

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SCHALTUNGEN IIS
FRAUNHOFER-ZENTRUM FÜR INTERNATIONALES MANAGEMENT UND WISSENSÖKONOMIE IMW

PLATON - DIGITALE PLATTFORMEN FÜR DEN LEITMARKT WASSERSTOFF: EMPIRISCHE STUDIENERGEBNISSE

PLATON - DIGITALE PLATTFORMEN FÜR DEN LEITMARKT WASSERSTOFF: EMPIRISCHE STUDIENERGEBNISSE

Dr. Nektaria Tagalidou, Dr. Anna-Lena Klingler, Nora Fronemann

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Dr. Tassilo Schuster, Lydia Bühler

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Nordostpark 93
90411 Nürnberg

Prof. Dr. Heiko Gebauer, Alexander Arzt, Dr. Sebastian Haugk

Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW
Neumarkt 9-19
04109 Leipzig

Inhalt

1	STUDIENERGEBNISSE AKZEPTANZ VON WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN UND PLATTFORMEN	5
1.1	AKZEPTANZ VON GRÜNEM WASSERSTOFF IN DER ALLGEMEINEN BEVÖLKERUNG (JUNI, 2020) ...	5
1.2	AKZEPTANZ VON WASSERSTOFF UND DIGITALER PARTIZIPATION ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE (MÄRZ, 2021)	5
1.2.1	Unterschiedliche Merkmale von Innovatoren und Nicht-Innovatoren	6
1.2.2	Wasserstoff Einschätzung der Bedeutung von Wasserstoff, möglichen Anwendungen und Befürchtungen	7
1.2.3	Interesse an einer aktiveren Rolle.....	7
2	ANALYSE VON DIGITALEN PLATTFORMEN IM ENERGIESEKTOR.....	11
3	USE CASES IN DER IN WASSERSTOFFWIRTSCHAFT	18

1

Studienergebnisse Akzeptanz von Wasserstofftechnologien und Plattformen

1.1 Akzeptanz von grünem Wasserstoff in der allgemeinen Bevölkerung (Juni, 2020)

Die Verabschiedung der nationalen Wasserstoffstrategie hat einen wichtigen Grundstein gelegt, um die Notwendigkeit von Wasserstoff als massentauglichen Energieträger in der Gesellschaft zu platzieren. Eine Studie des Fraunhofer IAO (CERRI) untersuchte die Akzeptanz von grünem Wasserstoff in der allgemeinen Bevölkerung (Kaiser, S., & Häußermann, J.-J. 2020). Insgesamt wurden 2.054 Bürger:innen befragt. Wasserstoff war dabei der Mehrheit ein Begriff (85%), allerdings kannte nur ein geringer Anteil der Befragten grünen Wasserstoff (21%), v.a. Jüngere und Menschen mit höherem Bildungsabschluss. Trotz des evtl. fehlenden Wissens zu grünem Wasserstoff steht der Großteil der Befragten der Nutzung von Wasserstoff in der eigenen Gemeinde positiv gegenüber (86%). Ein Grund dafür könnte die starke Auseinandersetzung mit dem Thema auf nationaler als auch europäischer Ebene sein. Wichtige Stakeholder, wie die Politik, aber auch Big Player des Energiemarktes unterstützen die Wasserstoffforschung. Sie sehen große Potenziale in der Herstellung, Speicherung und Anwendung. Auch wenn wichtige Akteure das große Potenzial von Wasserstoff erkennen, zeigt die Umfrage des Fraunhofer IAO auch, dass die allgemeine Bevölkerung wenig Wissen über die zukünftige Anwendung von grünem Wasserstoff aufweist. Ein Großteil der Befragten sieht ihn primär im Mobilitätsbereich (70%), nur jede:r zweite kann sich überhaupt weitere Einsatzmöglichkeiten vorstellen (z.B. Energieversorgung oder Industrie).

Eine bessere Aufklärung über die Herstellung und Verwendung von grünem Wasserstoff würde helfen, das positive Bild in der Bevölkerung weiter zu verstärken und das Wissen darüber zu vertiefen. Bürger:innen sollten die Vor- und Nachteile verstehen und das Potenzial von Wasserstoff im Kontext der angestrebten Klimaziele einordnen können. Umso höher das Wissen über eine Technologie, umso wahrscheinlicher wird sie auch verwendet. Die Ausgangsbasis für Wasserstoff ist gut, es bedarf nun den weiteren Einbezug der Bevölkerung, um ihn in der Gesellschaft als Energieträger nachhaltig zu platzieren.

1.2 Akzeptanz von Wasserstoff und digitaler Partizipation entlang der Wertschöpfungskette (März, 2021)

Wie anfangs erwähnt, ist die Akzeptanz von technologischen Innovationen auf breiter gesellschaftlicher Ebene ein wichtiger Faktor für deren nachhaltige Platzierung. Wasserstoff, als neue technologische Innovation, erfreut sich aktuell eines positiven Images. Es stellt sich jedoch die Frage was genau Wasserstoff so beliebt macht und welche Chancen die Allgemeinbevölkerung für sich sieht. Wie viele sind offen für solche innovativen Veränderungen auf dem Energiemarkt? Welche Bedeutung misst die Allgemeinbevölkerung Wasserstoff zu? Welche Anwendungen könnten sie sich vorstellen? Welche Befürchtungen haben sie hinsichtlich des neuen Energieträgers?

Entlang der digitalen Wertschöpfungskette von Wasserstoff besteht die Möglichkeit Endanwendende miteinzubeziehen, sodass sie eine aktivere Rolle im Energiemarkt einnehmen, z.B. durch Daten-Austausch mit Unternehmen oder den Verkauf von selbst produziertem Wasserstoff durch erneuerbare Energien (Photovoltaik). Möglichkeiten gibt es viele, die es von Anfang an zu berücksichtigen gilt. Es stellt sich jedoch die Frage, wie interessiert sind die Endanwendenden an einer aktiveren Rolle im Energiemarkt? Welche

Voraussetzungen müssten dafür gegeben sein? Welche Unternehmen aus dem Energiebereich genießen besonders großes Vertrauen in der Allgemeinbevölkerung? Um die Fragen zu beantworten, wurde im Dezember 2020 eine Umfrage durchgeführt. Der Fragebogen wurde von 350 Personen ausgefüllt und dauerte ca. 25-30 Minuten. 52% waren männlich (n = 152) und 51% zwischen 50-59 Jahren alt (n = 179). Es wurde auch nach der Wohnsituation gefragt, da von verschiedenen Interessen ausgegangen werden kann. 38% waren Hausbesitzer:innen mit Photovoltaik-Anlage (n = 134), 31% Hausbesitzer:innen ohne Photovoltaik-Anlage (n = 110) und 30% Mieter:innen (n = 106).

1.2.1 Unterschiedliche Merkmale von Innovatoren und Nicht-Innovatoren

Um ein besseres Stimmungsbild der Stichprobe zu bekommen, wurde sie hinsichtlich ihres Innovationspotenzials untersucht. Dafür wurde Rogers Diffusionstheorie herangezogen (1962) und eine Einteilung der Endanwendenden vorgenommen. 39 Personen (12.62%) wurden als sogenannte Innovatoren der Stichprobe bestimmt. Sie besitzen eine PV-Anlage, haben Interesse an einer Wasserstoffanlage und wären bereit für eine solche Anlage auch mehr zu investieren als für andere Energieoptionen. Sie unterscheiden sich gegenüber Nicht-Innovatoren vor allem hinsichtlich ihres größeren Vertrauens in Organisationen der Energieversorgung (z.B. Netzbetreiber oder lokale/überregionale Energieversorger), ihrer geringeren Befürchtungen, die mit der Verwendung von Wasserstoff verbunden sind (z.B. Rohstoffnutzung oder Effizienz) und ihrer höheren Technologieaffinität (z.B. Nutzung eines Energiemanagementsystems oder automatischer Heizungssteuerung). Darüber hinaus waren mehr im Haus lebende Personen, höheres gesellschaftspolitisches Engagement, eine stärkere Beschäftigung mit Umweltthemen und soziodemografische Merkmale wie ein höherer Bildungsabschluss, jüngeres Alter und höheres Haushaltseinkommen wichtige Prädiktoren der Innovatoren. Mit einem Gaussian Naive Bayes Classifier konnte auf Basis dieser Variablen mit einer Genauigkeit von 74.7%, 95%-CI [61.4%, 87.6%], vorhergesagt werden ob eine Person zu den Innovatoren gehört.

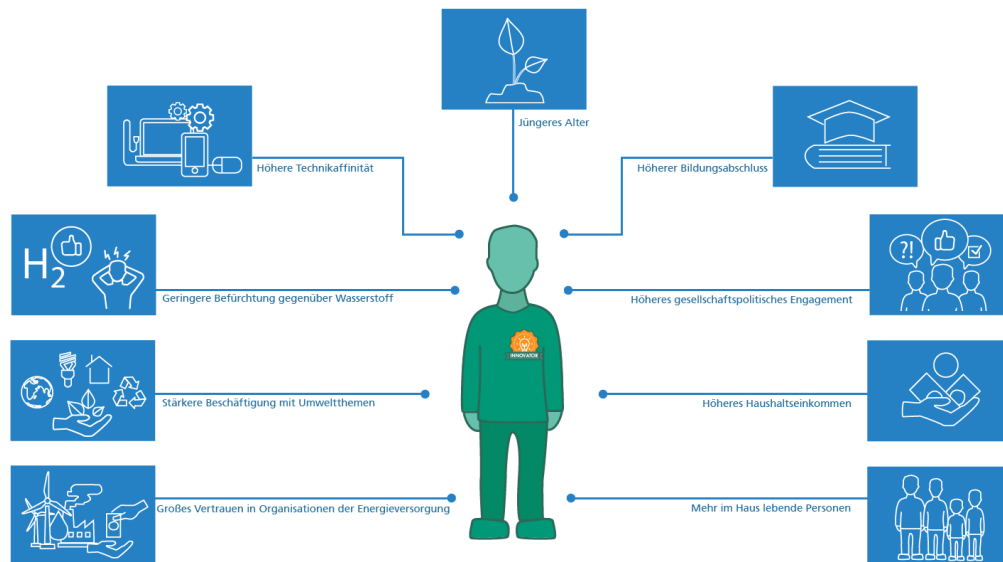


Abbildung 1: Innovator und die aus der Umfrage identifizierte Merkmale

1.2.2 Wasserstoff Einschätzung der Bedeutung von Wasserstoff, möglichen Anwendungen und Befürchtungen

Die gesamte Stichprobe misst Wasserstoff eine große Bedeutung zu ($M = 1.69$, $SD = 0.77$). Sie denken, dass er in Zukunft auch an Bedeutung gewinnen wird. Als häufigste Anwendungen können sie sich den Wasserstoff für die hauseigene Wasserstofftankstelle vorstellen (56%) oder als Möglichkeit lokal erzeugten Wasserstoff ins Erdgasnetz einzuspeisen (47%). Die größten Befürchtungen bzgl. Wasserstoff sind, dass Endanwendende mehr investieren müssen als sie mit Wasserstoff einsparen ($M = 1.75$, $SD = 0.78$), es noch viele technische Probleme ($M = 1.91$, $SD = 0.78$) und einen hohen Wartungsaufwand gibt ($M = 2.01$, $SD = 0.81$). Betrachtet man die Ergebnisse getrennt nach Mieter:innen, Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage und ohne PV-Anlage zeigen sich keine signifikante Unterschiede in der Bedeutung von Wasserstoff, allerdings in der Investitionsbereitschaft (siehe Anhang). Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage würden am ehesten in eine Wasserstoff-Anlage investieren verglichen zu Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage und Mieter:innen (s. Anhang). Dabei würden sie am liebsten eine individuelle Anlage selbst besitzen (51%), anstatt zu mieten bzw. mit anderen zu teilen. Bei den Anwendungsmöglichkeiten lässt sich in den deskriptiven Verteilungen erkennen, dass die Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage mehr Anwendungen sehen als die anderen Gruppen. Hinsichtlich der Befürchtungen gibt es keine signifikanten Unterschiede in den Gruppen.

