



Bildquelle: Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE

Nur eine Modellvorstellung? Am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE wird die Vernetzung von Software-Systemen für landwirtschaftliche Zwecke erprobt. Das Ziel ist ein noch effizienterer Einsatz moderner Agrartechnik.

ERPROBUNG ZUKÜNFTIGER SOFTWARE ECOSYSTEMS IM LIVING LAB "SMART FARMING"

Die Agrartechnik sieht sich aufgrund der Knappheit von Land und fossilen Ressourcen bei gleichzeitig wachsender Weltbevölkerung immer größeren Herausforderungen gegenüber. Um diese erfolgreich zu meistern, sind höhere Produktivität und gesteigerte Effizienz in der Agrartechnik unabdingbar. Heutzutage werden Innovationen hier hauptsächlich durch Fortschritte in den Bereichen der Mechanisierung, Automatisierung, Saatgut, Düngung und Schädlingsbekämpfung erzielt. Dabei spielt Software eine zunehmend wichtigere Rolle.

Innovationen in Software betreffen zum einen direkt den Arbeitseinsatz durch Sensorik und Aktorik in Landmaschinen und Arbeitsgeräten, zum anderen auch die Planung, Koordinierung, Überwachung, Durchführung, Optimierung

und Dokumentation von Aktivitäten auf dem Feld durch Assistenz- und Informationssysteme. Geodaten spielen dabei für die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der landwirtschaftlichen Aufgaben schon heute eine entscheidende

Rolle. Zukünftig wird sich die Wichtigkeit dieser Daten noch steigern, denn das „Smart Farming“ wird kommen – also der Wandel vom Bauernhof zum digitalen und vernetzten Agrarbetrieb. Die Vernetzung von bestehenden Einzelsys-

temen erfordert es, kontext-sensitiv und ortsabhängig Daten und Informationen aus unterschiedlichen Systemen miteinander zu verknüpfen, um neue, innovative und höherwertige Dienstleistungen anzubieten. Objekte der realen Welt werden durch digitale Gegenstücke repräsentiert und interagieren im Internet der Dinge miteinander. Die Vielzahl von Einzelsystemen wie zum Beispiel Sensoren, eingebettete Systeme in Landmaschinen und Arbeitsgeräten, Informationssysteme, GIS-Anwendungen sowie die Einbindung von Apps auf mobilen Endgeräten führt zu komplexen Anwendungslandschaften – sogenannten „Smart Ecosystems“.

Um Partnerunternehmen bei der Vorbereitung und Überführung heutiger Systeme in der Agrartechnik in ein zukünftiges Smart Ecosystem zu unterstützen, hat das Fraunhofer IESE das Living Lab „Smart Farming“ eingerichtet. Living Labs am Fraunhofer IESE (Fraunhofer-Institut für Experimentelles Engineering) sind domänenspezifische Laborumgebungen, die der Untersuchung von softwaretechnischen Herausforderungen dienen und es ermöglichen, neue Konzepte und Technologien im Hinblick auf ihre Tauglichkeit und Einsatzfähigkeit virtuell zu erproben. Ein Living Lab zeichnen dabei die folgenden drei Charakteristiken aus: Erstens ist die Software erlebbar, zweitens sind Qualitätseigenschaften der Software von Partnerunternehmen objektiv bewertbar, sodass die Systeme von der Laborumgebung kontrolliert in ein reales Smart Ecosystem überführt werden können und drittens können Partnerunternehmen ihre Software als Bausteine einbringen, testen und mit Experten des Fraunhofer IESE gemeinsam verbessern, anpassen und optimieren.

SMART FARMING

Die Arbeitsproduktivität der Landwirtschaft ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen. Laut Bauernverband hat der Agrarsektor gemessen an der Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigem in Deutschland seine

Produktivität zwischen 1991 und 2011 mehr als verdoppelt. Doch der Klimawandel, das Bevölkerungswachstum und die zunehmende Ressourcenknappheit setzen die Landwirte unter Druck: Sie müssen möglichst viel aus möglichst kleiner Fläche herausholen oder, wie es im Fachjargon heißt, „die Schlagkraft auf dem Feld erhöhen“.

