UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Gefördert durch

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

KINERA

Künstliche Intelligenz für eine effiziente und resiliente Agrartechnik

Abschlussbericht Teil I: Kurzbericht

Zuwendungsempfänger: **Smart Site Solutions GmbH, Nürtingen**	Förderkennzeichen: **28DK109B20**
Vorhabenbezeichnung: **Künstliche Intelligenz für eine effiziente und resiliente Agrartechnik (KINERA)**	
Laufzeit des Vorhabens: **19.04.2021 bis 18.10.2024**	
Berichtszeitraum: **19.04.2021 bis 18.10.2024**	

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde

Bereits zu Beginn des Vorhabens KINERA war die Digitalisierung in der Landwirtschaft über Jahre hinweg fortgeschritten. Auf vielen Betrieben wurden bzw. werden Drohnen, Sensoren, und Cloud-basierte IT-Infrastrukturen für das Farm Management benutzt. Auch KI (insb. Deep Learning) und IoT-Konzepte waren zu Projektbeginn ebenfalls schon in der landwirtschaftlichen Forschung präsent und wurden bzw. werden in einigen praktischen Anwendungen bereits eingesetzt. Wesentliche Schwächen dieser Systeme waren bislang die (a.) Bedienkomplexität, (b.) eine gewisse Starrheit bei gleichzeitig hoher Komplexität und Dynamik der Umwelt und der Variabilität von Bodeneigenschaften und Pflanzenkulturen und (c.) ein immanentes Ausfallrisiko von im Wesentlichen Cloud-basierte IT-Infrastrukturen, wobei die Landwirtschaft als Nahrungsmittelproduzent gleichzeitig als kritische Infrastruktur eingestuft wird.

Diesen Herausforderungen widmete sich der Partner SMART im Rahmen des Forschungsprojektes und entwickelte umfangreiche Artefakte für die (1) Task Allocation und für das (2) Task Monitoring für die Agrarindustrie, um – in einer resilienten Cloud-Hofserver-Architektur – die Wertschöpfungssystemkomplexität bei einer überbetriebliche Ressourcenteilung (Ziel: Erhöhung der Maschinenauslastung) beherrschbar zu halten und Überwachungsprozesse zu automatisieren.

Der KINERA-Lösungsansatz des Partners SMART in Bezug auf die Komponente **Task Allocation** liegt in einer flexiblen Architektur für die Task Allocation. Über die flexible Architektur können sowohl einfache als auch komplexe mehrstufige Dispositionsszenarien umgesetzt werden, in denen Bedarfsträger und Disponent eine Personalunion bilden oder auf unterschiedliche Aufgabenträger aufgeteilt sind. Disposition kann sowohl zeitgleich an einem oder verschiedenen Orten bzw. zu unterschiedlichen Zeiten an einem oder unterschiedlichen Orten bewerkstelligt werden.

Aus der Task Allocation ist bekannt, welche Aufgabe durch wen, wann und für welche Feldbearbeitung ausgeführt werden soll. Im Rahmen des **Task Monitorings** kommt es für die eingeplanten Geräte zu einer kontinuierten Überwachung der Sensordaten. Diese Sensordaten sind die Eingabe in ein trainiertes ML-Modell, das aus Standortdaten im Zeitablauf eine Einschätzung vornimmt, welche Aufgaben begonnen / nicht begonnen / abgeschlossen sind. Änderungen in einer ursprünglichen Zeitplanung werden automatisiert detektiert, sodass bei Störungen Abhängigkeiten zu Folgeaktivitäten (Kaskadierungseffekte) ermittelt und Gegenmaßnahmen ausgeführt werden können.

Im KINERA-Projekt implementierte der Partner SMART die Simulationsumgebung, mittels derer das Artefakt Task Monitoring evaluiert und demonstriert werden kann.

Alle Projektziele wurden erreicht.

2. Ablauf des Vorhabens

KINERA organisierte die durchzuführenden Arbeiten in insgesamt sieben Arbeitspaketen, wovon fünf (AP 1 bis AP 5) den fachlichen Kern der Arbeit bildeten. Im Rahmen des **AP 1**: Analyse und Spezifikation wurden in Workshops Anwendungsnahe Szenarien im Bereich der Logistik für die Task Allokation und das Task Monitoring entwickelt. In **AP 2**: Systemarchitektur und Prototyp leistete der Partner SMART wesentliche Beiträge zur KINERA-Mehrschichtarchitektur. So entstand in mehreren Iterationen eine auf Resilienz ausgelegte Gesamtarchitektur, in der die verschiedenen Ebenen (Cloud, Hofserver und Maschinenebene) integriert wurden und die Beziehungen zueinander beschrieben wurden.

In **AP 3**: Datenerhebung, Modellierung und Simulation entstand beim Partner SMART eine Simulationsumgebung, mittels derer das Artefakt Task Monitoring evaluiert und demonstriert werden konnten. In **AP 4**: Integration KI-Technologie wurden die KI-basierten Algorithmen für das Task Monitoring entwickelt und mit der Task Allocation integriert. In **AP 5**: Demonstration und Evaluation wurde der Demonstrator nach Definitionen aus AP 1 umgesetzt und bereitgestellt. In **AP 6**: Dissemination und Öffentlichkeitsarbeit verbreitete der Partner SMART die KINERA-Ergebnisse auf Veranstaltungen, in Präsentationen, auf seiner Website sowie in seinen Social-Media-Kanälen.

3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche Ergebnisse sind die prototypischen Implementierungen der Algorithmen für die Task Allocation und das Task Monitoring, welche der Partner SMART im Projektanschluss in den nächsten Produktgenerationen seiner marktetablieren Software SSO umsetzt und so einer wirtschaftlichen Verwertung zuführt.

