

# Schlussbericht vom 30.06.2025

zum IGF-Vorhaben Nr. 22517 N

## Thema

SiteRoute – Datentreuhandmodell für die Optimierung des Informations- und Materialflusses auf der digitalen Baustelle

## Berichtszeitraum

01.10.2022 bis 30.06.2025

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Schlachte 31, 28195 Bremen

## Forschungseinrichtung(en)

Technische Universität München (TUM)

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml)

Boltzmannstraße 15

85748 Garching



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Anforderungen des digitalen Baustellenökosystems .....</b>	<b>5</b>
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	5
1.2 Identifizierte Probleme und Hemmnisse .....	8
1.3 Nutzeranforderungen und Systemmodell.....	9
1.4 Relevanz bestehender Modelle als Impulsgeber – Lösungsrichtung agrirouter.....	12
<b>2 Entwicklung der technischen Systemarchitektur .....</b>	<b>19</b>
2.1 Standardisierte Datenmodelle und Interoperabilität .....	19
2.2 Technisches Konzept der SiteRoute Architektur.....	21
<b>3 Entwicklung des praxisgerechten Nutzungskonzeptes .....</b>	<b>25</b>
3.1 Zielsetzung und Rolle im Gesamtprojekt .....	25
3.2 Regulatorische Anforderungen und rechtlicher Rahmen .....	25
3.3 Praxisbezug: Datenrechte im Baukontext.....	29
3.4 Einbindung in die Baupraxis .....	31
<b>4 Aufbau und Evaluierung der Informationslogistik in der Baupraxis.....</b>	<b>34</b>
4.1 Implementierung als Webanwendung.....	34
4.2 CO <sub>2</sub> -Emissionsdokumentation – Algorithmusansatz.....	53
<b>5 Aufbau eines fairen Finanzierungsmodells.....</b>	<b>56</b>
5.1 Zielsetzung und Bedeutung im Gesamtprojekt.....	56
5.2 Szenarioanalysen für verschiedene Marktsegmente: Bau vs. Landwirtschaft .....	57
5.3 Modellierung von Finanzierungsoptionen .....	63
5.4 Diskussion aus der Praxis und Bewertungskriterien .....	72
5.5 Nutzenargumentation und Wirtschaftlichkeitsvergleich .....	75
<b>6 Nachhaltige Etablierung des Datentreuhandmodells.....</b>	<b>80</b>
6.1 Strategische Partnerschaften und Kooperationspotenziale .....	80
6.2 Auswirkungen auf Stakeholder und Marktstruktur .....	82
6.3 Bewertung und Ausblick.....	83
<b>7 Ressourcenverwendung und Ergebnistransfer .....</b>	<b>85</b>
7.1 Verwendung der Zuwendung.....	85
7.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	85
7.3 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten .....	86
7.4 Wissenstransfer in die Wirtschaft .....	87

7.5	Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit.....	89
7.6	Studienarbeiten.....	89
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>90</b>
<b>A</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>94</b>
A.1	Umfrage zur Anforderungserhebung .....	94
A.2	Workshop: Datennutzung, Datenregulierung und Datenschutz.....	97
A.3	Jährliche Gebührenstruktur von SiteRoute.....	100
A.4	Workshop: Finanzierungsmodell für SiteRoute .....	101
A.5	Umfrage: Finanzierungsmodell für SiteRoute .....	107

## Abkürzungsverzeichnis

AP .....	<i>Arbeitspaket</i>
API.....	<i>Application Programming Interface</i>
B2B.....	<i>Business-to-Business</i>
B2G .....	<i>Business-to-Government</i>
BIM .....	<i>Building Information Modeling</i>
CAD .....	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM .....	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CC.....	<i>Cloud Computing</i>
CSR-D .....	<i>Corporate Sustainability Reporting Directive</i>
CU .....	<i>Communication Unit</i>
DSGVO .....	<i>Datenschutz-Grundverordnung</i>
DTO .....	<i>Datenübertragungsobjekt</i>
ERP .....	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EU .....	<i>Europäischen Union</i>
GHG .....	<i>Greenhouse Gas</i>
IoT .....	<i>Internet of Things</i>
KI .....	<i>künstliche Intelligenz</i>
KMU .....	<i>kleine und mittlere Unternehmen</i>
MiC 4.0.....	<i>Machines in Construction</i>
NIST.....	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OEM .....	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PA.....	<i>projektbegleitenden Ausschusses</i>
PEMS.....	<i>Portable Emissions Measurement Systems</i>
PLM.....	<i>Product Lifecycle Management</i>
PSC .....	<i>Product Steering Committee</i>
REST-API.....	<i>Representational State Transfer Application Programming Interface</i>
ROS .....	<i>Return on Sales</i>
SaaS.....	<i>Software-as-a-Service</i>
SDK.....	<i>Software Development Kit</i>
SM.....	<i>Shareholders Meeting</i>
TCO .....	<i>Total Cost of Ownership</i>
UI .....	<i>User Interface</i>
UX .....	<i>User Experience</i>
VDBUM .....	<i>Verband der Baubranche, Umwelt- und Maschinentechnik e. V.</i>
VDMA.....	<i>Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau</i>

Zur besseren Lesbarkeit wird in diesem Bericht auf eine geschlechterneutrale oder -doppelte Schreibweise verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

# 1 Anforderungen des digitalen Baustellenökosystems

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

### 1.1.1 Hintergrund zur Informationslogistik in der Bauwirtschaft

Die Digitalisierung der Bauwirtschaft hat in den vergangenen Jahren deutlich an Relevanz gewonnen, da Bauprojekte zunehmend komplexer, terminkritischer und kostenintensiver werden und zugleich neue Anforderungen an Nachhaltigkeit, Transparenz und Dokumentation gestellt werden. Forschungsprojekte, politische Initiativen und neue Markakteure treiben diesen Wandel voran. Dennoch ist die praktische Umsetzung im Vergleich zu anderen Branchen weiterhin von erheblicher Fragmentierung geprägt. Wesentliche Datenquellen – etwa solche aus Baumaschinen, Sensorik oder Ausführung – werden bislang kaum systematisch vernetzt und genutzt. Stattdessen dominieren proprietäre Einzellösungen, die jeweils auf unternehmensspezifische Softwarestrukturen zugeschnitten sind.

Gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die den Großteil der deutschen Bauwirtschaft prägen [1], stellt dieser Zustand eine strukturelle Hürde dar. Die individuellen Interessen großer, marktprägender Akteure wie Baumaschinenhersteller dominieren aktuell gegenüber den Anforderungen einer offenen, fairen und transparenten Informationslogistik, sowie den Interessen der vielen beteiligten KMU wie Bauunternehmen. Mit dem Fortschreiten der Digitalisierung nehmen zudem die Sensibilität und wirtschaftliche Relevanz der erzeugten Daten kontinuierlich zu. Planungs-, Qualitäts-, Gewährleistungs- oder Bauleistungsdaten führen zu einer komplexeren Gestaltung einer neutralen und fairen Informationslogistik [2]. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an deren rechtssichere Verarbeitung.

Diese Entwicklung wird jedoch vielfach durch mangelndes Vertrauen in die Neutralität bestehender Dateninfrastrukturen ausgebremst. Das vergleichsweise niedrige Digitalisierungsniveau der Bauwirtschaft ist dabei ambivalent zu bewerten. Einerseits birgt es Risiken, z. B. durch den möglichen Markteintritt digital dominanter Konzerne aus anderen Branchen (z. B. Google, Amazon oder Meta), die über skalierbare Datenplattformen verfügen. Andererseits bietet es Chancen, bewährte Konzepte aus digital weiter entwickelten Bereichen zu adaptieren und die eigene Modernisierung gezielt zu beschleunigen [3].

Ein besonders großes Defizit liegt in der fehlenden Integration der Informationsflüsse auf der Baustelle. Systeme wie Telematik, Maschinensteuerungen, Projektmanagement-Software oder Enterprise Resource Planning (ERP-)Systeme werden weitgehend isoliert betrieben ohne standardisierte oder interoperable Schnittstellen [4]. Der daraus resultierende hohe manuelle Abstimmungsaufwand erschwert nicht nur die effiziente Projektabwicklung, sondern führt auch zu Verlusten an Transparenz und Steuerungsfähigkeit. Besonders die Schnittstellen zwischen Bauunternehmen, Maschinenherstellern und Softwareanbietern bleiben ungenutzt oder wirtschaftlich schwer zugänglich.

Im Vergleich zu anderen Branchen wie der Landwirtschaft oder Logistik zeigt sich die Bauwirtschaft in Bezug auf digitale Datenflüsse und systemübergreifenden Informationsaustausch deutlich weniger integriert. Während in der Landwirtschaft bereits etablierte Infrastrukturen wie der „agrirouter“ [5] als herstellerübergreifender Datenaustauschdienst operieren, fehlen im Bausektor vergleichbare Strukturen bislang vollständig. Dies betrifft insbesondere:

- die rechtssichere, rollenbasierte Verwaltung von Datenflüssen (z. B. wer darf was wann sehen),

- die Implementierung technischer Interoperabilität zwischen Dateninhaber, Datennutzer und Datenempfänger,
- sowie die Verankerung wirtschaftlich tragfähiger Geschäfts- und Betriebsmodelle für neutrale Austauschplattformen.

Diese strukturellen Lücken wirken sich unmittelbar negativ auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Betriebe aus. Ohne valide, zeitnahe und verständlich aufbereitete Informationen zu Maschinennutzung, Baufortschritt, und Logistik sind moderne, datenbasierte Prozesse im Bereich der Disposition, der Zustandsüberwachung oder des Emissionsmanagements schwer realisierbar.

### 1.1.2 Methodik der Anforderungserhebung

Um ein möglichst praxisnahes Anforderungsbild für eine Datentreuhandlösung zu entwickeln, wurde im Rahmen von Arbeitspaket 1 ein mehrstufiges, qualitativ und quantitativ abgestütztes Vorgehen gewählt.

Im ersten Schritt erfolgte eine strukturierte Literatur- und Marktanalyse. Ziel war es, bereits bestehende Plattformlösungen und technische Standards zu identifizieren, die als Grundlage für ein interoperables Datensystem dienen könnte. Besonderes Augenmerk galt dabei dem agrirouter-Modell aus der Landwirtschaft, da es dort bereits erfolgreich demonstriert hat, wie ein standardisierter und sicherer Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren praktisch umgesetzt werden kann. Die Analyse zeigte, dass grundlegende technische Konzepte für rollenbasierten, herstellerübergreifenden Datenaustausch vorhanden sind, deren Übertragung auf die komplexeren Bedingungen des Baustellenökosystems jedoch mit spezifischen Herausforderungen verbunden sind.

Darauf aufbauend wurden bilaterale Gespräche mit rund 30 Mitgliedern aus Bau- und Landwirtschaft des projektbegleitenden Ausschusses (PA) geführt. In diesen Expertengesprächen wurden zentrale Perspektiven aus Bauunternehmen, Maschinenherstellern und Softwarehäusern einbezogen. Die Gespräche bestätigten nicht nur die strukturellen und technischen Hürden im Datenaustausch, sondern betonten auch den Bedarf nach neutralen Vermittlungsinstanzen und die Relevanz wirtschaftlich tragfähiger Betreibermodelle für eine künftige Datentreuhand.

Ergänzend wurde praxisnahe Umfragen sowie Workshops unter Fachanwendern durchgeführt. Im Rahmen des VDBUM-Großseminars 2024 wurden aktuelle Zustände und Bedarfe im Umgang mit Baumaschinendaten systematisch erhoben. Dazu wurde eine Umfrage mit 14 Fragen zu Unternehmensprofil, eingesetzten Maschinen- und Softwarelösungen sowie Erwartungen an einen herstellerneutralen Datenaustausch erstellt (s. Anhang A.1). Die Umfrageergebnisse in Abbildung 1 zeigen, dass bereits rund 75 % der Befragten (darunter 70 % Großunternehmen und 30 % KMU) Telematiksysteme im Einsatz haben. Allerdings nutzen nur etwa 50 % Flottenmanagement-Software und lediglich 40 % digitale Lösungen im Bereich Wartung, was ein hohes Potenzial für weitergehende Datenverwertung nahelegt.