Smart Farming – als Begriff bereits schon 1949 von True D. Morse verwendet, um das wirtschaftliche Verbesserungspotenzial beim Farm-Management zu verdeutlichen – beschreibt heute die Steigerung der Produktivität und Effizienz durch die intelligente Vernetzung von Einzelsystemen in der Agrartechnik hin zu einem Smart Ecosystem. Noch allerdings ist viel Entwicklungsarbeit nötig, bis aus der heutigen Hightech-Landtechnik tatsächlich der vollvernetzte Cyber-Agrarbetrieb „Smart Farming“ wird. Denn die Vernetzung zum Cyber-Agrarbetrieb, in dem alle Objekte der realen Welt wie Bauernhöfe, Felder, Tiere und Pflanzen oder Saatgut durch digitale Gegenstücke repräsentiert sind – betrifft nicht allein die Maschinen – Traktor, Mähdrescher, etc. – und Arbeitsgeräte – Pflug, Rundballenpresse, Sprühgerät, etc. – auf dem Hof. In den vergangenen Jahren ist die Zahl der „Player“ in der Agrarbranche gestiegen: Neben den Herstellern der Landtechnik, den Saatgut- und Düngerproduzenten mischen Sensorhersteller und verschiedene Datenprovider mit, die zum Beispiel Geo- und Wetterdaten anbieten, oder Systemhäuser, die eine Anbindung an E-Government-Services leisten. Neuerdings werden auch Smartphone-Apps auf dem Bauernhof genutzt, zum Beispiel zur Flächenvermessung via GPS oder für die Bestimmung von Schädlingen.

Innovationen finden zurzeit noch hauptsächlich in den Einzelsystemen statt. Eingebettete Software regelt inzwischen Motoren und Getriebe, um Diesel zu sparen. Von Satelliten gesendete Positionsdaten lassen die Maschinen zentimetergenau die Feldarbeit verrichten, Assistenzsysteme übernehmen den kompletten Wendevorgang

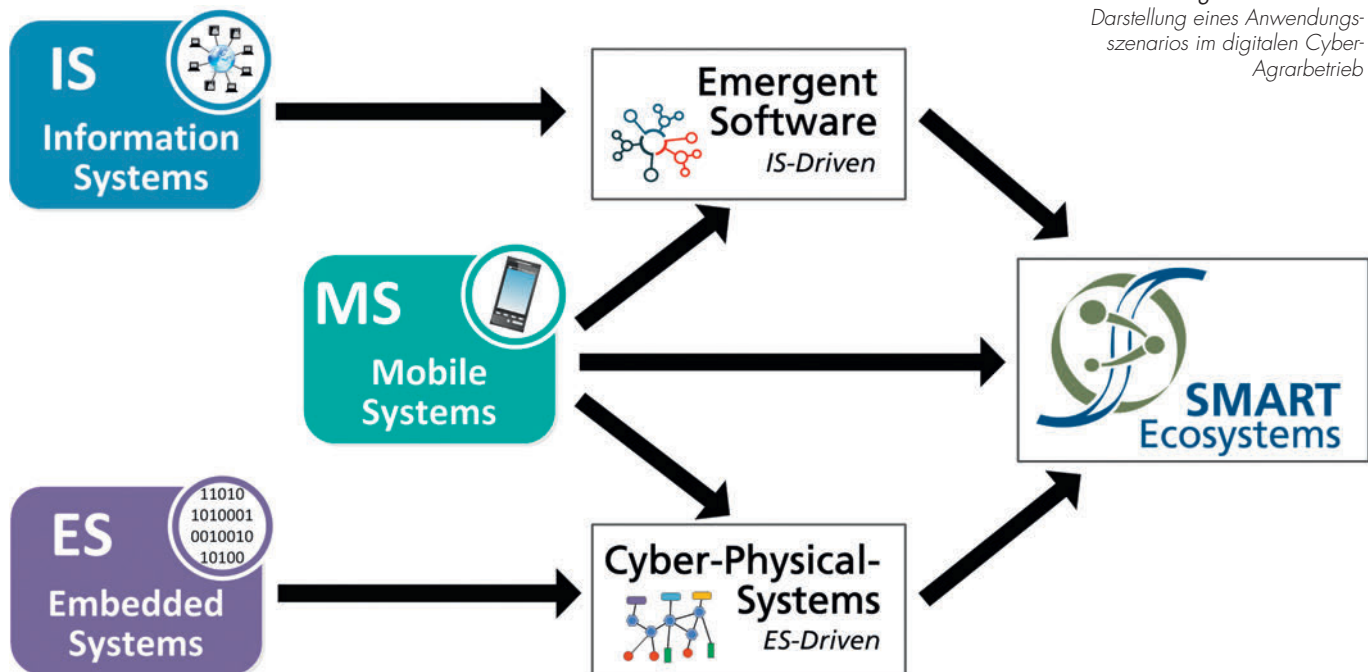
am Vorgewende, oder Saat, Dünger und Pflanzenschutzmittel werden genau dosiert auf dem Acker verteilt. Im Smart Farming werden nun die Einzelsysteme intelligent vernetzt, wie schematisch in Abbildung dargestellt: Der Landwirt wird immer mehr zum Manager in der digitalen Schaltzentrale des Agrarbetriebs, während Landmaschinen und Arbeitsgeräte (teil-) autonom Aufgaben auf Basis von Geoinformationen, Wetterdaten und Feldsensoren verrichten.