1.2.3 Interesse an einer aktiveren Rolle

Der zweite große Teil der Umfrage befasste sich mit der aktiven Rolle der Endanwendenden entlang der digitalen Wertschöpfungskette des Wasserstoffs. Besonders interessiert ist die Stichprobe an der Möglichkeit durch digitale Partizipation Stromausfällen abzusichern ($M = 2.33$, $SD = 0.86$), das Energiemanagement für eine effiziente Steuerung der Heizung zu optimieren ($M = 2.37$, $SD = 0.79$) und Wartung bzw. Betrieb einer Wasserstoff-Anlage zu unterstützen ($M = 2.38$, $SD = 0.81$). Allerdings besteht das Interesse nur, wenn durch die Angebote in Summe Geld gespart werden kann. Die zwei wichtigsten Voraussetzungen für eine aktivere Rolle sind die Möglichkeit persönliche Daten für die Weiternutzung Dritter verhindern zu können ($M = 1.71$, $SD = 0.83$) und die Tatsache, dass kooperierende Energieversorger klimafreundlich handeln ($M = 1.71$, $SD = 0.79$). Großes Vertrauen in Hinblick auf digitale Partizipation genießen mit Abstand regionale oder lokale Energieversorger ($M = 2.19$, $SD = 0.74$), gefolgt von Technologie-Herstellern ($M = 2.39$, $SD = 0.76$) und Energiegenossenschaften ($M = 2.39$, $SD = 0.78$). Geringes Vertrauen von Endanwendenden bekommen Wohnungsbaugesellschaften ($M = 2.79$, $SD = 0.83$). Beim Vergleich der Ergebnisse getrennt nach Mieter:innen, Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage und Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage wurde auch hier deutlich. Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage sind an fast allen Angeboten interessierter als Mieter:innen (siehe Anhang). Auch ist es ihnen wichtiger, durch die Datenweitergabe Vorteile (in Form von niedrigeren Energiepreisen) zu bekommen, dass kooperierende Energiepartner klimafreundlich handeln und die gesammelten Daten als Chance für neue Ideen und Produkte wahrgenommen werden (siehe Anhang). Zudem vertrauen sie Technologie-Herstellern und Energiegenossenschaften deutlich mehr als Mieter:innen, die wiederum Wohnungsbaugesellschaften größeres Vertrauen entgegenbringen.

Mittelwerte der Gesamtstichprobe aus der Endanwendendenbefragung

Teil Wasserstoff	M	SD	Skala
Bedeutung Wasserstoff	1.69	0.77	1 = Wird deutlich an Bedeutung gewinnen – 6 = Wird deutlich an Bedeutung verlieren
Befürchtung Investitionsaufwand	1.75	0.78	1 = Besonders bedeutsam – 4 = Völlig unbedeutsam
Befürchtung techn. Probleme	1.91	0.78	1 = Besonders bedeutsam – 4 = Völlig unbedeutsam
Befürchtung Wartungsbedarf	2.01	0.81	1 = Besonders bedeutsam – 4 = Völlig unbedeutsam

Teil digitale Partizipation	M	SD	Skala
Interesse an Absicherung von Stromausfällen	2.33	0.86	1 = Interessant, dafür würde ich sogar draufzahlen – 4 = Uninteressant
Interesse an effizienter Steuerung der Heizung	2.37	0.79	1 = Interessant, dafür würde ich sogar draufzahlen – 4 = Uninteressant
Interesse an Unterstützung von Wartung und Betrieb der Wasserstoff-Anlage	2.38	0.81	1 = Interessant, dafür würde ich sogar draufzahlen – 4 = Uninteressant
Voraussetzung Weitergabe der Datenverhindern	1.71	0.83	1 = Besonders bedeutsam – 4 = Völlig unbedeutsam
Voraussetzung klimafreundliche Energieversorger	1.71	0.89	1 = Besonders bedeutsam – 4 = Völlig unbedeutsam
Vertrauen in regionale/lokale Energieversorger	2.19	0.74	1 = Sehr großes Vertrauen – 4 = Kein Vertrauen
Vertrauen in Technologie-Hersteller	2.39	0.76	1 = Sehr großes Vertrauen – 4 = Kein Vertrauen
Vertrauen in Energiegenossenschaften	2.39	0.78	1 = Sehr großes Vertrauen – 4 = Kein Vertrauen
Vertrauen in Wohnungsbau-gesellschaften	2.79	0.83	1 = Sehr großes Vertrauen – 4 = Kein Vertrauen

Statistische Auswertungen der Endanwendendenbefragung

Teil Wasserstoff	M (SD)	Signifik. Haupteffekt	Signifik. Post-Hoc Analysen
Investitionsbereitschaft	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 1.94 (0.78) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.47 (0.80) Mieter:innen: 2.77 (0.96)	$F_{(2,288)} = 25.03, p \leq .001, \eta^2_p = .148$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p \leq .001$ Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p \leq .001$

Teil digitale Partizipation	M (SD)	Signifik. Haupteffekt	Signifik. Post-Hoc Analysen
Interesse an Energiemanagementsystem für Heizung	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.15 (0.74) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.37 (0.74) Mieter:innen: 2.65 (0.81)	$F_{(2,309)} = 11.18, p \leq .001, \eta^2_p = .067$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p \leq .001$
Interesse an Absicherung bei Stromausfällen	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.13 (0.87) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.31 (0.84) Mieter:innen: 2.60 (0.80)	$F_{(2,306)} = 7.93, p \leq .001, \eta^2_p = .049$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p \leq .001$
Interesse an automatisierter Abrechnung	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.43 (0.86) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.55 (0.84) Mieter:innen: 2.70 (0.72)	$F_{(2,307)} = 3.03, p = .050, \eta^2_p = .019$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .043$
Interesse an Verkauf von selbst produziertem Strom	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.53 (0.96) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.81 (0.93) Mieter:innen: 2.96 (0.99)	$F_{(2,307)} = 5.52, p = .004, \eta^2_p = .035$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .005$
Interesse an Versorgung von grünem Wasserstoff aus dem Netz	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.26 (0.84) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.54 (0.89) Mieter:innen: 2.69 (0.82)	$F_{(2,290)} = 6.53, p = .002, \eta^2_p = .043$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .002$
Interesse an Wartung und Betrieb einer Wasserstoff-Anlage	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.15 (0.72) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.41 (0.81) Mieter:innen: 2.64 (0.84)	$F_{(2,295)} = 9.89, p \leq .001, \eta^2_p = .063$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p \leq .001$
Interesse an Verkauf von selbst produziertem Wasserstoff	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.33 (0.86) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.69 (0.89) Mieter:innen: 2.76 (0.91)	$F_{(2,297)} = 7.08, p \leq .001, \eta^2_p = .046$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .002$
Voraussetzung persönliche Vorteile durch Datenweitergabe	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 1.73 (0.79) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 1.84 (0.89) Mieter:innen: 2.10 (0.98)	$F_{(2,297)} = 4.74, p = .009, \eta^2_p = .031$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .007$
Voraussetzung klimafreundliche Energieversorger	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 1.61 (0.73) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 1.70 (0.77) Mieter:innen: 1.88 (0.88)	$F_{(2,302)} = 2.94, p = .054, \eta^2_p = .019$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .049$

Voraussetzung Innovation durch persönliche Daten	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.12 (0.88) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.25 (0.79) Mieter:innen: 2.41 (0.82)	$F_{(2,292)} = 2.92, p = .055, \eta^2_p = .020$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .049$
Vertrauen in Technologie-Hersteller	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.24 (0.80) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.45 (0.72) Mieter:innen: 2.52 (0.72)	$F_{(2,295)} = 4.05, p = .018, \eta^2_p = .027$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .023$
Vertrauen in Energiegenossenschaften	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.21 (0.78) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.47 (0.75) Mieter:innen: 2.54 (0.76)	$F_{(2,292)} = 5.3, p = .005, \eta^2_p = .035$	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .007$
Vertrauen in Wohnungsbau-gesellschaften	Hausbesitzer:innen mit PV-Anlage: 2.77 (0.85) Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage: 2.97 (0.74) Mieter:innen: 2.65 (0.87)	$F_{(2,286)} = 3.27, p = .039, \eta^2_p = .022$	Hausbesitzer:innen ohne PV-Anlage vs. Mieter:innen: $p = .035$

Mithilfe von Sekundärdaten wurden 150 daten- und plattformbasierten Lösungen im Energiesektor untersucht und durch Interviews mit Unternehmensrepräsentanten ergänzt. Basierend auf der Analyse erfolgte eine Einteilung der 150 daten- und plattformbasierten Lösungen in Transaktions-, Innovationsplattformen und integrierte Plattformen, welche anhand der Komponenten Interaktion, Wertversprechen, Netzwerkeffekte, Skalierung und Ertragsmechanik weiter beschrieben wurden.

Powerpeers (Transaktionsplattform)

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung des Matchings über die Plattform (direkt) ▪ Erhöhung der Attraktivität der Plattform für jeweils andere Seite (indirekt) 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermittlung von Strom zwischen Stromanbietern und –nachfragern, Matching des individuellen Energiemixes 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zweiseitig: sowohl über die Seite der Stromanbieter als auch über die Seite der Stromnachfrager
	<p>Wertversprechen gegenüber Stromanbietern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einnahmen durch Verkauf von überschüssigem Strom 	<p>Wertversprechen gegenüber Stromnachfragern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transparenz der Stromherkunft ▪ Anpassbarkeit des Energiemixes 	
	<p>Ertragsmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transaktionsbasiert 		
	Empty cells for alignment		
	Empty cells for alignment		

Siemens GAMESA / HERMES AI (IoT-Plattform)

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Präzisere Identifikation von Schäden und Optimierung von Serviceaktivitäten (direkt) ▪ Entwicklung zusätzlicher datenbasierter Services zur Leistungsverbesserung von Windkraftanlagen (indirekt) 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung von Daten von Bildaufnahmen per Drohnen zur Identifizierung von Schäden an Windturbinen und Ableitung von Servicemaßnahmen 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einseitig: über die Gewinnung von weiteren Anlagenbetreibern
	<p>Wertversprechen gegenüber Partnern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bisher keine Partner eingebunden 	<p>Wertversprechen gegenüber Windparkbetreibern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Steigerung der Produktion von Windenergie durch erhöhte Verfügbarkeiten ▪ Risikoreduzierung, Verlängerung der Lebensdauer der Anlagen 	
	<p>Ertragsmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ i.d.R. als Teil von Serviceverträgen für Windkraftanlagen oder vereinzelt über „as a service“ Ansätze (z.B. Bezahlung nach Verfügbarkeit oder der produzierten Windenergie) 		

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> Verbesserung der Übersicht zur Stromnachfrage (direkt) 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> Monitoring von Daten des Stromverbrauchs mithilfe von Smart Meter 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Abhängig von Regularien zur Installation von Smart Meter
	<p>Wertversprechen gegenüber Partnern</p> <ul style="list-style-type: none"> Element für weitere Angebote zur Optimierung des Stromverbrauchs Element zum Matching von Stromangebot und -nachfrage 	<p>Wertversprechen gegenüber Haushalten</p> <ul style="list-style-type: none"> Vereinfachung bzw. Automatisierung der Ablesung des Stromverbrauchs 	
	<p>Ertragsmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> Kosten in Strompreis eingebettet 		

Nordex OS SCADA Edge / Cumulocity IoT (IoT-Plattform)