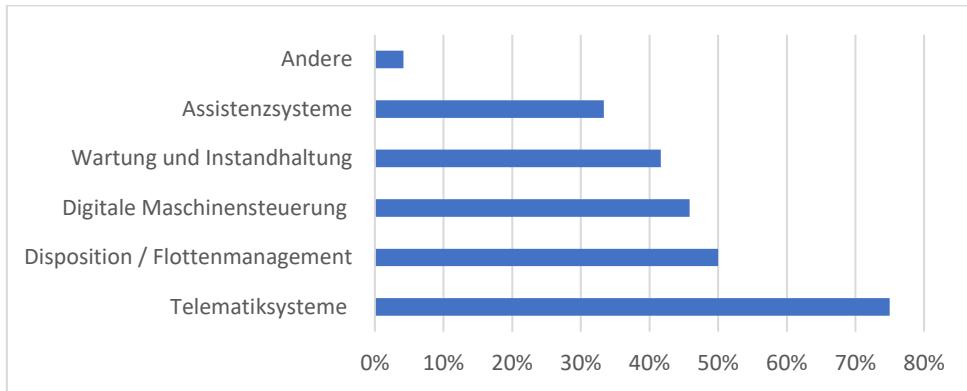


Abbildung 1: Umfrageergebnis zur derzeitigen Nutzung von Baumaschinen-Software-Lösungen

Im anschließenden Workshop mit 12 Fachexperten am 02.02.2024 in Willingen wurden die Umfrageergebnisse diskutiert. So wurden weitere grundlegende Hemmnisse festgestellt:

- Telemetriedaten werden vorwiegend im Innendienst analysiert, etwa zur Dokumentation von Betriebsstunden. Bauleiter oder Projektleiter greifen selten direkt über Software auf diese Daten zu.
- In vielen Fällen erfolgt der Informationsfluss per Mail oder telefonisch, häufig auf Basis manuell exportierter Reports.
- Zwar gibt es erste teilweise automatisierte Schnittstellen ins ERP-Systeme, diese sind jedoch auf wenige, meist größere Betriebe beschränkt.
- Ein wiederkehrender Kritikpunkt war, dass die Daten häufig unvollständig oder schwer interpretierbar sind, was ihr Nutzungspotenzial erheblich einschränkt.

Diese Ergebnisse wurden anschließend im Rahmen des Workshops weiter vertieft. Dabei konnten typische Herausforderungen des digitalen Datenaustauschs aus Sicht der Praxis eingeordnet und konkrete Bedarfe präzisiert werden. Positive Beispiele sind die erleichterte Entscheidungsfindung durch aktuelle Informationen oder die Unterstützung bei Servicethemen. Sie zeigen, dass technologisch bereits zentrale Grundlagen vorhanden sind. Ihre flächendeckende und faire Nutzung bleibt jedoch bislang aus.

### 1.1.3 Zielsetzung des Projekts und Relevanz für KMU

Vor dem Hintergrund der skizzierten Ausgangslage setzt das Projekt SiteRoute an der Schnittstelle von Technik, Organisation und Vertrauen an. Ziel ist es, ein sektorenübergreifendes Datentreuhandmodell für die Bauwirtschaft zu entwickeln, das als neutrale Austauschplattform die technische Interoperabilität sicherstellt, gleichzeitig aber auch rechtliche Sicherheit und wirtschaftliche Anreize für alle Beteiligten erfüllt.

Im Zentrum steht dabei das Konzept einer vertrauenswürdigen Instanz zur Steuerung des Informations- und Materialflusses auf der digitalen Baustelle. Dabei sollen die Prinzipien Transparenz, Fairness und Datenhöheit konsequent berücksichtigt werden, insbesondere im Hinblick auf die heterogene und stark mittelständisch geprägte Struktur der Branche.

Die wirtschaftliche Bedeutung eines solchen Modells für KMU ist vielschichtig:

- Durch eine verbesserte Verfügbarkeit und Nutzung von Betriebsdaten können Ineffizienzen in der Disposition, Maschinenauslastung oder Bauablaufplanung reduziert werden.

- Eine standardisierte Dateninfrastruktur ermöglicht es auch kleinen Betrieben, datenbasierte Services und Auswertungen zu nutzen, ohne selbst teure Plattformen oder IT-Ressourcen aufbauen zu müssen.
- Gleichzeitig fördert eine faire Datenverteilung die Entstehung neuer digitaler Geschäftsmodelle, z. B. im Bereich der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung, des Predictive-Maintenance oder automatisierte Disposition. Ein einfacher, rechtssicherer Zugang zu hochwertigen Daten wird so zum Innovationsmotor. Prozesse können schlanker, fundierter und wirtschaftlich effizienter gestaltet werden.

Diese Ansätze zeigen, dass ein technologisches Fundament vielfach bereits existiert. Was bislang fehlt, ist ein verbindliches, übergreifendes Modell, das Vertrauen schafft, Regeln definiert und wirtschaftliche Anreize für alle Beteiligten setzt.

## 1.2 Identifizierte Probleme und Hemmnisse

Im Rahmen der durchgeführten Umfragen, Expertengespräche und des Fachworkshops im Projektkontext wurden zentrale Hemmnisse und strukturelle Schwächen der aktuellen Informationslogistik im Bauwesen identifiziert. Diese betreffen sowohl technologische als auch organisatorische und wirtschaftliche Aspekte und unterstreichen die Relevanz eines übergreifenden Datentreuhandmodells wie SiteRoute.

Ein wesentliches Problem stellt die **mangelhafte Datenqualität** dar. In vielen Fällen liegen die erfassten Maschinendaten unvollständig, verspätet oder in uneinheitlichen Formaten vor. Rückmeldungen aus dem Workshop belegen: Selbst wenn moderne Telematiksysteme im Einsatz sind, wird deren Potenzial häufig nicht ausgeschöpft, z. B. weil wichtige Informationen wie Laufzeiten, Fehlercodes oder Betriebszustände nicht systematisch bereitgestellt oder in den Softwarelösungen der Bauunternehmen nicht korrekt interpretiert werden.

Auch die **technische Interoperabilität** zwischen Systemen stellt ein zentrales Hindernis dar. Zwar existieren branchenspezifische Datenstandards wie ISO 15143-3 [6] oder AEMP 2.0, diese werden jedoch von vielen Marktteilnehmern nur selektiv umgesetzt oder es werden uneinheitliche Datenstrukturen verwendet. In der Praxis führt dies zu einer Vielfalt an proprietären oder nicht definierten Schnittstellen, die einen durchgängigen Informationsfluss zwischen Maschinen und Softwarelösungen erheblich erschwert. Besonders KMU sind hiervon betroffen, da ihnen häufig die Ressourcen für aufwendige Systemanpassungen fehlen.

Darüber hinaus bestehen **wirtschaftliche Barrieren**: Viele Unternehmen berichten von erheblichen Kosten bei der Freischaltung maschinenseitiger Schnittstellen. Die Preisstrukturen sind intransparent, die Nutzungskosten für APIs (Application Programming Interface) oder Datenzugriffe oft nicht vorhersehbar. Diese Unsicherheit wirkt abschreckend. Der konkrete Nutzen der Datennutzung ist mangels standardisierter Auswertungsketten für viele Akteure schwer greifbar.

Ein weiteres zentrales Hemmnis betrifft das **fehlende Vertrauen in die Datenverarbeitung**. Hersteller äußern große Vorbehalte, wenn es darum geht, maschinenbezogene oder projektbezogene Daten mit Dritten zu teilen. Es fehlt an klaren, durchsetzbaren Regelungen, wer welche Daten zu welchem Zweck nutzen darf und wie potenzieller Datenmissbrauch verhindert werden kann. Die Diskussion um Dateneigentum und Nutzungsrechte ist bislang rechtlich nur unzureichend geklärt und verstärkt die Unsicherheit. Viele Unternehmen befürchten, durch Datenweitergabe ihre Wettbewerbsvorteile zu verlieren oder in Abhängigkeiten zu geraten.

Auch **organisatorische Herausforderungen** wurden im Workshop deutlich. Zahlreiche Systeme werden isoliert betrieben („Datensilos“), eine übergreifende Planung der Informationslogistik fehlt. Gleichzeitig fehlt es an klaren Verantwortlichkeiten sowohl auf technischer als auch auf operativer Ebene. Viele Anwender fühlen sich überfordert, da ihnen die nötige Datenkompetenz oder die zeitlichen Ressourcen fehlen, um mit digitalen Werkzeugen effektiv zu arbeiten. Aussagen wie „Muss man das jetzt alles können?“ oder „Die Daten – was ist das?“ spiegeln diesen Zustand wider.

Zusätzlich stehen **unterschiedliche Interessenlagen** einem offenen Datenaustausch entgegen. Während Maschinenhersteller oder Plattformanbieter oftmals wirtschaftlich motiviert sind, ihre Datenformate oder Schnittstellen exklusiv zu halten, fordern Bauunternehmen und Softwareanbieter offenere Strukturen. Diese Interessenskonflikte sind ein wesentlicher Grund dafür, warum sich bislang keine neutrale, sektorenübergreifende Lösung durchsetzen konnte. Insbesondere kleinere Unternehmen fühlen sich hier gegenüber den großen Herstellern benachteiligt und fordern eine gemeinsame Interessenvertretung, etwa im Rahmen von Verbänden oder Plattforminitiativen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Probleme im heutigen Informationsfluss auf digitalen Baustellen nicht allein technologischer Natur sind. Vielmehr handelt es sich um ein komplexes Zusammenspiel aus:

- technischen Defiziten (fehlende Standards, inkompatible Schnittstellen),
- organisatorischen Schwächen (keine expliziten Anforderungen, fehlende Verantwortlichkeiten),
- wirtschaftlichen Hürden (Kosten, Intransparenz),
- und rechtlichen Unsicherheiten (Datenhoheit, Nutzungsrechte).

Diese Herausforderungen bilden den Ausgangspunkt für die Konzeption eines Datentreuhandmodells, das im weiteren Projektverlauf aufbauend auf diesen Erkenntnissen in den Arbeitspaketen 2 bis 6 weiter konkretisiert wurde. Ziel ist es, nicht nur technische Lösungen zu entwickeln, sondern ein ganzheitliches Verständnis von fairer, vertrauenswürdiger und wirtschaftlich tragfähiger Informationslogistik zu etablieren.

### 1.3 Nutzeranforderungen und Systemmodell

#### 1.3.1 Allgemeine Anforderungen an eine Datentreuhand

Die Entwicklung einer sektorenoffenen Datentreuhandlösung für die Bauwirtschaft erfordert klare Leitprinzipien, um eine breite Akzeptanz über Unternehmens- und Herstellergrenzen hinweg zu ermöglichen. Ziel einer solchen digitalen Infrastruktur ist es, eine neutrale, faire und transparente Plattform zu schaffen, die allen Beteiligten im Baustellenökosystem gleichermaßen zugutekommt.

Aus der Kombination von Stakeholder-Gesprächen, Workshop-Ergebnissen und den Analysen des Arbeitspakets (AP) 1 lassen sich drei übergeordnete Anforderungen ableiten, die sich in den grundlegenden Funktionsprinzipien von SiteRoute widerspiegeln:

- **Fairness:** Alle Beteiligten, vom kleinen Bauunternehmen bis zum Maschinenhersteller (Original Equipment Manufacturer, OEM), sollen gleichberechtigt auf relevante Daten zugreifen und diese verwalten können, unabhängig von ihrer Marktstellung oder technischen Ausstattung.
- **Transparenz:** Datenflüsse müssen für alle nachvollziehbar und überprüfbar sein, sowohl technisch (z. B. durch Protokollierung und Logging) als auch organisatorisch (z. B. durch definierte Rollen und Rechte).

- **Neutralität:** Die Plattform darf nicht unter Kontrolle einzelner Anbieter stehen. Nur durch technische und organisatorische Unabhängigkeit kann das notwendige Vertrauen geschaffen werden, um eine dauerhafte Nutzung sicherzustellen.

Die Konzeption von SiteRoute sieht daher eine offene wirtschaftlich und technisch unabhängige Lösung vor. Die Architektur orientiert sich an einem vertrauenswürdigen und diskriminierungsfreien Ökosystem, das die Beteiligung unterschiedlichster Akteure, von KMU bis OEM, ermöglicht.

Die angestrebte Offenheit wird technisch durch die Nutzung offener Standards wie der ISO 15143-3 [6] realisiert. Diese Norm definiert zentrale Maschinendaten wie Betriebsstunden, GPS-Position, Kraftstoffverbrauch oder Motorzustände und bildet damit eine robuste Grundlage für interoperable, systemübergreifenden Datenaustausch. Damit lassen sich proprietäre Datenformate überbrücken und einen reibungslosen Informationsfluss ermöglichen.

Auch die rechtlichen Rahmenbedingungen werden von Anfang an mitberücksichtigt. Die Plattform berücksichtigt die Anforderungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) sowie des EU Data Act, um sicherzustellen, dass die Rollen von Datengebern und Datennutzern eindeutig geregelt sind.

Mit der Integration erprobter Technologien, anerkannten Normen und klaren regulatorischen Regeln sollte SiteRoute nachhaltige Sicherheit, Transparenz und Fairness bieten und sicherstellen, dass die Datenhoheit bei den Anwendern verbleibt.

### 1.3.2 Spezifische Bedarfe der Praxisakteure

Die konkreten Anforderungen an die Datentreuhandlung wurden mithilfe von praxisorientierten Umfragen und begleitenden Workshops mit Unternehmen aus Bauwirtschaft, Maschinenherstellern und Softwareanbietern erhoben. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte thematisch und zeigte vier zentrale Cluster von Bedürfnissen.

