



Nachhaltige Lösungen zur Klimawandel-Anpassung - Nutzung von erneuerbaren Energien in der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen

Martín Alejandro Bär², Karen Baumann^{1,3}, Marie Scheffle⁴, Kerstin Wunder²,
Christine Aka⁵, Broder Breckling^{4,6}, Armando Walter Colombo², Johannes
Isselstein⁷, Manfred Kayser^{3,7}, Johannes Rolink², Sven Steinigeweg^{8*}

¹ Korrespondierende Autorin und Gesamtedaktion: karen.baumann@uni-vechta.de

² Hochschule Emden/Leer, Fachbereich Technik, Abteilung Elektrotechnik und Informatik, Constantiplatz 4, 26723 Emden

³ Universität Vechta, Geo Labor, Driverstraße 22, 49377 Vechta

⁴ Universität Vechta, Fakultät II, Große Straße 97, 49377 Vechta

⁵ Kulturanthropologisches Institut für das Oldenburger Münsterland, Museumstraße 25, 49661 Cloppenburg

⁶ Universität Bremen, Allgemeine und theoretische Ökologie, FB2, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Leobener Str. 6, 28359 Bremen

⁷ Georg-August Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

⁸ Hochschule Emden/Leer, Fachbereich Technik, Abteilung Naturwissenschaftliche Technik, Constantiplatz 4, 26723 Emden

* die ersten vier Autor*innen haben zu gleichen Teilen beigetragen; sie sind Co-Erstautor*innen.

Abstract

Die Landwirtschaft in Nordwest Niedersachsen unterliegt tiefgreifenden Transformationsprozessen; sozial, ökonomisch, ökologisch und technologisch. Eine Möglichkeit, den Herausforderungen zukunftsfähig zu begegnen, könnte die regenerative Energieerzeugung in landwirtschaftlichen Betrieben sein. Landwirt*innen sehen sowohl positive, als auch negative Aspekte in dieser Umgangsstrategie. Für die Nutzung von erneuerbaren Energien in dezentraler Lage, in der sich auch die Landwirtschaft befindet, wurden erste Szenarien herausgearbeitet, die ein Energiekonzept von der Erzeugung des Stroms, ggf. über die Speicherung bis hin zur

Schlüsselworte: Biodiversität, Digitalisierung, erneuerbare Energien, Photovoltaik, Reallabor, Simulation, Wasserstoff

Zitation: Bär, M. A.; Baumann, K.; Scheffler, M.; Wunder, K.; Aka, C.; Breckling, B.; Colombo, A. W.; Isselstein, J.; Kayser, M.; Rolink, J.; Steinigeweg, S. Nachhaltige Lösungen zur Klimawandel-Anpassung - Nutzung von erneuerbaren Energien in der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen. Transformation Dynamics 2024, 1, 9.

Nutzung des Stroms berücksichtigen. Erste Ergebnisse zeigen, dass die technische und wirtschaftliche Machbarkeit stark vom Anwendungsfall abhängig ist. Erneuerbare Energien in Form von Photovoltaik (PV)-Anlagen könnten zum Beispiel durch Schatten-, Feuchte- und Korridor-Effekte den Feldrand für verschiedenste Tiere und Pflanzen optimieren und damit zur Erhöhung der Biodiversität beitragen. Während Landwirt*innen in einer online Befragung zu ihrer Einstellung gegenüber regenerativen Energien und Biodiversität dieses Potenzial nicht sahen, konnte sich die befragte Bevölkerung die Förderung von Biodiversität durch PV-Anlagen durchaus vorstellen. Ein Reallabor zur empirischen Erfassung der verschiedenen Aspekte ist in der Genehmigungsphase. Der Prozess der Digitalisierung mit der Vernetzung verschiedenster digitalisierter Dinge ist in der Entwicklung. Erste Tests sind vielversprechend und könnten bei der Transformation der Region unterstützen.

Einleitung

Inhaltlich verantwortlich: K. Baumann, B. Breckling

Nordwest Niedersachsens Landschaftsbild und Wirtschaft sind stark von der Landwirtschaft geprägt. Ein Strukturwandel in dieser Region ist insbesondere durch einen demographischen Wandel und die Abnahme der Zahl von landwirtschaftlichen Betrieben bei gleichzeitig wachsenden Betriebsgrößen gekennzeichnet (Statistisches Bundesamt 2022¹; Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung – Demografie-Portal 2023²). Zudem steht die Landwirtschaft in dieser Region vor besonderen Herausforderungen, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind.

Klimawandel ist bedingt durch steigende atmosphärische CO₂-Konzentrationen, die u.a. aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammen und auch als Folge von Moorentwässerungen auftreten, die in weiten Teilen Nordwest Niedersachsens in der Vergangenheit stattgefunden haben (LBEG 2022). Die steigenden Konzentrationen von Treibhausgasen wiederum bewirken die Erderwärmung, die für Nordwest Niedersachsen trockenere Sommer, häufigere Starkregen und erhöhte Niederschlagsmengen im Winter erwarten lässt (Madsen et al. 2014; Svoboda et al.

1 Statistisches Bundesamt (2022). <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html> (abgerufen am 13.11.2023).

2 Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung – Demografie-Portal (2023). <https://www.demografie-portal.de/DE/Fakten/bevoelkerung-alterstruktur-niedersachsen.html> (abgerufen am 13.11.2023)

2015). Hieraus lässt sich für die zukünftige Landwirtschaft der Bedarf für ein optimiertes energieabhängiges Wassermanagement ableiten, das zum einen den temporär erhöhten Bewässerungsbedarf, zum anderen den zusätzlichen Entwässerungsbedarf in küstennahen Regionen beinhaltet.

Nachhaltige Anpassungsinitiativen an diese Klimawandel-Auswirkungen werden insbesondere von denjenigen erwartet, die von den Veränderungen betroffen sind (WBGU 2011). Es wird daher davon ausgegangen, dass Landwirt*innen einen wesentlichen Beitrag zu einer Transformation im ländlichen Raum der Region Nordwest Niedersachsens leisten können. In TV7 des Projektes 4N, das sich mit landwirtschaftlichem Strukturwandel und Anpassungen an den Klimawandel beschäftigt, werden daher im Beitrag von Scheffler und Aka Positionierungen und Erfahrungen Seitens der Landwirt*innen aus kulturanthropologischer Sicht untersucht.

Eine nachhaltige Anpassung der Landwirtschaft könnte die Erzeugung regenerativer Energien mittels Photovoltaik (PV) darstellen, die nicht nur zur Vermeidung der Verbrennung fossiler Energien beiträgt, sondern gleichzeitig auch zu den zu erwartenden dezentralen Be- und Entwässerungsaufgaben herangezogen werden könnte. Um dabei den Bedarf an landwirtschaftlicher Fläche für eine PV-Installation zu optimieren, wird im TV7 eine neue Form der PV-Anlage betrachtet, die Feldrain-PV. Als Feldrain werden die feldnahen Rand- Grenz- und Zwischenstrukturen bezeichnet, auf denen sich Organismengemeinschaften entwickeln, die sich von Organismengemeinschaften auf der bewirtschafteten Fläche unterscheiden. Anders als bei PV-Anlagen in Solarparks oder herkömmlichen zum Teil auch hoch aufgeständerten Agri-PV-Anlagen, wird bei diesem Subtyp der Freiflächen-PV von einer in nur einer Reihe installierten PV-Modulen ausgegangen, die sich am Feldrand befindet und somit keine erhebliche Flächenkonkurrenz zur Agrarnutzung darstellt (Abb. 1).

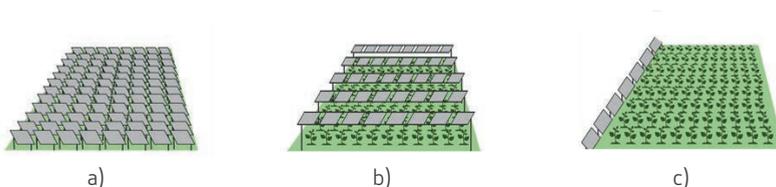


Abb. 1 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Anordnung von Freiflächen-Photovoltaik im agrarisch genutzten Raum. (a) Freiflächen-PV in Solarparks, (b) Agri-PV, (c) Feldrain-PV. Grau: PV-Module.

Ob eine Feldrain-PV-Anlage wirtschaftlich und technisch machbar ist, und in wie fern Wasserstoff den dezentral entstandenen Strom speichern könnte, wird im TV7 in den Beiträgen von Wunder, Rolink und Steinigeweg untersucht. Bär und Colombo ermitteln dabei die Anwendung von Netzwerk-Technologie und Digitalisierung für die Nutzung solcher regenerativen Energien im ländlichen Raum.

Neben der Lieferung von Energie, könnte sich Feldrain-PV positiv auf die biologische Vielfalt auswirken, indem sie kleinräumige Heterogenität in Bezug auf Licht und Wasser zur Nutzung durch verschiedenste Lebewesen kreiert. Außerdem könnte die lineare Struktur von Feldrand-PV eine Korridorfunktion übernehmen und verschiedene Habitate miteinander verbinden. Zur Biodiversität finden im TV 7 Untersuchungen statt, die im Beitrag von Baumann et al. dargestellt sind.

Alle praktischen Untersuchungen zu dem oben genannten Konzept sollen in einem Reallabor durchgeführt werden. Mit der Anlage, Gestaltung und Ausstattung dieser Demonstrations- und Testanlage im TV7 beschäftigt sich der Beitrag von Rolink. Ziel des TV7 ist es, einen umfassenden Einblick in die Möglichkeiten, Herausforderungen und Chancen der regenerativen Energienutzung als Anpassung an Klimawandel-Folgen im ländlichen Raum zu geben und damit transformative Ideen aus interdisziplinärer Sicht zu fundieren.

Perspektiven auf regenerative Energienutzung in der Landwirtschaft

Inhaltlich verantwortlich: M. Scheffler, C. Ak

Der landwirtschaftliche Strukturwandel

„Das ist kein Strukturwandel mehr – das sind Strukturbrüche.“ Mit diesen Worten beschreibt ein Landwirt aus dem Oldenburger Münsterland im Interview seine Sicht auf die aktuelle Lage der Landwirtschaft (Q1³). Dass diese Einschätzung, einhergehend mit großer Sorge um die Zukunft der (bäuerlichen) Landwirtschaft, kein regionaler Einzelfall ist, bezeugen bereits seit Jahren stattfindende, bundesweite Protestaktionen und Demonstrationen von Landwirt*innen – gegen sich zunehmend verschärfende Auflagen und auch gegen einen empfundenen öffentlichen Anerkennungsverlust ihres Berufsstandes im Allgemeinen. Zahlreiche Betriebsaufgaben und Existenzsorgen bei denen, die weitermachen, sind die Folgen einer Landwirtschaft in der Krise.