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Gefördert durch

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

KINERA

Künstliche Intelligenz für eine effiziente und resiliente Agrartechnik

Abschlussbericht Teil II: Eingehende Darstellung

Zuwendungsempfänger: **Smart Site Solutions GmbH, Nürtingen**	Förderkennzeichen: **28DK109B20**
Vorhabenbezeichnung: **Künstliche Intelligenz für eine effiziente und resiliente Agrartechnik (KINERA)**	
Laufzeit des Vorhabens: **19.04.2021 bis 18.10.2024**	
Berichtszeitraum: **19.04.2021 bis 18.10.2024**	

1. Eingehende Darstellung der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Im Teilprojekt des Partners SMART entstanden umfangreiche Artefakte für die (1) Task Allocation und für das (2) Task Monitoring für die Agrarindustrie. Damit unterstützte SMART direkt das Projektziel *Erhöhung der Maschinenauslastung*. Die dabei adressierte Forschungsfrage war: Wie sind KI-basierte Task-Monitoring-Verfahren zu gestalten, dass sie mit einer hohen Genauigkeit den Status der Arbeitsaufgabe aus Sensorwerten ableiten?

Alle Projektziele wurden erreicht.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1: Analyse und Spezifikationwurden in Workshops Anwendungsnahe Szenarien im Bereich der Logistik für die Task Allokation (TA) und das Task Monitoring (TM) entwickelt. In KINERA wurden die prinzipiellen Funktionsebenen der (1) überbetrieblichen Allokation geteilter Ressourcen, der (2) Disposition und (3) der operativen Arbeit auf dem Feld betrachtet. Der Partner SMART fokussierte dabei auf die Funktionsebene „Disposition“ und übernahm die Rahmeneinsatzplanung aus der Ebene der Allokation. Dabei wurden Aufgaben für die einzelnen Arbeitsmaschinen geplant und zugeordnet (Task Allokation) und in die automatisierte, sensorbasierte Ausführungsüberwachung (Task Monitoring) übergeben.

Abbildung 1 Zentrales Ergebnis Workshop Aufgabenspezifikation

Die Ergebnisse dokumentiert in: Hubl, M. und Müller, M.: KINERA – Use Case Logistics, Interner Arbeitsbericht, 19.11.2021.

Das Anwendungsszenario überbetriebliche Logistik wurde in weiteren Workshops fachlich mit abgestimmt und in den KINERA-Gesamtkontext integriert.

Ziel	Entlastung des Landwirts von koordinativen, nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten im Rahmen der Herstellung und Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft udN max. Auslastung aller Ressourcen im überbetrieblichen Kontext.
Beschreibung	Die Feldbestellung (überbetriebliche Perspektive) erfordert zahlreiche logistische Aufgaben (u.a. Materialversorgung und Transport von Geräten, Personal und Material). Die Aufgaben sind interdependent und ihre Erfüllung verursacht (teilweise) Konflikte (z.B. bei geteilten Ressourcen). Verzögerungen kaskadieren sich. Die autom. Überwachung der Aufgabenstatus und die autom. dynamische Fortschreibung des Initialplans ist daher von besonderer Bedeutung.
Akteure	Landwirte, Lohn-/Subunternehmer und Maschinenverleiher
Vorbedingung	Ressourcen sind hinsichtlich ihrer technischen Spezifikation bekannt. Die techn. Spezifikation umfasst (1) die mit einer Ressource durchführbaren Verrichtungen (Aufgaben, z.B. Saatgutübergabe, Aussaat), (2) Leistungsparameter bzw. leistungsbestimmende Maschinenparameter und (3) die mittels Sensorik (inkl. GPS) erhebbaren Daten für diese Ressource. Die Ressource muss im Gesamtsystem KINERA eingebunden sein (= sendet Daten an KINERA-Schnittstellen) und ggf. technisch eindeutig identifizierbar sowie adressierbar (Rückkanal) sein (EXA). Übergeordneter, initialer Einsatzplan geteilter Ressourcen (WI2) ist bekannt. Dies umfasst: Wer hat gem. dem initialen Plan wann welche Ressource verfügbar.
Ergebnisse	Aufgabenstatus und Meldungen (z.B. dass eine Aufgabe nicht rechtzeitig begonnen oder abgeschlossen werden kann; erwartetes Aufgabenende; erwartete Ankunftszeiten; dynamisch angepasste Aufgabenpläne).

Abbildung 2 Anwendungsszenario "Logistik" des Partners Smart Site Solutions GmbH

Darauf aufbauend entwickelte der Partner SMART den KI-Use Case „Logistik“ der sich wie folgt darstellt.

Input	Funktion	Output
Für jede Ressource • Technische Spezifikation, z.B. Flächenleistung • Verfügbarkeit • Standortdaten (GPS) • Daten zum aktuellen Arbeitsfortschritt • Daten zu Roh-/Hilfs-/Betriebsstoffen (akt. Füllstand und Verbrauch) • Fahrspurplanung (EXA) • Restarbeitsprognose (EXA) Allgemein • Wetterdaten • Verkehrs- & Routingdaten • Beschreibung der Arbeitsaufgaben (zu entwickelndes KINERA-Artefakt, gem. mit EXA) • Feld-POIs (z.B. Einfahrten, EXA)	• Ableitung des Erfüllungsgrades der Aufgaben aus Sensordaten	• Aufgabenstatus (nicht begonnen, begonnen, abgearbeitet zu X %, abgeschlossen). • Rückmeldung / Warnmeldung, falls Aufgabe nicht rechtzeitig begonnen / beendet werden können. • Anzahl Maschinen auf Feld und welche Maschinen

Priorisierung	Interpretierbarkeit	Echtzeitfähigkeit	Zuständigkeit
1	Nein	Nein	SSO

Abbildung 3 KI-Use Case „Logistik“ des Partners Smart Site Solutions GmbH

Basis der Beschreibung des KI-Use-Cases war eine zurvor erfolgte Analyse des Stands der Wissenschaft und Technik zu KI-Verfahren (dokumentiert in: Farris, V. (2022): Übersicht zu Verfahren der Künstlichen Intelligenz, interner Arbeitsbericht zu AP1).

Der Partner SMART leistete wesentliche Beiträge zur KINERA-Mehrschichtarchitektur. So entstand in mehreren Iterationen eine auf Resilienz ausgelegte Gesamtarchitektur, in der die verschiedenen Ebenen (Cloud, Hofserver und Maschinenebene) integriert wurden und die Beziehungen zueinander beschrieben wurden.