#### *Technische Anforderungen / Datenanforderungen*

Von Seiten der Datennutzer (Bauunternehmen) wurde insbesondere betont, dass eine Datentreuhandlung verlässliche, standardisierte Maschinen- und Telemetriedaten von Technikverantwortlichen (Hersteller, Systemverantwortliche) ermöglichen muss. Gefordert werden:

- Einheitliche Definition von Zustands- und Nutzungsdaten und Datenstruktur mit eindeutiger Maschinenzuordnung (z. B. Betriebsstunden, Fehlercodes, Standortdaten)
- Richtige Daten
- Offene, dokumentierte Telematik-Schnittstellen, z. B. nach ISO 15143-3 [6]
- Unterstützung digitaler Geländemodelle

#### *Einsatzbezogene Anforderungen / Nutzung*

Aus Sicht der praktischen Nutzer (Bauleitung, Vermietung) stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

- Betriebsstunden einzelner Maschinen zur Wartungsplanung
- Rückmeldung konkreter Maschinenaktivitäten („Was macht das Gerät gerade?“)
- Online-Onboarding von Mietgeräten
- Möglichkeit zur automatischen Zuordnung technischer Dokumentation und Hinweise

### *Schnittstellen & Informationsverarbeitung*

Die Anwender betonen die Notwendigkeit eines durchgängigen und semantisch konsistenten Informationsflusses:

- Daten sollen nicht nur übertragen, sondern in ihrem Bedeutungskontext maschinenlesbar und zugleich für den Menschen verständlich gemacht werden
- Schnittstellen zu ERP- und Flottenmanagementsystemen
- Baustellen- und maschinenbezogene Auswertungen

### *Erwartungen an eine übergeordnete Interessengemeinschaft*

Neben den technischen Erwartungen gibt es deutliche Forderungen nach struktureller Unterstützung:

- Aufbau von Einfluss („Stimme“) gegenüber Herstellern und Plattformbetreibern
- Gemeinsame Definition von Standards durch die Branche selbst
- Klare rechtliche Rahmenbedingungen: Wer darf wann welche Daten mit wem teilen?
- Offene Plattformstrukturen ohne prohibitive Kosten oder Abhängigkeiten
- Kooperation zwischen Anwendern, Verbänden, Herstellern und Softwareanbietern

### **1.3.3 Priorisierte funktionale Anforderungen**

Die qualitativen und quantitativen Rückmeldungen aus Umfragen, Interviews und Workshops fließen systematisch zusammen. Ziel ist es, funktionale Anforderungen zu identifizieren, die innerhalb von SiteRoute konkret adressiert werden können.

Diese priorisierten Anforderungen in Tabelle 1 sind die Grundlage für die Architekturentwicklung (s. Kap. 2) und die prototypische Umsetzung in der Demonstrator Plattform (s. Kap. 4). Die Priorität ergibt sich aus den Abstimmungen der Teilnehmer. Ihre Struktur, Umsetzbarkeit und technische Machbarkeit sind eng mit dem Systemmodell verbunden, das in Zusammenarbeit mit den beteiligten Praxispartnern und Branchenvertretern kontinuierlich verfeinert wird.

*Tabelle 1: Anforderungen des digitalen Baustellenökosystems nach Priorität*

Funktionale Anforderung	Beispielhafte Ausprägung in SiteRoute	Priorität
Single-Sign-On nutzen	Die Plattform muss Single-Sign-On unterstützen, um eine nahtlose Benutzererfahrung sowie eine einfache Verwaltung zu gewährleisten.	17
Maschinen eigenständig über das Gruppendashboard verwalten	Bauunternehmen sollen die Möglichkeit haben, ihre Maschinen (die von verschiedenem Hersteller kommen) eigenständig über ein Gruppendashboard zu verwalten.	10
Nutzerrollen und Berechtigungen bestimmen	Die Plattform soll festlegen, welche Nutzer oder Nutzergruppen Zugriff auf bestimmte Maschinendaten haben, basierend auf ihren Rollen, Berechtigungen und Vertragsvereinbarungen.	9
Drittanwendungen durch API-Integration unterstützen	Die Übertragung von Informationen aus der Maschinensteuerung und Sensoren in andere Unternehmensanwendungen sowie umgekehrt sollte über die API-Integration einfach und sicher erfolgen.	8
Standards nutzen	Die Hersteller müssen die Anforderungen der Anwender, einschließlich ISO-Normen, erfüllen, indem sie eine offene Stammdatenschnittstelle zwischen Kunden und Herstellern bereitstellen und die Nutzung herstellerspezifischer Insellösungen vermeiden.	7
Daten- und Nutzungsrechte klären	Klare Regelungen für Daten- und Nutzungsrechte schaffen, um den Schutz der Interessen aller Beteiligten zu gewährleisten.	7

### 1.3.4 Erstes Prozessmodell für Datenflüsse und Rollenverteilung

Auf Grundlage der Anforderungen wurde ein erstes konzeptionelles Prozessmodell für die Datenflüsse im digitalen Baustellenökosystem entworfen. Dieses berücksichtigt insbesondere die Rollenverteilung zwischen Datensendern (z. B. Maschinen), Datenempfängern (z. B. Softwarelösungen) und einer neutralen Datentreuhandstelle.

#### Beteiligte Rollen:

- Maschinenhersteller (OEMs): Datensender, verwenden technische Standards
- Bauunternehmen und Vermieter: Dateninhaber, konfigurieren Rollen & Zugriffe
- Softwareanbieter: Datenempfänger, erhalten Daten gemäß Freigabe
- Datentreuhänder (SiteRoute): Vermittelt, verwaltet Rechte

#### Datenflüsse:

Die standardisierten Telemetriedaten gemäß ISO 15143-3 [6] dienen als Grundlage: Maschinenstatus, Position, Betriebsstunden, Kraftstoffverbrauch etc. Diese Daten werden via offene API-Schnittstellen an die Datentreuhand übergeben.

Ein schematischer Ablauf, basierend auf dem agrirouter-Konzept (s. Abbildung 2), sehen wie folgt aus:

1. Maschine generiert Daten (z. B. Status, Position)
2. SiteRoute empfängt diese über standardisierte API
3. Plattform übertragen Daten sicher
4. Autorisierte Empfänger erhalten die Daten (z. B. zur Visualisierung, Planung, Analyse)

Das Modell stellt somit sicher, dass Datenflüsse nachvollziehbar, sicher und auf Basis fairer Regeln erfolgen, was ein zentraler Baustein zur Etablierung vertrauenswürdiger digitaler Prozesse in der Bauwirtschaft ist.

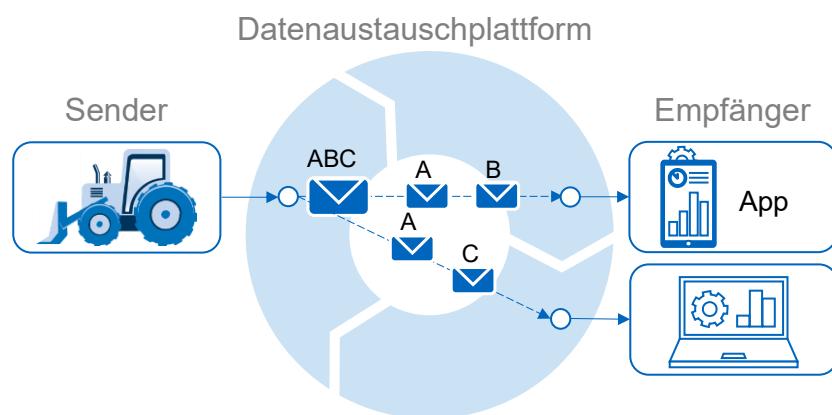


Abbildung 2: Prozessmodell für Datenflüsse. Daten aus ISO 15143-3 [6] wie A: Maschinen Daten, B: GPS-Position, C: Kraftstoffverbrauch, D: Betriebsstunden, E: Leerlaufbetriebsstunden, und F: Motorzustand

### 1.4 Relevanz bestehender Modelle als Impulsgeber – Lösungsrichtung agrirouter

#### 1.4.1 Digitaler Status Quo der Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft zählt weltweit zu den bedeutendsten Wirtschaftssektoren und trägt in vielen Ländern erheblich zum Bruttoinlandsprodukt bei [7]. Schätzungen zufolge wird das weltweite Bauvolumen bis 2025

auf rund 14 Billionen US-Dollar anwachsen [8]. Gleichzeitig ist die Branche von strukturellen Herausforderungen geprägt. Hohe Kosten, ineffiziente Prozesse, Sicherheitsmängel, geringe Produktivität sowie eine insgesamt langsame Innovationsdynamik gehören zu den zentralen Schwachstellen [9].

Ein Blick auf die Baupraxis verdeutlicht den Nachholbedarf. Studien zeigen, dass Bauarbeiter lediglich etwa 30 % ihrer Arbeitszeit tatsächlich mit wertschöpfenden Tätigkeiten verbringen. Die restliche Zeit entfällt auf nicht produktive Aufgaben wie Materialtransport, Umorganisation von Baustellen oder Abstimmungsprozesse [10]. Hinzu kommt eine nur lückenhafte Erfassung des Baufortschritts. Daten werden vielerorts manuell erfasst, was zu Verzögerungen, schlechter Datenqualität und letztlich zu Termin- und Kostenüberschreitungen führt [11].

Diese Ausgangslage unterstreicht das enorme Potenzial digitaler Technologien. Im Kontext der vierten industriellen Revolution („Industry 4.0“) wurde für die Bauwirtschaft das Konzept von „Construction 4.0“ entwickelt [12]. Es basiert auf drei zentralen Säulen:

1. Industrielle Fertigungsmethoden (z. B. durch Vorfertigung und modulare Bauweisen),
2. Digitale Technologien (z. B. Building Information Modeling (BIM), Cloud-Plattformen, künstliche Intelligenz (KI), Big Data und IT-Sicherheit),
3. Cyber-physische Systeme (z. B. automatisierte Maschinen, Sensorik, Internet of Things (IoT) und intelligente Steuerungssysteme).

Diese Technologien ermöglichen eine effizientere Projektabwicklung, fördern die Zusammenarbeit verschiedener Akteure, reduzieren Unfallrisiken und stärken datenbasierte Entscheidungen. Besonders wichtig wird dabei die Anbindung der Lieferkette, die auf digitalen Plattformen basiert, welche den Informationsaustausch zwischen Unternehmen vereinfachen, standardisieren und rechtlich absichern [13].

#### *Vorhandene Plattformansätze und Anwendungsbeispiele*

Einige Plattformlösungen zeigen bereits, wie digitale Transformation in der Bauwirtschaft funktionieren kann. Beispiele sind:

- ConX (Leica Geosystems): Eine cloudbasierte Lösung zur Verwaltung von 3D-Planungs- und Vermessungsdaten mit Echtzeitaktualisierung und Fernzugriff. Sie ermöglicht die Fernsteuerung von Maschinen und spart durch verbesserte Zusammenarbeit und Fehlerminimierung Zeit und Kosten [14].
- MachineMax: Diese Plattform integriert Daten aus OEM-Systemen, Drittanbieter-Sensoren und ERP-Systemen über offene Schnittstellen (APIs). Sie bietet umfassende Funktionen zur Maschinennutzung, Emissionsüberwachung, Wartung und Sicherheit – mit Einsparungen von bis zu 20.000 USD pro Maschine und Jahr durch reduzierte Standzeiten und optimierten Kraftstoffverbrauch [15].
- Liebherr MyJobsite: Eine digitale Branchenlösung speziell für den Spezialtiefbau, die sämtliche Baustellendaten zentral sammelt, konsolidiert und auswertet [16]. MyJobsite verknüpft Informationen aus verschiedenen Quellen wie Maschinen-, Prozess- und Planungsdaten und stellt diese in einem intuitiven Dashboard dar. Dadurch können Baufortschritt, Leistungsparameter und Maschinenbelastung in Echtzeit überwacht werden. Die Plattform unterstützt eine normgerechte Protokollierung (z. B. nach DIN 1536) und ermöglicht eine automatisierte Dokumentation von Arbeitsergebnissen.

Diese Beispiele machen deutlich: Technologisch ist ein funktionierender digitaler Datenfluss im Maschinenumfeld längst möglich. Der entscheidende Mehrwert liegt jedoch in der Übertragung dieser Ansätze auf ein offenes, branchenübergreifendes Ökosystem. Genau hier setzt SiteRoute an: bestehende Insellösungen zu verbinden, technische Standards wie ISO 15143-3 [6] konsequent umzusetzen und so einen interoperablen Datenraum zu schaffen.

#### 1.4.2 agrirouter als Referenzmodell für SiteRoute

Ein zentrales Ziel des Projekts SiteRoute ist der Aufbau eines herstellerübergreifenden, fairen und datenschutzkonformen Modells für den Austausch von Maschinen- und Baustellendaten. Als Vorbild dient dabei der agrirouter, ein Datenaustauschsystem aus der Landwirtschaft, das die standardisierte Kommunikation zwischen Maschinen, Software und Serviceplattformen unterschiedlicher Anbieter ermöglicht.