Netzwerkeffekte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierung bestehender Services (z.B. Service-planung) ▪ Entwicklung zusätzlicher datenbasierter Services zur Leistungsverbesserung von Windkraftanlagen 	Interaktion <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung von Zustandsdaten von Windkraftanlagen zwischen Nordex als Hersteller und den Anlagenbetreibern 		Skalierung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einseitig: über die Gewinnung von weiteren Anlagenbetreibern
	Wertversprechen gegenüber Partnern <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fokus auf Nordex und kaum Einbindung von Partnern 	Wertversprechen gegenüber Windkraftanlagen-betreibern <ul style="list-style-type: none"> ▪ Steigerung der Produktion von Windenergie durch erhöhte Verfügbarkeiten 	
	Ertragsmechanik <ul style="list-style-type: none"> ▪ i.d.R. als Teil von Serviceverträgen für Windkraftanlagen oder vereinzelt über „as a service“ Ansätze (z.B. Bezahlung nach Verfügbarkeit oder der produzierten Windenergie) 		

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierung bestehender Services (z.B. Serviceplanung) ▪ Entwicklung zusätzlicher datenbasierter Services zur Leistungsverbesserung von Windkraftanlagen 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Austausch von Daten von Windkraftanlagen zwischen Exelon als Hersteller und den Anlagenbetreibern 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einseitig: über die Gewinnung von weiteren Anlagenbetreibern
	<p>Wertversprechen gegenüber Partnern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fokus auf Exelon, kaum Einbindung von Partnern 	<p>Wertversprechen gegenüber Windkraftanlagenbetreibern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Steigerung der Produktion von Windenergie durch bessere Vorhersagen und erhöhte Verfügbarkeiten 	
	<p>Ertragsmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ i.d.R. als Teil von Serviceverträgen für Windkraftanlagen oder vereinzelt über „as a service“ Ansätze (z.B. Bezahlung nach Verfügbarkeit oder der produzierten Windenergie) 		

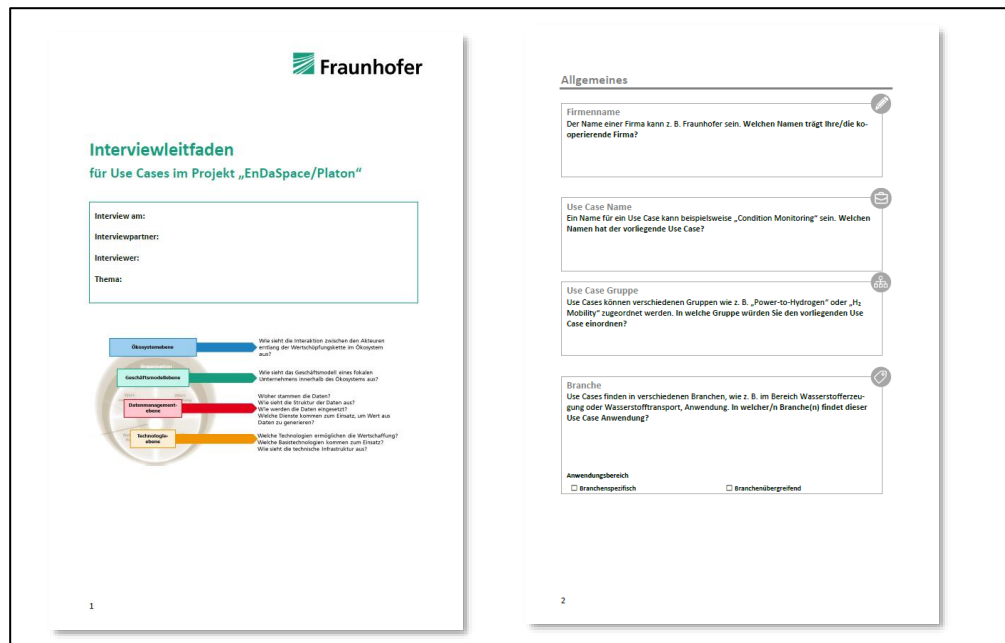
24/7 Matching - Vattenfall / Microsoft Azure (IoT-Plattform)

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Präziseres Matching der Erzeugung und des Verbrauchs von erneuerbaren Energien (direkt) ▪ Ausweitung des Anteils an Ökostrom in Verträgen (indirekt) 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datenaustausch zwischen Energieerzeugung und Smart Metern von Verbrauchern ▪ Stündlicher Abgleich von Angebot (inkl. Guarantees of Origin) und Nachfrage nach erneuerbarer Energie 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zweiseitig: Skalierung über die Anbindung von Energieerzeugern und Verbrauchern
	<p>Wertversprechen gegenüber Energieversorgern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bessere Nachvollziehbarkeit der Nachfrage nach erneuerbarer Energie ▪ Verbesserte Handlungsfähigkeit bzgl. Maßnahmen zur Bedarfsdeckung 	<p>Wertversprechen gegenüber Unternehmen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bessere Auswertung der eigenen Klimabilanz durch Transparenz der Energieherkunft 	
	<p>Ertragsmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kosten in Strompreis eingebettet 		

<p>Netzwerkeffekte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Präzise Vorhersage von Solarenergie-Produktionsmengen (direkt) ▪ Steigerung der Einspeisungseffizienz (indirekt) 	<p>Interaktion</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datenaustausch über die Produktion und Einspeisung von Solarenergie, Nutzung von KI 		<p>Skalierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einseitig: Skalierung über die Seite der Anlagenbetreiber, Ausweitung der Angebotsmenge an Solarstrom gegenüber Netzbetreibern
	<p>Wertversprechen gegenüber Netzbetreibern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierte Einspeisung von Solarenergie ▪ Erhöhte Netzwerkstabilität 	<p>Wertversprechen gegenüber Anlagenbetreibern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierung des Anlagenbetriebs durch umfassende Datensammlung und -analyse 	
	<p>Monetarisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ i.d.R. als Teil von Serviceverträgen für Solaranlagen oder vereinzelt über „as a service“ Ansätze 		

3 Use Cases in der in Wasserstoffwirtschaft

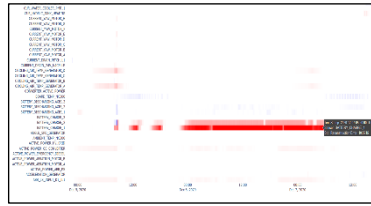
Daten- und plattformbasierte Geschäftsmodelle im Kontext von grünem Wasserstoff stehen erst am Anfang. Um gegenwärtige Entwicklungen beschreiben und zukünftige Entwicklungen abschätzen zu können, wurden mithilfe von strukturierten Interviews sechs Demonstrationsprojekte im Bereich Anomalieerkennung, Post-Construction Yield Analysis, Wärmebedarf, Virtuelles Kraftwerk, digitale Plattform für Betriebsdaten, und Betanungsmanagement untersucht. Auf Basis eines Leitfadens, der in fünf Abschnitte (Allgemeines, Ökosystemebene, Geschäftsmodellebene, Datenmanagementebene und Technologieebene) gegliedert war wurden die Interviewpartnern zu den jeweiligen Use Cases befragt.



Nachfolgend sind die sechs Use Cases anhand der Ergebnisse aus den Interviews textuiert dargestellt.



Unternehmen/Institution: Fraunhofer IEE
Use Case Gruppe: Predictive Maintenance
Branche: Energiewirtschaft (Energieerzeugung)



Kurzsteckbrief:

Der Anteil von Windenergie im Stromversorgungssystem wird im Zuge der Energiewende und dem Wechsel zu regenerativen Energiequellen weiter zunehmen und eine zentrale Stellung bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff einnehmen.

Ein erhöhter Wettbewerbs- und Kostendruck bei der Betreuung von Windenergieanlagen erfordern, die Anlagen über den gesamten Lebenszyklus fortlaufend zu optimieren und bestehende Kostensenkungspotential konsequent zu nutzen.

Die Kosten für Wartung und Instandsetzung stellen dabei einen wesentlichen Kostenblock dar, weswegen innovative digitale Technologien genutzt werden, um die weitgehend ungeplanten Ausfälle von Windenergieanlagen zu reduzieren und die Anlagenrentabilität zu erhöhen.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Die entwickelte Software ermöglicht auf Basis der Betriebsdaten von Windenergieanlagen festzustellen, wann der Wert eines Sensors von einem „normalen“ Verhalten abweicht. Für die erkannten Anomalien wird ermittelt, welche Sensoren zu den Abweichungen geführt haben. Dadurch werden Interpretationen des Zustands einzelner Komponenten möglich.

Das Erkennen der Anomalien gestattet somit, vorbeugende anstelle von reaktiven Instandhaltungen der Anlage durchzuführen, Ausfallwahrscheinlichkeit im Zeitverlauf zu berechnen und Aussagen zu deren Einfluss auf die Anlagenverfügbarkeit zu treffen, um einen optimalen Instandhaltungszeitpunkt zu bestimmen. Durch die Bestimmung von Instandhaltungsmaßnahmen vor einem möglichen Ausfall kann letztendlich die

Verfügbarkeit der Anlage erhöht, Betriebskosten gesenkt und die Erträge der Anlage gesteigert werden.

Technologie:

Zur Bestimmung von Anomalien werden Daten aus Windenergieanlagen über Sensoren erfasst, durch ein SCADA-System zusammengeführt und über einen Host-Datenserver weitergeleitet. Die durch eine REST-Schnittstelle per Skript übertragenen SCADA-Datensätze werden in eine Datenbank überführt und gespeichert. Die KI-gestützte Datenanalyse erfolgt mit Hilfe eines auf TensorFlow basierenden neuronalen Netzes. Zuvor trainierte Normalverhaltensmodelle ermöglichen es, Abweichungen in eingehenden Datensätzen zu erkennen und Wahrscheinlichkeiten für Fehler und Ausfälle zu berechnen. Die Ergebnisse werden auf einem Web-Portal visualisiert und kommuniziert.

Ein entwickelter Software-Demonstrator wird gegenwärtig im Testbetrieb an einem Offshore-Windpark betrieben (Technology-Readiness-Level 7). Eine Anomalieerkennung von Windenergieanlagen wird von weiteren Akteuren mit unterschiedlichen Reifegraden am Markt angeboten.



Datenmanagement:

Im Use Case wird auf Daten aus Windenergieanlagen, die vom Kunden bereitgestellt werden, zurückgegriffen. Hierbei werden 10-min-Mittelwerte der Sensoren im SCADA-System verwendet. Zudem fließen Wetterdaten wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung oder Temperaturen ein, die einmal täglich übertragen werden. Umweltdaten sind Teil der SCADA-Daten und können um

zusätzliche Messungen und durch regelmäßige Datenflüsse erweitert werden. Zur Zuordnung von Anomalien zu Fehlern, werden Service-Dokumentationsunterlagen von Instandhaltungsdienstleistern einbezogen. Diese Servicedaten werden ereignisbezogen nach einem Serviceeinsatz erstellt und dem Betreiber der Windenergieanlage zur Verfügung gestellt. Um die vielfältigen Datentypen für die Datenanalyse zu verwenden, werden die Datensätze in eine Datenbank mit der Struktur der Datenfelder überführt. Anschließend Datenqualitätschecks über die Plausibilität der Werte oder unzulässige Wertebereiche erhöhen die Datenqualität. Eine Ergänzung einzelner Wertelücken ist möglich, wird derzeit jedoch nicht durchgeführt. Zudem erfolgt eine Analyse von redundanten Datensätzen und Sensoren ohne Informationsgehalt. Schließlich finden verschiedene Verfahren zur Normalisierung der einzelnen Datensätze im Rahmen der Anomalieerkennung Anwendung. Die vorbereiteten Daten werden durch eine diagnostische Datenanalyse ausgewertet, um Muster in den Datensätzen zu erkennen und auf Anomalien zurückzuführen.

Die Ergebnisse werden durch Karten, Heatmaps Verlaufsgraphen und Tabellen visualisiert und Betreibern von Windenergieanlagen zugänglich gemacht.