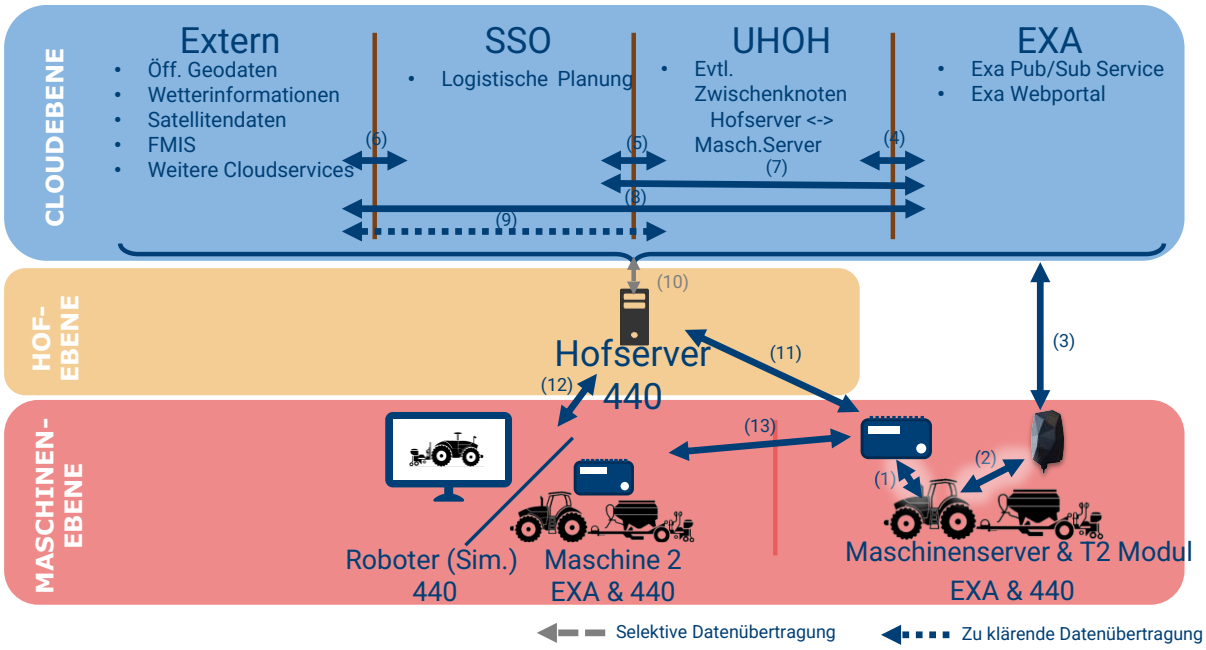

Abbildung 4 KINERA-Gesamtarchitektur

Auf die Gesamtsystemarchitektur aufbauend wurde eine Liste der Systemkomponenten und ihrer Schnittstellen erstellt. Der Tabellenkopf der Liste ist in Abbildung 5 aufgeführt.

Daten-Nummer	Kommunikations-kanal	Bezeichnung	Anforderungen an Aktualität (wie häufig werden die Daten benötigt?)	Anforderung an Historie *(wie weit in Vergangenheit sollen Daten gehalten werden)*	Bemerkung

Abbildung 5 Tabellenkopf zur Sammlung von Systemkomponenten und deren Schnittstellen

Die Artefakte erstrecken sich über die drei Architekturkomponenten (1) Cloud, (2) Hofserver und (3) Maschinenebene (inkl. Roboter). Im weiteren Verlauf wurden zudem für jede Komponente bzw. Schnittstelle Resilienzfälle erhoben und diskutiert (Dokumentiert in „Resilienzfälle im KINERA Projekt - Dokumentation möglicher Resilienzfälle sowie der Abstimmung für den Final Demonstrator, projektinterne Präsentation). Als Vorbereitung auf die Sammlung von Systemkomponenten und deren Schnittstellen wurde zunächst in Workshops und mehreren bilateralen Abstimmungen eine schematische Grundarchitektur des Datenaustausches im KINERA-Anwendungsumfeld erstellt und in einer reduzierten Darstellung / „Prinzipskizze“ dokumentiert.

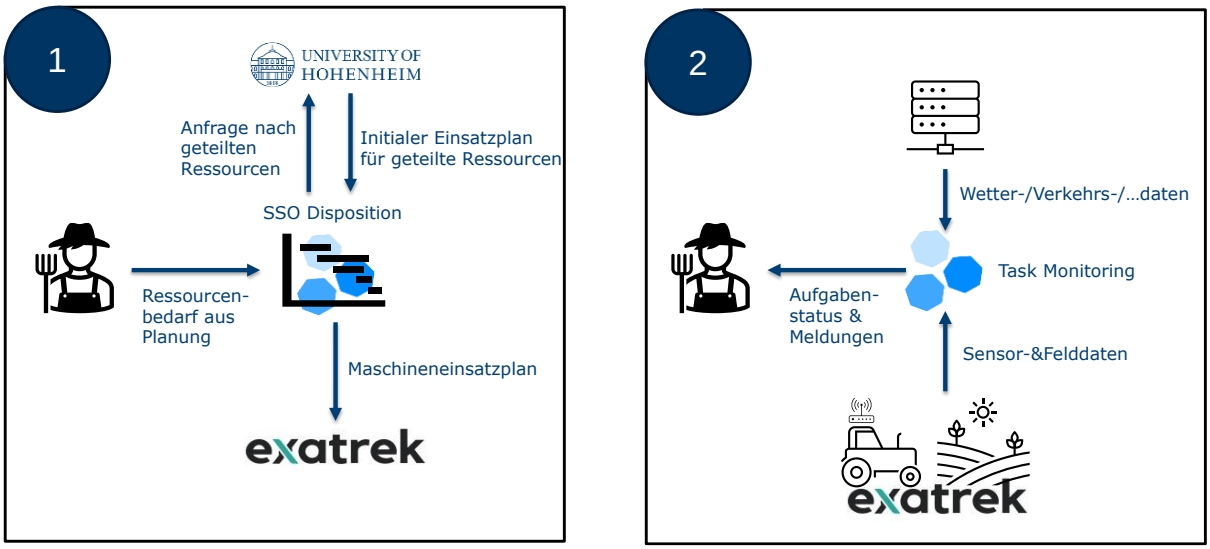

Abbildung 6 Prinzipskizze der KINERA-Architektur für den Datenaustausch

Im Anschluss an die Architekturdefinition wurden die Schnittstellen zwischen den Komponenten des Partner SMART und Exatrek bzw. zwischen SMART und UHOH/WI2 spezifiziert. Die Schnittstellenspezifikationen wurden in zwei internen Arbeitsberichten dokumentiert:

- Müller, M., Meyl, S. und Sahin, S. (2022): API specification – Telematics. Specification of the interface for the transmission of telematics data for machineries according to the Smart Site One Application.
- Müller, M., Meyl, S. und Sahin, S. (2022): Schnittstellenspezifikation – Spezifikation der Schnittstelle zwischen UHOH-Allokationen und Smart Site One zur Übertragung von der Allokationsergebnisse.

Der KINERA-Lösungsansatz des Partners SMART in Bezug auf die Komponente **Task Allocation** liegt in einer flexiblen Architektur für die Disposition (hier verwendeter betriebswirtschaftlicher, deutscher Fachterminus für „Task Allocation“). Über die flexible Architektur können sowohl einfache als auch komplexe mehrstufige Dispositionsszenarien umgesetzt werden, in denen Bedarfsträger und Disponent eine Personalunion bilden oder auf unterschiedliche Aufgabenträger aufgeteilt sind. Disposition kann sowohl zeitgleich an einem oder verschiedenen Orten bzw. zu unterschiedlichen Zeiten an einem oder unterschiedlichen Orten bewerkstelligt werden.

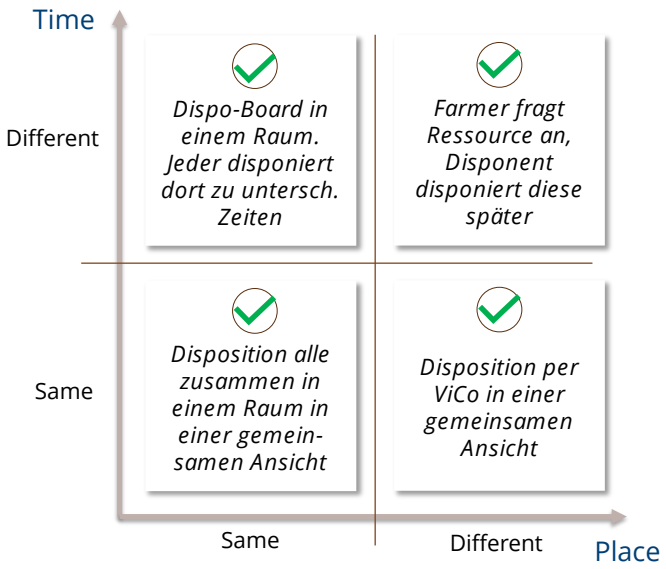

Abbildung 7 Disposition (=Task-Allokation) in unterschiedlichen „Settings“

Die Architektur lässt ferner optionale Vordisposition zu, sodass Disponent:innen und Subunternehmen frühzeitig informiert werden können und eine Dispo mit unterschiedlichem zeitlichem Scope möglich ist, z.B. nächste Woche/Monat/Jahr.
Die Flexibilität trägt der vorherrschenden Branchenstruktur und den Anforderungen aus der betrieblichen Praxis Rechnung.

Im Projekt wurde die Architektur im Backend und im Frontend auf Basis eines flexiblen Anfrage-Antwort-Schemas als Grundmuster der Task Allokation prototypisch implementiert. Dabei kann das nachfolgend dargestellte Grundmuster mehrfach iteriert und/oder kaskadiert ausgeführt werden, sodass komplexe Szenarien umsetzbar sind.

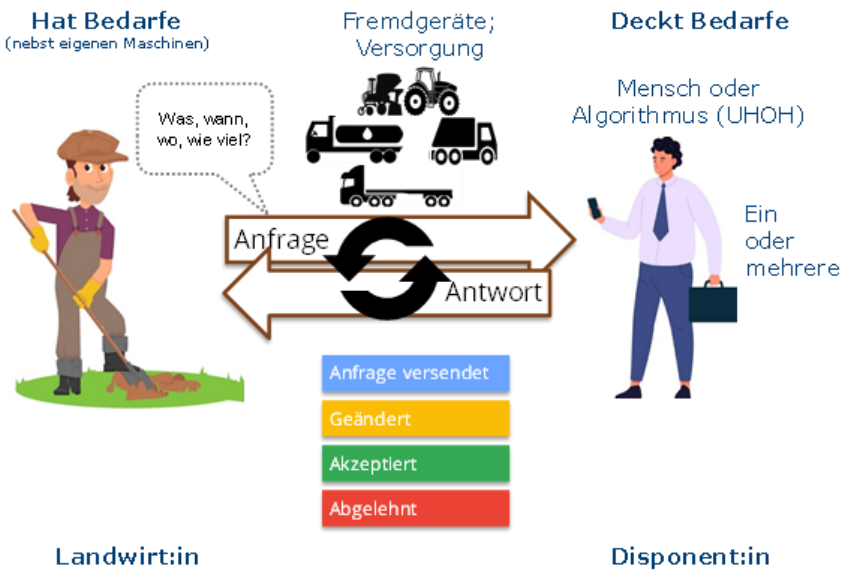

Abbildung 8 Anfrage-Antwort-Schema als Grundmuster der Task-Allokation-Architektur

Die implementierte Architektur erlaubt 1-zu-1-Standardsituationen ebenso, wie komplexe, mehrfach iterierte und/oder mehrstufige Dispo-Settings innerhalb und über Unternehmensgrenzen hinweg. Es kann nach konkreten Ressourcen oder generalisierten Ressourcentypen

angefragt werden. Die Nachrichtenübertragung erfolgt auf der Basis von Blockchain-Technologien. Damit stellt die KINERA-Implementierung die technische Grundlage für digitale Verträge dar. Die Anfragen zwischen Landwirt und Disponent:in bzw. zwischen den verschiedenen Disponent:innen können entweder direkt per API an andere Dispo-Systeme oder per E-Mail gesendet werden. Auch dies trägt der vorherrschenden Branchenstruktur aus vielen kleinen, meist IT-technisch nur wenig ausgestatteten Akteuren Rechnung.