##### *Einführung in den agrirouter*

Der agrirouter ist eine herstellerunabhängige, offene Datendrehscheibe aus der Landwirtschaft, die von der DKE-Data GmbH & Co. KG betrieben wird [5]. DKE-Data ist ein nicht profitorientiertes Konsortium, das 2016 mit dem Ziel gegründet wurde, einen interoperablen und diskriminierungsfreien Datenraum für die Landwirtschaft zu schaffen. Zum Kreis der Partnerunternehmen gehören Hersteller sowie Software- und Datenanbieter wie AGCO, Krone und xFarm.

Der agrirouter ist eine webbasierte Plattform, die den standardisierten und sicheren Datenaustausch zwischen Landmaschinen, Softwarelösungen und weiteren digitalen Systemen unabhängig vom Hersteller ermöglicht. Dies erlaubt nicht nur die Kommunikation zwischen Maschinen und Management-Software, sondern auch zwischen verschiedenen Maschinen untereinander oder zwischen unterschiedlichen Nutzern der Plattform. Als zentrale Konnektivitätsschicht entkoppelt der agrirouter den direkten Datentransfer zwischen den beteiligten Systemen und bietet den Anwendern (Landwirten und Lohnunternehmern) dadurch ein hohes Maß an Flexibilität und Kontrolle.

##### *Technische Funktionsweise: Endpunkte und Routen*

Das Kernprinzip des agrirouter beruht auf einem klar strukturierten Routing-Konzept mit zwei zentralen Komponenten:

- **Endpunkte (Endpoints):** Dies sind die Sender oder Empfänger von Daten innerhalb des Systems (z. B. Landmaschinen, Telemetrieinheiten, Farmmanagement-Software, ERP-Systeme oder Cloudplattformen).
- **Routen (Routes):** Die Verbindungen zwischen den Endpunkten werden von den Nutzenden individuell eingerichtet und gesteuert. Sie definieren, welche Daten wohin übertragen werden, einschließlich Richtung, Häufigkeit, Format und Echtzeit-Anforderungen.

Diese Architektur ermöglicht einen standardisierten und gleichzeitig benutzerkontrollierten Datenaustausch über System- und Herstellergrenzen hinweg. Auch eine Rekonfiguration von Datenflüssen ist problemlos möglich, etwa zur Anpassung an betriebliche Änderungen oder neue Projektpartner.

##### *Der agrirouter als reines Übertragungsmedium*

Ein wesentlicher Aspekt des agrirouters ist seine Rolle als Transportschicht ohne Datenspeicherung. Die Plattform puffert Daten nur temporär, z. B. bei Verbindungsproblemen eines Endpunkts und löscht diese spätestens nach vier Wochen automatisch. Dadurch wird ein hohes Maß an Datenschutz sichergestellt.

Die zugrundeliegende Infrastruktur des agrirouters ist dabei modular aufgebaut. Sie integriert Maschinen über eine sogenannte Communication Unit (CU). Sie ist entweder physisch in der Maschine verbaut oder als mobile Anwendung verfügbar. Diese CU übernimmt die Verbindung zur Plattform und überträgt maschinenbezogene Daten wie Betriebsstunden, Aufgabenstatus, GPS-Positionen oder Kraftstoffverbrauch an die verbundenen Softwarelösungen (z. B. Agrarmanagementsysteme, Telemetrieplattformen).

Das Gesamtsystem umfasst (s. Abbildung 3):

- Landmaschinen als Hauptdatenquelle,
- Telemetrieplattformen als Middleware für virtuelle Endpunkte,
- Herstellerclouds für OEM-nahe Services,
- Cloudbasierte Softwarelösungen zur Datenanalyse,
- und eine intuitive Nutzeroberfläche zur Verwaltung aller Routen und Berechtigungen.

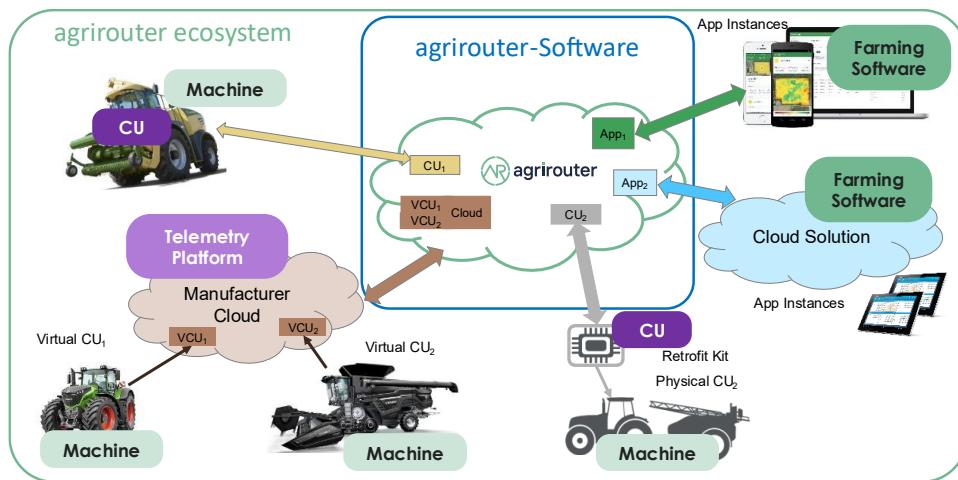


Abbildung 3: Das agrirouter-Ökosystem [5]

#### Standardisierung und Interoperabilität

Ein entscheidender Erfolgsfaktor des agrirouter ist seine Konformität mit dem ISO-Standard 11783 [17]. Dieser weltweit etablierte Standard gewährleistet die Interoperabilität zwischen Maschinen und Software unterschiedlicher Anbieter durch einheitliche Datenformate, Kommunikationsprotokolle und Steuerungslogik. Die dadurch geschaffene Offenheit und Herstellerunabhängigkeit senkt nicht nur Integrationsaufwände, sondern ermöglicht auch eine nachhaltige Datenvernetzung.

Neben ISO 11783 [17] unterstützt agrirouter auch weitere technische Nachrichtenformate, z. B. Bilder, Videos oder PDF-Dateien, wie in Abbildung 4 gezeigt. Damit wird ein hoher Grad an Flexibilität und Skalierbarkeit sichergestellt, was gerade für kleine und mittlere Betriebe ein wesentliches Argument darstellt.

Technical Message Type	Information Type	Description
iso:11783:-10:taskdata:zip	TaskData	A zip file including a TaskData Set
iso:11783:-10:device_description:protobuf	Telemetry	A set of device descriptions connected to a CU. Also called "TeamSet"
iso:11783:-10:time_log:protobuf	Telemetry	Life telemetry data based on the device description
gps:info	Telemetry	GPS information without machine data
img:bmp	Image	A Bitmap File
img/jpeg	Image	A JPEG File
img:png	Image	A Portable Network Graphics File
shp:shape:zip	Shape	A zip file including a Shape dataset
doc:pdf	PDF	A pdf document
vid:avi	Video	An AVI Video
vid:mp4	Video	A MPEG4 Video
vid:wmv	Video	A wmv Video

Abbildung 4: Technische Nachrichtenformate in agrirouter [5]

#### Organisationsform und Datenschutz

Besonders relevant für den Transfer in die Bauwirtschaft ist die Organisationsform des agrirouter: Die Plattform wird von einem herstellerneutralen Konsortium betrieben, das keinen kommerziellen Eigeninteressen unterliegt. Darüber hinaus erfüllt der agrirouter Datenschutzstandards der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO).

#### 1.4.3 Bedeutung für die Bauwirtschaft

Die zentralen Eigenschaften des agrirouters bieten wertvolle Anknüpfungspunkte für das Projekt SiteRoute und seine Übertragbarkeit auf das Baustellenumfeld. Besonders relevant sind folgende Aspekte:

- die Neutralität des Plattformbetreibers, um das Vertrauen aller Beteiligten zu sichern,
- ein flexibles Endpoint-Management zur Einbindung unterschiedlichster Systeme (z. B. Baumaschinen, ERP-Systeme, Bausoftware),
- die Möglichkeit zur rollenbasierten Steuerung von Datenflüssen (z. B. Übermittlung von Maschinenzuständen an den Bauleiter),
- Rechtssicherheit durch Einhaltung geltender Datenschutzvorgaben (z. B. DSGVO),

- sowie der konsequente Einsatz offener Datenstandards zur Sicherstellung technischer Interoperabilität zwischen digitalen Lösungen.

Diese Struktur schafft die Grundlage für SiteRoute.

#### *Erfolgsfaktoren in der Landwirtschaft als Impulsgeber*

Ein Blick auf die Erfolgsbedingungen des agrirouter in der Landwirtschaft zeigt, welche Rahmenbedingungen für die Etablierung eines solchen Systems entscheidend sind:

- **Standardisierung und Interoperabilität:** Der agrirouter basiert auf offenen Datenstandards und Kommunikationsprotokollen (z. B. ISO 11783), die eine herstellerunabhängige Einbindung von Maschinen und Software ermöglichen. Dadurch können unterschiedliche Systeme reibungslos miteinander kommunizieren.
- **Gemeinschaftsorientierte Zusammenarbeit:** Die Agrarbranche zeigt eine hohe Bereitschaft zur Zusammenarbeit – über Hersteller-, Anwender- und Softwareanbietergrenzen hinweg. Dies wird durch die gemeinschaftliche Struktur des agrirouter unterstützt.
- **Klare Geschäftsmodelle und Nutzeranreize:** Die Plattform bietet transparente Mitgliedschaftsmodelle mit Stimmrechten und Kostenbeteiligung. Gleichzeitig erkennen Landwirte einen unmittelbaren betrieblichen Nutzen in der Verwertung von Maschinendaten – etwa durch effizientere Abläufe, Ressourceneinsparungen oder präzisere Entscheidungsgrundlagen.
- **Fokus und Investitionen:** Der Landwirtschaft hat in den letzten Jahren gezielt in Forschung, Standardisierung und Interoperabilität investiert. Diese strategische Priorisierung hat dazu beigetragen, ein stabiles digitales Ökosystem aufzubauen.

Diese Faktoren haben maßgeblich dazu beigetragen, dass sich der agrirouter als interoperable Dateninfrastruktur etablieren konnte – mit hoher Akzeptanz bei Landwirten, Maschinenherstellern und Softwareanbietern.

#### *Herausforderungen und Besonderheiten in der Bauwirtschaft*

Die Bauwirtschaft weist jedoch einige grundlegende Unterschiede auf, die eine direkte Übertragbarkeit des agrirouter-Modells einschränken:

- **Fragmentierte Strukturen und Projektvielfalt:** Die Bauindustrie ist stark projektbasiert und durch eine hohe Diversität von Projekttypen (Tiefbau, Hochbau, Spezialbau etc.) geprägt. Gleichzeitig kommen unterschiedlichste Maschinentypen und softwareseitige Lösungen zum Einsatz – häufig in temporären Projekten. Im Unterschied zur Landwirtschaft, die über stabilere Betriebsstrukturen und wiederkehrende Abläufe verfügt, erschwert diese Projektvielfalt in der Bauwirtschaft die Standardisierung und durchgängige Datenintegration.
- **Einzelinteressen und Wettbewerb:** Während im Landwirtschaft Kooperation als Innovationsmotor etabliert ist, verfolgen viele Akteure der Bauindustrie bislang proprietäre Strategien. Hersteller nutzen Telematiklösungen häufig zur Produktdifferenzierung oder Kundenbindung, was eine Öffnung ihrer Systeme erschwert. Das behindert die Entwicklung herstellerneutraler Lösungen.
- **Unklare Geschäftsmodelle und fehlende Anreize:** Im Gegensatz zur Landwirtschaft bestehen in der Bauwirtschaft bislang nur geringe wirtschaftliche Anreize für die Bildung eines gemeinsamen

Datenökosystems. Auch die Bereitschaft zum Datenaustausch bleibt häufig aus, da betriebliche Vorteile, Verantwortlichkeiten und Erlösmodelle noch nicht klar definiert sind.

- **Unerschlossenes Potenzial der Anwenderseite:** Anders als beim agrirouter, der durch die Initiative von OEMs sowie die Beteiligung von Softwareanbietern und Landwirten entstanden ist, wird die kollektive Einflusskraft der Baumaschinennutzer (z. B. Bauunternehmen und Vermieter) bislang nicht systematisch genutzt. Es fehlt an strukturierten Interessengemeinschaften, um eine unabhängige Position gegenüber Herstellern zu vertreten. Gleichzeitig bleiben Synergien zwischen Anwendern und Softwareanbietern oft ungenutzt.

Diese Hemmnisse verdeutlichen, dass auch wenn der agrirouter ein technisch ausgereiftes und organisatorisch etabliertes Modell ist, erfordert der Baustellensektor eigenständige Lösungen, die den spezifischen Anforderungen dieser Branche gerecht werden. Gleichzeitig bietet der agrirouter zentrale strukturelle und technische Prinzipien, die im Rahmen von SiteRoute aufgegriffen und gezielt weiterentwickelt werden können. In den folgenden Kapiteln/APs werden diese Mechanismen vertieft untersucht, um ein anwendungsnahes, wirtschaftlich tragfähiges und technisches Systemmodell für die Bauwirtschaft zu realisieren.

