



# Abschlussbericht

## Optimierung der Stickstoff-Bilanzen drainierter Flächen durch Detektion ihres Zustands mittels supraleitender SQUID-Technologie

### Zusammenfassung

#### Projektmotivation:

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern werden ca. 65 % landwirtschaftliche Nutzfläche künstlich entwässert, die Drainagen als Transportwege hinsichtlich Lage und Zustand für Planung, Sanierung, Rückbau und Erneuerung sind aber nur begrenzt bekannt, bisherige Verfahren zur Drainagedetektion, wie z.B. Luftbildinterpretation, klassische Leitungsortung, Georeferenzierung vorhandener Karten, Berechnung des Bodenfeuchteindex aber nicht ausreichend entwickelt und zu fehleranfällig. Weiterhin wird eine Zunahme der Trockenperioden in Nordostdeutschland festgestellt und die Kosten für Dürrehilfe (Wasserrahmenrichtlinie MV) steigen. Die N-Austräge aus drainierten Flächen sind maßgeblich für die Nitratbelastung der Oberflächengewässer verantwortlich. Während die erhöhte N-Belastung in Binnenwässern erst in Kombination mit Phosphaten zur Eutrophierung führt, ändert sich die Situation grundlegend, wenn diese Nährstofffrachten beispielsweise in die stickstofflimitierte Ostsee gelangen. Hier ist ein Mehr an Stickstoff sehr problematisch und führt zu vermehrtem Algenwachstum und weiteren Folgeschäden wie z.B. temporäre oder dauerhafte Sauerstoffmangelzonen. Um ungewollte N-Austräge zu verringern, das Grund- und Oberflächenwasser zu schützen und darüber hinaus auf die Veränderungen durch den Klimawandel reagieren zu können, sind - eine gleichbleibende N-Effizienz vorausgesetzt - erhebliche Reduktionen in der Stickstoffdüngung erforderlich. Modellrechnungen für Mecklenburg-Vorpommern fordern beispielsweise eine Minderung um mindestens 50 kg/N pro Jahr. Gleichzeitig führt eine pauschale Reduktion der Stickstoffdüngung, wie sie in den so genannten „Roten Gebieten“ vorgesehen ist, nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der N-Austräge in gleicher Größenordnung.

Grundgedanke von zu entwickelnden teilflächenspezifischen Ansätzen ist die Verringerung bzw. Vermeidung bilanzieller N-Überhänge, die vorzugsweise durch angepasste Pflanzenproduktion insbesondere auf den unterdurchschnittliche ertragreichen Flächenanteilen eines Schrages erreichbar sind, da hier bei schlageinheitlicher Düngung die meisten N-Austräge auftreten. In den letzten Jahren sind außerdem verschiedene wasserbauliche Ideen zur N-Reduktion in Drainagewässern entwickelt und erforscht worden, z.B. Controlled Drainage, nachgelagerte Reinigungsteiche, Verbesserung der Strukturvielfalt in den Gewässern etc. All diese Maßnahmen zielen auf eine Reduktion der bereits im Drainagewasser gelösten Nährstoffe ab. Mit einem aktiven Dränmanagement zur Steuerung des Wasser- und Nährstoffrückhalts in der Fläche kann eine zu tiefe Entwässerung verhindert werden. Damit können sich unterhalb des Wurzelbereiches zumindest zeitweilig höhere Bodenwassergehalte und somit reduktive Verhältnisse einstellen. Durch die dann stattfindende Denitrifikation bestimmter Bereiche wird der Abbau von überschüssigem Nitrat im Drainagewasser gefördert. Dieses Controlled Drainage setzt jedoch die genaue Kenntnis von Lage und Funktionsfähigkeit der Drainagesysteme voraus.



Aktuelle Probleme treten auf, da viele Meliorationsanlagen am Ende ihres Lebenszyklus angelangt bzw. stark reparaturbedürftig sind und die genaue Lage der Drainagesysteme oft nicht bekannt ist. Die Lageunsicherheiten resultieren aus der Verlegung mehrerer Generationen von Drainagesystemen über die Jahre und Jahrzehnte hinweg. Zusätzlich wurden über die Jahre unterschiedliche Materialien (zunächst Tonrohre und seit ca. 50 Jahren Plastikrohre) verwendet. Außerdem bilden bestehende Karten oftmals nur Planungszustände ab, die meist nur teilweise mit den real verlegten Drainagen übereinstimmen. Zur mangelnden Dokumentation kommt in den neuen Bundesländern erschwerend hinzu, dass viele Meliorationsunterlagen in den Wendejahren verloren gegangen sind.

