenmodelle signifikant erhöht. Mit exakt eingemessenen GCPs konnte eine Genauigkeit der Modelle von 3-4 cm Abweichung in der Lage und 5 cm in der Höhe erreicht werden. Die richtige Platzierung und Anzahl der GCPs ist eine Grundvoraussetzung für präzise Modelle, sie ist unter anderem von der Größe des Modellgebietes und des Geländes abhängig und bedarf einiger Erfahrung.

Multispektralsensor

Zur Datenerhebung für die Berechnung von Vegetations- und Algenindizes im Projektgebiet wurde die Drohne zusätzlich mit dem Multispektralsensor MicaSense RedEdge MX (s. Abbildung 6) und einer separaten Stromversorgung ausgestattet. Der Sensor hat fünf Aufnahmekanäle zur Erfassung von fünf unterschiedlichen Bereichen des sichtbaren und nicht sichtbaren Lichtspektrums: Rot, Grün, Blau, Near Infrared (717 nm) und Red Edge (840 nm). Der Multispektralsensor arbeitet in Kombination mit einem Sensor zur Messung der aktuellen Globalstrahlung, der auf der Dohnenoberseite montiert ist, sowie einem eigenen GPS-Sensor. Der Multispektralsensor wird mittels einer starren Halterung am Multikopter befestigt, ein beweglicher Gimbal ist hierbei nicht erforderlich, da nur Senkrechtluftbilder aufgenommen werden.

Sonarsensor

Aus dem Bedarf des Projektpartners Universität Bochum (Umwelt + Ökologie im Bauwesen) ergab sich die Notwendigkeit,



Abb. 6: Drohne mit 5-Kanalsensor zur Aufnahme von Vegetations- und Algenindizes



Abb. 7: Einsatz des Sonarsensors im Olifants River, Südafrika

auch unter Wasser Daten zum Gewässerprofil zu erfassen, um die vervollständigten Auen- und Gewässerprofile in einem hydraulischen 1D-Modell zu verwenden. In Kooperation mit dem Projektpartner wurden verschiedene Methoden zur alternativen Datenerhebung entwickelt. Weiterführende Informationen hierzu finden Sie im Artikel „Erhebung von Gewässerquerschnitten für den Aufbau eines 1D-hydrodynamischen Modells für das Untere Olifants Flusseinzugsgebiet in Südafrika“, ebenfalls in diesem Themenheft.

Zum Einsatz kam der Sonarsensor Deeper Smart Sonar Pro + (s. Abbildung 7). Der Sensor ist klein und leicht genug, um ihn direkt an die Drohne zu montieren und von dieser ins Wasser abgelassen zu werden. Zur Vermessung des Gewässergrundes wird der Sonarsensor über die Wasseroberfläche gezogen und liefert direkt einen Strukturscan sowie nach weiterer Datenauswertung ein Tiefenmodell. Bei einer Datenauflösung von 0,1 m und einer messbaren Tiefe von 0,7 – 80 m können auf diese Weise Tiefenvermessungen mit Hilfe der Drohne durchgeführt werden.

Wasserprobenahme und Direktmessung von Vor-Ort-Parametern

Im Rahmen des Projektes wurden vom Projektpartner LAR Process Analysers AG vier Messstationen im Einzugsgebiet des Lower Olifants Rivers konzipiert und realisiert, welche die Toxizität des Flusswassers und weitere Parameter erfassen. Da die Stationen zum Teil weit auseinander liegen, kam der Bedarf auf, auch zwischen den Messstellen sicher Wasserproben aus dem Gewässer zu entnehmen, was vor allem aufgrund der im Olifants River vorkommenden Flusspferde und Krokodile auf herkömmliche Entnahmeweise mit einem Wasserschöpfer am Ufer nicht immer gefahrlos möglich ist. Es wurde daher ein Verfahren zur Entnahme von Wasserproben mit der Drohne konzipiert. Nach verschiedenen Tests erwies sich ein Probenehmer aus Kunststoff mit einer Kapazität von 250 ml als ideal geeignet (s. Abbildung 8).