## 2 Entwicklung der technischen Systemarchitektur

### 2.1 Standardisierte Datenmodelle und Interoperabilität

Im Forschungsprojekt SiteRoute wird das Konzept einer herstellerneutralen Datendrehscheibe für die Bauwirtschaft entwickelt. Dabei dient der agrirouter aus der Landwirtschaft als technische Referenz und Testumgebung, um die Übertragbarkeit bestehender Prinzipien auf den Bausektor zu untersuchen. Beide Systeme folgen dem gleichen Grundgedanken: Sie ermöglichen den sicheren und standardisierten Austausch von Maschinendaten zwischen Geräten, Anwendern und Softwareanwendungen. Unterschiede ergeben sich jedoch aus den branchenspezifischen Anforderungen und den zugrunde liegenden Standards.

Ein zentrales Unterscheidungsmerkmal liegt in den verwendeten Datenformaten:

- Der agrirouter basiert auf ISO 11783-10/ISO 5231, die die Kommunikation in landwirtschaftlichen Maschinen beschreibt [17].
- SiteRoute orientiert sich an ISO 15143-3, die den Austausch von Telemetriedaten für Bau- und Erdbaumaschinen standardisiert [6].

#### 2.1.1 ISO 15143-3: Telemetriedaten für Baumaschinen

Die internationale Norm ISO 15143-3:2020 [6] (oft auch „AEMP 2.0 API“ genannt) legt ein einheitliches Datenmodell und Kommunikationsprotokoll für Telemetriedaten von Bau- und Erdbaumaschinen fest. Ziel ist es, dass Anwender unabhängig von Maschinenherstellern oder Telematikanbietern zentrale Betriebs- und Zustandsdaten ihrer Maschinen in konsistenter und standardisierter Form abrufen können.

#### Zweck und Zielsetzung

- Herstellerübergreifender Zugriff: Bauunternehmen betreiben meist gemischte Flotten unterschiedlicher Hersteller. Ohne Standardisierung führt dies zu proprietären Schnittstellen, isolierten Dateninseln und hohem Integrationsaufwand.
- Vergleichbarkeit und Integration: Einheitliche standardisierte Datenstrukturen ermöglichen es, Daten in Flottenmanagementsysteme, ERP-Lösungen oder Baustellenplattformen einzubinden.
- Offenheit und Transparenz: Anwender behalten die Kontrolle über die Maschinendaten und können selbst entscheiden, in welchen Systemen sie diese nutzen.

#### Struktur der Norm

Die Norm beschreibt 20 Datenelemente mit insgesamt 64 Attributen, die in standardisiertem JSON- oder XML-Format alle 15 Minuten ausgetauscht werden.

Die wichtigsten Kategorien sind:

1. Maschinenidentifikation: Seriennummer, Maschinentyp, Hersteller, Modell
2. Standortdaten: GPS-Koordinaten mit Zeitstempel
3. Betriebsstunden und Einsatzzeiten: Gesamtbetriebsstunden, Leerlaufzeiten
4. Kraftstoff- und Energieverbrauch: Tankfüllstand, Kraftstoffverbrauch
5. Maschinenzustand und Diagnosedaten: Motor Zustand, Warnmeldungen

Diese Daten sind bewusst so gewählt, dass sie sowohl für das Tagesgeschäft (z. B. Flotteneinsatzplanung) als auch für strategische Anwendungen (z. B. Kostenkalkulation, CO<sub>2</sub>-Bilanzierung, Predictive Maintenance) genutzt werden können.

### Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung des Datenaustauschs in SiteRoute orientiert sich an etablierten Standards und Protokollen, um eine sichere und interoperable Integration verschiedener Systeme zu gewährleisten.

- Schnittstellenmodell: Die Norm definiert eine HTTP-basierte API, die den Abruf standardisierter JSON/XML-Datenpakete erlaubt.
- Datensicherheit: Zugriff erfolgt über Authentifizierungsmechanismen (OAuth 2.0).
- Interoperabilität: Maschinen unterschiedlicher Hersteller stellen ihre Daten in identischer Struktur bereit, sodass Plattformen wie SiteRoute diese direkt integrieren können.

### Herausforderungen

Trotz der hohen Relevanz der ISO 15143-3 für den standardisierten Datenaustausch in der Bauwirtschaft zeigen sich in der praktischen Anwendung mehrere technische und organisatorische Herausforderungen:

- Unverbindlichkeit: Die Umsetzung der ISO 15143-3 [6] ist nicht verpflichtend. Alle definierten Datenpunkte und deren Sendung sind optional. Die Initiative Machines in Construction (MiC 4.0) wurde daher vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) e.V. geschaffen, um u. a. eine Verbindlichkeit mitwirkender Partner zu gewährleisten.
- Interpretationsspielräume: Bestimmte Parameter sind nicht eindeutig definiert (z. B. was genau als „Leerlaufzeit“ gilt). Unterschiedliche Hersteller-Implementierungen können daher erneut zu Inkompatibilitäten führen.
- Teilweise eingeschränkte Datenabdeckung: Die ISO 15143-3 [6] bezieht sich rein auf Maschinen aus dem Erd- und Straßenbau. Damit werden nicht alle Maschinentypen oder Sonderfunktionen wie Krane, Anbaugeräte oder spezialisierte Maschinen aus dem Spezialtiefbau abgebildet.
- Weiterentwicklung notwendig: Mit zunehmender Elektrifizierung, Hybridmaschinen oder BIM-Integration müssen neue Datenfelder ergänzt werden.

Für SiteRoute ist die ISO 15143-3 [6] die technische Basis, um:

- Maschinendaten standardisiert einzulesen,
- Datenflüsse über agrirouter kompatibel weiterzugeben,
- proprietäre Schnittstellen zu vermeiden,
- und eine herstellerneutrale Datenlogistik für Bauunternehmen bereitzustellen.

Allerdings zeigt sich, dass die bloße Orientierung an der ISO-Norm nicht genügt, da Interpretationsspielräume zu Abweichungen führen können. Deshalb kommt der Arbeit von MiC 4.0 eine entscheidende Bedeutung zu. Die Initiative hat für verschiedene Maschinentypen Datenelemente und Attribute detailliert präzisiert, sodass Hersteller und Anwender eine gemeinsame Auslegung nutzen können.

## 2.1.2 Rolle von MiC 4.0: Präzisierung und Harmonisierung

Um diese Lücken zu schließen, spielt die MiC 4.0 eine Schlüsselrolle. MiC 4.0 ist ein Zusammenschluss führender Hersteller, Anwender und Verbände mit dem Ziel, eine gemeinsame digitale Sprache für die Baumaschinenbranche zu entwickeln.

In einem eigenen Ergebnispapier hat MiC 4.0 die ISO 15143-3 im Detail analysiert und für die definierten Datenelemente eine einheitliche, branchenweite Auslegung erarbeitet [6, 18]. Dies betrifft z. B. die klare Abgrenzung von Maschinenbetriebsstunden, Leerlaufzeiten oder Energieverbrauch. Durch die gemeinsame Definition dieser Begriffe wird eine konsistente Implementierung in den Systemen verschiedener Hersteller sichergestellt.

Damit leistet MiC 4.0 einen entscheidenden Beitrag zur Interoperabilität:

- Hersteller reduzieren ihren Interpretationsspielraum.
- Anwender erhalten konsistente und vergleichbare Daten.
- Plattformen wie SiteRoute können reibungslos Daten unterschiedlicher Marken integrieren.

### Bedeutung für SiteRoute

Für die Entwicklung von SiteRoute bedeutet dies, dass der Anschluss an bestehende Standards nicht nur die technische Anschlussfähigkeit sicherstellt, sondern auch Vertrauen bei den Anwendern schafft. Durch die Orientierung an ISO 15143-3 [6] und den von MiC 4.0 konkretisierten Definitionen wird verhindert, dass neue Datensilos entstehen. Gleichzeitig ermöglicht dies eine zukunftssichere Weiterentwicklung, da SiteRoute parallel zu den Standardisierungsprozessen wachsen kann.

Damit bildet die Kombination aus ISO 15143-3 [6] und den MiC 4.0-Spezifikationen die Grundlage für eine interoperable, transparente und herstellerübergreifende Datenlogistik im Bauwesen.

## 2.2 Technisches Konzept der SiteRoute Architektur

### 2.2.1 Überblick der Systemkomponenten

Aufbauend auf den Erfahrungen des agrirouters aus der Landwirtschaft überträgt SiteRoute das Prinzip eines neutralen Datentreuhänders auf die Bauwirtschaft. Dabei entwickelt das Projekt keine vollständig neue Plattform, sondern nutzt die bestehende agrirouter-Infrastruktur als technische Basis, um die Integration und Anbindung branchenspezifischer Systeme exemplarisch zu testen.

Im Mittelpunkt stand die praktische Demonstration der Interoperabilität: Daten aus unterschiedlichen Quellen, von Telemetrieeinheiten oder Herstellerplattformen, an verschiedene Zielsysteme weiterleiten. Zu diesem Zweck zeigen SiteRoute-Anwendung drei konkrete Partneranwendungen:

- Bauer Equipment Management System als Beispiel einer Herstellerplattform mit Maschinendaten,
- Syniotec CORE als Beispiel einer herstellerunabhängigen Telemetrie-Nachrüstung für Maschinendaten, bei der die Daten von der Maschineneinheit ausgelesen, an Syniotec Telemetrieplattform zur Bereitstellung, und
- die Max Bögl Plattform als Beispiel einer unternehmensinternen Cloudlösung für das Datenmanagement.

Die Verbindung dieser Systeme erfolgte in Abstimmung mit den Projektpartnern, um reale industrielle Anwendungsfälle abzubilden und die Übertragbarkeit des agrirouter-Konzepts auf die Baupraxis zu validieren.

Das Ziel der SiteRoute-Anwendung besteht daher darin, eine funktionsfähige Schnittstelle zwischen bestehenden Cloudsystemen und dem agrirouter bereitzustellen. Sie demonstriert, dass der Datenaustausch über den agrirouter auch für Bauunternehmen praktikabel ist. Als Datentreuhänder ermöglicht SiteRoute einen sicheren, transparenten und effizienten Austausch von Maschinendaten zwischen unterschiedlichen Akteuren.

Die wesentlichen Merkmale der SiteRoute-Anwendung sind:

- **End-to-End-Telemetrie-Pipeline:** Integration von Telemetriegeräten (z. B. Syniotec CORE) mit Systemen von Drittanbietern (z. B. Max Bögl Plattform oder einer Open-Source-Lösung Google Sheets).
- **Modulare und erweiterbare Architektur:** Ein flexibles Systemdesign, das eine einfache Integration zusätzlicher Datenquellen oder -ziele erlaubt. Dieses Prinzip ist entscheidend, um eine interoperable Datenaustauschplattform für die Bauwirtschaft zu etablieren.

Die SiteRoute Plattform sollte mit einer modularen und erweiterbaren Architektur ausgestattet sein, um eine skalierbare Integration zu ermöglichen, die Wartung zu vereinfachen und eine schnelle Einbindung neuer Datenquellen und -ziele zu ermöglichen. Nachfolgend ist das Prozessdiagramm für die Rolle von SiteRoute zwischen einem Hersteller, Anwender und der agrirouter-Plattform dargestellt.

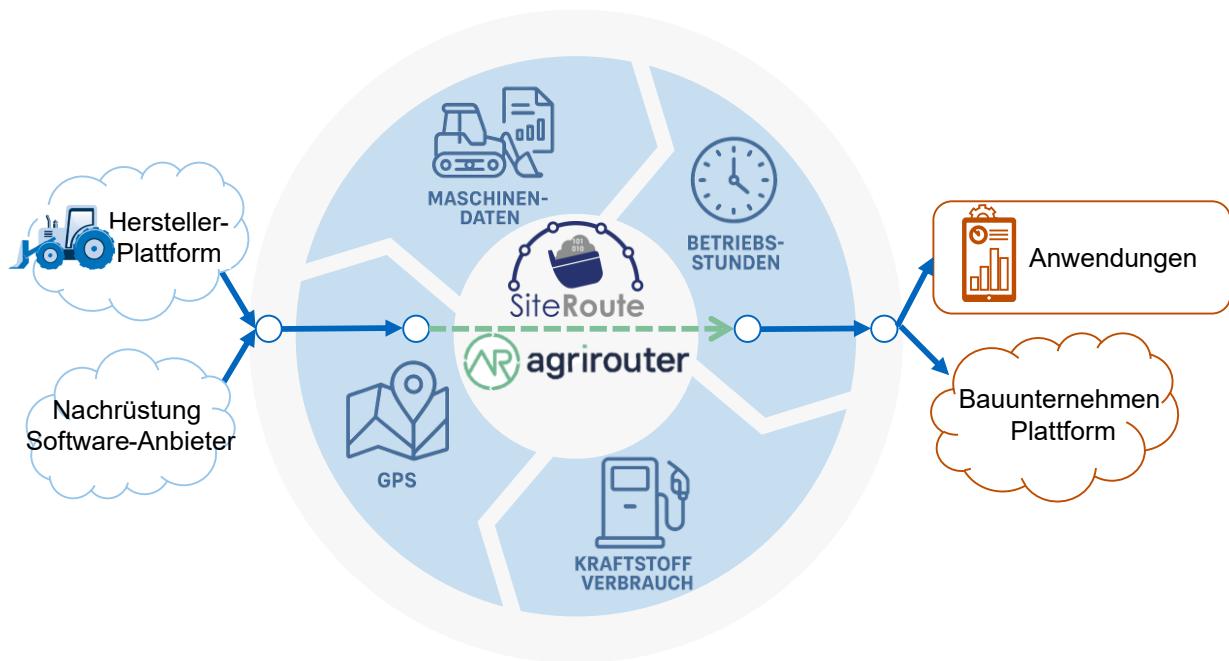


Abbildung 5: Prozessdiagramm für das SiteRoute-Projekt

Wie in Abbildung 5 dargestellt, fungiert SiteRoute als Brücke zwischen dem Baumaschinenhersteller (Daten-sender), den Anwendungen (Datenempfänger) und der agrirouter-Plattform. Es ermöglicht die Erstellung eines agrirouter-Endpunkts, über den Daten übertragen werden können, entweder aus der Hersteller-API oder von anderen Parteien, die ebenfalls Daten über die Plattform senden.