Eine im Projekt durchgeführte beispielhafte Identifizierung und Analyse von Schädstellen der Testgebiete der Projektpartner mithilfe verfügbarer Luftbildjahrgänge zeigte, dass der Ertragsverlust aufgrund der identifizierten Schadflächen durchschnittlich 5,1 % (Parchow), 7,4 % (Groß-Schwiesow) und 10,9 % (Mistorf) beträgt. Als Schädstellen werden Flächen definiert, die gegenüber dem Umland stärker durchnässt sind, so dass auf eine defekte bzw. nicht vorhandene Drainage geschlossen werden kann. Funktionstüchtige Drainagen und damit Drainagedetektion sind erforderlich, um das Wasserspeichervermögen der Flächen ganzjährig optimal für Pflanzenproduktion nutzen zu können und unnötige Nährstoffausträge zu verringern. Ihre Haltbarkeit ist in vielen Fällen bereits deutlich überschritten, starke Zunahme von Schadbildern absehbar.

Die drainierte Fläche allein in MV, die zu prüfen ist beträgt ca. 885.000 ha (ca. 60 % der Flächen) und beeinflusst ca. 1,6 Mio. ha, fast das Doppelte der direkt entwässerten Gebiete (Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.), 2010. Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam) Drainagesysteme verursachen aber auch einen erheblichen Teil des unerwünschten Wasserabflusses und der Nährstoffausträge mit Belastung der Grund- und Oberflächengewässer sowie der Ostsee. Daraus resultiert die Notwendigkeit der Begrenzung von Umweltrisiken über Nährstoffausträge (Neue Düngeverordnung, 46 % „Rote Gebiete“).

## Projektkonzept:

Das Erfordernis des Monitorings von wirtschaftlich genutzten Flächen und Ökosystemen mittels georeferenzierter, messwertbasierter Detektion und Digitalisierung von unterirdischen Strukturen zur Erfassung und Kontrolle von Straßenverhältnissen, Stromleitungen, Gas- und Wasserleitungen, Drainagen, Ablagerungen, Sedimentationen, Altlasten, Halden und Fundamenten, Boden- und archäologischer Schätze wurde als Möglichkeit technischer Innovation aufgegriffen.

Dazu sollte die SQUID-Technologie (Supraleitende Quanten Interferenz Detektoren) erstmalig zur berührungslosen Erkennung von Drainagesystemen die Möglichkeit der Spezifizierung für diese praktische Anwendung mit hoher Flächenleistung getestet werden. Auf der Basis der generierten Daten soll weiterführend ein messwertbasiertes digitales betriebliches Meliorationskataster entstehen, mit dem der Landwirt bzw. dessen Dienstleister in die Lage versetzt werden, ein gezieltes Drainagemanagement in die Flächenbewirtschaftung zu integrieren, um damit u.a. die N-Austräge aus der Fläche zu reduzieren.

In die darauf aufbauende Entwicklung von Precision Farming Strategien fließen dann neben den Digitalen Drainageplänen, den Resultaten der SQUID-Messungen und Drohnen-Befliegungen auch die Ergebnisse der Datenanalyse sowie die Erhebung der Bodenparameter (STENON Messungen) ein.



## Projektteam:

Das Projekt wurde von der **ratiodomo Ing.-GmbH** (RAT) initiiert und geleitet, die als ihren Unternehmenskern die kontinuierliche Verbesserung des Prozesses von Herstellung und Betrieb der Komponenten Gebäudetechnik, Gebäudehülle und Grundfläche mittels simulations- und messwertgestützter KI-basierter digitaler Zwillinge ausweist. Durch die Verknüpfung der Prozessdaten der Optimierung der Komponenten zu einer 4D – Datenbank wird ein KI-gestütztes Optimierungstool bereitgestellt. Um in der dringlich erforderlichen Detektion von Drainagen einen Technologiesprung zu erzielen, wurde eine innovative Sensorik erprobt und geplant, die Methode der kontinuierlichen Verbesserung auf dieses Projekt anzuwenden.