TREND: VERNETZUNG ZU SMART ECOSYSTEMS

Die Vernetzung von Software-Systemen ist ein übergreifender Trend, der sich auch in anderen Anwendungsdomänen beobachten lässt: Sei es nun Smart Energy, Smart Grids oder Smart Health – die zunehmende Vernetzung ist der Schlüssel für die Entwicklung von innovativen Services, die Alleinstellungsmerkmale schaffen und Vorteile gegenüber den Wettbewerbern darstellen. In vielen Unternehmen ist Software heute schon der entscheidende Treiber für Produkt- und Prozessinnovationen geworden. Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz werden dabei zukünftig immer mehr durch die Vernetzung der eigenen Produkte mit anderen Systemen erzeugt. Die Basis für die Entwicklung solcher Systeme ist ein Paradigmenwechsel,



Sensoren in Landmaschinen und Arbeitsgeräten, Informationssysteme und mobile GIS-Apps verbinden sich zum „Smart Ecosystem“.



von monolithischen Einzelsystemen hin zu offenen, vernetzten, skalierbaren und dienstorientierten Software Ecosystems. Abbildung 1 verdeutlicht diesen Trend und liefert eine Taxonomie der unterschiedlichen Systemklassen:

► **Informationssysteme:** Ein Informationssystem beschreibt im Allgemeinen „die Summe aller geregelten betriebsinternen und -externen Informationsverbindungen sowie deren technische und organisatorische Einrichtung zur Informationsgewinnung und Informationsverarbeitung. Informationssysteme sind häufig prozessorientierte Systeme zur Unterstützung und/oder Automatisierung von Geschäftsprozessen.

► **Eingebettete Systeme:** Ein eingebettetes System ist ein stark anwendungsorientiertes System zur produktintegrierten Kontrolle, Überwachung und/oder Regelung eines technischen Prozesses mittels Sensoren und Aktuatoren. Die Recheneinheit ist hier im Gegensatz zu den Informationssystemen direkt in den technischen Kontext integriert.

► **Mobile Systeme:** Apps für mobile Endgeräte bestehen aus mindestens einer Anwendung, die auf einem

oder mehreren mobilen Endgeräten (Smartphone oder Tablets) zum Einsatz kommt. Von mobilen Geschäftssystemen (oder -anwendungen) spricht man, wenn die mobile Anwendung mindestens einen Geschäftsprozess unterstützt oder erweitert.