Die Plattform gliedert sich in zwei Hauptkomponenten:

- Frontend (Eigenentwicklung in Anlehnung an agrirouter): eine webbasierte Benutzeroberfläche, über die Anwender Datenflüsse konfigurieren und überwachen können.
- Backend (agrirouter): zentrale Logik für Datentransport, Schnittstellenmanagement und Weiterleitung über den agrirouter.

Die für den Benutzer zugängliche Hauptplattform des SiteRoute-Projekts wird in einer Webanwendung gehostet. Sie bildet den zentralen Demonstrator des Projekts und die Benutzeroberfläche des Projekts und die Backend-Logik der Anwendung. Das in SiteRoute integrierte Datenübertragungs-Software Development Kit (SDK) stellt die modularen Funktionen bereit, mit denen Daten- und Dateitransfers zwischen unterschiedlichen Systemen ermöglicht werden. Diese Funktionalität ist in die Webanwendung integriert und getestet.

## 2.2.2 End-to-End Datenfluss

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Partneranwendungen: Bauer, Syniotec und Max Bögl, werden im folgenden Datenflussmodell zusammengeführt. Der Datentransfer in SiteRoute folgt einer standardisierten, die exemplarisch anhand angebundener Partneranwendungen dargestellt ist (vgl. Abbildung 6):

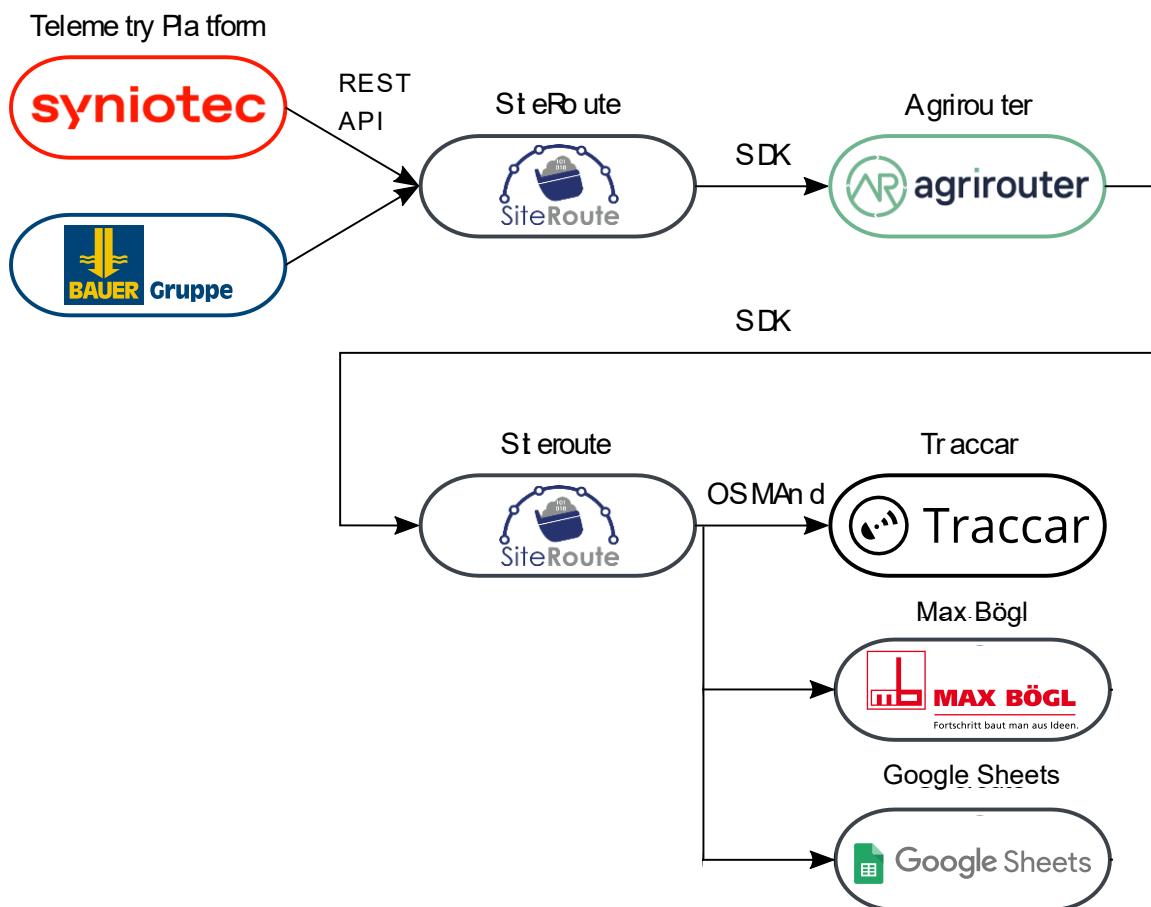


Abbildung 6: Überblick über den End-to-End-Telemetriefluss zur Übertragung von Maschinendaten

- Erfassung:** Das Backend von SiteRoute ruft den aktuellen Telemetrie-Datensatz über die Syniotec Fleet Snapshot oder Bauer API ab.
- Übertragung an agrirouter:** Das SiteRoute Backend, das als agrirouter-Sender des Fahrzeugs fungiert, leitet die Daten als Nachricht an die agrirouter-Plattform weiter.
- Routing:** Die Nachricht wird innerhalb von agrirouter an den von SiteRoute konfigurierten Empfangspunkt über ein SDK weitergeleitet.
- Empfang:** Das Backend von SiteRoute ruft die anstehende Nachricht von agrirouter über ein SDK.

**5. Weitergabe:** Das Backend von SiteRoute sendet die Daten schließlich an ein von Nutzern ausgewähltes Zielsystem wie lokal laufenden Traccar-Server durch OsmAnd-Eingabeport, Max Bögl Server oder Google Sheets. Diese Systeme speichern die Daten und aktualisieren ihre Benutzeroberflächen, um dem Endbenutzer die Information anzuzeigen.

Damit entfällt die Notwendigkeit, individuelle Verbindungen zwischen allen Datenquellen und -zielen einzurichten. Stattdessen übernimmt SiteRoute das Routing.

### 2.2.3 Modularer Aufbau für zukünftige Erweiterungen

Ein zentrales Designprinzip von SiteRoute ist die Modularität. Jede Funktion, die am Datenfluss, der Datenbeschaffung, der Endpunkt-kommunikation, der Kodierung und der Visualisierung beteiligt ist, ist in einer eigenen Klasse gekapselt und interagiert mit anderen nur über wohldefinierten Schnittstellen und Datenübertragungsobjekte (DTOs). Diese modulare Architektur stellt sicher, dass einzelne Komponenten getestet, ersetzt oder erweitert werden können, ohne dass Änderungen am restlichen System erforderlich sind.

So unterstützt das derzeitige System die Aufnahme von Telemetriedaten von Syniotec und Bauer und die Weiterleitung an Traccar, Max Bögl und Google Sheets, was in Zukunft erweitert werden kann, um zusätzliche Datenquellen oder -ziele zu unterstützen, z. B. von weiteren Maschinenherstellern oder Plattformen von Bauunternehmen. Der modulare Aufbau ermöglicht auch eine bessere Wartbarkeit und Testbarkeit, da das Verhalten der einzelnen Komponenten isoliert ist und leichter unabhängig validiert werden kann. Insgesamt verbessert der modulare Aufbau nicht nur die derzeitige Robustheit des Systems, sondern schafft auch die Grundlage für künftiges Wachstum und Anpassungen.

Insgesamt zeigen diese Merkmale, dass die Pipeline nicht nur ihre funktionalen Ziele erfüllt, sondern auch wichtige Systemdesignprinzipien wie Beobachtbarkeit, Modularität und Fehlerisolierung einhält. Obwohl das System nicht für hohen Durchsatz oder Echtzeit-Streaming optimiert ist, bietet die derzeitige Architektur eine solide Grundlage für eine zuverlässige Telemetrieverarbeitung.

## 3 Entwicklung des praxisgerechten Nutzungskonzeptes

### 3.1 Zielsetzung und Rolle im Gesamtprojekt

Ziel des AP3 ist die Entwicklung eines praxisnahen, fairen und rechtskonformen Nutzungskonzepts für die Datenaustauschplattform SiteRoute. Dieses Konzept schafft den organisatorischen und regulatorischen Rahmen für die Verarbeitung, den Austausch und die Weiterverwendung von Maschinendaten im Bauwesen. Dabei werden sowohl die spezifischen Anforderungen der Bauwirtschaft als auch die übergeordneten rechtlichen Vorgaben berücksichtigt.

Im Gesamtprojekt übernimmt dieser Arbeitsschritt eine zentrale Schnittstellenfunktion: Die technischen Möglichkeiten aus der Entwicklung der Plattformarchitektur werden in klare Nutzungsregeln und Rollenmodelle übersetzt und bilden so die Grundlage für die praktische Umsetzung. Dadurch wird sichergestellt, dass die Plattform nicht nur technisch funktionsfähig, sondern auch regulatorisch abgesichert und marktgerecht gestaltet ist.

Zur Konkretisierung wurden ein vertragliches Regelwerk sowie eine praxisorientierte Benutzeroberfläche (User Interface, UI) entwickelt. Das Regelwerk basiert auf geprüften Vertragsmustern, unter anderem aus der Kooperation mit der DKE-Data GmbH & Co. KG, und legt die Nutzungsrechte für die Web-Applikation eindeutig fest. Die Benutzeroberfläche wurde mit dem Ziel gestaltet, die Steuerung der Informationsflüsse innerhalb der Plattform intuitiv, klar strukturiert und leicht zugänglich zu machen. Dabei spielte die User Experience (UX) eine zentrale Rolle, um sicherzustellen, dass die Kernfunktionen der Plattform für alle Nutzergruppen schnell erfassbar und ohne hohen Schulungsaufwand bedienbar sind. Die detaillierte Ausgestaltung der UI- und UX-Komponenten wird in Kapitel 4 dargestellt.

Die in diesem Kapitel behandelten Inhalte knüpfen unmittelbar an die in Kapitel 5 dargestellten Ergebnisse zu Finanzierungs- und Beteiligungsmodellen an. Während dort vor allem die wirtschaftliche Tragfähigkeit und Akzeptanz des Plattformbetriebs im Vordergrund stehen, sorgt das Nutzungskonzept für die inhaltliche und rechtliche Fundierung dieser Modelle. Rollenverteilung, Rechte- und Pflichtenzuordnung sowie Datenzugangsregelungen werden so ausgestaltet, dass sie die im Finanzierungsmodell angelegte Fairness, Transparenz und Skalierbarkeit auch in der Praxis ermöglichen.

### 3.2 Regulatorische Anforderungen und rechtlicher Rahmen

Zwei Rechtsgrundlagen sind relevant: die Datenschutz-Grundverordnung und der Data Act. Beide wirken sich unmittelbar auf die Ausgestaltung der Zugangsrechte, Vertragsbedingungen und technischen Schnittstellen der Plattform aus, allerdings mit unterschiedlichem Fokus.

#### 3.2.1 Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)

Die nachfolgende Darstellung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO, engl. General Data Protection Regulation, GDPR) basiert u. a. auf Informationen von GDPR.EU (Proton Technologies AG, kofinanziert durch das EU Horizon 2020-Programm, Projekt REP-791727-1) [19]. Dabei handelt es sich nicht um eine offizielle Quelle der Europäischen Kommission oder einer staatlichen Institution. Rechtlich verbindliche Informationen finden sich ausschließlich in der Verordnung selbst sowie auf den offiziellen Webseiten der Europäischen Union [20]. Diese Darstellung dient lediglich der Einordnung im Kontext des Projekts SiteRoute

und stellt keine Rechtsberatung dar. Für die rechtskonforme Umsetzung empfiehlt sich die Konsultation des Originaltextes sowie gegebenenfalls fachkundiger juristischer Beratung.