3 Projekt „Klimawandel und Landwirtschaft“, Interview mit Landwirt A, geführt am 11.10.2022 von Marie Scheffler in Vechta.

Der landwirtschaftliche Strukturwandel beschreibt einen andauernden Transformationsprozess, der das Arbeiten und Wirtschaften über Jahre hinweg grundlegend veränderte und weiterhin verändert. Durch Technisierung und Modernisierung der Maschinen, des Stallbaus, der Zuchtverfahren sowie der Düngemittel und Pestizide konnte die Landwirtschaft in den vergangenen Dekaden ihre Produktivität massiv steigern. Die Betriebe wuchsen, sowohl in Hektar- als auch in Tierzahlen, oder mussten weichen (Wittmann 2021). Diese Entwicklung – eine stetige Abnahme der Anzahl an Betrieben bei gleichzeitigem Wachstum der überlebenden Betriebe – setzt sich bis heute fort. Insbesondere kleinere Betriebe stehen aktuell häufig vor dem Problem des Mangels einer Hofnachfolge, wodurch in den kommenden Jahren eine Fortsetzung dieses Trends erwartet werden kann (Schürmann 2021).

Die steigende Produktivität und die Notwendigkeit zur Technisierung führen zu einem gesteigerten wirtschaftlichen Druck auf die einzelnen Betriebe. Hinzu kommen starke Anstiege der Pachtpreise und der Produktionskosten sowie schwankende Erzeugerpreise, während bedingt durch den Klimawandel mit zunehmenden Extremwetterphänomenen und Dürreperioden zu rechnen ist (Statistisches Bundesamt 2023⁴, IPCC 2019).

Mit der Intensivierung der Landwirtschaft geriet auch die Thematik der resultierenden Umweltfolgen in den öffentlichen Diskurs. Bereits in den 1970er Jahren begonnen, werden diese Diskussionen bis heute geführt. Der negative Einfluss auf die Umwelt ist einer der Hauptkritikpunkte an der (industriellen) Landwirtschaft. Ganz konkret geht es hier etwa um Themen wie Pestizid-, Düngemittel- und Antibiotikaeinsatz, Wasserverbrauch und Gewässerverschmutzung, Schadstoffbelastung und Tierwohl. Zudem ist die Landwirtschaft für etwa 23 % der menschgemachten Treibhausgase verantwortlich (IPCC 2019).

Die skizzierte Entwicklung zeigt, dass die Landwirtschaft sich in einem besonderen Spannungsfeld zwischen ökonomischer Veränderung, ökologischen Erfordernissen, öffentlicher Erwartungshaltung und eigenem Selbstverständnis befindet. Der voranschreitende Klimawandel, ebenso wie gegenwärtige wirtschaftliche Unsicherheiten wirken zudem im besonderen Maße auf dieses Berufsfeld ein. So besteht eine Vielzahl von äußeren Anforderungen an die Landwirtschaft: Ihre Hauptaufgabe, die Produktion von Nahrungsmitteln, möglichst ökologisch, nachhaltig und ethischen Ansprüchen genügend, unter wechselnden Auflagen in einem durchaus for-

4 Statistisches Bundesamt (2023). https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/09/PD23_366_61211.html (abgerufen am 26.09.2023).

dernden Berufsfeld, dessen Zukunftsaussichten für viele Landwirt*innen ungewiss sind. Inmitten dieses Geflechts komplexer Faktoren aus Politik, gesellschaftlichen Entwicklungen und - Erwartungen, Umwelt, Klima, sowie technologischem und wissenschaftlichem Fortschritt stehen die Landwirt*innen selbst, die sich im fortlaufenden Strukturwandel und einer sich verändernden Umwelt zurechtfinden und positionieren müssen.

Regenerative Energien als Weg aus der Krise?

Im Kontext von ökonomischen Prekaritäten, Klimawandeldiskursen und Fragen um die Zukunft der nachhaltigen Energieerzeugung gerät die Landwirtschaft verstärkt in den Fokus. Besonders relevant sind dabei die Diskussionen um die Erzeugung regenerativer Energien durch Landwirt*innen. Einerseits vermag die regenerative Energieerzeugung im Betrieb als zusätzliche Einnahmequelle eine Abmilderung der wirtschaftlichen Drucksituation zu schaffen, auf der anderen Seite bringt der Einzug der regenerativen Energien in die Landwirtschaft auch problematische Aspekte mit sich. Die ohnehin schon hohen Preise für Agrarland werden durch Investor*innen aus der Energiebranche, die Flächen zur Errichtung von Anlagen zur Energieerzeugung akquirieren, weiter in die Höhe getrieben (Tagesschau vom 05.06.2023⁵). Die Konflikte um Flächennutzung intensivieren sich. Auch ethische Fragen stellen sich bei Entscheidungen zur Flächennutzung; so zeigt eine Feldstudie zur regenerativen Energieerzeugung in der Landwirtschaft in einer Region in Bayern, dass sowohl von Seiten der Bevölkerung, als auch von Seiten der Landwirtschaft mit dem Gedanken gehadert wird, Ackerland, das zur Nahrungsmittelproduktion verwendet wurde, nun zur regenerativen Energieerzeugung zu nutzen (Sperling 2017). Dass diese Problematik sich nicht allein auf moralische oder emotionale Hintergründe beschränken lässt, zeigen andauernde Diskussionen um eine fortlaufend wachsende Weltbevölkerung, deren Ernährung auch in Zukunft sichergestellt sein will (Wittmann 2021).

Die regenerative Energieerzeugung bedeutet nicht nur Veränderung für den jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb, sie beeinflusst auch das Landschaftsbild. Sperling (2017) zeigt in ihrer Studie, dass regenerative Energien im Bild einer Kulturlandschaft bei der lokalen Bevölkerung Gefühle von Heimat- und regionalem Identitätsverlust auslösen können. Hierbei gelte jedoch zu beachten, dass in solchen Diskussionen oftmals romantisierte Imaginationen einer ursprünglichen, vorindustriellen bau-

5 Tagesschau (2023). <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/solar-landwirtschaft-ackerland-100.html> (abgerufen am 26.09.2023).

erlichen Land(wirt-)schaft heraufbeschworen werden, die jedoch schon lange keiner Realität mehr entsprechen. Um die Akzeptanz unter der Bevölkerung zu steigern, seien ein ausgebautes Stromleitungsnetz und eine Beteiligung der Nachbarschaften an der Wertschöpfung ein guter Weg; durch Dezentralisierung können ein lokaler Gemeinschafts- und Unabhängigkeitscharakter entstehen (Sperling 2017; s. Beitrag Bär und Colombo „Netzwerk-Technologie und Digitalisierung“).

Auch in Nordwest Niedersachsen integrieren immer mehr landwirtschaftliche Betriebe die regenerative Energieerzeugung in ihre Arbeit. Erste Erhebungen zeigen eine Tendenz zur Hoffnung auf ein zweites wirtschaftliches Standbein, eventuell sogar bis zur Energie-Unabhängigkeit des eigenen Betriebs. In einer Region, die so stark von der Landwirtschaft geprägt wird, stellt sich die Frage, inwiefern die regenerative Energieerzeugung die Landwirtschaft transformiert. Welche Beweggründe haben Landwirt*innen, regenerative Energien in ihre Betriebe zu integrieren? Welche Schwierigkeiten und Hürden sehen sie? Wie betrachten sie die positiven, aber auch die negativen Effekte auf die Landwirtschaft und wie schätzen sie zukünftige Handlungsoptionen ein?

Kulturanthropologische Feldstudie

Zur Beantwortung dieser Fragen wird derzeit im Rahmen des Projektes 4N eine empirische Feldstudie in Nordwest Niedersachsens durchgeführt. Die Basis der Studie bilden leitfadengestützte Interviews und teilnehmende Beobachtungen bei landwirtschaftlichen Veranstaltungen (wie Informationstreffen oder Diskussionsrunden). Die Interviewsituation ist durch ihre Flexibilität gekennzeichnet. Die Forschende muss sich auf die jeweiligen Gesprächspartner*innen einstellen und geht auf Impulse ein. So besteht die Möglichkeit, Themen, die den Interviewpartner*innen wichtig erscheinen, aufzunehmen und gleichermaßen wird die Gefahr, die Gesprächssituation zu stark zu beeinflussen, vermindert. Um dem Interview dennoch eine thematische Struktur zu geben, wurde ein Leitfaden mit entsprechenden Fragen entwickelt (Spiritova 2014). Die teilnehmende Beobachtung bietet als Methode der Feldforschung zusätzlich die Möglichkeit, an Interaktionen der befragten Personen teilzunehmen. So werden „vertiefte Einblicke in das Handeln der Menschen und die Sinnzusammenhänge, die sich daraus ergeben“, ermöglicht (Cohn 2014). In den laufenden Interviews mit Landwirt*innen Nordwest Niedersachsens wird zur Kontextualisierung zunächst nach dem biografischen und betrieblichen Hintergrund der Teilnehmenden gefragt, anschließend wird

um eine persönliche Einschätzung der aktuellen Herausforderungen in der Landwirtschaft gebeten. Weiterhin wird eine Einschätzung der Rolle der Landwirtschaft im Klimawandel erfragt, um anschließend auf die eigenen Sorgen und Handlungsoptionen im Kontext einer sich verändernden Umwelt zu kommen. Zum Thema regenerativer Energieerzeugung werden die jeweiligen Positionen, eigenen Erfahrungen und Einstellungen erfragt.