INTEGRATION MOBILER SYSTEME

Der Trend der Vernetzung wird weiter vorangetrieben und vermehrt werden auch mobile Systeme in die Abläufe integriert. Emergente Unternehmenssoftwaresysteme stellen dabei die nächste Evolutionsstufe für Informationssysteme dar und ermöglichen das Internet der Dienste. Vernetzte eingebettete Systeme hingegen werden zu Cyber-Physical Systems (CPS) und führen schließlich zu einem Internet der Dinge. Die Treiber der beiden neuen Systemklassen sind unterschiedlich. Bei emergenten Unternehmenssoftwaresystemen wird eher der Geschäftsprozess optimiert: Triebfeder sind die Informationssysteme – die Top-down durch Verfügbarkeit von Daten aus eingebetteten Systemen in Echtzeit kontrollieren und reagieren

können. Im Gegensatz dazu stehen die technischen Regelungs- oder Überwachungsprozesse bei den Cyber-Physical Systems im Vordergrund: Hier sind die eingebetteten Systeme die Triebfeder, die Bottom-up durch Kommunikation mit anderen eingebetteten Systemen die technischen Prozesse optimieren. Schon heute wird beispielsweise in der chemischen Industrie durch vertikale Integration eine Verzahnung von Informationssystemen und eingebetteten Systemen angestrebt: angefangen von der Unternehmensebene (ERP) über die Betriebs- und Prozessleitebene (MES) bis hin zur Steuerungsebene (SPS) als Schnittstelle zum technischen Produktionsprozess mit Sensoren und Aktuatoren. Und über standardisierte Schnittstellen können Prozesse auf jeder Systemebene unternehmensübergreifend gekoppelt werden.

Es lässt sich schon heute absehen, dass diese beiden Systemklassen zukünftig immer weiter zusammenwachsen werden. So genannte Smart Ecosystems sind die nächste Evolutionsstufe. Sie schlagen eine Brücke zwischen der Domäne der Informationssysteme und der der eingebetteten Systeme. Sie ver-

netzen emergente Systeme und Cyber-Physical Systems zu einem einzigen Ecosystem, in dem Internet der Dienste, Dinge und Daten miteinander verschmelzen. Mit dem Begriff „Industrie 4.0“ wird dies in der Produktionstechnik als der nächste Evolutionsschritt verdeutlicht. Geschäftsprozesse und technische Prozesse sind dann gleichwertig und beeinflussen sich gegenseitig. Optimierungen werden aus globalen Gesichtspunkten durchgeführt. Software Ecosystems werden als „smart“ bezeichnet, wenn sie nichttriviale Informationssysteme zur Erreichung von Unternehmenszielen und nichttriviale eingebettete Systeme zur Erfüllung von technischen Zielen integrieren. Sie wirken dabei als eine Einheit, um gemeinsame übergeordnete Ziele zu erreichen (die kein Einzelsystem alleine erreichen könnte). Die physikalische Welt wird digital mit der virtuellen Welt zu einem Internet der Dinge, Daten und Dienste verknüpft. In Smart Ecosystems werden dynamisch kontext-abhängige Informationen genutzt, wobei die einzelnen Systeme sich gegenseitig beeinflussen.

ERPROBUNG UND ANALYSE

Komplexität ist eine inhärente Eigenschaft der Anwendungslandschaften in Smart Ecosystems. Die frühzeitige Evaluierung und kontrollierte Einführung von Einzelsystemen in ein zukünftiges Ecosystem benötigt eine entsprechende Laborumgebung, in der man ein künstliches Ecosystem mit seinen Eigenschaften erzeugen und manipulieren kann. Das Living Lab „Smart Farming“ am Fraunhofer IESE ermöglicht genau dies. Das Fraunhofer IESE stellt in der Laborumgebung verschiedene Software Systeme, Prototypen und Demonstratoren bereit. Abbildung 2 zeigt einen Überblick über den momentanen Stand der Entwicklung. Neben dem ausführbaren Source Code sind für jedes System und jeden Prototyp auch die typischen Software Engineering Artefakte und Modelle (wie Geschäftsprozesse und Workflows, Anforderungen, Architekturen, etc.) hinterlegt. Das Living Lab „Smart

Farming“ steht unter dem Motto „SEE“, „ASSESS“ und „INNOVATE“, welche die drei Charakteristiken eines Living Labs auf den Punkt bringen.