Dieser Probenehmer wird von der Drohne ins Wasser abgelassen und füllt sich automatisch. Die Probenahme erfordert einen guten und erfahrenen Drohnenpiloten, um die Drohne mit ihrer Last auch wieder sicher ans Ufer zurückzufliegen. Die entnommenen Wasserproben können dann entweder durch



Abb. 8: Probenehmer an der Drohne

Direktmessung an Land analysiert oder in ein Labor verbracht werden.

Methodenentwicklung zur Datenauswertung

Die Datenaufbereitung und -auswertung sowie Interpretation und Weiterverarbeitung stellten einen wesentlichen Baustein des Teilprojektes dar. Für die Bearbeitung von Luftbilddaten gibt es am Markt unterschiedliche Softwarelösungen. Nach einer anfänglichen Vergleichs- und Testphase wurde die Fotogrammetrie-Software Pix4DMapper eingesetzt, die für die Belange und Anforderungen der Luftbildfotographie ausgerichtet ist. Dabei kann die Software sowohl für Drohnenfotos, als auch andere erstellte Luftbilder verwendet werden.

Im Anschluss an jede Feldkampagne wurden die Techniken, Methoden und Verfahren weiterentwickelt und verfeinert, um die aufgenommenen Rohdaten zu optimieren und diese zu



Abb. 9: Luftbildmosaik des Olifants River (Südafrika) am Pegel Oxford



Abb. 10: Digitales Oberflächenmodell des Olifants River (Südafrika) am Pegel Oxford mit Korrekturbedarf (schwarze Lücken)

möglichst präzisen Luftbildmosaik (s. Abbildung 9), digitalen Oberflächenmodellen (s. Abbildung 10) oder Geländequerschnitten zu verarbeiten. Hierbei stellte sich heraus, dass die Qualität und Präzision von Korrekturdaten (GCPs) und die Modellgröße eine entscheidende Rolle spielten. Ähnliche Entwicklungsarbeit wurde auch für die Auswertung der Multispektralaufnahmen und der Sonardaten erbracht. Sowohl die Optimierung der Datenerhebung, als auch die Verbesserung der Auswertung und Weiterverarbeitung der Daten waren damit ein ständig fortschreitender Forschungsprozess. Die Erkenntnisse der jeweiligen Datenauswertungen nach den einzelnen Feldkampagnen führte zu einer Optimierung und Modifikation der Befliegungsparameter während der nächsten Feldkampagne. Innerhalb des Projektes wurde daher in einem iterativen Prozess sowohl die Datenerhebung, als auch die Datenauswertung stetig verbessert und optimiert.

Digitale Oberflächenmodelle

Mit der Software Pix4DMapper lassen sich aus einem Datensatz vorreferenzierter Senkrechtluftbilder hochaufgelöste digitale Oberflächenmodelle erstellen. Die Güte der Modelle wird dabei im Wesentlichen von den Eingangsdaten und den Befliegungsparametern gesteuert. Zusätzlich zu den Senkrechtluftbildern können Schrägluftbilder integriert werden, die dann insbesondere dreidimensionale Objekte wie Baumbestände oder Brückenbauwerke in den Modellen optimieren. Die Software Pix4DMapper erstellt in mehreren rechenintensiven Arbeitsschritten aus den Ausgangsdaten Luftbildmosaik und digitale Oberflächenmodelle der per Drohne beflogenen Gewässerstrecken. Die fertigen Luftbildmosaik wurden als georeferenzierte TIF-Dateien aus der Software Pix4DMapper exportiert und konnten im Anschluss direkt im GIS weiterverarbeitet werden.

Ein dreidimensionales digitales Oberflächenmodell stellt die Erdoberfläche so dar, wie sie auch auf den Luftbildern zu sehen ist, inkl. aller Objekte wie Gebäude oder Vegetation. Zur Erhöhung der Lagegenauigkeit wurde bei der Datenaufnahme im Gelände zusätzliche GCPs eingemessen. Bei der Modellberechnung wurden diese als Korrekturdaten integriert, wodurch die Genauigkeit der Modelle nochmals gesteigert werden konnte. Eine manuelle Nachbearbeitung der Modelle erfolgte, wenn beispielsweise schlecht einsehbare Bereiche nicht ausreichend abgebildet werden konnten (s. Abbildung 10, schwarze Berei-

che). Aufgrund der photogrammetrischen Erstellung der Modelle enden diese aus Gründen des Verfahrens an der Wasseroberfläche. Sofern auch die Gewässerprofile relevant waren, wurden die Daten des wasserführenden Gewässerbetts – wie bereits beschrieben – mit anderen Methoden ergänzt.