Geschäftsmodell:

Anomalieerkennung als angebotene digitale Dienstleistung schafft für den Kunden einen monetären Mehrwert, indem eine höhere Effizienz in der technischen Betriebsführung der Windenergieanlage erreicht wird, da ungeplante Ausfallzeiten vermieden werden können. Zudem kann eine erhöhte Fahrplantreue der Windenergieanlage erreicht werden. Der Use Case kann zudem zu Kosteneinsparungen beitragen, wenn durch die Anomalieerkennung Fehler der Anlage frühzeitig entdeckt werden und so schwerwiegende Defekte vermieden werden können. Auch eine Zeiteinsparung bei Service-Dienstleistern ist möglich, wenn die Fehler automatisiert an diese übertragen werden. Die Software soll zukünftig Betreibern von Windenergieanlagen als „Software

as a Service (SaaS) angeboten werden, welche die Software über ein Subskriptionsbezahlmodell nutzen können. Perspektivisch sind Leistungsangebote für Drittparteien wie Versicherern, Finanzierern, Direktvermarktern, oder Projektierern denkbar. Gegenwärtig stellen vor allem die Kosten für die Entwicklung der Software den größten Kostenblock dar.

Ökosystem:

Das Ökosystem des Use Case ist durch zahlreiche relevante Akteure, die in komplexen Beziehungen miteinander verbunden sind, charakterisiert. Die Hersteller von Windenergieanlagen sowie die Betreiber der Windenergieanlagen liefern die erforderlichen Daten. Service-Dienstleister, die für die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen verantwortlich sind, ergänzen die Datenbasis durch Tätigkeitsmeldungen und Fehlerreports. Diese sind dabei häufig finanziell mit den Herstellern verflochten (z.B. Tochtergesellschaften) und besitzen langjährige Service-Verträge mit den Betreibern. Datennutzungsrechte sind vor allem bei Bestandsanlagen nicht immer eindeutig geklärt, wodurch Unsicherheit über die Nutzung von Daten auf Betreiberseite entstehen.

Alle Akteure haben ein Interesse an der Nutzung der generierten Daten aus den Windenergieanlagen. Die Hersteller der Windenergieanlagen nutzen die Daten, um Rückschlüsse für die zukünftige Weiterentwicklung und Herstellung von Windenergieanlagen zu ziehen, kritische Komponenten zu identifizieren und Aussagen über die Qualität von zugekauften Teilen zu treffen. Betreiber nutzen die Daten der Anlagen, um Verfügbarkeitsgarantieren mit Herstellern zu überprüfen und Stillstandszeiten der Anlagen zu planen. Service-Dienstleister nutzen die Daten um Instandhaltungsmaßnahmen einzuleiten und frühzeitig Fehler, die zu Stillstandszeiten der Anlage führen, zu beheben.

Neben diesen primären Akteuren haben weitere Akteure aus dem Ökosystem ein Interesse an den generierten Daten. Versicherungsunternehmen ermöglichen Kenntnisse aus der Anomalieerkennung, denkbare Leistungsansprüche

zu validieren, Finanzierer können erwartete Erträge und Kosten besser bestimmen, wodurch letztlich das Ausfallrisiko von Krediten reduziert werden kann. Direktvermarkter profitieren durch genauere Rentabilitätsprognosen von den Daten, wenn sich aus den ermittelten Ausfallwahrscheinlichkeiten konkretere Abschlüsse als durch pauschal angenommene Abschlüsse ermittelt werden können.

Die komplexe Konstellation zwischen den Akteuren und die unterschiedlichen Interessen an der Nutzung der Daten führen zu einer weitgehenden Unvereinbarkeit zwischen Optimierungsmöglichkeiten, Zuständigkeiten und bestehenden Vertragsbedingungen.

Dies eröffnet Fragen, wie wertschöpfende Interaktionen zwischen diesen Akteuren bestmöglich gestaltet werden können, um eine Vertrauensbasis zwischen den Akteuren zu schaffen und Interessenskonflikte zu überwinden. Im Rahmen des Use Case wird daher perspektivisch über die Initiierung einer Datenplattform nachgedacht, welche durch ein geeignetes Data/Information Right Management und eine optimierte Gestaltung der Interaktionen die Spannungsfelder zwischen den unterschiedlichen Akteuren lösen und einen Mehrwert für alle Beteiligten bieten kann. Hierzu wird es erforderlich sein, die Rechte von Datenerzeugern, Datenkonsumenten, Plattformbetreiber und ggfs. weiteren Akteuren über ein Policy-Management eindeutig zu definieren, um eine vertrauenswürdige Kollaboration aller Akteure zu ermöglichen.



BETANKUNGSMANAGEMENT FÜR BUSFLOTTEN

Unternehmen/Institution: Fraunhofer IEE
Use Case Gruppe: H2 Mobility
Branche: Energiewirtschaft Logistik (Nutzung)



Kurzsteckbrief:

Der Mobilitätssektor ist ein zentraler Anwendungsbereich für Wasserstoff. Dieser Kraftstoff ermöglicht dem Güter- und Personenverkehr Waren und Personen CO₂-neutral und ohne Staubpartikel oder Stickoxide zu befördern. Mehrere Städte in Deutschland haben bereits begonnen, Teile des Personennahverkehrs auf Linienbusse umzustellen, die mit umweltfreundlich erzeugtem Wasserstoff angetrieben werden, um Schadstoffbelastungen für Mensch und Umwelt zu reduzieren. Ein großer Vorteil von wasserstoffbetriebenen Bussen im Vergleich zu rein batterieelektrischen Fahrzeugen ist ihre Reichweite und kurze Betankungsdauer und die damit verbundene Flexibilität im Betrieb. Ausschlaggebend für den Betrieb einer mit Wasserstoff angetriebenen Busflotte ist die Dimensionierung der Wasserstoff- und Betankungsinfrastruktur, um den täglichen Energiebedarf der Busflotte bei akzeptablen Kosten der Betankungsanlage zu gewährleisten.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Der vorliegende Use Case befasst sich mit der zentralen Betankung einer Busflotte mit Wasserstoff, welcher mittels Elektrolyse aus erneuerbaren Energien selbst hergestellt wird. Ein zentrales Problem bei einem solchen Vorhaben sind hohe spezifische Kosten des Betankungssystems mit Wasserstoff, da eine Passung zwischen Bedarf, Produktion und Zwischenspeicherung von Wasserstoff nicht immer gegeben ist, sodass entweder zu viel oder zu wenig Wasserstoff produziert und vorgehalten wird. Eine zu geringe Menge an hergestelltem und gespeichertem Wasserstoff, führt dabei zu Ausfällen im Linienverkehr, während eine zu hohe Produktion und Speicherung von Wasserstoff mit hohen Lagerungskosten durch überdimensionierte Anlagenteile (Kompressoren,

Druckspeicher) verbunden ist. Für einen reibungslosen Ablauf der Betankungen bedarf es zusätzlich ein Flottenmanagementsystem, bei dem ersichtlich wird, wann welcher Bus betankt werden muss.

Die Betankung von Wasserstofffahrzeugen erfolgt mit Wasserstoff unter hohem Druck (bei Bussen i.d.R. 350 bar). Zur Gewährleistung einer sicheren, energieeffizienten Betankung in akzeptabler Zeit erfolgt die Befüllung der Fahrzeugtanks aus Speichertanks der Tankstelle mit kaskadiertem Druckniveau. Diese Speichertanks werden nach der Betankung eines Fahrzeuges mittels Hochdruckkompressoren wieder gefüllt. Eine dichte Betankungsfolge bei zu klein dimensionierten Speichern und Kompressoren führt zu inakzeptablen Betankungszeiten. Eine Überdimensionierung des Systems führt zu überhöhten Kosten. Dieser prinzipielle Nachteil bei der Betankung gasförmiger Energieträger kann mittels eines intelligent, datengestützten Betankungsmanagement ausgeglichen werden

Der Use Case verfolgt daher das Ziel, ein effizientes Betankungs- und Flottenmanagement durch ein geeignetes Datenmanagement zu etablieren. Durch die Analyse von generierten Daten werden Prozesse effizient gestaltet, wodurch wiederum Kosten für Speicher und Kompressoren gespart und die Elektrolyseure passgenauer bzw. kostengünstiger betrieben werden können.

Die größten Barrieren für die Implementierung eines solchen Systems werden in der bereits vorhandenen Infrastruktur und dem wahrgenommenen Nutzen eines solchen Betankungsmanagements gesehen. Um eine breite Akzeptanz bei den Betreibern von Busflotten zu erlangen, ist es daher notwendig, vorab Fragen wie „lohnt sich der Wechsel auf eine wasserstoffangetriebene Busflotte für den Betreiber?“, „wie vertrauenswürdig ist die neuartige Technik?“,

„welche Kosteneinsparungen können erreicht werden, sodass sich der anfängliche Mehraufwand rentiert?“ und „kann auf dem vorhandenen Flottenmanagement aufgebaut werden?“ beantwortet werden. All diese Fragen sind von zentraler Bedeutung. Um diese adäquat adressieren zu können, soll ein techno-ökonomisches Modell mit Kostenfunktionen entwickelt werden, welches aufzeigt wie sich Betankungskosten bei Vergleichmäßigung der Betankungsvorgänge verhalten. Das Modell, welches wesentliche Prozesse, Chancen und Hürden exemplarisch darstellt und die Funktionalität eines solchen Betankungsmanagementsystems erkennen lässt, dient als Orientierungshilfe, an dem sich neue Interessenten halten können.

Technologie:

Derzeit werden nur sehr einfache techno-ökonomische Berechnungen zur Ermittlung der Investitionskosten verwendet. Eine Überführung dieser Berechnung in Modelle mit geschlossenen Kostenfunktionen wäre ein erster, notwendiger Schritt.

Flottenmanagementsysteme für Busse, Logistik etc. sind bereits gut etabliert. Eine Software für Betankungsmanagement für Busflotten mit Applikationen für einen Wasserstoffbetrieb ist derzeit noch kein Stand der Technik.

Da sich mit wachsender H2-Infrastruktur die Randbedingungen stetig ändern, sind lernende Systeme rein statischen Betrachtungen vorzuziehen.



Datenmanagement:

Im Use Case wird vor allem auf bereits vorhandene betriebsinterne Daten zurückgegriffen (z.B. Kraftstoffverbrauch, Busfahrpläne etc.), welche durch neu generierte Daten (Verkehrslage, Wartungszustände etc.) ergänzt werden. Extern zugekaufte Daten (z.B. Wetterdaten) können die Genauigkeit des Modells zusätzlich erhöhen, da hierdurch der Energiebedarf (z.B. für Heizung und Klimaanlage) für die Busflotte exakter

bestimmt werden kann. Auf der Erzeugungsseite werden Strompreisprognosen und für den Fall der Abwärmenutzung des Elektrolyseurs auch Wärmebedarfsprognosen genutzt. Die Verschneidung von Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen lassen dann eine kostenoptimierte Betriebsführung unter Wahrung der geforderten Energiedienstleistungen zu.

Die Daten stammen aus technischen Systemen und der Umwelt und werden in Intervallen, die der Aufgabe angepasst sind (z.B. 15-minütig für Strommarktintegration des Elektrolyseurs) auf einen zentralen Datenserver eingespeist und für beschreibende und prädiktive Analysen genutzt. Zur Durchführung der Datenanalyse werden die strukturierten Daten vorverarbeitet (Daten-transformation, -integration) und in das entwickelte Modell eingespeist. Zur Datentransformation werden beispielsweise aus Fahrprofilen, Passagierzahl Wetter etc. Verbrauchsprognosen errechnet.

Eine Visualisierung könnte beispielsweise freie Tankslots in die Fahrzeugdisposition einblenden, so dass auch bei kurzfristigen Änderungen eine Kraftstoffversorgung sichergestellt ist. Hierzu sind jeweils Module notwendig, die die Daten in einer für ggf. schon etablierte Systeme bereitstellen.

Geschäftsmodell:

Die primäre Konsumentenzielgruppe für das entwickelte Modell sind Betreiber von Busflotten in Kooperation bzw. Personalunion mit einem Energieversorger, Stadtwerk o.ä. Zukünftige Zielgruppen könnten LKW-Flotten als weitere Nutzer oder Energiehändler mit dem Ziel der Portfoliooptimierung sein. Das Leistungsangebot umfasst eine Software für das Flotten- und Betankungsmanagement sowie für die Sektorkopplungsfunktion. In der Zukunft wäre auch die Nutzbarmachung der Daten aus dem Modell für Drittparteien denkbar, welche die Daten für Analysen zur Bereitstellung der Abwärme in Wärmenetzen oder für die Entwicklung von Predictive-Maintenance-Applikationen von Busflotten (digitale und physische Dienstleistungen) verwenden können.