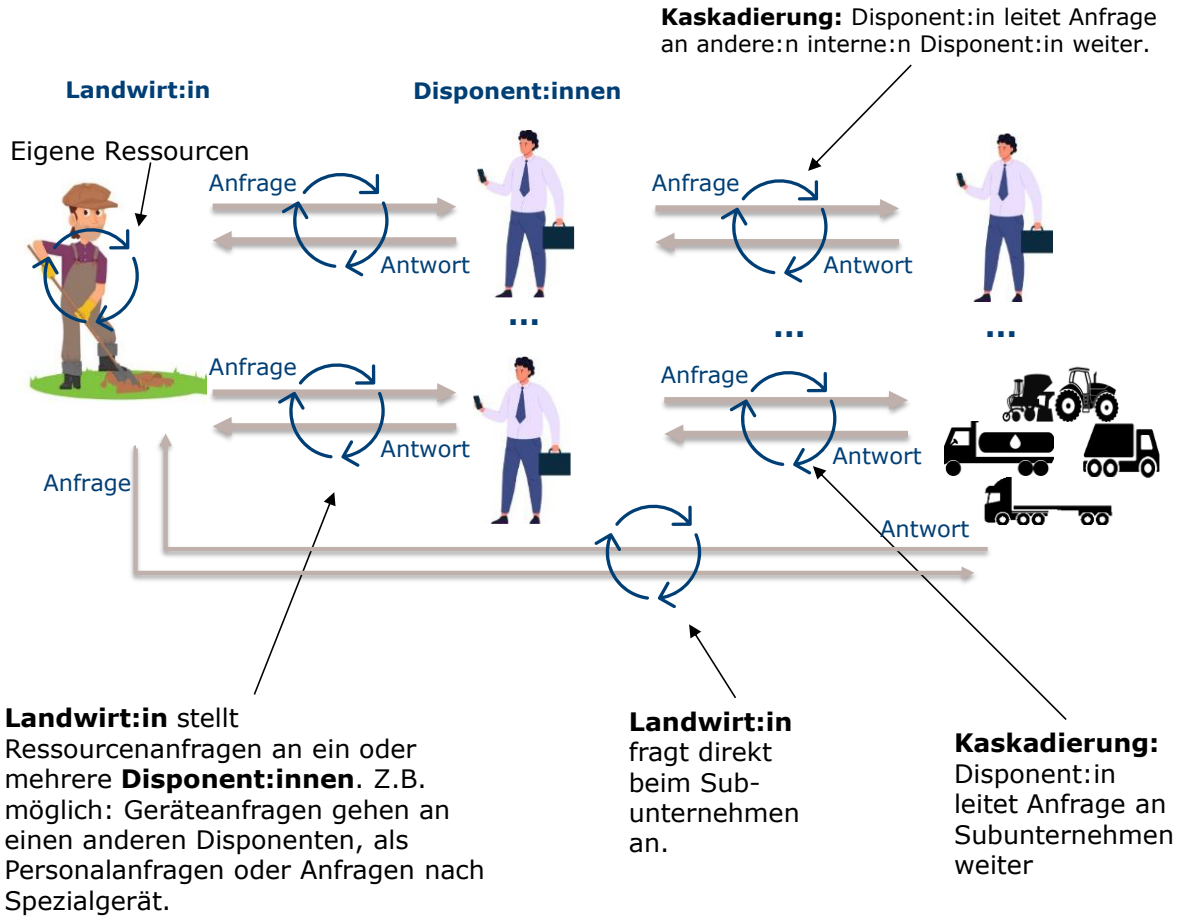

Abbildung 9 Der SMART-Lösungsansatz: Flexible Architektur

Die gesamte Architektur wurde innerhalb des SMART-Technologie-Stacks umgesetzt. Dieser setzt nicht nur auf einer modernen Mikroservice-Architektur auf, sondern nutzt lose Kopplungen und Datenbank-Cluster. Dies sichert auf der technischen Ebene der Cloud ein Höchstmaß an Resilienz u.a. durch Mehrfachredundanz, Georedundanz, Cluster-Betrieb, Load Balancing oder Verfahren des Self Healing sowie Überwachungs- & Benachrichtigungsstrukturen.

Neben dem Backend wurde die Architektur im Projekt auch in einem umfassenden Frondend weitgehend umgesetzt. Dort entstanden prototypisch implementierte Benutzeroberflächen, die

je nach Bedarf eine unterschiedliche Ansicht auf die aktuelle Disposition geben bzw. die Interaktion mit dem System zulassen. Der:die Landwirt:in plant die anstehenden Aufgaben in der Task-Allocation-Benutzeroberfläche des Partners SMART. Werden Ressourcen benötigt, über die die:der Landwirt:in nicht selbst verfügt, können Anfragen nach weiteren Ressourcen, z.B. aus einem Maschinenring, systemvermittelt gestellt werden (Partner UHOH/WI2). Alle Aufgaben können für das Task Monitoring aktiviert werden.