Die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) ist die umfassendste Datenschutzregelung der Europäischen Union (EU). Sie trat am 25. Mai 2018 in Kraft und gilt nicht nur innerhalb der EU, sondern weltweit für alle Organisationen, die personenbezogene Daten von Personen in der EU verarbeiten oder diesen Waren oder Dienstleistungen anbieten. Mit der DSGVO hat die EU ein deutliches Signal für den Schutz der Privatsphäre und die Sicherheit personenbezogener Daten gesetzt – zu einer Zeit, in der digitale Dienste und Cloud-Anwendungen rasant an Bedeutung gewonnen haben und Datenschutzverletzungen häufig auftreten [19, 20].

### *Ziele und Anwendungsbereich*

Die DSGVO verfolgt das Ziel, den Schutz personenbezogener Daten zu stärken, einheitliche Datenschutzstandards in allen Mitgliedsstaaten zu schaffen und den betroffenen Personen umfassende Rechte einzuräumen. Sie verpflichtet Organisationen, den Umgang mit personenbezogenen Daten transparent, rechtmäßig und sicher zu gestalten. Dabei umfasst der Begriff personenbezogene Daten sämtliche Informationen, die sich direkt oder indirekt einer Person zuordnen lassen, von Namen, E-Mail-Adressen und Standortdaten bis hin zu biometrischen Informationen und Online-Kennungen (Cookies).

### *Grundprinzipien*

Artikel 5 der DSGVO legt sieben zentrale Grundsätze fest, die für jede Datenverarbeitung gelten:

1. Rechtmäßigkeit, Fairness und Transparenz – Verarbeitung nur auf einer gültigen Rechtsgrundlage, offen und nachvollziehbar für die Betroffenen.
2. Zweckbindung – Erhebung und Verarbeitung nur für festgelegte, legitime Zwecke.
3. Datenminimierung – nur so viele Daten wie nötig erheben.
4. Richtigkeit – Daten müssen aktuell und korrekt gehalten werden.
5. Speicherbegrenzung – Daten nur so lange speichern, wie es für den Zweck erforderlich ist.
6. Integrität und Vertraulichkeit – geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zum Schutz der Daten.
7. Rechenschaftspflicht – Nachweis der Einhaltung dieser Grundsätze muss jederzeit möglich sein.

### *Rechtsgrundlagen und Einwilligung*

Artikel 6 der DSGVO definiert die zulässigen Rechtsgrundlagen für die Datenverarbeitung, darunter die Einwilligung der betroffenen Person, die Vertragserfüllung, rechtliche Verpflichtungen, lebenswichtige Interessen, Aufgaben im öffentlichen Interesse und berechtigte Interessen des Verantwortlichen. Besonders streng geregelt ist die Einwilligung: Sie muss freiwillig, informiert, eindeutig und jederzeit widerrufbar sein.

### *Rollen und Verantwortlichkeiten*

Die DSGVO unterscheidet zwischen:

- Betroffener Person (Data Subject) – deren Daten verarbeitet werden.
- Verantwortlichem (Data Controller) – entscheidet über Zwecke und Mittel der Verarbeitung.
- Datenverarbeiter (Data Processor) – verarbeitet Daten im Auftrag des Verantwortlichen.

Jede dieser Rollen ist mit spezifischen Pflichten und Haftungsrisiken verbunden. Verträge zur Auftragsverarbeitung sind zwingend vorgeschrieben, wenn ein externer Dienstleister eingebunden wird.

### *Rechte der betroffenen Personen*

Die DSGVO räumt Betroffenen umfangreiche Rechte ein:

- Recht auf Information, Auskunft, Berichtigung, Löschung („Recht auf Vergessenwerden“)
- Recht auf Einschränkung der Verarbeitung
- Recht auf Datenübertragbarkeit
- Widerspruchsrecht
- Rechte im Zusammenhang mit automatisierten Entscheidungen und Profiling

Diese Rechte sollen die Selbstbestimmung über persönliche Daten sichern und den Missbrauch verhindern.

#### *Sicherheit und Datenschutz durch Technikgestaltung*

Organisationen müssen „geeignete technische und organisatorische Maßnahmen“ umsetzen, z. B. Zwei-Faktor-Authentifizierung, Verschlüsselung, Zugriffsbegrenzungen und regelmäßige Schulungen. Das Prinzip „Datenschutz durch Technikgestaltung und durch datenschutzfreundliche Voreinstellungen“ verpflichtet dazu, bereits bei der Planung neuer Prozesse oder Systeme den Datenschutz zu berücksichtigen [19].

#### *Sanktionen*

Verstöße gegen die DSGVO können zu Bußgeldern von bis zu 20 Millionen Euro oder 4 % des weltweiten Jahresumsatzes führen, je nachdem, welcher Betrag höher ist. Zusätzlich können Betroffene Schadensersatz einklagen.

Im Kontext von SiteRoute bildet die DSGVO die zentrale Grundlage für alle Prozesse, bei denen personenbezogene Daten verarbeitet werden. Während der Data Act vor allem nicht-personenbezogene und maschinell erzeugte Daten adressiert, hat die DSGVO Vorrang, sobald es um den Schutz der Privatsphäre von Einzelpersonen geht.

### **3.2.2 Data Act**

Die hier dargestellte Zusammenfassung zum Data Act basiert auf der offiziellen Verordnung der EU 2023/2854, die über EUR-Lex zugänglich ist [21], sowie auf begleitenden Informationsmaterialien der Europäischen Kommission (Data Act explained) [22]. Letztere Veröffentlichung dient lediglich der allgemeinen Orientierung und stellt nicht die offizielle Position der Kommission dar. Sie ersetzt keine juristische Beratung. Für eine rechtsverbindliche Auslegung ist ausschließlich der vollständige Text der Verordnung maßgeblich.

Die Data Act Verordnung der EU 2023/2854 [21] ist am 11. Januar 2024 in Kraft getreten und wird ab dem 12. September 2025 unmittelbar in allen Mitgliedstaaten anwendbar sein. Als zentraler Bestandteil der europäischen Datenstrategie ergänzt er den Data Governance Act, der den rechtlichen Rahmen für die gemeinsame Datennutzung zwischen Unternehmen, Bürgern und öffentlichen Institutionen schafft. Zusammen bilden beide Rechtsakte einen weiteren Pfeiler für die Schaffung eines einheitlichen europäischen Datenmarktes [21, 22].

#### *Ziele*

Die Verordnung soll einen fairen und offenen Zugang zu Daten sicherstellen und damit die digitale Wert schöpfung in Europa fördern. Konkret verfolgt sie:

- die Stärkung der Rechte von Nutzern vernetzter Produkte (z. B. Maschinen), indem dieser Zugang zu den durch Nutzung erzeugten Daten erhalten,
- die Schaffung klarer Regeln für Datennutzung und -weitergabe zwischen Unternehmen (Business-to-Business, B2B) sowie zwischen Unternehmen und öffentlichen Stellen (Business-to-Government, B2G),

- den Schutz insbesondere von KMU vor unfairen Vertragsklauseln in Datenverträgen,
- die Förderung von Interoperabilität und die Erleichterung des Wechsels zwischen Cloud- und Datenverarbeitungsdiensten.

### *Grundprinzipien*

Der Data Act ist in mehrere Kapitel gegliedert. Im Folgenden sind die für die Anwendung in der Bauwirtschaft besonders relevanten gelistet:

- Kapitel II – Zugang und Nutzung von Daten im Kontext von IoT.
  - Nutzer von vernetzten Produkten (z. B. Maschinen) erhalten ein Recht auf Zugang zu den von diesen Geräten erzeugten Daten.
  - Dateninhaber müssen diese Daten den berechtigten Nutzern zugänglich machen.
  - Die Verordnung fördert die Wahlfreiheit für Nutzer, ihre Daten auch an Dritte weiterzugeben (z. B. Dienstleister für Wartung oder Optimierung von Bauprozessen).
- Kapitel IV – Schutz vor unfairen Vertragsbedingungen.
  - Insbesondere für KMUs bietet der Data Act Schutz vor einseitigen und unfairen Klauseln in Datenverträgen.
  - Die Bedingungen für den Datenaustausch müssen fair, angemessen und diskriminierungsfrei sein.
- Kapitel V – Datenzugang für Behörden im öffentlichen Interesse.
  - Behörden dürfen in Ausnahmefällen (z. B. Naturkatastrophen oder Notfälle auf Baustellen) auf relevante Unternehmensdaten zugreifen.
  - Dieser Notfallzugriff dient der Sicherheit und dem öffentlichen Wohl und ist an klare Voraussetzungen gebunden.
- Kapitel VI – Wechsel von Cloud- und Datenverarbeitungsdiensten.
  - Anbieter von Cloud- und Datenverarbeitungsdiensten müssen einen nahtlosen Wechsel zwischen ihren Plattformen ermöglichen.
  - Ziel ist eine erhöhte Interoperabilität, damit Unternehmen ihre Daten einfach von einem Anbieter zum anderen übertragen können.
- Kapitel VIII – Interoperabilität und technische Standards.
  - Der Data Act legt Anforderungen zur technischen Interoperabilität fest, um die reibungslose Integration und den Austausch von Daten zwischen verschiedenen Plattformen und Systemen zu ermöglichen.
  - Dies betrifft insbesondere Anbieter von Cloud-Diensten, IoT-Plattformen und anderen digitalen Infrastrukturen.

### *Betroffene Akteure und Verantwortlichkeiten*

- Dateninhaber (Data Holder): natürliche oder juristische Personen, die die Kontrolle über Daten haben. Sie müssen Daten in interoperablen Formaten bereitstellen (z. B. ISO 1543-3 [6]) und zugleich Datenschutz und Sicherheit gewährleisten (z. B. OAuth 2.0).
- Datennutzer (Data User): Personen oder Organisationen, die auf Daten zugreifen dürfen (z. B. Eigentümer einer Maschine oder Nutzer eines Services). Sie sind verpflichtet, die Daten sorgsam zu verwenden und ggf. vereinbarte Entgelte zu entrichten.

- Datenempfänger (Data Recipient): Dritte, die mit Zustimmung oder auf Grundlage gesetzlicher Verpflichtung Daten erhalten. Sie müssen die Nutzungsbedingungen respektieren und verantwortungsvoll mit den Daten umgehen.

### 3.3 Praxisbezug: Datenrechte im Baukontext

Während die DSGVO den Schutz personenbezogener Daten sicherstellt und insbesondere dann greift, wenn maschinell erzeugte Informationen Rückschlüsse auf natürliche Personen zulassen (z. B. Standortdaten von Bedienpersonal oder Zuordnungen zu Nutzerkonten), richtet sich der Data Act auf die Nutzung und den fairen Zugang zu nicht-personenbezogenen, industriellen Daten. Daher ist der Data Act im Kontext von SiteRoute besonders relevant, da er primär den Zugang und die Nutzung von IoT-Daten und Maschinendaten regelt. Gerade in der Bauwirtschaft, wo große Mengen an Betriebs- und Sensordaten täglich entstehen, schafft er einen verbindlichen Rahmen für einen fairen und offenen Austausch. Für das Projekt SiteRoute liefert der Data Act damit nicht nur rechtliche Orientierung, sondern setzt zugleich wesentliche Impulse zur Digitalisierung und Effizienzsteigerung datengetriebener Prozesse.

Ein wesentlicher Aspekt liegt auf industriellen Daten und IoT-Systemen. Der Data Act definiert klare Regeln, wie Maschinendaten oder Sensordaten genutzt und geteilt werden dürfen. Gleichzeitig verpflichtet er Datenverarbeiter wie Cloud-Dienstleister, angemessene Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen, z. B. durch Verschlüsselung, Zertifizierungen oder regelmäßige Audits. Für den Baustellenbetrieb bedeutet das, dass Betriebsdaten von Maschinen wie Position, Laufzeiten oder Energieverbrauch Bauunternehmen und ihren Partnern transparent und rechtssicher zur Verfügung stehen. Damit lässt sich eindeutig festlegen, wer auf welche Daten zugreifen darf und wie weit Hersteller oder Drittanbieter dabei eingebunden werden.

Darüber hinaus stärkt der Data Act den fairen Datenzugang und wirkt Monopolstrukturen entgegen. Dateninhaber sind verpflichtet, den Zugang zu Maschinendaten fair, transparent und diskriminierungsfrei zu gestalten. Gerade für kleine und mittlere Unternehmen bedeutet das einen entscheidenden Vorteil, da ihnen der Zugriff auf relevante Informationen nicht länger durch hohe Kosten oder restriktive Vertragsbedingungen erschwert werden darf. Dies trägt dazu bei, Wettbewerbsnachteile auszugleichen und Innovationen im Bauprozess zu fördern. Ein Bauunternehmen kann so beispielsweise Maschinendaten nutzen, um Wartungszyklen zu optimieren, ohne von einem einzelnen Hersteller abhängig zu sein.