► **SEE:** Das englische Wort für „sehen“ und zugleich ein Akronym für „Software Engineering Explained“ steht für das Erleben der Software und die Visualisierung der internen Arbeitsweise der Software. Die visuelle Aufbereitung in Form von Showcases erleichtert das Verstehen und den Transfer von Software Engineering Konzepten und Technologien.

► **ASSESS:** Das englische Wort für „bewerten“ steht für die Untersuchung und Evaluierung der Eigenschaften der Ecosystems, eines Systems oder einer Komponente im Rahmen einer Laborumgebung, die die Simulation und virtuelle Erprobung von verschiedensten Szenarien zulässt.

► **INNOVATE:** Das englische Wort für „innovativ verbessern“ bedeutet die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit Experten des Fraunhofer IESE nach

„State-of-the-Art“-Software-Engineering Methoden das eigene System effektiv und effizient zu verbessern und zu optimieren.

Der auffälligste Teil des Living Labs (siehe Abbildung 3 für den konzeptionellen Aufbau und das Bild der Ausstellung zu Beginn) ist ein landwirtschaftliches Diorama im Maßstab 1:32 mit mehreren Traktoren und verschiedenen Anhängern. Das Kernstück der Laborumgebung stellen aber die Software-Engineering-Live-Monitore dar, die sichtbar machen, was sonst verborgen bleibt – nämlich die Software oder die Simulationsumgebung, die im Hintergrund arbeitet. In Traktoren und Anhängern steckt heutzutage jede Menge Software in eingebetteten Systemen, drum herum gliedern sich diverse Informationssysteme und Datenprovider an. Zudem werden immer mehr Apps auf mobilen Endgeräten verfügbar. Im Living Lab „Smart Farming“ vernetzt das Fraunhofer IESE diese verschiedene Software Systeme, Prototypen

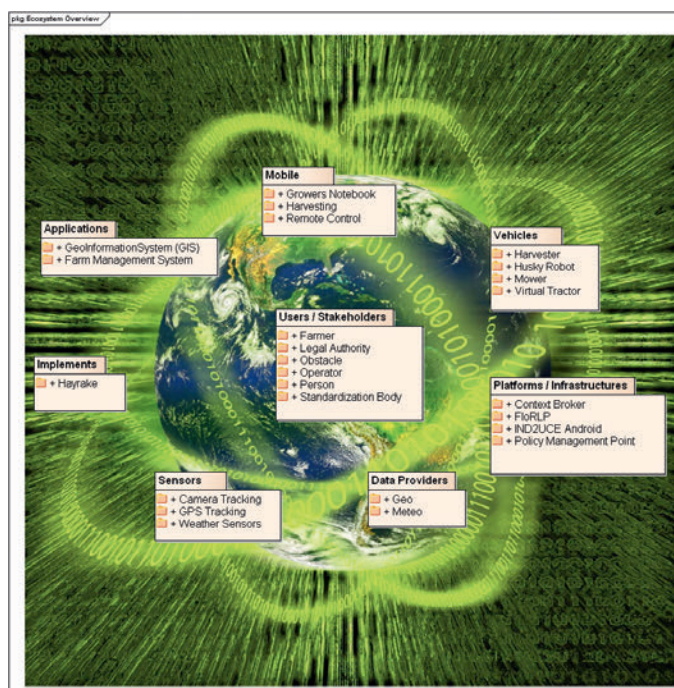


Abbildung 2: Systeme, Prototypen und Demonstratoren: Überblick über den momentanen Stand des Ecosystems „Smart Farming“ im Living Lab des Fraunhofer IESE.