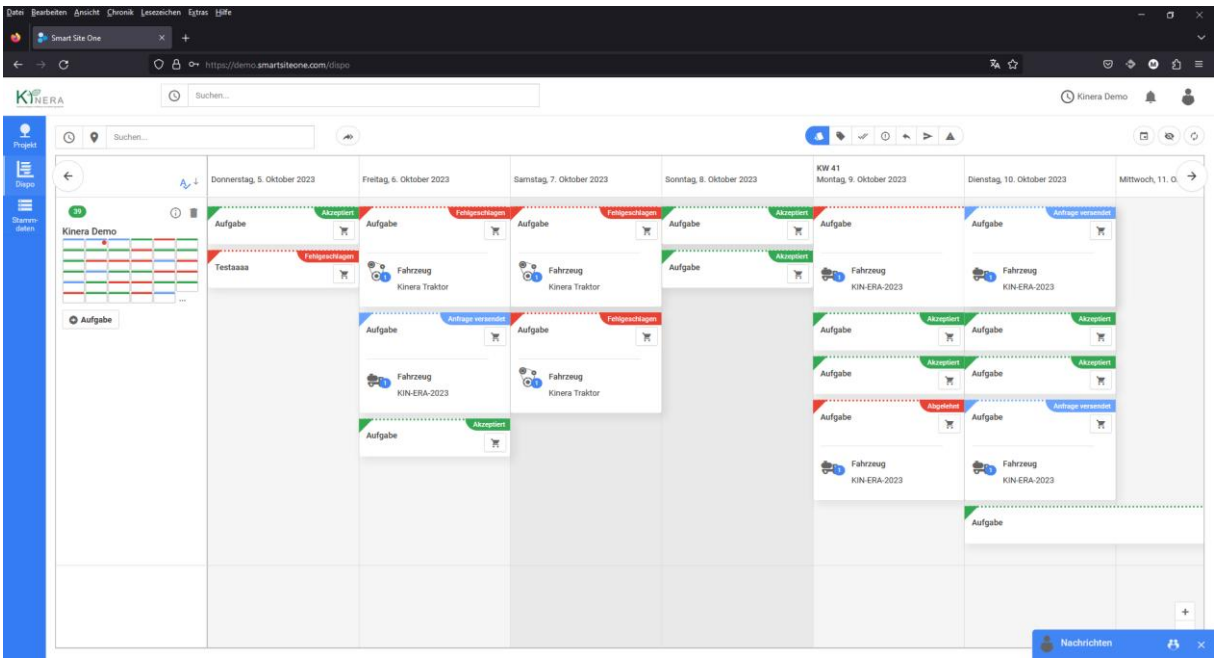

Abbildung 10 Screenshot Dispositionsansicht mit Aufgaben, die schnittstellenvermittelt an UHOH/WI2 übergeben wurden sowie API-Antworten von UHOH/WI2

Aus der Task Allocation ist bekannt, welche Aufgabe durch wen, wann und für welche Feldbearbeitung ausgeführt werden soll. Im Rahmen des Task Monitorings kommt es für die eingeplanten Geräte zu einer kontinuierten Überwachung der Sensordaten. Diese Sensordaten sind die Eingabe in ein trainiertes ML-Modell, das aus Standortdaten im Zeitablauf eine Einschätzung vornimmt, welche Aufgaben begonnen / nicht begonnen / abgeschlossen sind. Dies soll zukünftig bis hin zu einer Anomaliedetektion (z.B. abgebrochene Betankungsvorgänge) reichen; die dafür notwendige Algorithmik wird nach dem Projektende rein industriefinanziert durch den Partner SMART entwickelt. Im Projektzeitraum wurde eine Bewegungsmustererkennung umgesetzt. Diese nutzt Standortdaten im Zeitablauf, um relativ zueinander ausgeführte Bewegungen von Ressourcen (z.B. Schlepper und Betankungsfahrzeug) in Echtzeit zu analysieren und daraus eine Situationserkennung zu bewerkstelligen. Als Inputdaten werden die grundlegenden Informationen aus der Task Allocation verwendet. Diese werden mit den Standortdaten angereichert. Über eine Bewegungsmustererkennung werden dann Start und

Beendigung einer Aufgabenausführung automatisch erkannt. Dies stellt eine deutliche Erweiterung bisheriger Implementierungen dar.

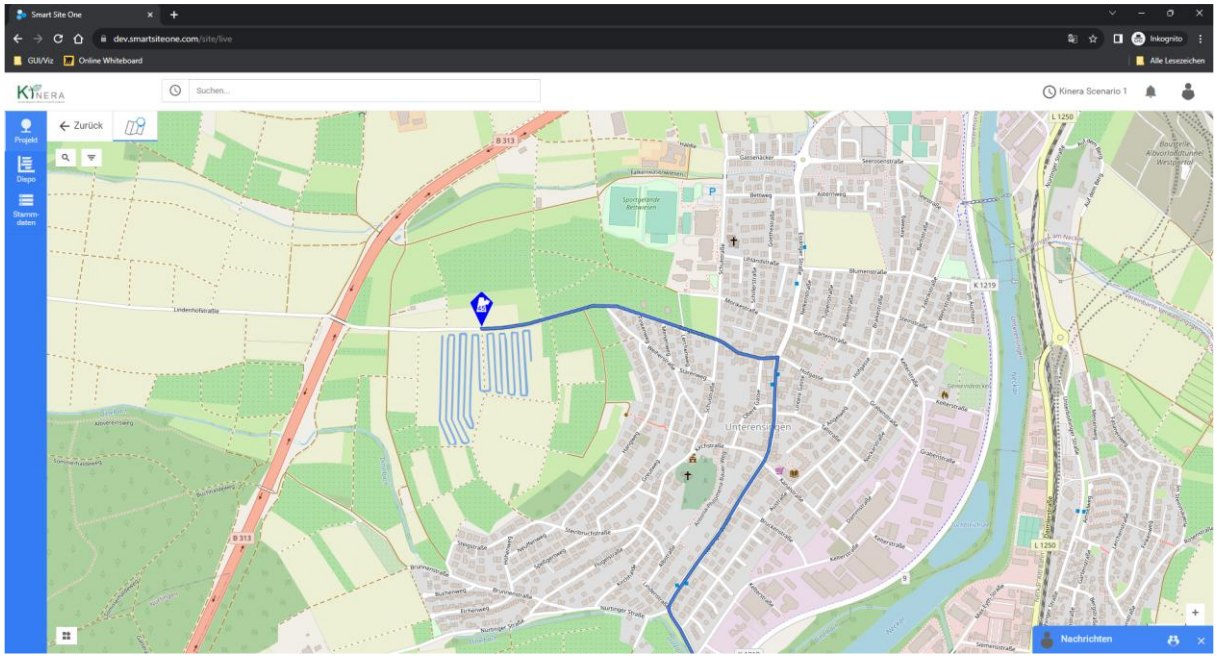

Abbildung 11 Screenshot des SMART-Simulators für KINERA zur Evaluation des Task Monitorings