Zur Ergänzung dieser qualitativen Methodik wurde, auch im Hinblick auf eine interdisziplinäre Anschlussfähigkeit und Zusammenarbeit, eine Fragebogenstudie entwickelt, in welcher Landwirt*innen zu ihren Positionen und Einschätzungen zu regenerativen Energien befragt wurden. Neben Eckdaten zu ihren Betrieben und Biografien wurde hier abgefragt, welche Bedeutung sie den Themen Biodiversitätsförderung, Schädlinge, Extremwetterphänomene, Trockenheit und dem Ausbau regenerativer Energien zuschreiben würden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass sie Blühstreifen auf ihren Flächen anlegen würden – oder ob sie dies bereits getan haben –, ob sie bereits Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung in ihren Betrieb integriert haben oder ob sie dies zukünftig planen, und welche Motivationen eine Rolle bei dieser Integration spielen. Weiterhin wurde erhoben, ob die Befragten an landwirtschaftlichen Fördermaßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU teilnehmen und welche Rolle mögliche Fördergelder oder Sanktionen für die Einrichtung von Blühstreifen und das Investieren in Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung spielen. Zusätzlich wurde eine zweite, kleinere Umfrage unter Passant*innen in Emden durchgeführt, um Meinungen aus der lokalen Bevölkerung abbilden zu können (s. Beitrag Baumann et al. „Feldrain-PV-Anlagen aus biologischer Sicht“). Durch das Zusammenspiel dieser qualitativen und quantitativen Methoden ergibt sich ein großes Potential für das Erkenntnisinteresse. Während über die quantitativen Fragebögen durch die größere Anzahl von Teilnehmenden ein breiteres Spektrum erhoben werden kann, bieten die Interviews einen Zugang in die Tiefe und gewähren damit einen komplexeren Einblick in die Positionen und Hintergründe der Teilnehmenden. Gemeinsam führen beide Ansätze zu einem umfassenderen Bild über das Forschungsinteresse.

Die Landwirtschaft in Nordwest Niedersachsen

(Nordwest) Niedersachsen gilt als das „Agrarland Nr. 1“ in der Bundesrepublik (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirt-

schaft und Verbraucherschutz 2023⁶). Sowohl das Landschaftsbild, als auch die Menschen im ländlichen Raum selbst sind stark geprägt von der Landwirtschaft. Neben zahlreichen Betrieben haben sich auch große Unternehmen der landwirtschaftsnahen Industrie und der Ernährungswirtschaft angesiedelt (Agrar- und Ernährungsforum Oldenburger Münsterland e.V.⁷).

Der eingangs bereits zitierte Landwirt aus dem Oldenburger Münsterland (Q1) gibt zu bedenken, dass es nicht allein die landwirtschaftlichen Betriebe sind, die zukünftig in großer Zahl verschwinden werden –, diese seien nur ein Teil der Wertschöpfungskette, die in ihrer Gesamtheit betroffen sein wird. Es handelt sich also um komplexe Strukturen, die sich gegenseitig beeinflussen und die in Abhängigkeitsverhältnissen zu einander stehen.

Zur Prüfung der Einsatzfähigkeit regenerativer Energien, ebenso wie zur Stärkung der Region in ihrer Gesamtheit ist es daher notwendig, die Zusammenhänge der Wirtschaftssektoren sowie lokaler Merkmale zu beachten und in die Untersuchungen einzubeziehen (s. Beiträge Wunder et al. und Rolink „Dezentrale Einsatzstrategien von regenerativen Energien“).

Dezentrale Einsatzstrategien von regenerativen Energien

Inhaltlich verantwortlich: K. Wunder, J. Rolink, S. Steinigeweg

Dezentrale erneuerbare Energiequellen könnten eine nachhaltige Lösung für die Energiekrise und den regionalen Wandel darstellen, mit dem sich die Landwirtschaft in Nordwest Niedersachsen konfrontiert sieht. Die Machbarkeit von regenerativen Energieanlagen in diesem Bereich erfordert jedoch umfassende Untersuchungen in den Bereichen Technik, Wirtschaftlichkeit und Ökologie (z. B. Ökobilanzierung). Es werden daher verschiedene Szenarien entwickelt, um das Potenzial und die Chancen der dezentralen Nutzung erneuerbarer Energien in landwirtschaftlich geprägten Gebieten zu erkunden. Hierbei liegt ein besonderes Augenmerk auf bisher atypischen Anwendungen, die zukünftig eine wichtige Rolle spielen könnten.

6 Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2023). <https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/landwirtschaft-in-niedersachsen-4513.html> (abgerufen am 26.09.2023).

7 Agrar- und Ernährungsforum Oldenburger Münsterland e.V. (2023). <https://aef-om.de/das-forum/#wertschoepfungskette> (abgerufen am 26.09.2023)

Szenarienentwicklung

Im Rahmen des Projektes 4N werden detaillierte Beschreibungen von Szenarien erstellt, die zeigen, wie erneuerbare Energien auf dezentrale Weise in Nordwest Niedersachsen künftig genutzt werden können. Die wesentlichen Schritte der Szenarienentwicklung können Abbildung 2 entnommen werden.



Abb. 2 Methodik der Szenarien-Erstellung.

Die charakteristischen Merkmale der Region ließen sich in drei Kategorien einteilen: Wasser, Landwirtschaft und Tourismus. Die Landwirtschaft in Nordwest Niedersachsen wurde dabei beispielsweise durch Viehzucht, Moorflächen, Milchwirtschaft, Schweinemast und Geflügelzucht charakterisiert.

Die ausgewählten Szenarien aus dem Bereich Landwirtschaft wurden in weiteren Schritten mit Hilfe von definierten Kriterien (Key Performance Indicator - KPI) bewertet (z.B. aktiver Energieverbrauch, Stromgestehungskosten, Leistungsverlust), überarbeitet und spezifiziert, sodass dann eine Modellierung und Simulation ausgewählter Szenarien erfolgen konnte. Anschließend sollen die Szenarien ökologisch (z.B. Ökobilanzierung (Biernacki et al. 2018)) und ökonomisch (z.B. nach der Kapitalwertmethode (Kost et al. 2021)) bewertet werden. Ausgewählte Szenarien sind im Folgenden näher erläutert.

Szenario 1: Feldrand-PV mit Netzanschluss

Inhaltlich verantwortlich: K. Wunder, J. Rolink, M. Kayser

Wunder et al. (2023) untersuchten das Potenzial von Feldrändern für netzgekoppelte PV-Systeme in Kombination mit Blühstreifen in Nordwest Niedersachsen. Dabei wurden rechtliche, technische und wirtschaft-

liche Faktoren berücksichtigt. Diese Analyse ergab Restriktionen bei der Machbarkeit zu der eine Mindestlänge von 1.350 m und geografische Lagebeschränkungen beitrugen (Abb. 3). Basierend auf diesen Restriktionen wurde mit Hilfe des Geoinformationssystems eine Potentialanalyse durchgeführt, die eine potenziell geeignete Feldrandlänge von 19.378 km ergab, was 15,5 % der Gesamtlänge der Feldränder in Nordwest Niedersachsen entspricht (Wunder et al., 2023).

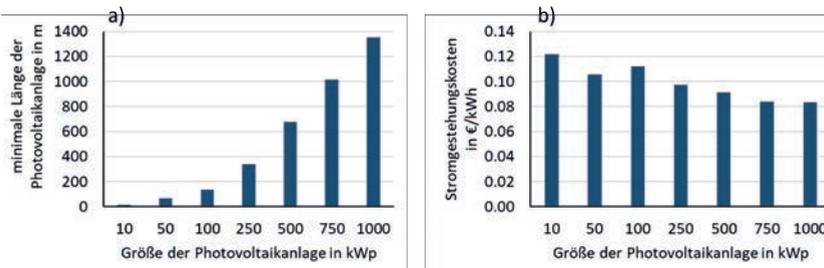


Abb. 3 (a) Minimale Länge und (b) Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit ihrer Anlagengröße.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die hohen Stromgestehungskosten für kleinere Anlagen einen Netzanschluss mit Volleinspeisung des generierten Stroms unwirtschaftlich machen. Größere Anlagen können zwar wirtschaftlich betrieben werden, die erforderliche Länge wäre jedoch ein Nachteil. Ein Inselbetrieb (ohne Netzanschluss) zur direkten Versorgung von Verbrauchern könnte jedoch auch bei kleineren Anlagen wirtschaftliche Vorteile bieten.

Szenario 2: Feldrand-PV mit Wasserstoffproduktion

Inhaltlich verantwortlich: K. Wunder, S. Steingeweg

Im Rahmen dieses Szenarios wurde die Nutzung von Solarenergie durch Photovoltaikanlagen entlang von Feldrändern in Kombination mit Wasserstoffproduktion untersucht. Dabei soll der erzeugte Strom direkt vor Ort (ohne Netzanschluss) genutzt werden, indem in einer dezentralen Lage vor Ort Wasserstoff erzeugt wird, der als Treibstoff für Traktoren verwendet wird.

Zur Prüfung der technischen Machbarkeit wurden zunächst Daten zum Wasserstoffbedarf der Traktoren erhoben und die erforderliche Größe der PV-Anlagen und des Elektrolyseurs berechnet. Ein detailliertes Szenario

rio wird nun mithilfe von Simulationstools entwickelt, um die technische Realisierbarkeit zu klären und ökonomische Daten zu sammeln. Dieses Szenario umfasst PV-Anlagen entlang von Feldrändern und Wasserstoffproduktionsanlagen (Elektrolyseure). Die Simulation wird technische Parameter wie die Effizienz der PV-Module und die Wasserstoffausbeute sowie wirtschaftliche Faktoren wie Investitions- und Betriebskosten berücksichtigen. Bei positiven Ergebnissen der Machbarkeitsprüfung wird eine Ökobilanzierung durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise wird feststellen, ob die Kombination von Feldrand-PV und Wasserstoffproduktion eine praktikable und nachhaltige Lösung darstellt.

Szenario 3: Kleinwindkraftanlagen zur nachhaltigen Entwässerung

Inhaltlich Verantwortlich: J. Rolink

Ein Teil Ostfrieslands liegt unter dem Meeresspiegel, daher sind umfangreiche Entwässerungskanäle und Schöpfwerke erforderlich, um den Wasserstand niedrig zu halten. Aufgrund des erwarteten Anstiegs des Wasserstandes aufgrund des Klimawandels, vor allem im Winter, werden kostengünstige und nachhaltige Lösungen zur Wasserregulierung benötigt. Eine Machbarkeitsstudie (Aden und Ottjes 2021) untersuchte, ob dezentrale Schöpfwerke mithilfe von dezentralen Kleinwindkraftanlagen (KWKA) betrieben werden können. Anhand des Unterschöpfwerks (USW) Wybelsum und einer Auswahl von unterschiedlichen KWKA wurde eine Energiebetrachtung durchgeführt, um eine ökonomische Bewertung des Systems durchzuführen. Dazu wurden die Energieverbräuche des USW mit der anhand von Wetterdaten simulierten Energieerzeugung der KWKA abgeglichen. In Abbildung 4 sind die simulierten Pegelstände dargestellt, die sich bei Einsatz der KWKA ergeben.