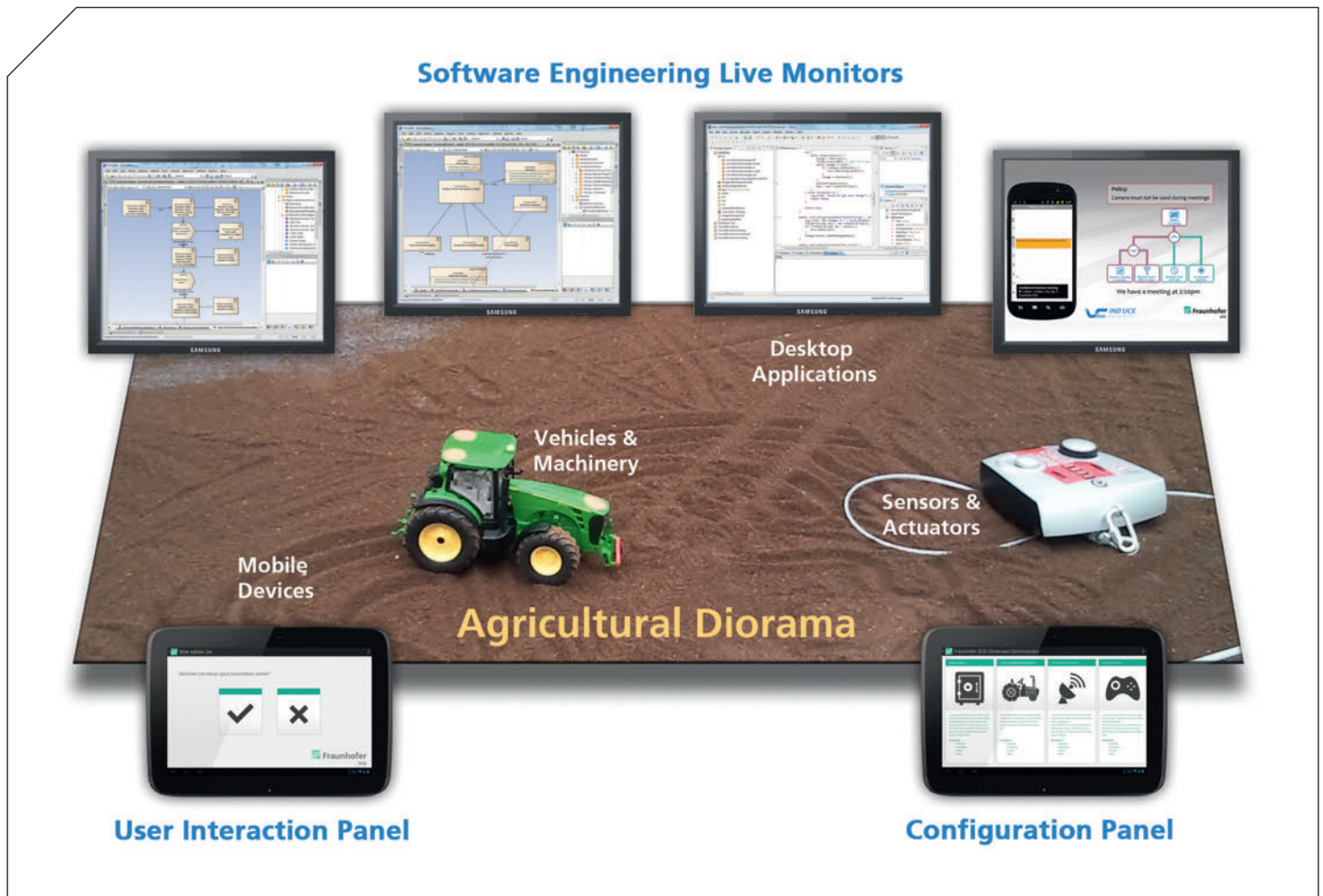


Abbildung 3: Konzeptioneller Aufbau der Integrationsplattform im Living Lab.

und Demonstratoren. Dabei werden verschiedene Entwicklungswerkzeuge unterstützt (momentan Enterprise Architect von Sparx Systems und die Open-Source-Entwicklungsumgebung Eclipse), die eine simultane Anzeige der Softwareentwicklungsartefakte auf den Monitoren ermöglichen. Die Miniaturtraktoren sind über eine Softwareschicht und externe Mikrocontroller fernsteuerbar, sodass andere Systeme (etwa aufgrund der Position des Traktors) in die Steuerung eingreifen können. Somit lassen sich auch Maschinenfunktionen in größeren Szenarien beispielhaft abbilden. Auch ein virtueller „GPS-Dienst“ ist vorhanden: Die Lokalisierung des Traktors erfolgt allerdings mithilfe von Kameras, die oberhalb des Dioramas angebracht sind, so dass Ort und Ausrichtung der Traktoren auf dem Feld erkannt werden können. Die Genauigkeit der Ortsauflösung beträgt hierbei ungefähr einen Zentimeter.