Nach Abschluss aller Korrekturschritte wird das digitale Oberflächenmodell aus der Software Pix4DMapper exportiert und im GIS weiterverarbeitet (s. Abbildung 11).

Weiterverarbeitung der digitalen Oberflächenmodelle

Insbesondere der Projektpartner Universität Bochum (Umwelt + Ökologie im Bauwesen) nutzte die Daten der digitalen Oberflächenmodelle bzw. die Geländequerschnitte für hydraulische Abflussberechnungen. Zur Erhebung ausreichender Datenmengen wurde speziell zu diesem Zweck eine Vielzahl von Bereichen beflogen, um nicht vorhandene Gewässer- und Auenquerschnitte für das hydraulische Modell zu erstellen. Das Abflussregime der Fließgewässer mit überwiegend trockenfallenden Gewässerbetten im südlichen Afrika kam der Datenerhebung entgegen.

Erfassung und Auswertung von Multispektraldaten

Die mit dem Multispektralsensor RedEdge MX von MicaSense in Südafrika erhobenen Daten können für vielfältige Fragestellungen rund um terrestrische und aquatische Vegetation eingesetzt werden. Aus den erhobenen Daten wurden ebenfalls mit Hilfe der Software Pix4DMapper verschiedene Vegetationsindizes berechnet. Hier sei vor allem auf den NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) hingewiesen, der Rückschlüsse und Aussagen zum Chlorophyllgehalt der Pflanzen und Algen zulässt.

Darüber hinaus wurden mehrere Algenindizes berechnet, u. a. der SABI (Surface Algal Bloom Index), die ein genaues Monitoring der oberflächennahen Gewässervegetation ermöglichen (s. Abbildung 12). Dieses Algenmonitoring lässt Rückschlüsse auf den ökologischen Zustand des Olifants Rivers zu.

Durch Zeitreihen können kurzfristige bis langfristige Veränderungen der Gewässervegetation erfasst werden. In den nächsten Monaten werden die Ergebnisse einer im Rahmen des Projektes betreuten Masterarbeit erwartet. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines halbautomatisierten Auswertungsver-

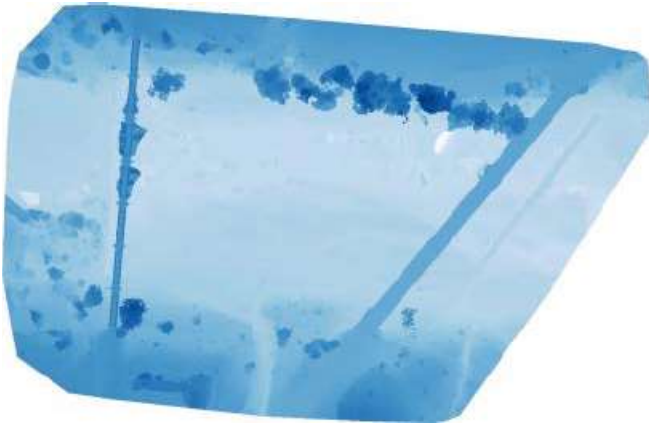


Abb. 11: Darstellung des digitalen Oberflächenmodells des Olifants River (Südafrika) im GIS

fahrens, mit dem die Dauer der Datenanalyse um ein Vielfaches verringert werden kann. Hierzu soll außerdem erforscht werden, welcher Algenindex die höchste Genauigkeit und die präzisen Ergebnisse liefert.

Nutzen der Forschungsergebnisse für die Wasserwirtschaft in Deutschland

Im Rahmen des Forschungsprojektes iWaGSS ist es gelungen, eine Multiparameter-Drohne sowie Methoden und Verfahren der Datenauswertung zu entwickeln, die ohne eine weitere Anpassung sofort und mit einem geringen Investitionsbudget auch in Deutschland oder jedem anderen Land eingesetzt werden können. Der Bedarf in der deutschen Wasserwirtschaft nach bezahlbaren und schnell verfügbaren Daten ist groß. So können mit Hilfe der Multiparameter-Drohne aktuelle Planungsgrundlagen innerhalb von wenigen Tagen erstellt werden. Die entwickelte Multiparameter-Drohne leistet damit einen wichtigen Beitrag zur weitergehenden Digitalisierung in der Wasserwirtschaft.