Aus den Energieverbrauchs-Zeitreihen und den ermittelten Ertragszeitreihen ließen sich Energieströme berechnen, die den Energiefluss zwischen KWKA, USW und Elektrizitätsnetz angeben, wäre die jeweils betrachtete KWKA in den letzten 20 Jahren am USW Wybelsum in Betrieb gewesen. Anhand dieser Daten wurde eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Installation der betrachteten KWKA am USW Wybelsum aufgrund der geringen Eigenverbräuche nicht wirtschaftlich ist, unabhängig von der Nutzung eines idealen Energiespeichers. Diese Ergebnisse sind auf USW gleicher Größe übertragbar. Bei größeren USW könnten jedoch Skaleneffekte zu anderen Ergebnissen führen.

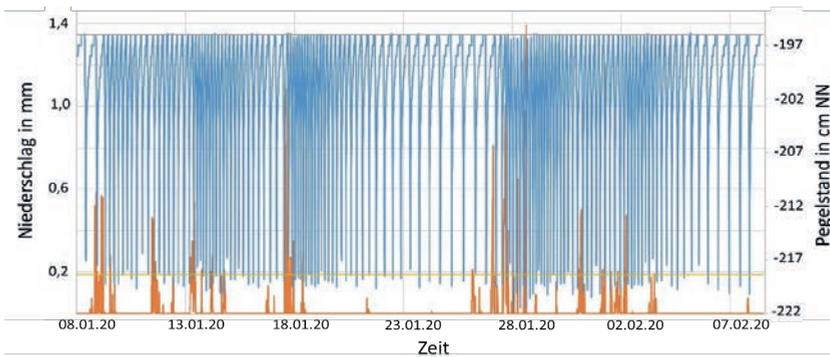


Abb. 4 Simulation des Pegelstandes des Unterschöpfwerks Wybelsum.

Szenario 4: Kleinwindkraftanlage zur Stromversorgung eines landwirtschaftlichen Betriebs

Inhaltlich verantwortlich: K. Wunder, J. Rolink

Ein landwirtschaftlicher Betrieb mit zwei bestehenden PV-Anlagen von etwa 60 kWp Leistung wurde auf die Möglichkeit der Integration einer 12 kW Kleinwindkraftanlage (KWKA) untersucht. Nach der Installation einer automatischen Melkanlage für 130 Kühe änderte sich das Stromverbrauchsprofil des Betriebs erheblich, da die Melkvorgänge nun gleichmäßig über den Tag verteilt sind. Dies steht im Kontrast zu den vorherigen Stromspitzen am Morgen und Abend während des manuellen Melkens. Da zukünftig weitere Automatisierung und Digitalisierung in der Landwirtschaft erwartet werden, wird sich der Strombedarf weiter ändern, was die Notwendigkeit einer angepassten Stromerzeugung und -speicherung mit sich bringt. Das Szenario kann daher zukunftsweisend sein. Es wird untersucht, ob der Eigenverbrauch erhöht werden kann und ob die Möglichkeit der Eigenstromproduktion anstelle des Netzausbaus in Betracht gezogen werden sollte. Dabei wurden Simulationen einer 12 kW KWKA durchgeführt.

Die Analyse von Wetterdaten zeigt, dass die Hauptwindrichtung West bis Südwest ist und die mittlere Windgeschwindigkeit 5,9 m/s ist. Somit kann eine Stromproduktion von ca. 28.500 kWh jährlich erreicht werden, sofern die Anlage auf dem landwirtschaftlichen Betrieb so positioniert ist, dass keine Windverschattung erfolgt. Die finanzielle Auswertung ergab, dass sich die KWKA nach ca. neun Jahren amortisiert haben könnte (Abb. 5). Allerdings ist hierfür der Eigenstromverbrauch entscheidend, der durch die Nutzung eines Batteriespeichersystems deutlich erhöht werden könnte, da bei Einspeisung ins Netz die Vergütung möglicherweise nicht ausreichend hoch ausfällt.

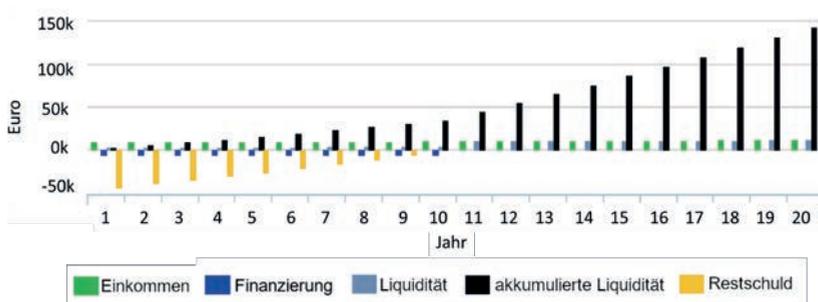


Abb. 5 Finanzielles Ergebnis für die Installation einer Kleinwindkraftanlage.

Feldrain-PV-Anlagen aus biologischer Sicht

Inhaltlich verantwortlich: K. Baumann, M. Kayser, J. Isselstein, B. Breckling

Betrachtet man die Installation von PV-Anlagen im Hinblick auf ihre Auswirkungen in der Natur auf Boden und Pflanzen, so zeigen sich insbesondere zwei Effekte: 1. Die Module werfen Schatten und 2. Es gibt einen Bereich unter den Modulen, der bei Regen trocken bleibt und einen Bereich, die Traufenregion, die besonders nass wird, wenn das Regenwasser von den Modulen abläuft. Da unterschiedliche Lebewesen unterschiedliche Vorlieben bezüglich ihres Lebensraums aufweisen, könnte somit das Errichten von PV-Anlagen sehr vielen verschiedenen Lebewesen einen Lebensraum kreieren und damit insgesamt die Biodiversität erhöhen. Eine britische Studie, die in einem Solarpark durchgeführt wurde, konnte bereits zeigen, dass die Diversität von Pflanzen unter den Modulen geringer war, als im Halbschatten oder der Kontrollfläche mit voller Sonne, eine Gesamt-Diversität wurde allerdings nicht betrachtet (Armstrong et al. 2016). In einem chinesischen Solarpark in trockener, sandiger Umgebung fanden Liu et al. (2019) mehr Pflanzenarten als außerhalb dieser Anlage, was hauptsächlich auf eine erhöhte Bodenfeuchte innerhalb der PV-Anlage zurückzuführen sein dürfte. Graham et al. (2021) berichteten, dass in einem Solarpark in Oregon (USA) die Schattenbereiche die Blüte der Pflanzen verzögerte. Dieses hatte den positiven Effekt, dass das Nahrungsangebot für Insekten zeitlich verlängert wurde (Graham et al. 2021). Alle diese Studien wurden in Solarparks durchgeführt, deren Biodiversität im Allgemeinen von Lieferbiotopen mit entsprechendem Artenvorkommen im Umkreis von 500 m abhängig ist (Raab 2015). Mit Solaranlagen auf Feldrandstreifen, so wie sie in 4N in Nordwest Niedersachsen untersucht werden sollen, könnten somit zwei Effekte kombiniert werden: Die erhöhte Vielfalt auf den Randstreifen durch PV-Anlagen und die gleichzeitige Vernetzung von Biotopen durch eine Korridorfunktion dieser Streifen.

Zunächst sollte eine Meta-Literaturstudie zum Thema potenzieller Effekte von Photovoltaik auf die Biodiversität im ländlichen Raum klären, inwieweit Veränderungen von Temperatur, Licht und Wasser durch PV die Biodiversität beeinflussen. Am 17. Oktober 2022 ergab dabei die folgende Suche im Web of Science 37 Treffer: ((*diversity OR richness OR abundance) AND (microclimate OR (light AND (shade OR shadow)) OR (dry AND (wet OR moist*)) OR temperature) AND (agricultur* OR field OR agro* OR arable OR grassland) AND (photovoltaic)). Davon war 1 Quelle doppelt; 12 Treffer waren nach Sichtung der Titel und Abstracts von weiterem Interesse. Von diesen 12 Quellen konnten 11 als pdf-Datei heruntergeladen werden, nur 7 waren dabei über die Uni Vechta zugänglich. Nur von 4 Treffern waren die Artikel nutzbar, die anderen schieden aus aufgrund von nur theoretischer Abhandlung/Review-Charakter, Unverständlichkeit, unzulänglichem Material und Methoden-Teil oder Darstellung der Ergebnisse in Graphiken, aus denen kein Mittelwert abgelesen werden konnte. Nach Auflistung der Daten aus den 4 verbliebenen Artikeln musste festgestellt werden, dass die betreffenden Parameter lediglich in einem der Artikel untersucht worden waren und/oder, dass Grundparameter wie Lichtstärke oder Bodenfeuchte nur ohne Replikate bestimmt worden waren. Dieses deutet darauf hin, dass die beschriebene Problemstellung noch nicht hinreichend empirisch bearbeitet und wissenschaftlich dokumentiert ist. Ergebnisse des eigenen Forschungsvorhabens sollen dazu beitragen, Biodiversitätseffekte von PV-Anlagen diskutieren zu können.