Für die Entwicklung der Sensorik für die Flächendetektion konnte die auf dem Gebiet der SQUID-Technologie führende **Supracon AG** (SUP) aus Jena gewonnen werden, die sich von diesem Projekt eine methodische und technologische Weiterentwicklung der Systemkomponenten versprach. Als Marktführer der Drainagedetektion nahm die **Apus Systems GbR** (APS) aus Dresden als zuständig für die Projektimplementierung am Projekt teil, um einen Innovationsprung bei der Bereitstellung von Planungsdaten für die Wartung und Sanierung von Drainagen zu erzielen. Die **Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock** (URO) begleitete das Projekt wissenschaftlich, um Forschungsimpulse für die Weiterentwicklung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungskonzepten zu erhalten. Die **Adam & Werner GmbH** (AUW) aus Teterow war für die Verifikation der Sensordaten zuständig und beabsichtigt, das bereitgestellte digitale Meliorationskataster in ihr Leistungsportfolio zu übernehmen. Von den **Projektteilnehmern Agrofarm eG aus Lüssow** (AFG), **Landprodukte Teterow GmbH** (LPT), **Gut Dummerstorf GmbH** (GDG) und **Gutsverwaltung Storch KG** (GVS) wurden drainierte Testgebiete bereitgestellt, um perspektivisch ein sensorbasiertes digitales georeferenziertes Meliorationskataster für ein gezieltes Drainagemanagement in der Flächenbewirtschaftung zur Verringerung bilanzieller N-Überhänge und Stabilisierung der Bewässerung zu erhalten.

Um das hohe technische und wirtschaftliche Risiko zu kompensieren, erfolgte eine Teilnahme am Wettbewerb zur Gründung Operationeller Gruppen (OG) im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft EIP-ELR MV 2021 in Mecklenburg-Vorpommern mit dem Thema: „Optimierung der Stickstoff-Bilanzen drainierter Flächen durch Detektion ihres Zustands mittels SQUID-Technologie.“

## Projektdurchführung:

Die Maßnahme wurde vorfristig am 04.04.2022 begonnen, um 2 Monate verlängert und am 31.05.2024 beendet. Der entsprechend des Arbeitsplanes und der Mittelabrufe in 5 Zwischenberichte und einen Abschlussbericht gegliederte Sachbericht spiegelt den Projektverlauf wider.

Die Berichte werden jeweils in die Abschnitte: „Projektsteuerung“, Öffentlichkeitsarbeit“ und „Arbeitsplan“ mit den Unterpunkten: Konzeptionierung (Zielparameterdefinition, Rahmenbedingungen, Ansätze zur kontinuierlichen Verbesserung, Lastenheft), Erfassung des Ist-Zustandes (Auswahl und Inventur Versuchsflächen, Charakterisierung von Drainagesystemen, Multitemporale Drohnenbefliegungen und Ground Truth Messungen), Detektionsmechanismen und innovative Technologie (Entwicklung und Evaluierung innovativer Einzelkomponenten, Algorithmen-Entwicklung zur kombinierten Datenverarbeitung, Entwicklung von Algorithmen zur Detektion und Charakterisierung von Drainagesystemen, Präsentation von Ergebnissen und Aussagen), Validierung und Verifikation in der Praxis (Untersuchung von Performance-Einflüssen auf Messparadigmen, Erarbeitung essentieller Einflussfaktoren auf Ergebnisse, praktische Evaluierung an nachvollziehbaren



Strukturen, Definition valider Vertrauensbereiche aus den Verifikationsuntersuchungen), Optimierung der Stickstoff-Bilanz (Modellierung und Evaluierung des Drainagebedarfs, Tests zu Precision Farming-Strategien, Erkenntnistransformation in kontinuierliche Verbesserung) und Überführung in den realpraktischen Einsatz (Effektivitätsfeststellung und Aufwandsminimierung, Wissensbasis für die kontinuierliche Verbesserung und Grundlagenschaffung für eine praxisorientierte Dienstleistungsstruktur) gegliedert.

Mit Hilfe von regelmäßig durchgeführten und protokollierten Videokonferenzen wurde die stetige Abstimmung der verteilt lokalisierten Projektpartner permanent sichergestellt, was zu einem guten Projektfortschritt beigetragen hat.

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Projektergebnisse zusammen, wobei die in den Zwischenberichten dargestellten Ergebnisse übersichtlich wiedergegeben werden und der Fokus auf der letzten Projektphase liegt. Das Projekt umfasste zwei Messkampagnen, in denen neben dem Einsatz der SQUID-basierten Messtechnik auch Drohnen-Befliegungen, Kartierungen und begleitende Messwertaufnahmen umgesetzt werden konnten. Das folgende Bild zeigt die SQUID-Technologie im Einsatz beim Befahren eines Testgebietes.