Das Living Lab „Smart Farming“ ermöglicht dadurch, die Funktionsweise der Systeme einzeln für sich und ihre Vernetzung untereinander auf verschiedenen Abstraktionsstufen sichtbar zu machen – vom laufenden System über den Source Code bis hin zur Architektur, den Anforderungen und übergreifenden Prozessen. Live Monitore über dem Agrardiorama können dafür genutzt werden, verschiedene Perspektiven auf die Vernetzung und davon beeinflusste Qualitätseigenschaften der Systeme zu werfen.

BLICK IN DIE SOFTWARE

Das heißt, man sieht, was live hinter der Nutzeroberfläche einer Software geschieht. So wird zum Beispiel angezeigt, welche Schritte im „Drehbuch“ der Software gerade ablaufen, wenn sich Traktor und Arbeitsgerät aufeinander abstimmen. Diese Visualisierung

erleichtert die Verständigung zwischen allen beteiligten Personen an der Softwareentwicklung. Somit können neue Konzepte und Technologien auf ihre Tauglichkeit und Einsatzfähigkeit virtuell erprobt und verschiedenste Vernetzungsszenarien mit ihren Auswirkungen simuliert werden. Außerdem können softwaretechnische Ideen frühzeitig erprobt werden, was der Bewertung von alternativen Umsetzungskonzepten dient. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass auch einfache Vorführungen zum Beispiel auf Veranstaltungen und Messen möglich sind.

Das Zusammenspiel der einzelnen Systeme wird aus verschiedenen Perspektiven während der Ausführung nachvollziehbar auf den Monitoren dargestellt. Hier ist es dem Anwender möglich, an beliebigen Stellen durch eigene Entscheidungen in den Ablauf einzugreifen und die dargestellten Inhalte auf den Live-Monitoren zu be-

einflussen. Die Interaktion erfolgt über Applikationen auf einem Android Tablet. Zudem steht ein weiteres Tablet mit einer Applikation zur Verfügung, um Showcases auszuwählen und abzuspielen (mit der Möglichkeit zwischen beliebigen Schritten hin und her zu springen, die Ausführung zu unterbrechen und am selben Punkt wiederaufzunehmen). Auch die Auswahl der anzuzeigenden Perspektiven findet in dieser Applikation statt,

Abbildung 3 gibt einen Überblick über den oben beschriebenen konzeptionellen Aufbau des Living Labs. Im Vordergrund sind die beiden Android Tablets zu sehen: eins für die Interaktionen mit dem Benutzer (links) und eins für die Auswahl der Anwendung und die Konfigurationen der Perspektiven auf den Live-Monitoren. In der Mitte befindet sich der Miniaturtraktor und im Hintergrund sind schematisch die Software-Engineering-Live-Monitore dargestellt, die je nach ausgewählter Perspektive unterschiedliche Einblicke in die Funktionsweise der Softwaresysteme im Ecosystem „Smart Farming“ geben.

HERAUSFORDERUNGEN

Die Planung und Gestaltung von Software Ecosystems stellt die Branche vor eine Reihe von Herausforderungen. Zu den wichtigsten zählen sicherlich die Findung von Geschäftsmodellen und standardisierten Schnittstellen, um ein reibungsloses Zusammenspiel zu ermöglichen. Allerdings haben es viele der so genannten nichtfunktionalen Anforderungen in sich: Security, Safety, Interoperabilität, Wartbarkeit – um nur einige zu nennen. In einem Fraunhofer-Innovationscluster „Digitale Nutzfahrzeugtechnologie“ erforschen und entwickeln Wissenschaftler hier neue Lösungen, die im Living Lab „Smart Farming“ evaluiert und gezeigt werden. Aktuell betrachtete Fragestellungen und Lösungen sind:

► **Sicherheit über Systemgrenzen hinweg:** Wie können Daten, die von einem System an ein anderes System weitergegeben werden, geschützt werden,

auch nachdem sie das eigene System verlassen haben?