Da potenzielle PV-Anlagen auf Feldrandstreifen mit der Landwirtschaft in Einklang gebracht werden müssen, wurde, wie im Beitrag von Scheffler und Aka eingeführt, ein online Fragebogen konzipiert, in dem Landwirt*innen in 38 Fragen zu ihrer Einstellung gegenüber regenerativen Energien (insbesondere PV) und Biodiversität befragt wurden. An dieser Umfrage beteiligten sich 53 Personen, von denen 46 den online Fragebogen komplett ausfüllten. Ein Viertel der Befragten war zwischen 30 und 40, ein weiteres Viertel zwischen 50 und 60 Jahren alt. Fast 80 % der Teilnehmenden waren männlich. Über 60 % hatten einen Fach(hoch)schulabschluss. Mehr als 70 % der Befragten bewirtschafteten Betriebe, die kleiner als 100 ha waren und zu über 50 % aus Ackerland bestanden. Dreiviertel der Betriebe hielt Tiere. Über 80 % der Betriebe wurden konventionell geführt, 74 % im Haupterwerb. Fast 90 % aller Betriebe hatte bereits PV-Anlagen auf eigenen Flächen installiert, mit dem Hauptziel Einkünfte zu erzielen (66 %) oder energetisch unabhängig zu sein (29 %). Gute zweidrittel nutzten die selbsterzeugte Energie für die Stallunterhaltung. Ein Energiespeicher war lediglich bei 14 % der Betriebe vorhanden. Knapp die Hälfte aller Betriebe

hatte einjährige Blühstreifen angelegt, zumeist auf Ackerflächen (96 %). Gründe dafür waren in 56 % der Fälle, das Anliegen persönlich etwas für die biologische Vielfalt zu tun, gefolgt von dem Ziel Fördermittel zu erhalten (29 %). Betriebe, die bisher keine Blühstreifen angelegt hatten, konnten keinen Nutzen in der Anlage von Blühstreifen erkennen (42 %) oder waren durch den damit verbundenen hohen Verwaltungsaufwand abgeschreckt (30 %). Ob die Betriebe PV auf Blühstreifen installieren würden, war deutlich von der wirtschaftlichen Förderung abhängig (Abb. 6). Vorteile einer Doppelnutzung (gleichzeitige Energieerzeugung durch PV und Biodiversitätsförderung durch Stilllegung) sahen dabei aber nur 65 % der Befragten. Als Nachteile einer Doppelnutzung wurden insbesondere der erhöhte Pflegeaufwand genannt, aber auch mögliche Nachteile durch Beschattung, keine optimale Ausbildung des Bodens oder Drainage-Unterhaltungsprobleme gesehen und auf die Verkleinerung der als landwirtschaftlich angesehenen Fläche aufmerksam gemacht. Eine Präferenz für ein mögliches PV-Anlagen Design war nicht ausgeprägt: während 25 % über 3 m hoch aufgeständerte PV-Anlagen bevorzugen würden, waren 23 % für ca. 80 cm hohe und 19 % für senkrecht ausgerichtete PV-Anlagen. Um sich über Blühstreifen und PV zu informieren, verließen sich dabei die meisten an erster Stelle auf die eigenen Recherchen gefolgt von Informationen durch Fachfirmen. Eine Förderung zur Zukunftssicherung des Betriebes hätten 44 % der befragten Landwirt*innen in regenerative Energien und 31 % in die technische Modernisierung des Betriebs investiert. Während 26 % die Wahrscheinlichkeit, dass ästhetische Gründe sie von einer Installation von PV auf Blühstreifen abhalten, als sehr hoch einschätzten, waren es 20 %, die diese Wahrscheinlichkeit als sehr gering ansahen (Abb. 6). Die Auswirkung von PV auf die biologische Vielfalt eines Blühstreifens konnten 46 % nicht einschätzen, 28 % vermuteten einen Einfluss und 26 % vermuteten keinen Einfluss. Eine erhöhte biologische Vielfalt durch beispielsweise mehr Pflanzenarten wurde nicht in Betracht gezogen.

Deutlich anders waren dagegen die Ergebnisse einer Kurzumfrage, bestehend aus nur 3 Fragen, an der 29 Personen eines Laufpublikums auf einem Wissenschaftsmarkt in Emden teilnahmen. Diese waren zu 45 % zwischen 20 und 30 Jahren alt, überwiegend weiblich (55 %) und hatten einen Universitätsabschluss (35 %) oder waren noch Studierende (28 %). Von allen Befragten fanden 83 % PV auf Blühstreifen gut und konnten sich die Kombination als nicht störend (62 %) oder sogar ansprechend (28 %) vorstellen (Abb. 6). Knapp die Hälfte aller Teilnehmenden konnte sich vorstellen, dass PV auf Blühstreifen einen positiven Effekt auf die biologische Vielfalt haben könnte. Zu einer Validierung dieser Vermutungen können die Ergebnisse dieses Projekts beitragen.



Abb. 6 Blühstreifen mit Photovoltaik: Einschätzungen von Landwirten vs. Bevölkerung. Ausgewählte Fragen mit ausgewerteten Antworten einer online Befragung.

Um die möglichen Einflüsse von PV-Anlagen auf Feldränder, die mit Blühstreifen versehen sind zu untersuchen und zu bewerten, soll im 4N Projekt ein Reallabor etabliert werden (s. Beitrag Rolink „Das Reallabor“). Da allerdings technische und biologische Aspekte der 4N-Studie

im universitätsrechtlichen Verantwortungsrahmen auf Flächen Dritter nicht problemlos umzusetzen sind, wird, wie im Beitrag von Rolink unten beschrieben, das Reallabor auf einer Fläche der Hochschule Emden/Leer installiert. Das Versuchsareal dort ist mit sehr tonigem Substrat bis ca. 1 m über Meeresspiegel aufgeschüttet, das in wässriger Lösung einen pH-Wert von 7,4 zeigt. Auf dem brachliegenden Gelände wurde im Juli 2023 eine Ruderal-Vegetation mit Weiden (*Salix alba*, *S. cinerea*), Brombeere (*Rubus fruticosus*), Schilf (*Phragmites australis*), Gewöhnlichem Beifuß (*Artemisia vulgaris*), Disteln (*Cirsium vulgare*, *Sonchus arvensis*), Krausem Ampfer (*Rumex crispus*), Riesenbärenklau (*Heraclium mantegazzianum*), Wicken (*Vicia cracca*, *V. tetrasperma*), Klee (*Trifolium repens*, *Lotos corniculatus*), Wegerich (*Plantago major*, *P. lanceolata*), Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) und Gänsefingerkraut (*Argentina anserina*) sowie verschiedenen Grasarten beobachtet. Für eine realistische Feldrandsituation, die den praxisbezogenen biologisch-ökologischen Aspekten der Studie Genüge tut, ist die Einbeziehung einer zusätzlichen Fläche im Nordwesten Niedersachsens vorgesehen. Ähnlich wie in Emden (s. Beitrag Rolink), ist auch hier geplant auf einem Blühstreifen eine regio-zertifizierte Saatgutmischung einzusäen. Vorgesehen ist eine „Feldraine und Säume“-Mischung, die aus Gräsern und Kräutern der Region Nordwestdeutsches Tiefland (UG1) besteht und laut Hersteller auch für die Ansaat unter PV empfohlen werden kann (Bleeker 2022, mündliche Mitteilung). Nach Aussaat wird die Entwicklung dieser Mischung hinsichtlich ihrer pflanzengesellschaftlichen Ausprägung in den unterschiedlichen Bereichen Licht vs. Schatten, trockenen vs. feuchten Bereichen beobachtet werden.

Um auch auf dieser Fläche die unterschiedlichen Bereiche zu etablieren, die durch eine PV-Anlage entstehen, ist geplant, eine PV-Dummy-Anlage einzurichten. Erste Prototypen wurden bereits mit handelsüblichen Materialien selbst erstellt und ihre Praktikabilität bezüglich des Wasserablaufs beobachtet (Abb. 7). Die benötigten Sensoren für z.B. Bodenfeuchte, Temperatur oder Lichtstärke wurden mit Anforderungen an Präzision, Digitalisierung und Budget ausgewählt. Ein Vergleich der angesäten Blühstreifenvegetation beider Standorte wird zudem ermöglichen, den Einfluss des Bodens abzuschätzen und somit die Ergebnisse auf typische Regionen Nordwest Niedersachsens zu beziehen.

Neben Auswirkungen der unterschiedlichen Bereiche auf die Vegetation sollen auch die Effekte auf das Bodenleben unter PV-Anlagen untersucht werden. Dieses soll durch den Einsatz von Citizen Science mittels einer Teestudie (<http://www.teatime4science.org>) ermittelt werden. Dabei



Abb. 7 Prototyp eines PV-Dummies. Links: Vorderseite, rechts: Rückseite; Maße 1 x 2 m, 80 cm Höhe der unteren Kante vom Boden. Foto: K. Baumann 2023.

wird die biologische Aktivität des Bodens über den Gewichtsverlust der organischen Substanz von in den Boden eingebrachten Teebeuteln abgeschätzt. Das Verfahren ist breit erprobt und standardisiert. Eine Vorstudie zeigte die erwarteten deutlichen Unterschiede im Abbau von grünem- im Vergleich zu Roibos-Tee in einem sandigen Boden Nordwest Niedersachsens. Einbringung und Wiederfindung der Teebeutel mithilfe eines selbst erstellten Lattenrahmens erwiesen sich dabei als besonders hilfreich. Die Ergebnisse studentischer Qualifizierungsarbeiten sind aufbereitet und sollen als Lehrmaterial zum experimentellen Arbeiten für Schüler zur Verfügung gestellt werden.

Netzwerk-Technologie und Digitalisierung

Inhaltlich verantwortlich: M. A. Bär, A. W. Colombo

Um Entscheidungsprozesse in verschiedenen Anwendungsfällen innerhalb und außerhalb von Energie-Wertschöpfungsketten zu unterstützen bzw. zu verbessern, ist es sinnvoll und notwendig, Daten und Informationen, die mit Hilfe von Digitalisierung gewonnen wurden, zu verarbeiten und den verschiedenen Akteuren anzubieten. Dieses erfolgt mittels Smart Grids. Betrachtet man zum Beispiel eine dezentrale Stromerzeugung,

so kann die Digitalisierung den richtigen Zeitpunkt für den Anschluss der Ressourcen an das Netz auf der Grundlage der Anforderungen des Strommarktes unterstützen. Um diese Entscheidungsprozesse mit Daten und Informationen zu unterstützen, müssen sie gesammelt, vorbereitet, verarbeitet und analysiert bzw. gespeichert werden, um schließlich den gewünschten Nutzen zu erzielen.

Die Datensammlung verschiedenster Akteure und ihre digitale Bereitstellung wird konkret anhand des Reallabors (s. Beitrag Rolink) ermittelt und technisch umgesetzt werden.