Mit den Artefakten für die (1) Task Allocation und für das (2) Task Monitoring wird die überbetriebliche Nutzung von geteilten Ressourcen (z.B. Schlepper, Anbaugeräte) vereinfacht und systemvermittelt automatisiert. Änderungen in einer ursprünglichen Zeitplanung werden automatisiert detektiert, sodass bei Störungen Abhängigkeiten zu Folgeaktivitäten (Kaskadierungseffekte) ermittelt und Gegenmaßnahmen ausgeführt werden können.

Im KINERA-Projekt implementierte der Partner SMART die Simulationsumgebung, mittels derer das Artefakt Task Monitoring evaluiert und demonstriert werden kann. Der Simulator übernimmt das Ergebnis der Spurplanung. Eine Schlepper-Anbaugerätekombination erledigt die primäre Bodenbearbeitung gemäß der Spurplanung. In der Simulation wird eine Betankungsaufgabe ausgeführt. Dazu wird ein Betankungspunkt definiert, an dem sich Schlepper und Betankungsfahrzeug zur gleichen Zeit befinden müssen. Das Betankungsfahrzeugt fährt das Feld auf einer vordefinierten Route an. Befinden sich Schlepper und Betankungsfahrzeug zur gleichen Zeit am

Abbildung 12 Erkennung der Annäherung

Betankungspunkt erkennt der SMART-Task-Monitoring-Algorithmus dies.

Arbeitspaket 6: Dissemination und Öffentlichkeitsarbeit

Das Forschungsprojekt KINERA wurde in die Standardunternehmenspräsentation des Partners aufgenommen. So konnten bereits einige (potenzielle) Kunden über die im Projekt KINERA entstehenden Lösungen und Ergebnisse informiert werden. Der Partner Smart Site Solutions GmbH ist gut im Bereich der Forschung und Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz vernetzt. Als Mitglied des Startup-Netzwerk des Cyber Valleys, Europas größtes KI-Forschungskonsortium, informierte der Partner Smart Site Solutions GmbH z.B. bereits einzelne Netzwerkpartner über den Projektstart und die angestrebten Ergebnisse in KINERA.

Die Disseminationsaktivitäten und Öffentlichkeitsarbeit des Partners SMART waren im Einzelnen:

Tabelle 1 Disseminationsaktivitäten und Öffentlichkeitsarbeit

AP 6.1 Gremienarbeit und Forum/Messeauftritte
• 24.-30.10.22: Präsentation des Projekts auf dem Smart Site-Messestand auf der bauma 2022 (Halle A2, Stand 519, Messe München, ca. 650.000 Besucher). • 28.09.23: GreenAI-Day, Stuttgart Vortrag und Workshop zu KINERA • 16.+17.11.23: Aachener Straßen- und Verkehrstage an der RWTH Aachen Messeauftritt u.a. m. KINERA • 22.11.23: Vortrag ZLab Berlin zu den Innovationsprojekten des Pertner SMART • 2021-24: Lehrveranstaltung: 1x pro Semester Gastvortrag an der HfT Stuttgart mit Erwähnung des Forschungsprojekts KINERA
6.2 (Online-Präsenz/Social Media)
• LinkedIn-Beiträge: u.a. 06.04.2023 (Posting zum Konsortialtreffen); 16.10.2023 (Posting zum Konsortialtreffen) • Online-Präsenz: Aufnahme von KINERA auf der Unternehmens-Website: https://www.smartsitesolutions.de/innovationen
6.3 (Pressearbeit/Veröffentlichungen)
• Boekle, S., Mueller, M., Keil, W., Griepentrog, H. W., and Stein, A. (2024): Establishing resilient AI applications in agriculture by redundancy and graceful degradation: Two use cases. Conf. on Agricultural Engineering challenges in existing and new agroecosystems, AgEng24, Athens, Greece, 1.-4. July.

2. Eingehende Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zuletzt abgestimmte Finanzierungsplan zum Vorhaben wurde vollumfänglich eingehalten. Es kam zu keinen Einnahmen / Mittel Dritter (**Pos. 0883**) wurden nicht vereinnahmt.

Pos. F0831, Gehälter: Die aufgrund der angestrebten Innovationshöhe und der vorliegenden Projektkomplexität besonders herausfordernden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnten nur von auf gleich mehreren Anwendungsgebieten erfahrenen Personen durchgeführt werden. Insbesondere die Verwebung von ökonomischen, sensortechnischen und softwaretechnischen Kontexten stellte hohe Anforderungen an das eingesetzte Personal. Die entsprechend benötigten Kompetenzportfolios sind grds. nur schwer am Markt zu finden und entsprechend kostenintensiv. Die beantragten Mittel umfassten Gehälter für Akademiker. Diese verantworteten die techn.-ökonomische Konzeption, Evaluation und Exploration der Architekturen, Konzeptionen sowie der Geschäftsmodelle und steuerten das Projekt beim Partner SMART. Die Umsetzung der technischen Projektinnovationen erfolgte durch Full-Stack-Entwickler und einen weiteren Entwickler. Insbesondere die auf mehreren technologischen Ebenen und in einem hohen Abstraktionsgrad umzusetzenden Lösungsschritte in KINERA bedurften besonders kompetenzstarke und erfahrene Anwendungsentwickler.