*Abbildung 1: SQUID-basiertes Messsystem JESSY SMART der Supracon AG im Feldeinsatz zur Drainagedetektion*

Zur Qualifizierung des Projektteams fand im Sommer 2023 ein projektinterner Workshop im Hause Supracon in Jena statt, in dessen Rahmen technische Details sowohl zur Messtechnik als auch zur Entwicklung der Analyse-Software diskutiert wurden. Der Workshop hatte das Ziel, die Messtechnik in der Projektgruppe bekannt zu machen, um Vorteile und Limitierung kennen zu lernen und so das Verwertungspotential besser einschätzen zu können. Der Workshop ergab wesentliche Impulse für die weitere Projektarbeit und trug bei allen Teilnehmern zu einem vertieften Verständnis der Messmethode bei. Damit wurde die Schulung zu einem wertvollen Baustein des Projektfortschrittes.



Abbildung 2: Projektpartner und Teilnehmer der internen Sensor-Schulung Jena  
(von links: M. Hehne, Dr. G. Grenzdörffer, M. Schneider, Dr. M. Donath, J. Wienken, Dr. J. Kobow).

## Projektergebnis

Der Test der Eignung der SQUID-Technologie für die berührungslose Erkennung von Drainagesystemen mit hoher Flächenleistung ergab, dass die von Drainagen verursachten Verzerrungen des Erdmagnetfeldes in einem derartigen Signal-Rausch-Verhältnis (Verhältnis zwischen der Stärke des Nutzsignals (Drainage) und dem Hintergrundrauschen (Störsignal) liegen, das innerhalb des Projektzeitraumes die sichere Zuordnung der Signaturen noch nicht ermöglichte. Hardwareseitig konnte durch eine optimierte Anordnung der Sensoren in Kombination mit erweiterten Lineament-Detektions-Ansätzen eine verbesserte Signaturerfassung erzielt werden. Softwareseitig wurde durch Herstellung der Schnittstellentauglichkeit die Datenqualität und durch Kombination verschiedener Ansätze die Lineament-Detektion sowie einer Teilautomatisierung die Datenprozessierung verbessert.

Auf dieser Basis erfolgt die Weiterentwicklung mittels KI-gestützter Automatisierung der Datenprozessierung, Optimierung der Schnittstellentauglichkeit, Erweiterung der vorhandenen Hardware um Bodenradarsysteme zur Ermittlung der Tiefe der Drainagen und der Übergang zu luftgestützten Systemen zur Erhöhung der Flächenleistung und Schonung der Flächen. Zunächst soll dabei die klare Unterscheidung der Signaturen in Drainage und Nicht-Drainage durch Einbeziehung weiterer Faktoren (Hydrologie, Digitale Geländemodelle) erreicht werden.

Zur Grundlagenschaffung für die Überführung der Technologie in eine praxisorientierte Dienstleistungsstruktur und konsequente Nutzbarmachung der erarbeiteten Ergebnisse erfolgten in Koordination mit dem Unternehmen **Invest in MV** Abstimmungen mit potentiellen Auftraggebern wie den Unternehmen **Goldbeck GmbH** aus Bielefeld, **Streamtec Solutions AG** aus Zug und **Inros Lackner SE** aus Rostock. Die Dokumentation der Resultate der untersuchten Testflächen von Landprodukte Teterow, Agrofarm e.G., Gutsverwaltung Storch KG und Gut Dummerstorf GmbH wird als Meliorationsteilkataster in kommentierten pdf-Dokumenten an die jeweiligen Projektpartner übergeben und ihre Verwendung durch das Unternehmen APUS Systems GbR den Partnern direkt erläutert.

## Öffentlichkeitsarbeit

Innerhalb des Projektes konnte eine gute Öffentlichkeitswirksamkeit durch Teilnahmen an verschiedenen Veranstaltungen (Klausurtagungen, Präsidiumssitzungen, Gesprächsrunden, u.v.m.) verschiedene Presseveröffentlichungen, einen öffentlichen Feldtag, die Relation zum Küstenschutz und die Präsentation des Projektes vor dem Präsidium des Bauernverbandes erzielt werden. So wurde auf dem 6. bundesweiten EIP-AGRI OG-Workshop für Operationelle Gruppen in Hannover im September 2022 das Projekt mit einem Poster vorgestellt, das in einem Wettbewerb von ca. 85 den 3. Platz erhalten hat.