Im Folgenden wird gezeigt, wie der Digitalisierungsprozess im Rahmen dieses Projekts angewendet wird. Zunächst werden die verwendeten Referenzmodelle beschrieben und dann die Strategie für einen ersten Ansatz. Schließlich werden einige der laufenden Entwicklungen hervorgehoben.

Digitalisierungsinfrastruktur

Die Digitalisierung eines Systems und die dazugehörigen Prozesse erfordern unterschiedliche Kommunikations- und Informations-Infrastrukturen und -Technologien. Die erforderlichen Infrastrukturen setzen sich dabei aus verschiedenen Komponenten und technologischen bzw. funktionalen Schichten zusammen, die auf verschiedenen Spezifikationen nach unterschiedlichen Standards und auf unterschiedlichen Referenz-Normen basieren. Eine davon ist die von der Plattform Industrie 4.0 bereitgestellte DIN SPEC 91345 aus dem Jahr 2016, die das Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 (RAMI 4.0) festlegt (s. Abb. 8 in Abschnitt 5 „Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)“, Unterabschnitt 5.1 „General“ der zitierten Referenz auf Seite 19). Auch wenn RAMI 4.0 insbesondere für den Digitalisierungsprozess im Industriebereich angewendet wird, kann es auch in anderen Bereichen wie z. B. Smart Grids, Smart Transportation, eingesetzt werden. Ein weiteres Referenzmodell, das besonders für das 4N-Projekt geeignet wäre, ist das Smart Grid Architecture Model (SGAM) (Smart Grid Coordination Group (2012)) (s. Abb. 8 in Abschnitt 7.2 „SGAM Framework Elements“, Unterabschnitt 7.2.6 „SGAM Framework“ der zitierten Referenz auf Seite 30). Dieser Referenz-Standard enthält detaillierte Informationen über die Digitalisierung von dezentralen Energieressourcen (DER) unter Berücksichtigung der Struktur des Strommarktes.

Jedes Referenzmodell konzentriert sich auf bestimmte Bereiche und bietet verschiedene Aspekte, um digitalisierte Dinge (Assets) einzubeziehen.

Diese Assets können alles sein, was wertvolle Daten und Informationen für die verschiedenen Stakeholder des 4N-Projekts enthält. So können beispielsweise ein Solarpanel, eine Wasserstoffzelle, ein Traktor, Pflanzen, eine Person oder eine Gruppe von ihnen als Asset betrachtet werden.

Um den Digitalisierungsprozess zu bewältigen, sind verschiedene Technologien erforderlich. So müssen beispielsweise Daten und Informationen mit Hilfe bestimmter Protokolle und Geräte übertragen und gemeinsam genutzt werden. Das Ziel der Digitalisierung besteht darin, ein echtes digitalisiertes Ökosystem zu erhalten. Ein digitalisiertes Ökosystem bedeutet im Kontext der Digitalisierung eine Gruppe von digitalisierten Objekten, die ihre Daten und Informationen mit einer gewissen „Intelligenz“ untereinander austauschen, um schließlich die oben genannten Entscheidungsprozesse zu verbessern. Dadurch wird ein „intelligentes“ Ökosystem geschaffen, indem jedes Asset des digitalen Ökosystems Entscheidungen treffen und sich selbst verbessern kann.

Als digitalisierte Assets bilden alle Daten und Informationen die „Information World“ (DIN SPEC 91345 (2016)). In dieser „Digital World“ wird jedes Asset durch einen oder mehrere Digital Twins (DT) oder Digitale Zwillinge repräsentiert. Dies hängt von den Daten und Informationen ab, die sie teilen und repräsentieren. Zum Beispiel werden Menschen in der „Information World“ unterschiedlich repräsentiert. Hinter dem Personalausweis, der Kreditkarte, dem Führerschein, der Krankenversicherungskarte, usw. befinden sich unterschiedliche Mengen an Daten und Informationen einer Person. Jede dieser Mengen von digitalisierten Daten ist ein DT der Person, die sie repräsentieren. DTs stellen nicht nur physische Assets dar. Digitale Repräsentationen, wie z. B. Simulationsmodelle für verschiedene Arten von Analysen, können ebenfalls als DTs betrachtet werden.

RAMI 4.0 schlägt für die digitale Darstellung von Assets die Informationsmodelle vor, die von der „Asset Administration Shell“ (AAS) (DIN SPEC 91345 (2016), IDTA (2023)) bereitgestellt werden. Diese Informationsmodelle werden definiert, um die verschiedenen DT abzubilden. Ein zweiter wesentlicher Teil der AAS ist die serviceorientierte Kommunikationsfähigkeit. Die digitalisierten Daten/Informationen/Funktionen des Assets werden als "Dienste" im Kommunikationsnetz veröffentlicht und können so von anderen AASs abgerufen und verarbeitet werden. Daraus ergibt sich eine so genannte „Service-oriented Architecture (SoA)“ (SOA-RAF (2012), Stamatis et. al (2014)). Die Implementierung von dienstbasierten Architekturen mit Low-Cost-Technologie-Geräten wie sie im Projekt 4N genutzt werden sollen, wurde von Bär (2022) entwickelt.

Um ein dienstleistungsorientiertes Ökosystem zu erhalten, muss zunächst der Dienst, den das Asset anbietet, durch die Nutzung der AAS offengelegt werden. Die zweite Anforderung besteht darin, einen neuen Dienst zu schaffen, der es ermöglicht, die angebotenen Dienste zu ermitteln, sie zu identifizieren und sie bei Bedarf zu nutzen. Das Endergebnis ist somit eine Liste der verfügbaren Dienste mit einer eindeutigen Kennung, um jedes Asset unterscheiden zu können und somit eine Kommunikation der Assets innerhalb des digitalen Ökosystems zu ermöglichen.

Nach der Implementierung einer Service-orientierten Architektur wird eine ähnliche Interaktion erwartet wie in Abb. 8 dargestellt. Sobald die Kommunikation hergestellt ist, kann jedes Asset je nach der hergestellten Kommunikation eine bestimmte Aufgabe erfüllen.

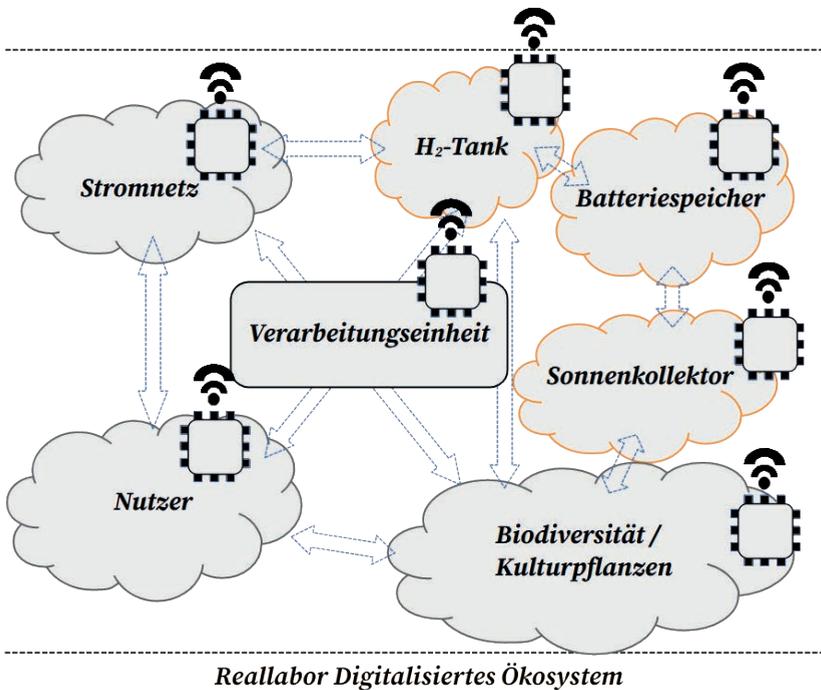


Abb. 8 Grundlegende Asset-Interaktion in einer Service-orientierten Architektur.

Dabei kann ein Asset eine bestimmte Leistung erbringen und/oder verbrauchen. In diesem Fall liefert der Sonnenkollektor Strom. Dann können andere Assets (z.B. die digitale Repräsentation der Pflanze und des Batterieladegeräts in Abb.8) des digitalen Ökosystems entscheiden, ob sie diese Energie je nach Bedarf verbrauchen wollen oder nicht. Dies hängt vom

jeweiligen Anwendungsfall ab. Angenommen, das Batterieladegerät benötigt Strom, um seine Ladung wieder aufzufüllen, tauschen sie Dienste aus und eine Verbindung wird hergestellt. Die digitale Repräsentation einer Pflanze hingegen benötigt den angebotenen Dienst nicht. Daher nimmt sie nicht an der Kommunikation teil (ist aber im digitalen Ökosystem präsent). Sobald die Kommunikation hergestellt ist, kann jedes Asset je nach der hergestellten Kommunikation eine bestimmte Aufgabe erfüllen.

Strategie für den ersten Ansatz der Digitalisierungsinfrastruktur

Um das digitalisierte Ökosystem zu erreichen, ist die Adoption von Referenzarchitekturen erforderlich. In diesem Projekt wird das SGAM mit dem RAMI 4.0 kombiniert. Das SGAM liefert detaillierte Informationen über die Infrastruktur von Smart Grids mit allen beteiligten Akteuren (auch unter Berücksichtigung des Strommarktes). RAMI 4.0 wird in diesem Projekt angewandt, um verschiedene technische Aspekte zu spezifizieren, wie z.B. die Informationsmodelle (bereitgestellt von der AAS), Kommunikationsprotokolle (Web-Services, MQTT, OPC UA, etc.), die Integration der Informationen (Sensoren, Aktoren, etc.) und die Dienstleistungsaspekte (Functional Layer), um die SoA zusammenzustellen. Die Verwendung der einen oder anderen Referenz ist nicht ausschließlich, jeder Digitalisierungsschritt wird durch die Spezifikationen jedes Referenzmodells ergänzt.