Pos. F0847, lfd. Nr. 1 Hofserver-Evaluationsgerät: Zentraler Building Block für die in KINEARA angestrebte besonders resiliente Agrartechnik war das Element des Hofservers. Für eine effiziente Entwicklung von Komponenten ist stets eine stehende Test- und Versuchsumgebung unabdingbar. Im Projektverlauf fokussierte sich der Partner SMART auf überbetriebliche Resilienz-Szenarien im KI-Use-Case „Logistics“. Somit wurden zwei Hofserver zur Abbildung überbetrieblicher Szenarien beschafft und eingesetzt. Die angeschafften Test- und Evaluationsgeräte gehören nicht zur üblichen Betriebs- und Geschäftsausstattung und stellten für SMART eine vorhabenspezifische Anschaffung dar.

Pos. F0847, lfd. Nr. 2 Spezifische Multi-Environment App-Entwicklungsumg: Diese wurde vorhabenspezifisch und außerhalb der üblichen Grundausstattung für Entwicklungen im Rahmen von KINERA angeschafft, um bereits heute weit verbreitete und in Zukunft sicherlich noch verstärkter eingesetzte Mobilgeräte von Anfang an mit in die KINERA-Entwicklungen aufzunehmen.

Pos. F0850, lfd. Nr. 1 Cloud-Kosten für Explorationen: Die vorherrschende heterogene Ökosystemlandschaft im Agrarwesen bedingte die Exploration verschiedener Ansätze und Systeme. Dies konnte nur auf modernen Cloud-Basierten Plattformen effizient bewerkstelligt werden, da diese Grundlagentechnologien, wie bspw. Service-Management, Datenspeicher, Message-Middleware etc. "off-the-shelf" anbieten. Die Umsetzung der Explorationen auf standardisierten Cloud-Umgebungen bot nicht nur während der Projektlaufzeit Kostenvorteile. Das Vorhaben KINERA entwicklete so direkt auf moderne Technologie-Stacks, die im weiteren

Umsetzungskontext eine besonders schnelle Verwertung und breite Marktdurchdringung der angestrebten Projektergebnisse versprechen.

3. Eingehende Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Mit der öffentlich geförderten Wissenschafts-Praxis-Kooperationen KINERA wurden beim Partner SMART wichtige Innovationsschritte in der Verbindung von KI, Digitalisierung und Resilienz eingeleitet und deren Diffusion in eine anschließende breite Anwendung wesentlich beschleunigt. Für den Partner SMART war die Mittelzuwendung ein zentraler FuE-Impuls und eine wichtige Voraussetzung, die in KINERA adressierten Zukunftsthemen in dem für die nun anstehende wirtschaftliche Verwertung benötigten Umfang überhaupt angehen zu können. Gleichzeitig konnten die Entwicklungen in einer kürzeren Zeit bewerkstelligt werden, sodass die zu erwartenden Early-Mover-Effekte zum Tragen kommen. Nach derzeitigen Erkenntnissen werden die Mittelzuwendungen nicht nur einen direkten Effekt haben, sondern beim Partner S SMART SO weitere FuE-Investitionen auslösen, um die Lösungsartefakte in den Produkten umzusetzen und – nach dem KINERA-Anschub – kontinuierlich weiterzuentwickeln.

Die Notwendigkeit und Angemessenheit der Zuwendung ergab sich vor allem aufgrund der Neuartigkeit und besonderen Risikospezifik des mehrdimensionalen (Nachhaltigkeit, Digitalisierung, Sensor-/Maschinentechnik, Agraringenieurswesen) FuE-Ansatzes: Der Partner SMART verfügt nicht über ausreichende eigene Ressourcen und technologisches Wissen, um die in KINERA gegangenen Innovationsschritte allein zu gehen. Derartigere Innovationsschritte können nur in enger Kooperation von Industriepartnern und Forschungseinrichtungen gemeinsam unternommen werden und bedürfen als Innovationsanschub in der stark wettbewerblichen und durch nur geringe Margen geprägten Agrarindustrie einer öffentliche Projektförderung.

4. Eingehende Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine für das Forschungsprojekt KINERA relevanten FE-Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens auf Seiten des Partners Smart Site Solutions GmbH relevant waren.

5. Eingehende Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses – auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft – im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die FuE-Tätigkeiten in KINERA waren von Anfang an auf die spätere Verwertung durch die Wirtschaftspartner hin ausgerichtet. Die Evaluation legte stets ein hohes Augenmerk auf die wirtschaftliche Verwertung. Der Partner SMART verspricht sich aus den erreichten KINERA-Ergebnissen eine deutliche Verbesserung seiner aktuellen Position in den relevanten Märkten. Der europaweite Einsatz der Software SSO des Partners wirkt beschleunigend auf den Diffusionsprozess und die erfolgreiche Marktbearbeitung (Zielmarkt: Europa).

Der Partner SMART plant, die KINERA-Ergebnisse vollständig in die nächsten Produktgenerati-onen seiner marktetablierten Software umzusetzen. Dies betrifft insb. in die Komponenten für das autonome, KI-basierte Task-Management. Ziel ist dabei die Generalisierung und Übertragung der Ansätze und Konzeptionen auf die, in Relation zum bestehenden Anwendungsfall strukturell ähnliche Problemdomäne Straßenbau. Dies trägt dazu bei, die bestehenden Konzepte und Implementierungen über die derzeitigen Branchengrenzen hinaus zu evaluieren und weiter zu härten. Für diese Ziele wird ein Zeithorizont von 1-2 Jahre nach Projektende angenommen.

Der Partner SMART beteiligt sich aktuell ein an einem Antrag für ein Konsortialprojekt im Rahmen der Förderrichtlinie Cloud- und Edge-Infrastruktur und -Services im Rahmen des IPCEI-CIS des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Ziel ist, die KINERA-Ergebnisse für die weitere Forschungsarbeit in diesem Projekt zu verwerten und weiterzuentwickeln.

6. Eingehende Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Zu den bereits erfolgten Veröffentlichungen der KINASTRA-Ergebnisse siehe Tabelle 1 Disseminationsaktivitäten und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Anmeldung gewerblicher Schutzrechte ist nicht geplant.

Der Sachbericht zum Verwendungsnachweis wird an die Technische Informationsbibliothek übermittelt.