Das Modell schafft für die Kunden einen monetären Nutzen durch zusätzlichen Umsatz mit weiteren Betankungskunden und Kosteneinsparungen bei Investition und Betrieb (Kosteneinsparungen) sowie nicht-monetäre (Zeitersparnis, höhere Sicherheit) Mehrwerte.

Eine erste Recherche marktverfügbarer H₂-Betankungssysteme hat ergeben, dass bei einer konservativen Betankungsplanung selbst die größte verfügbare Station nicht für eine Flotte von 20 Bussen reicht. Mit einer Entzerrung über die typischen Betriebszeiten ist jedoch schon die kleinste Einheit ausreichend.

Größte Kostenblöcke stellen gegenwärtig Personalkosten für die Entwicklung und Erprobung der Software dar. Perspektivisch werden Personalkosten neben den Kosten für den Betrieb einer Datenplattform darstellen.

Erträge werden zukünftig durch den Verkauf der Software generiert werden. Eine subscriptionsbasierte Nutzungsgebühr für den Einsatz der Software ist ebenfalls denkbar.

Ökosystem:

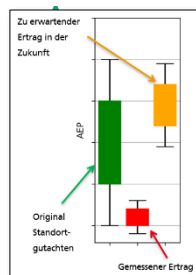
Entscheidende Akteure im Ökosystem des Use Case sind die Betreiber der Busflotte. Diese sind nicht nur die Nutzer der Erkenntnisse aus den generierten Daten, sondern zugleich die Bereitsteller der hauptsächlichen Datenbasis (z.B. Zeitpläne, Energiebedarf). Zudem stellt der Betreiber der Busflotte auch die Infrastruktur für die Betankung bereit und ist für die Herstellung des erforderlichen Wasserstoffs verantwortlich. Der Betreiber der Busflotte wird somit gleichzeitig zu einem Energieversorger und nimmt eine neue Stellung im Ökosystem ein.

Bspw. wird hierdurch eine engere Anbindung an die Daten von Stromhändler vorteilhaft, da schwankende Strompreise und die zur Verfügung stehende Menge an grünem Strom den Betrieb und die Kosten des Elektrolyseurs determiniert. Perspektivisch ist eine Anbindung weiterer Akteure, wie Abnehmer der Abwärme (die durch Elektrolyse entsteht), Hersteller der wasserstoffbetriebenen Busse (zur vorausschauenden Wartung) denkbar.

Auch hinsichtlich der Kundengruppe für das entwickelte Modell sind zusätzliche Zielgruppen denkbar, da der durch die Datenanalyse entstandene Mehrwert nicht nur für Betreiber von Busflotten, sondern auch für Speditionen und Logistikdienstleister Nutzen relevant ist.

Der Ausbau des Ökosystems durch die Einbindung weiterer Akteure und die Schaffung einer gemeinsamen Datenplattform bieten ein enormes Potential, um gemeinsame Daten und Nebenprodukte (z.B. Abwärme) zu nutzen und zu einer intelligenten Sektorkopplung beizutragen.

Unternehmen/Institution: Fraunhofer IWES
Use Case Gruppe: Performance-Analyse
Branche: Energiewirtschaft (Energieerzeugung)



Kurzsteckbrief:

Windenergie stellt ein bedeutendes Standbein im deutschen Stromversorgungssystem dar, deren Ausbau im Zuge der Energiewende weiter an Bedeutung gewinnen wird und für die Herstellung von grünem Wasserstoff von großer Bedeutung ist. Für Betreiber von Windparks und für Finanzmittelgeber ist eine genaue Bestimmung des Ertragswerts einer Windkraftanlage von zentralem Interesse. Jedoch ist dieser durch Schwankungen des Windaufkommens und unvorhersehbaren technischen Defekten nicht einfach ermittelbar. Um Finanzmittelgeber von zukünftigen Investitionen in Windparks zu überzeugen und um ertragsbasierte Unsicherheiten im Betrieb von Windenergieanlagen zu reduzieren, ist daher das Post Construction Yield Assessment zu einem wichtigen Instrument geworden.

bei Finanzmittelgeber für die Verwendung solcher Simulationsmodelle zu steigern, da diese häufig eigenen Verfahren und Bewertungsmethoden ein höheres Vertrauen schenken als den Erkenntnissen aus den generierten und ausgewerteten Daten.

Technologie:

Die Technologie basiert auf umfangreichen Datenanalyse-Tools, in denen Modelle zur physikalischen Abbildung der Nachlaufströmung zusammenschaltet sind. Ein Teil der Windparkdaten (z.B. Windgeschwindigkeiten) geht in die Modellierung als Randbedingungen ein, ein anderer dient zur Auswertung der Genauigkeit des Ansatzes (z.B. gemessene Leistungen). Es handelt sich somit um eine datengetriebene Modellierung, die vollständig in der Programmiersprache Python umgesetzt ist. Ein Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften wird gegenwärtig im Betriebsumfeld getestet (Technology-Readiness-Level 7) und wird in naher Zukunft für einen kommerziellen Einsatz zur Verfügung stehen. Andere Akteure (Beratungsunternehmen) bieten bereits vereinzelt eine Software mit ähnlichem jedoch reduziertem Leistungsumfang am Markt an.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Der vorliegende Use Case befasst sich mit der Bestimmung, Bewertung und Prognose des reell erzeugten Energieertrags von Windenergieanlagen (WEA). Dabei wird auf existierende Produktionsdaten der WEA zurückgegriffen und durch eine datengetriebene Modellierung das Ertragspotential einer Anlage für deren Restlebensdauer errechnet. Schwankungen durch volatile Windverhältnisse und unvorhersehbare technische Defekte werden berücksichtigt, so dass ein genauer Ertragserwartungswert kalkuliert werden kann. Eine bedeutende Herausforderung im Use Case stellt die Erhebung einer umfassenden Datenbasis für die Simulationsmodelle sowie die Entwicklung geeigneter Modelle zur Berechnung der Windgeschwindigkeitsreduktion hinter den WEA, dem sogenannten Nachlauf, dar. Zudem ist es erforderlich, die Akzeptanz



Datenmanagement:

Im Use Case wird vor allem auf Betriebsdaten der WEA, die vom Betreiber zur Verfügung gestellt werden, sowie auf externe, frei zugängliche Daten (Wind- & Wetterdaten) zurückgegriffen. Die Betriebsdaten stammen dabei aus dem SCADA-System der WEA. Die lokalen Wind- & Wetterdaten können aus Datenbanken des Deutschen Wetterdiens-

tes entnommen werden. Die Daten liegen in strukturierter (4D-Wettermodell-daten, Ertragsdaten/-zeitreihen) bzw. semi-strukturierter (z.B. technische Störungen) Form vor und werden paket-bzw. intervallweise an den Datenserver des Software-Entwicklers (Fraunhofer IWES) übertragen. Die gesammelten Daten werden bereinigt, reduziert und aufwendig transformiert, bevor diese einer diagnostischen, prädiktiven und präskriptiven Datenanalyse zugeführt werden, um so den real erzeugten und den potenziell maximal möglichen Ertrag abzuleiten und Verbesserungspotenzial aufzuzeigen. Diese Datenanalyse nutzt vor allem Korrelationen und Trend-Analysen zur Ableitung von aussagekräftigen Ergebnissen. Die Erkenntnisse der Datenanalyse werden über ein webbasiertes Dashboard in Matrizen, Graphen und Karten visualisiert, so dass für den Kunden intuitiv erkenntlich ist, welche Windkraftanlagen welchen Ertrag generiert und in welchem Umfang technische Störungen diesen Ertrag geschmälert haben. Aufgrund der Sensibilität der Erkenntnisse werden die Daten lediglich mit den jeweiligen direkten Auftraggebern geteilt, stehen jedoch nicht für weitere Analysen oder für andere Auftraggeber zur Verfügung. Die Geheimhaltung der Daten wird vertraglich fixiert, um eine Weitergabe sensibler Daten zu verhindern.

Geschäftsmodell:

Die primäre Kundenzielgruppe für die entwickelte Software sind Betreiber von WEA und Windparks sowie deren Investoren. Perspektivisch ließen sich die Erkenntnisse auch für Entscheidungsträger der öffentlichen Hand nutzen, um bspw. eine Bewertung von Subventionen für den Betrieb von WEA vorzunehmen. Die Software findet gegenwärtig in mehreren Offshore-Windparks in Europa Einsatz, wobei zukünftig auch Onshore-Windparks ins Portfolio aufgenommen werden sollen. Eine Vermarktung außerhalb Europas ist ebenfalls geplant. Dabei wird der Kundenzielgruppe (Windparkbetreiber, Investoren) eine Dienstleistung (Erstellung von Gutachten), welche auf den Erkenntnissen der

entwickelten Software beruht, angeboten. Diese ermöglicht, eine Bewertung des Ertrags von Windparks vorzunehmen und gestattet zudem, Ausfallursachen einzelner Windenergieanlagen und deren Netzeinspeisung festzustellen, wodurch sich deren Betrieb optimieren lässt (z.B. Empfehlungen bei bestimmten Wetterphänomenen die WEAs frühzeitig vom Netz zu nehmen, um Schäden mit hohem Wartungsaufwand zu vermeiden). Somit entsteht für den Kunden ein monetärer Mehrwert, da durch die exaktere Ermittlung des Ertragswerts über die Lebensdauer der Anlage, bessere Finanzierungsbedingungen von Finanzmittelgeber erreichen lassen. Finanzmittelgeber können durch präzisere und verlässlichere Ertragswerte einer Anlage ihr Risiko minimieren und somit besser Investoren von einer Beteiligung am Investment überzeugen. Perspektivisch kann die Software dem Kunden als „Software as a Service“ angeboten werden. Zusätzliche Dienstleistungen, wie Schulungen zur Anwendung der Software können als Ergänzung zum Leistungsangebot offeriert werden und würden das Ertragspotential für den Software-Provider erhöhen. Die größten Kostentreiber des Use Case stellen gegenwärtig Personalkosten dar, während Kosten für die Bereitstellung der technischen Infrastruktur nur einen relativ geringen Anteil ausmachen. Eine Reduktion der Personalkosten durch eine weitergehende Automatisierung der Software ist geplant.

Ökosystem:

Entscheidende Akteure im Ökosystem des Use Case sind Windparkbetreiber (Datenlieferant & mögliche Auftragsgeber), Service-Dienstleister (Datenlieferant & mögliche Auftragsgeber) Anteilseigner, Investoren und Banken (Nutzer der Erkenntnisse & mögliche Auftraggeber) und Software-Entwickler/Provider (Fraunhofer IWES). Anbieter der technischen Infrastruktur (Microsoft Azure, SAP, AWS) spielen aufgrund der Sensibilität der Datenbasis bislang nur eine untergeordnete Rolle, da die Daten auf eigenen Servern des Software-Entwicklers verbleiben und nicht auf Dienste externer Anbieter zurückgegriffen wird.

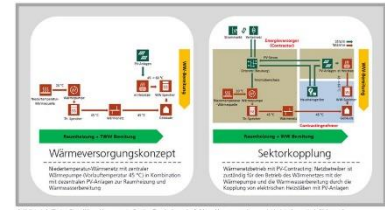
Die Nutzung einer eigenen technischen Infrastruktur des Software-Entwicklers wird neben der Datengeheimhaltung als wichtiges Instrument für die Vertrauensbildung im Ökosystem wahrgenommen. Es handelt sich daher um ein komplexes aber geschlossenes Ökosystem, in dem lediglich der Datenlieferant und Auftraggeber über die Erkenntnisse aus der Datenanalyse verfügt und im Besitz der Daten bleibt. Somit liegt die Datensouveränität beim Auftraggeber (weitgehend Windparkbetreiber) der die Entscheidungshoheit besitzt, die Daten und Erkenntnisse mit anderen Akteuren im Ökosystem zu teilen (z.B. Hersteller der WEA). Da die Daten neben den Betreibern der WEA einen Mehrwert bieten kann (z.B. Hersteller der WEA, Investoren) wird über die Möglichkeit einer neutralen Datenplattform nachgedacht, die eine kooperative Nutzung von Daten ermöglicht.