Gemäß der SGAM und dem Dokument (Smart Grid Coordination Group (2012)) besteht einer der ersten Schritte darin, die verschiedenen Anwendungsfälle zu definieren. Diese Anwendungsfälle sollten sich auf den zu verbessernden oder zu definierenden Entscheidungsprozess beziehen. Aus der Perspektive der Digitalisierung definieren die Anwendungsfälle, welche Daten und Informationen benötigt werden. Die Daten- und Informationsquellen sind die Assets. Um diese Daten und Informationen verfügbar zu machen, müssen mehrere technische Anforderungen erfüllt werden (siehe Abschnitt "Laufende Entwicklungen" und Unterabschnitt "Definition der technischen Anforderungen"). Jede Wolke in Abb. 9 stellt eine Anlage dar, die Daten und Informationen bereitstellt und verbraucht. Die blauen Pfeile zeigen die Interaktion zwischen den einzelnen Clouds, d. h. zwischen den verschiedenen Assets des Projekts. Interaktionen innerhalb von Clouds sind ebenfalls möglich, wenn jede Cloud eine Gruppe von Assets betrachtet. Auf diese Weise wird ein "Netzwerk" geschaffen, in dem Daten und Informationen nachgefragt und angeboten werden.

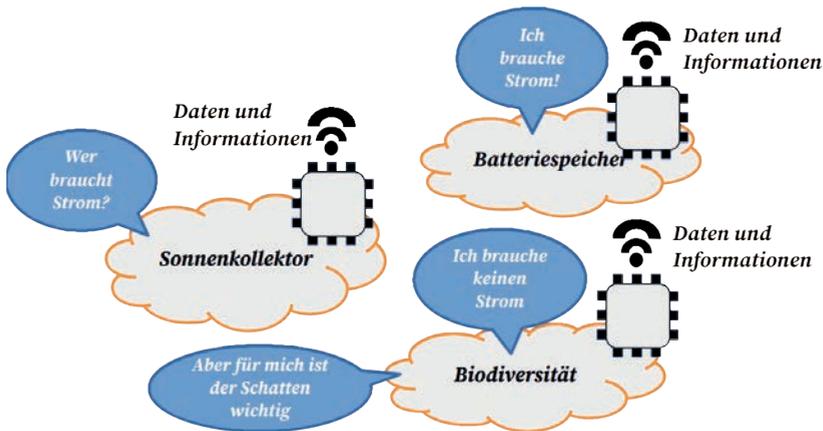


Abb. 9 Assets in einem dienstleistungsorientierten digitalen Ökosystem. Das „LoRa“-Symbol repräsentiert die Kommunikationstechnologie für den drahtlosen Datenaustausch.

Entwicklungen

Um ein entsprechendes Szenario zu schaffen, das die Interaktion zwischen den verschiedenen Assets (mit ihren entsprechenden DTs) ermöglicht, wurden die folgenden Themen in der aktuellen Phase des Projekts behandelt und entwickelt:

Definition der technischen Anforderung

Ausgehend vom Kontext dezentraler Systeme, erneuerbarer Energien und den besonderen Aspekten des Reallabors wurde eine Liste technischer Anforderungen definiert (Tabelle 1), die als Grundlage für weitere Schritte im Digitalisierungsprozess dienen.

Auswahl und Festlegung der Liste der Geräte, die für den Digitalisierungsprozess verwendet werden sollen

Um mit den ersten Digitalisierungstests zu beginnen, wurde eine Liste aller Geräte, Sensoren und Verarbeitungseinheiten erstellt, die für die Durchführung des Digitalisierungsprozesses in den verschiedenen in den Projektanträgen definierten Anwendungsfällen benötigt werden, insbesondere im Reallabor (s. Beitrag Rolink). Verarbeitungseinheiten sind Geräte, die Informationen verarbeiten können (z. B. Mikrocontroller und kleine Computer).

Tab 1 Zusammenfassende Liste der technischen Anforderungen für die Pilotanlage.

Technische Anforderungen	Beschreibungen der Anforderungen
Große Entfernungen für die Übertragung von Informationen. Sicherstellung einer stabilen Verbindung (Strom- und Internetverbindungen)	Drahtlose Kommunikationstechnologien sind erforderlich (LoraWan, Wifi, Bluetooth, usw.) Die Verfügbarkeit von Daten und Informationen (Internetverbindung und/oder Datenbank) muss gewährleistet sein. Die Verwendung von Batterien ist erforderlich, um einen stabilen Betrieb der Geräte zu gewährleisten.
Stromverbrauchseffizienz und kostengünstige Geräte.	Stromversorgungsstrategien auf der Grundlage der Verfügbarkeit von Versorgungsquellen. Definition von energieeffizienten Betriebsstrategien. Einsatz effizienter Geräte, z. B. eingebettete Geräte (kostengünstige Verarbeitungseinheiten). Dezentralisierung der Verarbeitungseinheiten.
Merkmale von Daten. Dynamische und statische Daten. Eingebettete Geräte ermöglichen Modularisierung und Informationsaustausch	Effektive und effiziente Programmiersprachen und Programmieretechniken. Verfügbarkeit von Informationen in Echtzeit Notwendigkeit einer permanenten Datenspeicherinfrastruktur Einsatz von Mikrocontrollern und Einplatinencomputern (Industrielle Qualität)

Definition der Informationsmodelle unter Verwendung der Asset Administration Shell (AAS)

Sobald die Anwendungsfälle und Anforderungen definiert und die Assets identifiziert sind, wird eine erste Version der Informationsmodelle definiert, die die AAS für jedes am 4N-Projekt beteiligte Asset darstellen. Zunächst wurden das Solarmodul und die Wasserstoffzelle, die grundlegenden Anlagen für die Erzeugung erneuerbarer grüner Energie, betrachtet. Es wird erwartet, dass im weiteren Verlauf des Projekts verschiedene AAS für andere Assets erstellt werden. Das Open-Source-Software-Tool AASX Package Explorer Tool wurde zur Erstellung dieser Informationsmodelle verwendet.

Unabhängig von der Art der Assets (Solarpanel, Pflanzen, Wasserstoff-Brennstoffzelle) besteht das AAS aus mehreren Objekten, von denen jedes Daten und Informationen mit spezifischen Eigenschaften speichert und/oder strukturiert. Seine "Submodels" repräsentieren einen bestimmten digitalen Zwilling in Form von Daten und Informationen. Für ein Solarpanel werden zum Beispiel mehrere "Submodels" definiert: Nameplate, ElectricalOperational, MechanicalOperational, HistoricalData.

Alternativen zur Kommunikationstechnologie

In einer der technischen Spezifikationen wurde festgelegt, dass eine der Anforderungen darin besteht, Geräte mit drahtlosen Netzen mit großer Reichweite zu verbinden. Zu diesem Zweck werden folgende verschiedene Alternativen analysiert: Standard Wi-Fi and Peer to peer Wi-Fi (ESP NOW), Lora/LoraWan, Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy) und Cellular (4G, 5G, usw.).

Zurzeit wird die von einem Mikrocontroller-Hersteller (Espressif) entwickelte ESP NOW-Technologie analysiert. Diese Technologie nutzt die Wi-Fi-Antenne des Geräts und ermöglicht unter idealen Bedingungen eine Reichweite von bis zu 200 m. Erfahrungsgemäß kann diese Entfernung erreicht werden, sie hängt jedoch stark von den Objekten zwischen den Geräten ab.

Das Reallabor

Inhaltlich verantwortlich: J. Rolink

Im Rahmen dieses Projektes wird ein Reallabor (PV-System) installiert. Ziel ist es, die Einflüsse der PV-Anlage auf die Biodiversität und die Veränderungen von Temperatur, Licht und Wasser durch die PV-Module zu untersuchen, die Eignung und Performance unterschiedlicher Modultypen zu erproben und in diesem Zusammenhang auch neue Digitalisierungsprozesse zu erforschen.

Standortsuche

Im Rahmen der Standortsuche wurden zwei Optionen diskutiert: der Bau der Anlage auf dem Campus einer der beteiligten Hochschulen und der Bau der Anlage auf einem Grünstreifen. Aufgrund verschiedener rechtlicher, genehmigungstechnischer sowie technischer Hürden fiel die Standortwahl im Mai 2023 auf den Campus der Hochschule Emden/Leer. Abbildung 10 zeigt einen ersten Entwurf für den Aufbau der Anlage.

Genehmigung

Für die Genehmigung einer solchen Testanlage gibt es kein standardisiertes Vorgehen. In einem ersten Schritt musste daher geklärt werden, wie diese Anlage genehmigungstechnisch einzustufen bzw. ob diese Anlage

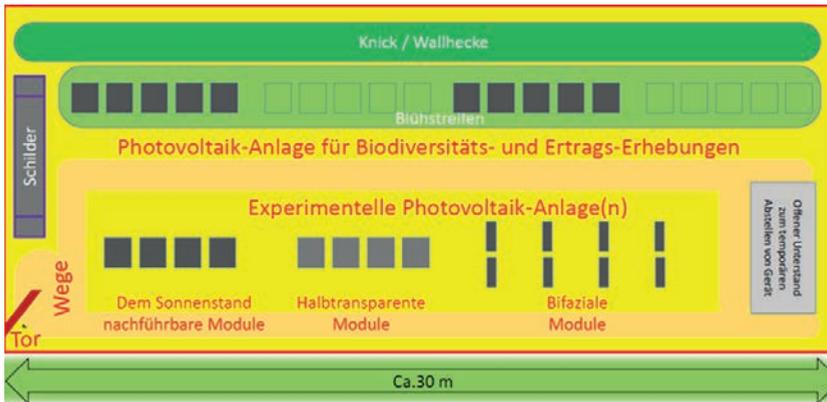


Abb. 10 Erster Design- Entwurf für das Reallabor in Emden.

überhaupt genehmigungspflichtig ist. Die Rückmeldung der zuständigen Behörde ergab, dass die geplante Anlage nicht als klassische Freiflächenanlage, sondern als Nebenanlage oder Anlage zu Forschungszwecken einzustufen ist. Dadurch unterliegt die Anlage u. a. nicht dem für Freiflächenanlagen üblichen Ausschreibungsverfahren und den Vorgaben des Raumordnungsplanes. Ferner ergab die Anfrage, dass die Anlage nicht unter Anhang 2.3 der Niedersächsischen Bauordnung (NBO) fällt und somit genehmigungspflichtig ist. Dieser Teil der NBO besagt, dass „Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren mit nicht mehr als 3 m Höhe und mit nicht mehr als 9 m Gesamtlänge...“ genehmigungsfrei sind. Für die Anlage muss daher ein Genehmigungsverfahren durchlaufen werden. Aktuell werden hierfür die erforderlichen Unterlagen zusammengestellt. Voraussetzung für den Bauantrag und somit die Genehmigung der Anlage ist eine Kampfmittelsondierung auf dem geplanten Grund. Diese wird aktuell vorbereitet. Bis die Ergebnisse der Sondierung vorliegen, sollen alle weiteren Unterlagen (Lageplan, Baubeschreibung) zusammengestellt werden.