Abbildung 3: Poster für den EIP-AGRI OG-Workshop

Im Rahmen der zweiten Messkampagne, die zunächst aufgrund der vorherrschenden Wetterbedingungen verschoben werden musste, wurde ein offener Feldtag organisiert, um den Projektansatz und die Umsetzungsstrategien an interessierte Besucher zu vermitteln und die Möglichkeit zur Rückmeldung zu geben.



Abbildung 4: Feldtag im September 2023, Befliegung



*Abbildung 5: Feldtag im September 2023, Vorstellung Drainagesysteme*



*Abbildung 6: Feldtag im September 2023, Vorstellung Messsystem*

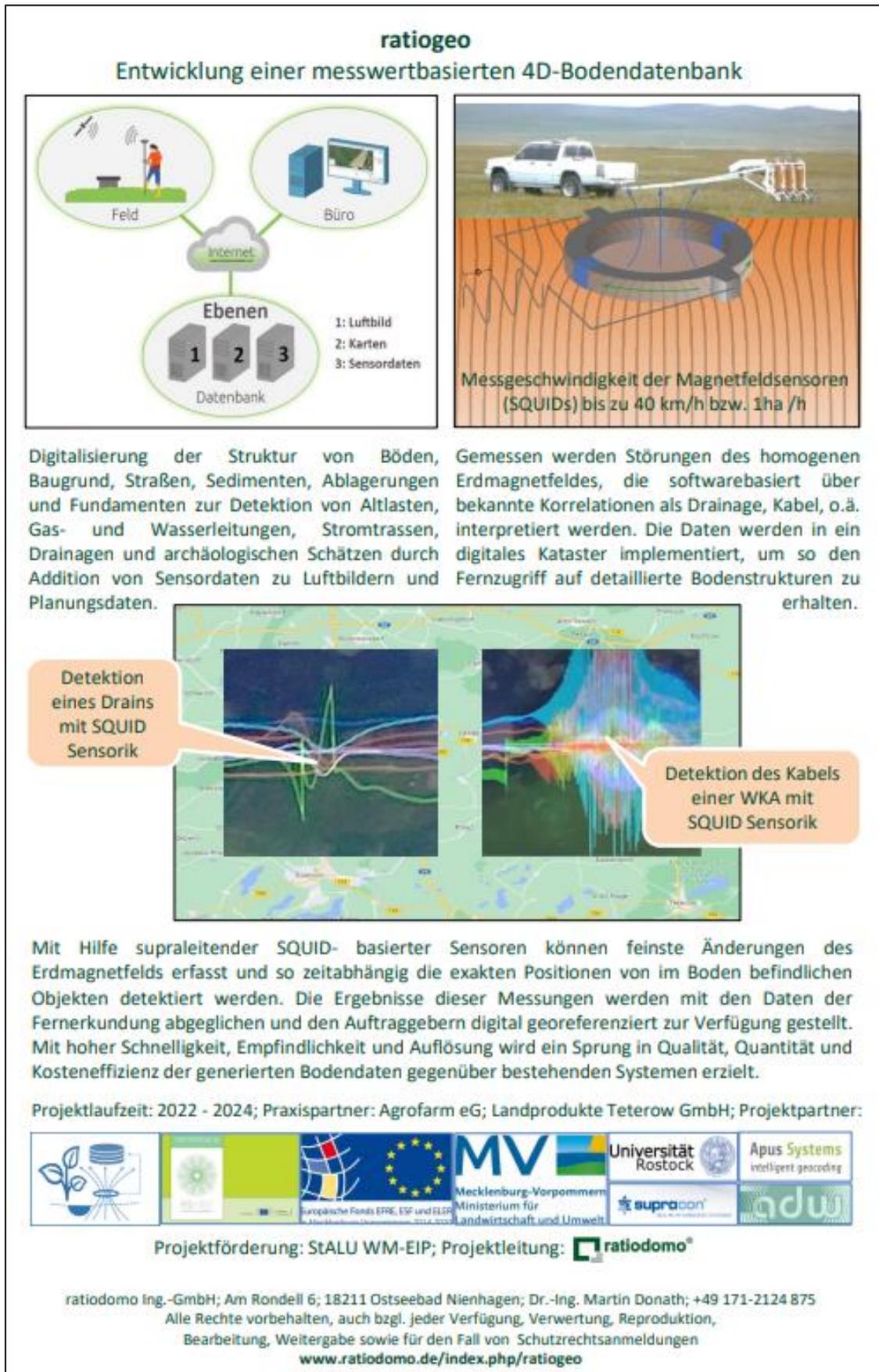


Abbildung 7: Kommuniziertes Übersichtsplakat zum Projektstand September 2023