Eine grundlegende Anforderung für die Verwirklichung einer solchen Datenplattform ist, ein akzeptiertes Umfeld zu schaffen, in welchem vertrauenswürdig und verlässlich die Erwartungen aller handelnden Akteure erfüllt werden können. Zudem müssen durch zusätzliche Applikationen oder durch ein geeignetes Anreizsystem, Incentives für Akteure geschaffen werden, die durch die Bereitstellung ihrer Daten keinen unmittelbaren Mehrwert haben. Das Ökosystem ist durch langsame, aber kontinuierliche und inkrementelle Veränderungen charakterisiert. Starke Konsolidierungsprozesse in Windenergieindustrie und dynamische regulative Rahmenbedingungen im Bereich erneuerbarer Energien werden die schwache Dynamik im Ökosystem zukünftig erhöhen.



Wärmebedarf von Nah- und Fernwärmesystemen

Unternehmen/Institution: Fraunhofer IEE
Use Case Gruppe: Digitalisierung von Wärmenetzen
Branche: Energiewirtschaft (Energieerzeugung)



Kurzsteckbrief:

Wärmenetze spielen für eine erfolgreiche Energiewende eine entscheidende Rolle. Insbesondere, wenn für die Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden vorwiegend erneuerbare Energien und Abwärme eingesetzt werden. Um eine intelligente Sektorenkopplung zwischen Strom- und Wärmesektor zu ermöglichen, muss die Digitalisierung der Wärmenetze weiter vorangetrieben und ein effizientes Monitoring des Wärmesystems sichergestellt werden. Die intelligente Vernetzung von Strom- und Wärmesektor schafft zahlreiche Synergien für die vereinfachte und beschleunigte Umstellung auf erneuerbare Energiequellen in diesen Sektoren.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Der vorliegende Use Case befasst sich mit der Digitalisierung von Wärmenetzen. Wärmenetze dienen der Versorgung von Gebäuden mit Wärme zur Raumheizung und Trinkwarmwasseraufbereitung durch unterschiedliche nachhaltige Wärmequellen wie KWK-Anlagen, Biomasse-Heizkraftwerke, Blockheizkraftwerken, Geo- und Solarthermie, Abwärme oder Wasserstoff. Dabei verbinden Hausübergabestationen Gebäude mit dem Wärmenetz, erfassen den jeweiligen Wärmebedarf und leiten mit Wärmeübertragern die Wärme in ein separiertes Gebäudenetz weiter. Die Grundlage für eine zunehmende Digitalisierung des Wärmenetzes stellt die EU Richtlinie 2018/2002 dar, die vorsieht, dass alle Verbrauchseinheiten mit individuellen Verbrauchszählern ausgestattet werden. Hierdurch lassen sich zeitlich aufgelöste Wärmebedarfe von Gebäuden in Nah- und Fernwärmesystemen abbilden, so dass Anpassungen des Temperaturniveaus im Wärmesystem, ein optimierter Kraftwerksein-

satz und Möglichkeiten einer intelligenten Sektorkopplung zwischen Strom und Wärme bestimmt werden können. Zudem lassen sich Schlechtstellen identifizieren und optimierte Rücklauftemperaturen an den Hausübergabepunkten ermitteln sowie nutzerspezifische Profile erzeugen, wodurch eine Minimierung der Zirkulationsverluste erreicht und fehlerhaft arbeitende Komponenten im Fern- und Nahwärmesystem ersetzt werden können. Der Use Case kann somit einen Beitrag zur Reduktion von CO₂ im Wärmesektor leisten, in dem erste Voraussetzungen für die Nutzung von Abwärme und regenerativen Erzeugungstechnologien, Glättung von Lastspitzen und Reduktion der Laufzeit von Spitzenlastkesseln geschaffen werden.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen jedoch zahlreiche Herausforderungen überwunden werden. Einerseits müssen Schnittstellen geschaffen werden, um die erforderliche Datenbasis aufzubauen. Hierzu ist eine Harmonisierung von unterschiedlichen Messinfrastrukturen zum Aufbau einer einheitlichen Datenstruktur erforderlich. Gleichzeitig muss eine höhere Datenqualität und Datenverfügbarkeit durch eine Steigerung der Messstellen und Übertragungsfrequenz realisiert werden. Andererseits muss eine adäquate technische Infrastruktur aufgebaut werden, um die Sicherheit der Datenspeicherung (z.B. Server in der EU, Schaffung von ISO-Normen) gewährleisten zu können. Für eine intelligente Sektorkopplung ist es schließlich erforderlich, zusätzliche Datenquellen zu integrieren und eine geeignete Data Governance bzw. Datensouveränität zu entwickeln, so dass alle Parteien Zugriffsrechte auf nutzstiftende Daten erhalten können (z.B. Signal zum Strombedarf von Wärmepumpen).

Technologie:

Die Technologie des Use Case basiert auf einer anwendungsbezogenen Erfassung und Übertragung von Daten im Wärmesystem sowie auf modernen Auswertungsmethoden, woraus Empfehlungen für Anpassungen im Wärmesystem abgeleitet werden können. Für die Datenerfassung und -übertragung gibt es bereits Hersteller, die erforderliche Komponenten (Basiszähler, Smart-Meter-Gateway, funkbasierte Datenübertragung, Steuer- und Regelungstechnik von Übergabestationen) am Markt anbieten. Auf Systemebene gibt es allerdings nur wenige Wärmenetzbetreiber, die die Möglichkeiten einer umfassenden Datenerfassung ausschöpfen und KI-gestützte Methoden zur Datenanalyse einsetzen. Grund hierfür sind häufig veraltete Wärmenetzsysteme, die noch über keine oder nur unzureichende Sensoren verfügen, um die erforderlichen Daten zu generieren. Der Einsatz von KI-gestützte Analysemethoden, wie neuronale Netze, ermöglichen bspw. Schlechtstellen im System aufzudecken und Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeerzeugung passgenau zusammenzubringen. Die generelle Funktionalität einer solchen Datenauswertung wird gegenwärtig in einer Versuchsumgebung getestet. Zudem ist ein Datenerfassungs- und Verarbeitungskonzept in einem anwendungsorientierten Gesamtsystem geplant, um die generelle Machbarkeit nachzuweisen (Technologie-Readiness-Level 4).



Datenmanagement:

Im Use Case wird vor allem auf vom Kunden bereitgestellte Daten zurückgegriffen. Diese Daten umfassen unterschiedliche Leistungsparameter (Energie menge, Leistung der Umwälzpumpe, Öffnung der Stellventile, Parameter der Heizkurve), die an Hausübergabestationen erfasst und an einen Datenserver übertragen werden. Die Velozität der Datenübertragung ist dabei stark vom Leistungsumfang des Use Case abhängig. Während für prädiktive Instandhaltungskonzepte intervall-basierte Daten

angemessen sind, ist für eine Optimierung des Wärmenetzes und für eine umfassende Sektorkopplung eine Datenübertragung in nahezu Echtzeit erforderlich. Die aus technischen Systemen gewonnenen Daten liegen in strukturierter Form vor, müssen allerdings aufgrund unterschiedlicher Dateninhalte und Standards für die Datenanalyse aufwendig vorverarbeitet werden (Datenbereinigung, -reduktion, -transformation, -integration, -diskretisierung). Basierend auf dieser Datenbasis können beschreibende Datenanalysen durchgeführt werden, um den Wärmebedarf unterschiedlicher Nutzer im Wärmenetz zu überwachen und wichtige Leistungsparameter für Nutzer kontinuierlich abzubilden. Durch die Gegenüberstellung der Leistungsparameter mit entwickelten Normalverhaltensmodellen (aus vergangenheitsbezogenen Daten) lassen sich darüber hinaus diagnostische Analysen für Predictive Maintenance Anwendungen realisieren. Andererseits können vorhersagende Analysen durchgeführt werden, um den zukünftigen Wärmebedarf in einem Wärmenetz zu prognostizieren, wodurch die Wärmeerzeugung besser geplant und der Einsatz von Spitzlastkesseln vermieden werden kann. Perspektivisch lassen sich zudem Belastungsmodelle erzeugt werden, die als Grundlage für die Optimierung des Gesamtwärmenetzes samt Wärme- und Energieerzeugung sowie für dessen automatisierte Steuerung dienen kann.

Gegenwärtig umfasst der Use Case eine deskriptive Datenanalyse, in welcher die erfassten Daten hauptsächlich für die Abbildung und Weitergabe von aggregierten Leistungsparametern an Wärmenetzbetreiber genutzt wird. Eine anschauliche Visualisierung dieser Daten über Dashboards und Graphen auf einer webbasierten Plattform wird gegenwärtig implementiert. Zudem werden Möglichkeiten der Weitergabe von nutzstiftenden Daten an Drittparteien sowie der Aufbau einer Datenplattform/ eines Datenmarktplatzes evaluiert.

Geschäftsmodell:

Die primäre Kundenzielgruppe für die entwickelte digitale Dienstleistung stellen insbesondere Wärmenetzbetreiber und Betreiber von Kraftwerksparks (KWKs, Biomasse-Heizkraftwerke, BHKWs, Abwärme) dar. Gegenwärtig ist das Leistungsangebot auf Wärmenetzbetreiber in Deutschland begrenzt, kann aber auch auf Betreiber anderer europäischer Länder ausgedehnt werden, in denen ähnliche Rahmenbedingungen durch die EU-Direktive vorliegen. Auch Investoren von Liegenschaften und Wohnungsbaugesellschaften als Wärmeabnehmer könnten perspektivisch durch zusätzliche Applikationen als Kundenzielgruppe gewonnen werden, da der Use Case auch für diese Kundengruppe ebenfalls einen Mehrwert (z.B. Einsparung von Wärmebedarf, einfache und zeitsparende Abrechnung, hohe Transparenz etc.) schaffen kann. Das Leistungsangebot des Use Case umfasst ein Echtzeit-Monitoring der erfassten Leistungsparameter an den Hausübergabestationen im Fernwärmesystem. Der Mehrwert für die Wärmenetzbetreiber liegt hierbei einerseits in der Aufdeckung von Systemfehlern und einer frühzeitigen Erkennung von Wartungsbedarfen spezifischer Komponenten, andererseits in der Optimierung des Einsatzes unterschiedlicher Wärmeerezeugungsanlagen (Kosteneinsparung). Im Use Case haben Betreiber von Wärmenetzen Betriebskosten durch die Reduzierung der Spitzenlast (Potenzial der Betriebskosteneinsparung z.B. Feldlager 4-11% bei einem als Beispiel betrachteten Quartierskonzept) eingespart. Schließlich ermöglicht der Use Case für Wärmenetzbetreiber zusätzlichen Gewinn zu generieren, da diese mit dem gleichen Kraftwerkspark eine größere Anzahl an Verbraucher versorgen können.