► **Offene Architekturen:** Wie müssen zukünftige Systeme konzipiert werden, damit sie das Zusammenspiel mit zur Entwicklungszeit unbekannten Drittsystemen ermöglichen? Wie können Schutzmaßnahmen realisiert werden, damit Drittsysteme das eigene System nicht kompromittieren?

► **Modulare Safety-Nachweise:** Wie kann die funktionale Sicherheit zwischen einer beliebigen Kombination aus Zugmaschinen (Traktoren) und einem oder mehreren Anbaugeräten gewährleistet werden?

► **Einbindung mobiler Endgeräte:** Wie können moderne Endgeräte (Smartphones, Tablets, etc.) in Verbindung mit bestehenden Systemen genutzt werden, um ein für Anwender optimales Bedienerlebnis zu erreichen?

Insbesondere im Kontext der Interoperabilität erwarten wir in Zukunft ein großes Handlungsfeld. Das Anbieten von Interoperabilitätstest, um beispielsweise neue GIS-Datendienste in bestehende Smart-Farming-Infrastrukturen einzubinden, sind konkrete Dienstleistungen, die angeboten werden sollen.

ERFAHRUNGEN UND AUSBLICK

Das Fraunhofer IESE evaluiert und demonstriert im Living Lab „Smart Farming“ Systemkonzepte und Lösungen des Software-Engineering für Smart Ecosystems. Dabei wird unter anderem untersucht, wie die zukünftigen Herausforderungen der Domäne gelöst werden können. Im Living Lab können gemeinsam mit Partnern effizient Konzepte und Technologien virtuell oder prototypisch erprobt werden. Dabei kann auf eine bestehende Laborinfrastruktur mit gängigen Systemen und Entwicklungswerkzeugen zurückgegriffen werden.

Die Nutzungsmöglichkeiten für GIS-Anwendungen im Kontext des Living Lab „Smart Farming“ bieten sich sowohl für Nutzer von GIS-Daten als auch für Anbieter von GIS-Anwen-

dungen an. Die virtuelle Umgebung ermöglicht dabei frühzeitige Tests und die Evaluierung von Szenarien, welche Systemgrenzen überschreiten.

Das Fraunhofer IESE wird das Living Lab kontinuierlich erweitern. Einerseits erfolgt ein Ausbau über die Unterstützung weiterer Schnittstellen, wie zu Farm-Management-Lösungen, ISOBUS-kompatiblen Terminals oder Geoinformationsdiensten. Andererseits werden neue Methoden integriert für neue Anwendungsszenarien hin zu einer umfassenden Simulationsplattform. Beispielsweise sind Forschungsarbeiten in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Agrarindustrie geplant, welche etwa die Übertragbarkeit von Gaming Metaphern auf Anwendungen im Kontext Smart Farming untersuchen, um landwirtschaftliche Produktionsprozesse zu optimieren. Interessierte Partner können sich bei den Autoren melden, um eigene Systemintegrationen zu evaluieren und die Living-Lab-Infrastruktur zu nutzen.

Software macht die Agrartechnik in Zukunft smart. Das Fraunhofer IESE unterstützt Unternehmen in einem Living Lab Smart Farming, das hilft, die Komplexität zukünftiger Smart Ecosystems zu beherrschen und erfolgreiche Systeme zu entwickeln. Angepasste Methoden des Software-Engineering sind dabei der Schlüssel für Qualität und Effizienz. ◀

AUTOREN UND KONTAKT:

Denis Feth, Anne Hess, Ralf Kalmar,
Dr.-Ing. Jens Knodel

Abteilung Embedded Systems Development
Fraunhofer IESE
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern
T: +49 (631) 6800 2168
Jens.Knodel@iese.fraunhofer.de