Technische Planung der Anlage

Nachfolgend wird der Planungsstand der Anlage kurz beschrieben. Die technische Planung der Anlage gliedert sich grob in die Bereiche Netzanschluss, PV-Anlage und Sensorik.

Netzanschluss

Die Anlage soll elektrisch an das Gebäude der Abteilung Elektrotechnik und Informatik der Hochschule Emden/Leer angeschlossen werden. Im Rahmen einer internen Untersuchung wurde geprüft, an welchem Stromverteiler die Anlage angeschlossen werden kann. Ferner wurde geprüft, welche Möglichkeiten es gibt, den Entwässerungsgraben zu überbrücken, der sich zwischen dem Gebäude und der geplanten Anlage befindet. Eine grobe Kostenschätzung wurde für die in Frage kommenden Möglichkeiten eingeholt.

PV-Anlage

Die genaue Ausgestaltung der Anlage richtet sich nach verschiedenen Kriterien. Zum einen gibt es die Anforderungen, die für die Dokumentation der Entwicklung der Biozönose unter der Photovoltaik-Anlage entsteht. Zum anderen ist der Möglichkeitsraum der Anlage limitiert durch das zu Verfügung stehende Budget. Hinzu kommen weitere Limitierungen, die sich aus dem Genehmigungsverfahren ergeben. Beispielsweise kann die anstehende Kampfmittelsondierung unmittelbare Auswirkungen darauf haben, wie die Tische der PV-Module im Boden zu verankern sind, was wiederum Auswirkungen auf die Budgetplanung hat. Ferner ist die Marktverfügbarkeit gewisser Komponenten zu berücksichtigen. Das betrifft insbesondere Modultypen, die nicht Standard sind. Außerdem besteht der ausdrückliche Wunsch, dass die Anlage zu Beginn der nächsten Vegetationsperiode in Betrieb geht, damit die Einsaat-Mischung „Feldraine und Säume“ streifenförmig eingebracht (Abb. 10) und nachfolgend Biodiversität beobachtet werden kann (s. Beitrag Baumann et al.). Somit orientiert sich die derzeitige Planung verstärkt an dem, was zeitnah umsetzbar bzw. verfügbar ist. Die genaue Planung der PV-Anlage erfolgt im Rahmen der Erstellung der Leistungsbeschreibung. Bis dahin müssen die genehmigungstechnischen Rahmenbedingungen geklärt und eine belastbare Kostenschätzung für die PV-Anlage erfolgt sein.

Sensorik

Die Anforderungen an die Sensorik zur Überwachung der Anlage sowie der Umweltparameter wie beispielsweise Luft- und Bodentemperatur sowie -feuchte, die im Hinblick auf die Biodiversitätsuntersuchungen relevant sind, wurden bereits durch Bär und Baumann definiert. Es wurde eine Marktrecherche durchgeführt, um geeignete Sensortechnologien zu identifizieren (s. Beitrag Bär und Colombo).

Ausblick

Inhaltlich verantwortlich: alle Autor*innen von TV7

Erste Simulationsergebnisse von TV7 deuten auf vielversprechende Perspektiven für die Integration regenerativer Energien in landwirtschaftliche Betriebe Nordwest Niedersachsens. Im weiteren Projektverlauf wird insbesondere die technische und wirtschaftliche Bewertung des Wasserstoff-Produktionspotenzials in der Region mit Nutzung vorhandener und potenziell zukünftiger erneuerbarer Energieanlagen abgeschätzt.

Die Installation des Reallabors an der Hochschule Emden wird vorangetrieben. Das finale Design der Anlage wird dabei die Grundlage für prototypische Entwicklungen bilden und gleichzeitig zur Untersuchung der Auswirkungen von Photovoltaik-Anlagen auf die Biodiversität von Blühstreifen dienen. In der Zwischenzeit werden biologische Vorversuche auf anderer Fläche realisiert.

Für das Reallabor wird die Digitalisierung der spezifischen Anwendungen in mehreren Phasen bearbeitet. Diese bestehen aus der digitalen Erfassung und Verarbeitung, Speicherung und Nachbearbeitung der Daten sowie ihrer Visualisierung. Zusätzlich werden Analytics (die als prädiktive digitale Zwillinge definiert werden können) eingeführt und konkrete Orchestrierungsszenarien (Zusammensetzung der verfügbaren Dienste, die von den verschiedenen Assets des digitalen Ökosystems bereitgestellt werden) durchgeführt.

Über die Ermittlung der Positionen von in der Landwirtschaft Tätigen in Nordwest Niedersachsen in Bezug auf die Integration regenerativer Energien in ihre Betriebe werden die Potenziale und die Hürden dieses Transformationsprozesses auch im weiteren Verlauf des Projekts eingeschätzt. Diskurse in die Region sind geplant, um einen umfassenden Dialog über nachhaltige Lösungen zur Klimawandel-Anpassung in der Landwirtschaft zu fördern.

Literatur

- Aden, U., & Ottjes, S. (2021). Bewertung des Einsatzes von Kleinwindkraftanlagen zur nachhaltigen Entwässerung im Verbandsgebiet des Entwässerungsverbandes Emden. Studentische Arbeit, Hochschule Emden/Leer, Fachbereich Technik, Abteilung Elektrotechnik und Informatik.
- Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11, 074016. [https://doi:10.1088/1748-9326/11/7/074016](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016)

- Bär, M. A. (2022). Integrated Low-Cost Solutions for Industry 4.0 Components focused on Small and Medium Enterprises. Master Thesis, Hochschule Emden Leer (Germany) and UTN Santa Fe (Argentina).
- Biernacki, P., Röther, T., Paul, W., Werner, P., & Steinigeweg, S. (2018). Environmental impact of the excess electricity conversion into methanol. *Journal of Cleaner Production*, 191, 87-98, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.232>
- Cohn, M. (2014). Teilnehmende Beobachtung. In: Bischoff, C., Oehme-Jüngling, K. & Leimgruber, W. (Hg.): *Methoden der Kulturanthropologie*, 71-85, Bern.
- Colombo, A. W. (2021). Lectures in “Digitalization of ICPS”. Master in industrial informatics Course, Hochschule Emden Leer (Germany) and UTN Santa Fe (Argentina).
- DIN SPEC 91345 (2016). Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0).
- Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A. P., Moldenke, A. R., DeBano, S. J., Best, L. R., & Higgins, C. W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11:7452. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86756-4>
- IDTA (Industrial Digital Twin Association), Industrie 4.0 Plattform, and ZVEI (2022). Details of the asset administration shell. Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 3.0RC02). www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V3.html
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (Hrsg.)]. <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Kost, C., Shammugam, S., Fluri, V., Peper, D., Memar, A. D., & Schlegl, T. (2021). *Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien*. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
- LBEG, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.) (2022). *Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen*. *GeoBerichte* 45, doi: 10.48476/geober_45_2022

- Liu, Y., Zhang, R.-Q., Huang, Z., Cheng, Z., López Vicente, M., Ma, X. R., & Wu, G.-L. (2019). Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. *Land Degradation & Development*, 30, 2177–2186. <https://doi.org/10.1002/ldr.3408>
- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., & Kjeldsen, T. R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519, 3634-3650. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>
- Raab, B. (2015). Erneuerbare Energien und Naturschutz - Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. In: ANLiegen Natur, 37 (1), 67–76.
- Schürmann, T. (2021). Höfe vor der Nachfolge. Landwirtschaft und bäuerliches Selbstverständnis im Oldenburger Münsterland (Schriften zur Alltagskultur im Oldenburger Münsterland Band 2). Museumsdorf Cloppenburg - Niedersächsisches Freilichtmuseum.
- Smart Grid Coordination Group (2012). Smart grid reference architecture. CEN-CENELEC-ETSI, Standard, S. 107.
- SOA-RAF (2012). Reference Architecture Foundation for Service Oriented Architecture Version 1.0. Edited by Peter Brown, Jeff A. Estefan, Ken Laskey, Francis G. McCabe, and Danny Thornton. 04 December 2012. OASIS Committee Specification 01. <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/soa-ra/v1.0/cs01/soa-ra-v1.0-cs01.html>. Version: <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/soa-ra/v1.0/soa-ra.html>
- Sperling, F. (2017). Biogas – Macht – Land. Ein politisch induzierter Transformationsprozess und seine Effekte. Vandenhoeck & Ruprecht. (Kapitel 5).
- Spiritova, M. (2014). Narrative Interviews. In: Bischoff, C., Oehme-Jüngling, K., & Leimgruber, W. (Hg.): Methoden der Kulturanthropologie, 117-130, Bern.
- Svoboda, N., Strer, M., & Hufnagel, J. (2015). Rainfed winter wheat cultivation in the North German Plain will be water limited under climate change until 2070. *Environmental Sciences Europe*, 27:29. doi:10.1186/s12302-015-0061-6
- Karnouskos, S., Colombo, A.W., Bangemann, T., et al. (2014). The imc-aesop architecture for cloud-based industrial cyber-physical systems. In: *Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems: The IMC-AESOP Approach*, Colombo, A. W., Bangemann, T., Karnouskos, S., et al. (Eds). Cham: Springer International Publishing, ISBN: 978-3-319-05624-1. doi: 10.1007/978-3-319-05624-1_3
- WBGU, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen (2011). Hauptgutachten. Welt im Wandel Gesellschaftsvertrag für

- eine Große Transformation. ISBN 978-3-936191-38-7 (2. veränderte Auflage), https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu_jg2011.pdf
- Wittmann, B. (2021). Intensivtierhaltung. Landwirtschaftliche Positionierungen im Spannungsfeld von Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft. Vandenhoeck & Ruprecht. (Kapitel 1 & 10).
- Wunder, K., Foth, H., Rolink, J., & Kayser, M. (2023). Environmentally friendly solar energy: Potential of utilizing field margins in rural areas for photovoltaic systems in combination with wildflower strips. 22nd Wind & Solar Integration Workshop, Copenhagen, Denmark, 26.