Ökosystem:

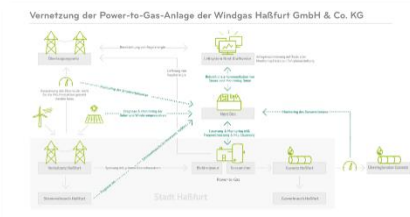
Entscheidende Akteure im Ökosystem des Use Case sind Betreiber von Wärmenetzen. Hinzu kommen Elektrizitätsversorgungsunternehmen und Betreiber von Wärmeerezeugungsanlagen, Liegenschaftsverwaltungen sowie deren Mieter. Gegenwärtig liefern Wärmenetzbetreiber Daten aus den angeschlossenen

Hausübergabestationen ihres Netzes. Perspektivisch sollen aber auch die Nutzungsdaten von Mietern (Zähler an den einzelnen Heizkörper) sowie die Betreiber von Energie- und Wärmeerezeugungsanlagen als Datenlieferanten dienen. So können Daten zur Verfügbarkeit und Preise von Strom aus erneuerbaren Energiequellen genutzt werden, um eine kosten- und nutzenoptimale Deckung des Wärmebedarfs zu steuern. Datenverwender im Ökosystem ist gegenwärtig das Fraunhofer IEE, welche die erfassten Daten nutzt, um Normalverhaltensmodelle zu generieren und Applikationen für Monitoring, Optimierung, prädiktive Instandhaltung und Steuerung von Wärmenetzen zu entwickeln. Nutzer der Daten und der entwickelten Applikationen sind gegenwärtig Betreiber von Wärmenetzen. Das gegenwärtig geschlossene Ökosystem kann perspektivisch über eine Datenplattform geöffnet und erweitert werden, auf welcher Daten zwischen Wärmenetzbetreiber, Betreiber von Wärme- und Stromerezeugungsanlagen, Liegenschaftsverwaltungen und deren Hausbewohnern ausgetauscht werden und auf welcher zusätzliche Applikationen für diese Akteure bereitgestellt werden. Aufgrund hoher Investitionen und Produktlebenszyklen im Wärme- und Gebäudesektor verändert sich das Ökosystem nur sehr langsam und Veränderungen lassen sich frühzeitig vorhersehen.



Virtuelles Kraftwerk zur flexiblen Erzeugung von „grünem Wasserstoff“

Unternehmen/Institution: Next Kraftwerke
Use Case Gruppe: Virtuelles Kraftwerk
Branche: Energiewirtschaft (Energieerzeugung und –handel)



Use Cases in der Wasserstoffwirtschaft

Kurzsteckbrief:

Wasserstoff gilt als ein entscheidender Energieträger der Zukunft. Um allerdings als emissionsfreier Energieträger zur Dekarbonisierung der Wirtschaft beitragen zu können, ist es erforderlich, dass Wasserstoff auf Basis regenerativer Energiequellen erzeugt wird. Derzeit umfasst jedoch der Energiemix in Deutschland noch überwiegend fossile/konventionelle Energieträger. Durch die sukzessive Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien kommt es aufgrund unterschiedlicher Wetterlagen zunehmend zu einer volatilen Stromproduktion, die Über- und Unterauslastungen des Stromnetzes verursachen. Dank der Reaktionsschnelligkeit der Power-to-Gas-Technologie, sind Elektrolyseure besonders geeignet, um mögliche Überauslastungen des Stromnetzes zu vermeiden. Statt Anlagen herunterzulegen, kann der überschüssig erzeugte Strom flexibel genutzt werden, um Wasserstoff zu erzeugen, welcher im Falle einer Unterauslastung wieder rückverstromt werden kann. Um ein solch flexibles System zu ermöglichen und Wasserstoff aus erneuerbaren Energien herzustellen, ist jedoch eine intelligente Vernetzung von kleineren dezentralen Windenergie- und PV-Anlagen mit Elektrolyseuren erforderlich.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Der vorliegende Use Case befasst sich mit einem virtuellen Kraftwerk, welches kleinere dezentrale Stromproduzenten mit Stromverbrauchern und –speichern intelligent vernetzt, um durch bessere Prognosen von Stromproduktion und Stromverbrauch mit einer optimierten Steuerung zu einem stabilen Stromnetz beizutragen. Ein virtuelles Kraftwerk kann dabei als ein intelligenter digitaler

Schwarm von dezentralen Stromerzeugern aus erneuerbaren Energien wie Biogas-, KWK-, Windkraft-, Solar- und Wasserkraftanlagen verstanden werden. Ziele eines solchen Zusammenschlusses in einem virtuellen Kraftwerk sind eine gemeinsame Stromvermarktung und die Übernahme von Netzverantwortung, zum Beispiel durch die Bereitstellung von kurzfristigen Reserven für die Netzbetreiber. Der Use Case trägt somit zu einer besseren Nutzung von erneuerbaren Energien bei, indem überschüssiger Strom direkt in brennbares Wasserstoffgas umgewandelt wird. Hierzu erstellt die zugrundeliegende Software des virtuellen Kraftwerks tägliche Forecasts und ermittelt die wahrscheinliche Stromproduktion der vernetzten Anlagen. Ein Leitsystem nutzt diese Prognosen und steuert die vernetzten Anlagen über Schaltbefehle, etwa um den Netzbetreibern kurzfristige Reserven zu liefern, Stromverbrauchern günstige Preise der Strombörse automatisch weiterzugeben oder Elektrolyseure mit überschüssiger Energie zu versorgen.

Technologie

Die Technologie des Use Case umfasst zwei Komponenten: Erstens, ein zentrales Leitsystem, in dem alle Prozesse zusammenlaufen und eine koordinierte Steuerung der Anlagen übernimmt und zweitens, ein Netz aus Fernsteuereinheiten (sogenannte „Next Boxen“), welches den Datenaustausch zwischen den vernetzten Einheiten und dem zentralen Leitsystem gestattet. Die „Next Boxen“ bestehen dabei aus einer speicherprogrammierbaren Steuerung, einem Modem und einer Antenne, wodurch Betriebsdaten abgefragt und weitergeleitet werden können. Das Leitsystem nutzt diese Daten für Prognosen und zur koordinierten Steuerung der Anlagen unter Berücksichtigung der Restriktionen und Forderungen der einzelnen

Anlagenbetreiber. Zudem werden weitere externe Informationen in das Leitsystem (Strompreissignale und Wetterdaten) integriert, um mehrmals täglich einen Fahrplan für den kommenden oder auch laufenden Tag für jede Anlage im Pool zu berechnen und eine strompreisorientierte Fahrweise zu ermöglichen. So wird auf der Basis von Strompreissignalen im Intraday-Handel der Strombörse EPEX Spot und dem erstellten Fahrplan die vernetzten Anlagen der Strom- und Wasserstoffherzeuger viertelstundengenau flexibel gesteuert.

Das System im vorliegenden Use Case befindet sich bereits im kommerziellen Einsatz durch Next Kraftwerke (Technology-Readiness-Level 9). In Haßfurt wird bspw. seit 2016 das virtuelle Kraftwerk genutzt und eine Power-to-Gas Anlage betrieben, welche aus einem Pool von erneuerbaren Energieträgern, die im lokalen Verteilnetz angeschlossen sind, „grünen Wasserstoff“ erzeugt. Das zentrale Leitsystem von Next Kraftwerke übernimmt dabei die Prognose der lokalen Winderzeugung und der Auslastung des lokalen Erdgasnetzes. So wird nicht nur das Flexibilitätspotential der Wasserstoffherzeugung und des Gasspeichers genutzt, sondern das gesamte Gasnetz der Stadt Haßfurt koordiniert und erschlossen. Hierbei wird das erzeugte Wasserstoffgas direkt an der Anlage flexibel in das Haßfurter Erdgasnetz (in fünfprozentiger Beimischung) eingespeist.



Datenmanagement

Das virtuelle Kraftwerk basiert auf unterschiedlichen Datenquellen. Kernbestandteil sind von Kunden bereitgestellte Betriebsdaten der einzelnen Anlagen (z.B. Ist-Leistung, Bereitschaft der Anlage, Leistungsband für die Regelenergie, Gas- oder Wärmespeicher, Ist-Temperatur, etc.) die über die Next Boxen via Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) an das zentrale Leitsystem übermittelt werden. Die Fernsteuereinheiten ermöglichen bei Bedarfsfall einen millisekundengenauen

Austausch von Daten (Echtzeit). Grundsätzlich werden aber immer nur so viele Informationen übermittelt wie im jeweiligen Einsatzfall nötig ist, um den Datenverkehr schlank zu halten. Firewall-geschützte Router-Cluster authentifizieren und entschlüsseln die übertragenen Daten und nehmen eine Speicherung auf intern bereitgestellte Server vor. Die anschließende Datenverarbeitung findet an zwei Server-Standorten redundant statt, welche an zwei separierte Mittelspannungsleitungen angeschlossen und über wiederum redundante Leitungen miteinander verbunden sind. So entstehen ausfallresistente Server-Cluster, auf welchen durch Optimierungsalgorithmen, Fahrpläne für die einzelnen Anlagen aus der bereitgestellten Datenbasis generiert werden (prädiktive und präskriptive Datenanalyse). Dabei werden zusätzliche Datenquellen (Strompreissignale, Wetterinformationen) einbezogen und Informationen zu Restriktionen bzw. Forderungen der Anlagebetreiber berücksichtigt. Schließlich werden die Optimierungs-Sollwerte über eine Kommunikationsschnittstelle via M2M-Mobilfunk und SIM-Karte an die Einzelanlagen zurückgemeldet und deren Leistung entsprechend gesteuert. Die für die Kunden relevanten Daten, wie Produktionsdaten, Speicherstand oder Verbrauch werden in einem Kundenportal bzw. als App visuell und ansprechend in einem Echtzeit-Dashboard dargestellt. Zudem können Kunden bei einem Regelenergieabruf per Push-Benachrichtigung über einen Zugriff auf ihre Anlage informiert werden. Die verarbeiteten Daten und Kenntnisse werden dabei lediglich mit den jeweiligen Anlagebetreibern geteilt.

Geschäftsmodell

Die primäre Kundenzielgruppe für Next Kraftwerke sind Anlagenbetreiber. Hierzu zählen (1) Produzenten von Strom aus Erneuerbaren Energien mit einer installierten Leistung von mindestens 100 kW, (2) Betreiber von Notstromaggregaten und KWK-Anlagen mit einer installierten Leistung von mindestens 100 kW, (3) Stromverbraucher mit einem Jahresverbrauch von mindestens 100.000 kWh, die in der Lage sind,

einen Teil des Stromverbrauchs zeitlich zu verschieben sowie (4) andere Akteure am Strommarkt, die über Flexibilität verfügen, wie Batteriespeicheranlagen, Power-to-Gas-Anlagen oder Power-to-Heat-Anlagen.

Das Leistungsangebot (digitale Dienstleistung) von Next Kraftwerke wird zusätzlich weltweit als VPP-as-a-Service (VPP = Virtual Power Plant) angeboten und kann durch einen modularen Aufbau kundenspezifisch angepasst werden. Je nach Einsatzgebiet schafft das virtuelle Kraftwerk eine Reihe von monetären Mehrwerten (geringere Ausgleichsenergiekosten; Kosteneinsparung durch Vermeidung einer Stromspeisung bei negativen Strompreisen; optimierter preisorientierter Dispatch von steuerbaren erneuerbaren Energien; Zusatzeinnahmen durch die Teilnahme am Regelenergiemarkt/an Märkten für Systemdienstleistungen; Einnahmen durch Ausschreibungen von Systemdienstleistungen) sowie nicht-monetären Mehrwerten (z.B. Benutzerfreundlichkeit durch grafische Benutzeroberfläche mit vielfältigen Visualisierungsoptionen; Zeitersparnis durch Fernsteuerung von Anlagen; Anlagensicherheit durch konstante Informationsbereitstellung).

Aufgrund der verpflichtende Direktvermarktung, müssen Anlagenbetreiber in Deutschland für die Einspeisung der erzeugten Energie im Stromnetz einen entsprechenden Direktvermarkter (wie Next Kraftwerke) wählen. Die Preisgestaltung ist dabei vom bezogenen Leistungsangebot und der jeweiligen Kundengruppe abhängig. Typischerweise besteht das Preismodell bei Next Kraftwerke aus einer Managementprämie (subskriptionsbasiertes Preismodell) und einer Vermarktungsgebühr pro Energiemenge (transaktionsbasiertes Preismodell). Soll bspw. die erzeugte Energie als Regelenergie bereitgestellt werden, wird ein ergebnisorientiertes Preismodell (Profit-Sharing Modell) angeboten. Den hierdurch generierten Umsätzen stehen auf Seiten des Anlagenbetreibers nur sehr geringe Kosten gegenüber, da Next Kraftwerke die Betriebskosten des virtuellen Kraftwerks auf ein großes Portfolio umlegen kann.