Fazit

Die Ergebnisse des Teilprojektes 8 – Fernerkundung des Forschungsprojektes iWaGSS zeigen, dass auch mit verhältnismäßig geringen Investitionen in Technik und Sensorik hochpräzise und wissenschaftlich anspruchsvolle Daten zeitnah und effizient erzeugt werden können. Die Kombination der Expertise aus angewandter Informations- und Drohnentechnologie sowie gewässerökologischem Fachwissen hat sich auch in diesem Forschungsprojekt als zielführend herausgestellt. Es wurden eine Multiparameter-Drohne und Auswertungsverfahren entwickelt, die sofort in anderen Bereichen der Erde eingesetzt werden können. Insgesamt wurden über 30 umfassende Datensätze, bestehend aus Luftbildmosaiken, Oberflächenmodellen oder Vegetationsindices im Rahmen des Forschungsprojektes erzeugt und den deutschen und südafrikanischen Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Es wurde jedoch auch deutlich, dass das Potenzial der Drohnentechnik im Rahmen des

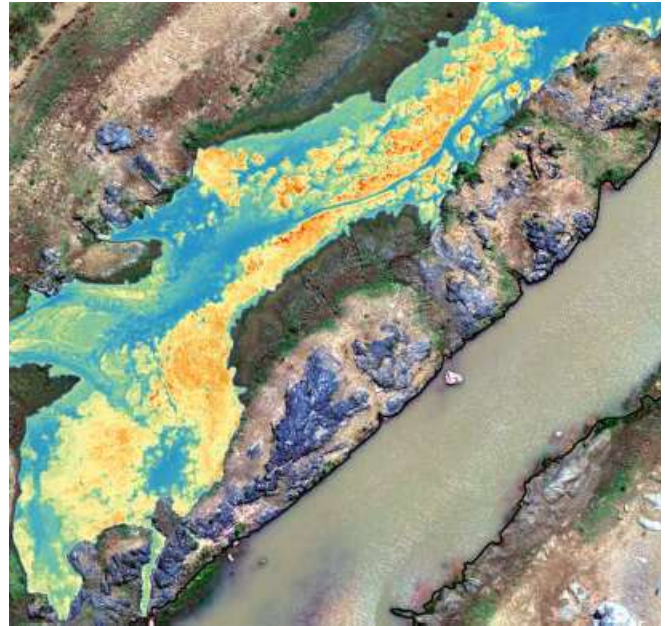


Abb. 12: GIS-Darstellung des SABI (Surface Algal Bloom Index) an der Mündung des Selati in den Olifant-River

iWaGSS-Projektes in fachlicher Hinsicht noch nicht ansatzweise ausgeschöpft wurde und eine Weiterentwicklung und Ausweitung auf andere Bereiche im Sinne der Digitalisierung der Wasserwirtschaft vorangetrieben werden sollte.

Danksagung

Unser Dank gilt vor allem dem BMBF und Dr. *Leif Wolf* vom Projektträger Karlsruhe (PTKA), die uns dieses Projekt ermöglichen haben. Ein ganz besonderer Dank geht darüber hinaus an unsere südafrikanischen Projektpartner, die uns in zahlreichen Gesprächen, Konferenzen, Workshops und im Gelände mit Rat und Tat zur Seite standen. Persönlich danken wir vor allem Dr. *Eddie Riddel* und *Jacques Venter* (SANPARKS), *Thabo Mohlala* (SAEON) und *Mark Surman* (Palabora Mining Company) für ihre Unterstützung vor Ort. Nicht zuletzt danken wir allen deutschen Partnern für die konstruktive und kollegiale Zusammenarbeit im Verbundforschungsprojekt iWaGSS.

Autoren

Dipl.-Geogr. Ingo Nienhaus
Dipl.-Geogr. Daniel Höck
Hannah Strack, B. Sc. Geographie
DIE GEWÄSSER-EXPERTEN!
Im Alten Breidt 1
53797 Lohmar

E-Mail: in@gewaesser-experten.de

E-Mail: dh@gewaesser-experten.de

E-Mail: hs@gewaesser-experten.de

KW