Ökosystem

Das Ökosystem im Use Case setzt sich im Kern aus Next Kraftwerke als Systemorchestrator und den Anlagebetreibern (Biogas-, PV-, Windenergieanlagen, Elektrolyseurbetreibern, etc.) zusammen. Diese sind Bereitsteller eines Großteils der Datenbasis. Da lediglich Betriebsdaten, welchen den Anlagenbetreibern zur Verfügung stehen, eingesetzt werden, spielen die Hersteller der jeweiligen Anlagen (z.B. des Elektrolyseurs oder von Windenergieanlagen) keine aktive Rolle im Ökosystem. Next Kraftwerke, welche Erkenntnisse aus der bereitgestellten Datenbasis zieht, ist Nutzer der Daten und Betreiber einer Datenplattform zugleich. Das geschlossene Ökosystem kann durch den Einbezug weiterer Akteure durch die Anlagenbetreiber (Stromnutzer, Erdgasversorger) ausgedehnt werden. Am Beispiel des Projekts Haßfurt wird deutlich, dass Stromabnehmer sowie Elektrolyseur- und Anlagenhersteller ebenfalls in das Ökosystem einbezogen werden können. Letztere unterstützen bspw. die Anlagenbetreiber bei der Installation der Fernsteuerungseinheiten (Integration der Next Boxen im System), falls konkreter Bedarf besteht.

Der Use Case zeigt auf, dass virtuelle Kraftwerke als einseitige Plattform verstanden werden können, bei denen Anlagenbetreiber als einzige Konsumentengruppe bedient werden (Stromproduzenten). Im Falle der Einbindung von Power-to-Gas-Anlagen, partizipieren hingegen zwei unterschiedliche Konsumentengruppe an der Plattform, so dass zweiseitiger Markt mit indirekten Netzwerkeffekten entsteht. In diesem zweiseitigen Markt entsteht durch die Aufnahme weiterer Elektrolyseur-Anlagen ein Mehrwert für Stromproduzenten, da diese ihren überschüssigen Strom in einer höheren Quantität gewinnbringend für die Erzeugung von Wasserstoff einsetzen können (im Sinne von der Erzielung eines höheren Preises für die erzeugte Energie als bei einer Vermarktung an der Strombörse).



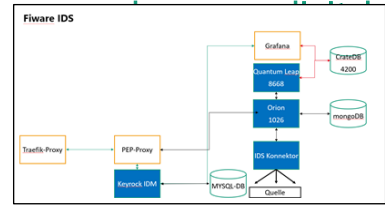
Unternehmen/Institution: Fraunhofer Gesellschaft
Use Case Gruppe: Energy Data Space
Branche: Energiewirtschaft (Energieerzeugung)

Kurzsteckbrief:

Eine zentrale Herausforderung der Energiewende und beim Aufbau einer wasserstoffbasierten Wirtschaft ist der Ausgleich zwischen Stromangebot und -nachfrage, die der Überführung von Stromüberschüssen an Wasserstoffherstellungsanlagen und die anschließende Nutzung des Wasserstoffs. Die Digitalisierung des Energiesystems und die Kopplung von Strom- und Wasserstoffwirtschaft nimmt dabei eine Schlüsselfunktion ein, um die Herausforderungen von Dezentralisierung, Flexibilisierung und effizienter Nutzung von Energie zu überwinden. Damit unterschiedliche Marktteilnehmer entscheiden können wem und zu welchem Preis sie ihre Energie anbieten, ist es erforderlich, Transparenz über Akteure und ihre Anlagen zu schaffen. Die Basis hierfür ist ein sicherer, effizienter und standardisierter Datenaustausch. Allerdings fehlt bislang eine geeignete Energiedateninfrastruktur, die dies ermöglicht. Ein einfacher Zugang zu Daten und zu digitalen Werkzeugen über eine Plattform kann dazu beitragen, eine intelligente Sektorkopplung zu bewerkstelligen, Betriebskosten zu senken, Anlagenlebensdauer zu steigern und damit die Kosten für den Aufbau einer wasserstoffbasierten Wirtschaft zu senken.

Kurzbeschreibung des Anwendungsfalls:

Der vorliegende Use Case hat zum Ziel eine digitale Plattform auf FIWARE-Technologie für Betriebsdaten und weiterer für den Betrieb von Windenergieanlagen relevanter Daten unter Verwendung von Datenflüssen durch Industrial Data Space (IDS)-Konnektoren zu entwickeln. Die Funktionalität des entwickelten technologischen Systems wird am Beispiel einer 8-MW-Windenergieanlage (Adwen AD 8-180) in Verbindung mit einem Wasserstoff-Elektrolyseur demonstriert. Als Pilotanwendung wurden



dabei sowohl eine Applikation zur Anomalieerkennung für prädiktive Instandhaltungsmaßnahmen als auch für die datenbasierte Betriebsführung eines Elektrolyseurs in Kombination mit einer Windenergieanlage umgesetzt. Hierdurch wird eine Weiterentwicklung einer IDS-Architektur für den Energie- und Wasserstoffsektor als Anwendungsdomäne (auf Pilotebene) geschaffen und einen Beitrag zur Energiedateninfrastruktur und digitalen Souveränität geleistet, da der IDS adäquate Kommunikationswege bietet, bei denen der Dateneigentümer der Souverän über seine Daten verbleibt und über die Nutzungsmöglichkeiten entscheiden kann.

Technologie:

Die digitale Plattform basiert auf der FIWARE-Technologie, welche die Entwicklung standardisierter und interoperabler Lösungen für die Verwaltung von Daten ermöglicht, indem virtuelle Verknüpfungen zwischen Objekten und Attributen geschaffen werden. Die Datenkommunikation erfolgt über IDS-Konnektoren, welche Daten der Windenergieanlage über Sensoren auf die Plattform weiterleitet und somit die Datengrundlage für unterschiedliche Analysen schafft. Hierbei kommt die Softwaresuite EMS-EDM PROPHET® zum Einsatz. Die Datenspeicherung erfolgt dabei dezentral und stellt durch ein Identitäts- und Nutzungsrechtmanagement eine passende Daten Governance sicher, wodurch bei einer Kommerzialisierung der Plattformlösung eine geeignete Datensouveränität für beteiligte Akteure auf der Datenplattform gewährleistet wird. Gegenwärtig wird die Funktionalität der geschaffenen Lösung in einem Demonstrationsanlagekonzept in anwendungsähnlicher Umgebung nachgewiesen (Technology-Readiness-Level 6).



Datenmanagement:

Der Use Case baut auf Daten einer Windenergieanlage auf, die vom Anlagenbetreiber bereitgestellt werden. Hierbei werden sekundengenau Daten der Sensoren im SCADA-System verwendet und über einen IDS Konnektor für weitere Applikationen bereitgestellt. Dies erfolgt über einen Orion Broker und QuantumLeap, wodurch die semi-strukturieren Daten aufbereitet und in einer Datenbank (CrateDB bzw. mongoDB) abgespeichert werden. Zudem werden historische und prognostizierte Wetterdaten des Deutschen Wetterdienst (DWD) genutzt, welcher 10-minütige Messungen der Temperatur, des Niederschlags, des Windes und der Sonnenscheindauer zur Verfügung stellen. Die unterschiedlichen Daten werden mithilfe der Softwaresuite EMS-EDM PROPHET® analysiert. Im Use Case wird dabei auf Module für Zeitreihenmanagement, Energiedatenmanagement, Scheduler für die Automatisierung von Geschäftsprozessen und Optimierung- und Prognosemodul für nachhaltiges Energiemanagement zurückgegriffen. Hierdurch wird ein Prognosemodell für den Betrieb der Anlage generiert und eine vollautomatisierte Steuerung des Elektrolyseurs basierend auf den Ergebnissen des Prognosemodells erreicht. Das Prognosemodell gestattet dabei die Auswahl aus unterschiedlichen Optimierungspfaden: So kann der Anlagenbetreiber entscheiden, ob eine Optimierung bzgl. einer „möglichst hohen Produktion von grünem Wasserstoff“, einer „möglichst günstigen Produktion von grünem Wasserstoff“ oder einer „wirtschaftlichkeitsgetriebenen Produktion von grünem Wasserstoff“ erfolgen soll. Bei letzterem stellt das Prognosemodell die Einspeisepreise für Windenergie an der Strombörse EEX den Nettoerlösen für grünen Wasserstoff gegenüber, so dass der Elektrolyseur lediglich dann betrieben wird, wenn der Nettoerlös für grünen Wasserstoff größer als der erzielte Einspeisepreis ist. Hierdurch kann die Wirtschaftlichkeit für den Betrieb des Elektrolyseurs sichergestellt werden. Durch die verbindende Analyse (prescriptive

analytics) lassen sich somit Handlungsempfehlungen für die Betriebsführung der Anlage (Windenergieanlage in Kombination mit einem Wasserelektrolyseur) ableiten. Die Visualisierung erfolgt über Dashboards und einem Echtzeit-Monitoring. Genutzte Daten und generierte Ergebnisse werden lediglich mit den Betreibern der Anlage geteilt.

Geschäftsmodell:

Primäre Konsumentenzielgruppe des Use Case sind Betreiber von Stromerzeugungsanlagen, die Alternativen für die direkte Einspeisung erneuerbarer Energie im Stromnetz suchen, indem gleichzeitig ein Elektrolyseur zur Herstellung von grünem Wasserstoff betrieben wird. Perspektivisch kann die geschaffene Plattform global vermarktet werden. Das Leistungsangebot im Use Case ist dabei eine digitale Dienstleistung, die einen effizienten Datenaustausch zwischen Anlagen sowie eine wertstiftende Datennutzung ermöglicht. Durch die Analyse der Daten und die Generierung von optimierten Fahrplänen der Anlage schafft der Use Case sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Mehrwerte. Einerseits können Anlagenbetreiber Kosten für den Betrieb der Anlage reduzieren und Erlöse maximieren. Andererseits schafft das Leistungsangebot eine höhere Benutzerfreundlichkeit und Zeiterparnis. Die Monetarisierung des Leistungsangebots ist dabei auf unterschiedliche Weise möglich. Bspw. können Anwendungen, wie predictive maintenance subskriptionsbasiert Anlagenbetreibern angeboten werden. Das Erlöspotential hängt hierbei jedoch von Vertragskonstellationen zwischen Herstellern, Servicedienstleistern und Betreibern ab, die aktuell stark von langfristigen Vollwartungsverträgen geprägt sind. Gegenwärtig und auch zukünftig wird der größte Kostenblock des Use Case Personalkosten darstellen, um die digitale Plattform weiterzuentwickeln und die Anzahl der zur Verfügung stehenden Applikationen zu erhöhen.

Ökosystem:

Das Ökosystem des Use Case setzt sich vor allem aus Herstellern von Windener-

gieanlagen (WEAs), Betreiber von Windparks, Betreibern von Elektrolyseuren, sowie Servicedienstleistern für die Wartung von WEAs und Elektrolyseuren zusammen. Der Use Case ist somit in den Wertaktivitäten „Energieerzeugung“ und „Wasserstofferzeugung“ angesiedelt. Die entwickelte digitale Plattform soll generell für zusätzliche User offen sein. Auch für Provider von zusätzlichen

Applikationen ist ein Zugang zur Plattform angedacht. Durch ein passendes Identitäts- und Nutzungsrechtmanagement kann der Zugriff und die Nutzung von Daten spezifiziert und eine geeignete Daten Souveränität des Systems sichergestellt werden, wodurch eine weitere Öffnung des Ökosystems gegeben ist.

Impressum

URN-Nummer

urn:nbn:de:0011-n-6335883

Online verfügbar als Fraunhofer-ePrint

<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-633588.html>

© Fraunhofer IAO, Fraunhofer IIS, Fraunhofer IMW, 2021