Ein weiterer Kernpunkt betrifft die Interoperabilität. Anbieter digitaler Plattformen müssen gewährleisten, dass Daten problemlos zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden können. Die geplante Architektur zielt auf einen offenen, herstellerneutralen Datenfluss, bei dem Bauunternehmen, Softwareanbieter und Maschinenhersteller gleichermaßen profitieren. Der Data Act liefert somit die regulatorische Grundlage, um diese Interoperabilität auch rechtlich und vertraglich abzusichern.

#### Anwendungsfall im SiteRoute-Kontext

Ein besonders praxisnahes Beispiel für die Relevanz des Data Acts im Kontext von SiteRoute ist die Nutzung von Telemetriedaten von Baumaschinen. Maschinenhersteller als Dateninhaber erfassen über ihre Plattformen kontinuierlich Betriebsdaten wie Standort, Laufzeiten oder Kraftstoffverbrauch. Diese Informationen stellen den Kern der Daten dar, die im Rahmen des Data Acts geregelt und über eine neutrale Plattform wie SiteRoute bereitgestellt werden könnten.

Die primären Datennutzer sind Bauunternehmen, die auf diese Informationen angewiesen sind, um Bauprojekte effizient und transparent zu steuern. Innerhalb der Unternehmen greifen verschiedene Rollen auf dieselben Daten zu: Bauleiter nutzen die Standortinformationen, um den aktuellen Einsatzort von Maschinen zu überwachen und so eine optimale Verteilung der Geräte auf der Baustelle sicherzustellen. Projektmanager wiederum analysieren die Betriebsstunden und Auslastungsgrade, um eine fundierte Planung und Steuerung der Ressourcennutzung vorzunehmen. Dokumentationsbeauftragte und Softwareanbieter als Datenempfänger binden die Daten schließlich in digitale Systeme ein, um Compliance-Nachweise, Berichte oder Optimierungsanalysen zu erstellen.

Die Einsatzmöglichkeiten dieser Maschinendaten sind vielfältig. Zum einen dienen sie der Einsatzkontrolle, indem Bewegungen und Standzeiten der Maschinen auf der Baustelle nachvollzogen werden können. Auf dieser Grundlage lassen sich Ineffizienzen erkennen und beseitigen, beispielsweise durch die Reduktion unnötiger Leerlaufzeiten. Zum anderen tragen die Daten zur Effizienzsteigerung bei, da sie eine präzisere Planung der Maschinenauslastung ermöglichen. Auch Nachhaltigkeitsziele werden unterstützt: Die Erfassung von Kraftstoffverbrauch und Laufzeiten erlaubt die gezielte Reduktion von Emissionen und unterstützt damit die Umweltfreundlichkeit und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von Bauprojekten. Darüber hinaus bieten die Daten eine solide Grundlage für die Wartungsplanung. Durch die Analyse von Betriebsstunden können vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden. Auch für die Sicherheitsdokumentation sind die Daten relevant, da sie den Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften, z. B. im Hinblick auf Arbeits- oder Umweltschutz, ermöglichen. Schließlich leisten die Informationen auch einen wichtigen Beitrag zur Baudokumentation insgesamt, indem sie in Controlling-Prozesse wie ERP-Systeme, digitale Bautagebücher und Abschlussberichte integriert werden.

Dieses Beispiel verdeutlicht, wie Maschinendaten nicht nur technische Informationen darstellen, sondern zu einem strategischen Steuerungsinstrument für Bauunternehmen werden. Der Data Act sorgt in diesem Zusammenhang dafür, dass der Zugang zu diesen Daten fair geregelt ist und nicht allein in der Kontrolle der Maschinenhersteller liegt. SiteRoute kann dabei die Rolle übernehmen, den Datenfluss zwischen Herstellern, Bauunternehmen, Softwareanbietern und weiteren Empfängern zu koordinieren und sicherzustellen, dass alle Beteiligten gleichermaßen profitieren.

Abbildung 7 zeigt exemplarisch den Datenfluss im Rahmen des Data Act und verdeutlicht die Rollen und Verantwortlichkeiten zwischen Dateninhabern, Nutzern und Empfängern.

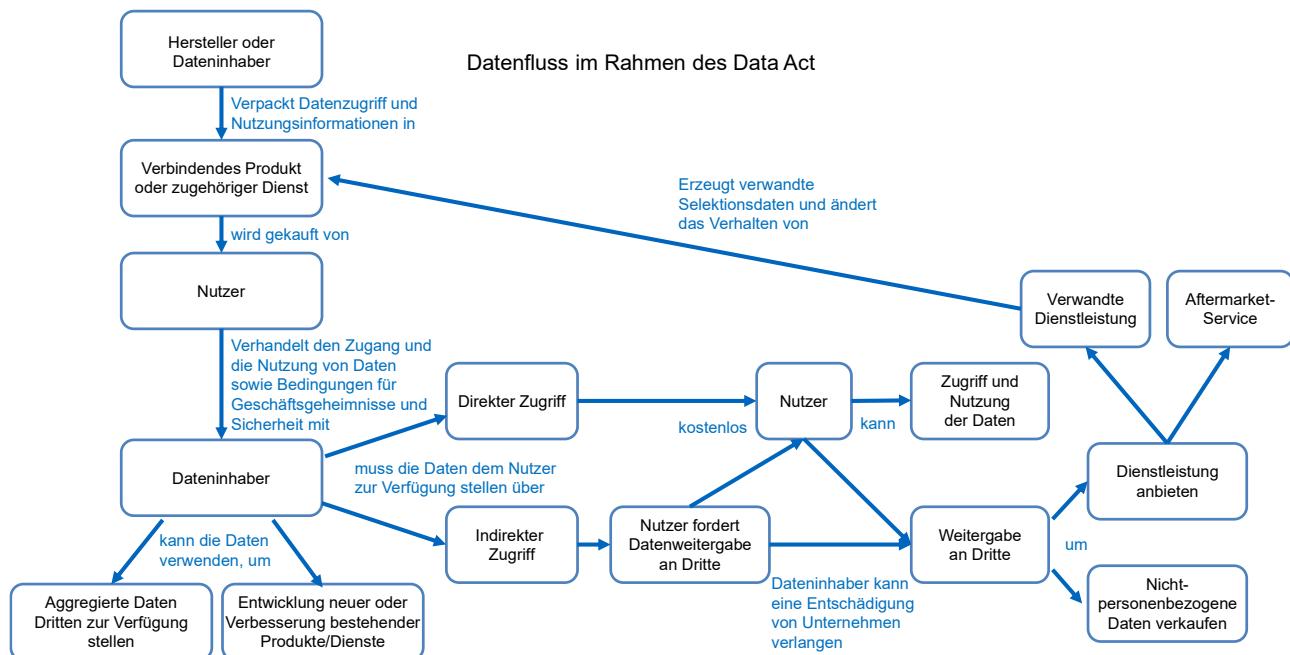


Abbildung 7: Datenfluss im Rahmen des Data Act [23]

Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass der Data Act erst ab September 2025 anwendbar sein wird und seine praktische Umsetzung in den einzelnen Branchen wie auch in der Bauwirtschaft noch konkretisiert werden muss. Für SiteRoute bedeutet dies, dass die entwickelten Nutzungskonzepte frühzeitig auf die Anforderungen des Data Acts ausgerichtet sind, die endgültige Ausgestaltung jedoch in enger Abstimmung mit Praxispartnern und zukünftigen Regulierungen erfolgen muss.

### 3.4 Einbindung in die Baupraxis

Ein zentrales Element bei der Entwicklung eines praxisgerechten Nutzungskonzepts für die Datentreuhändler ist die enge Anbindung an die Baupraxis. Zu diesem Zweck wurde ein begleitender Workshop durchgeführt, dessen Ziel es war, die Anforderungen und Bedarfe der beteiligten Bauunternehmen, Softwareanbieter und weiterer Stakeholder systematisch zu erfassen. Der Workshop am 27. März 2025 im Rahmen des PAs, darunter 26 Befragte aus unterschiedlichen Unternehmens- und Organisationsformen (u. a. Bauunternehmen, Softwareanbieter, Maschinenhersteller, Verbände und Forschungseinrichtungen), diente nicht nur der Sammlung qualitativer Einschätzungen, sondern lieferte auch eine quantitative Grundlage in Form einer statistischen Auswertung. Diese Ergebnisse bieten ein repräsentatives Bild der aktuellen Bedarfe und Hürden bei der Umsetzung des Data Act in der Bauwirtschaft und sind im Anhang A.2 dokumentiert.

Die Zielsetzung des Workshops war mehrschichtig:

- Schaffung eines grundlegenden Verständnisses für die rechtlichen Rahmenbedingungen zum Datenzugriff und Datenschutz,
- Klärung von Rollen und Verantwortlichkeiten beim Datenaustausch – sowohl aus rechtlicher als auch aus organisatorischer Sicht,
- sowie die Einführung und Diskussion der Schlüsselkonzepte des Data Acts sowie DSGVO im Kontext von SiteRoutes, insbesondere der Rechte von Dateninhabern und Datennutzern.

## 1. Data Act im Bau: Identifizierte Herausforderungen

Die Ergebnisse (s. Abbildung A.2.3) verdeutlichen drei zentrale Problemfelder:

### 1. Komplexe Datenverträge und Verhandlungsprozesse

Mit 18 Nennungen (69 % der Befragten) stellt dieses Thema die größte Herausforderung dar. Vor allem die Vielzahl beteiligter Akteure und die fehlende Standardisierung führen zu langwierigen und aufwendigen Vertragsgestaltungen. Für Unternehmen bedeutet dies nicht nur hohen administrativen Aufwand, sondern auch erhebliche rechtliche Unsicherheiten.

### 2. Technische Hürden (z. B. Schnittstellen, Formate)

15 Nennungen (58 %) zeigen, dass insbesondere die mangelnde Interoperabilität zwischen bestehenden Plattformen und proprietären Datenformaten als wesentliches Hindernis wahrgenommen wird. Diese technischen Barrieren erschweren einen reibungslosen Datenaustausch.

### 3. Schwierigkeiten bei der Verifizierung von Datenanfragen

Zehn Teilnehmer (38 %) hoben hervor, dass die rechtssichere Prüfung und Nachvollziehbarkeit von Datenzugriffsanfragen (z. B. Berechtigungskontrolle, Identitätsprüfung) problematisch sind. Besonders kleinere Unternehmen verfügen häufig nicht über die dafür notwendigen zur Einhaltung rechtlicher und organisatorischer Vorgaben.

Insgesamt zeigt sich damit, dass sowohl rechtlich-organisatorische als auch technische und prozessuale Hürden gleichermaßen bestehen, wobei die Komplexität der Vertragsbeziehungen als Haupthemmnis gesehen wird.

## 2. Data Act Umsetzung: Gewünschte Unterstützung

Neben den Herausforderungen wurden auch konkrete Erwartungen an Behörden, Branchenverbände und Plattformanbieter formuliert. Zwei Unterstützungsformen stehen klar im Vordergrund (s. Abbildung A.2.6):

### 1. Informationsmaterialien und Leitfäden zur praktischen Umsetzung

Dieser Unterstützungsbedarf wurde als wichtigster Faktor (Rang 1) bewertet. Praxisnahe Anleitungen, Checklisten und standardisierte Vertragsmuster gelten als unverzichtbar, um Unsicherheiten bei der Anwendung des Data Acts zu verringern.

### 2. Plattformen zur Unterstützung der Zusammenarbeit mit anderen Bauunternehmen und Dienstleistern

Auf Rang 2 steht der Wunsch nach Kooperationsplattformen, die Datenaustausch vereinfachen und standardisieren. Damit wird deutlich, dass die Branche eine stärkere institutionelle und technische Unterstützung benötigt, um überbetriebliche Prozesse rechtssicher und effizient gestalten zu können.

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse erkennen, dass die erfolgreiche Umsetzung des Data Act weniger an fehlender Akzeptanz, sondern vielmehr an praktischen Umsetzungsproblemen scheitert. Unternehmen erwarten daher klare Orientierungshilfen und unterstützende Strukturen, die rechtliche und technische Fragen gleichermaßen adressieren.

Der Workshop bildete damit eine wichtige Brücke zwischen regulatorischem Rahmen und praktischen Anforderungen der Bauwirtschaft. Für den Projekt bedeutet dies, dass keine eigenständige rechtliche Vertragsgestaltung entwickelt wird. Stattdessen wird auf bestehende Musterverträge, wie sie beispielsweise im Kontext des agrirouter von der DKE-Data GmbH & Co. KG erprobt und etabliert wurden. Diese können

als praxisnahe Vorlagen dienen, um den Nutzern von SiteRoute klare und akzeptierte Rahmenbedingungen bereitzustellen. Eine vertiefende Diskussion zur Eignung und möglichen Anpassung solcher Musterverträge erfolgt in Kapitel 6.

## 4 Aufbau und Evaluierung der Informationslogistik in der Baupraxis

Um die im Projekt entwickelte Systemarchitektur im Kapitel 2 praxisnah zu erproben, wird im Folgenden im Rahmen von AP4 eine Webanwendung als Demonstrator umgesetzt. Dieser Demonstrator umfasst die in den vorherigen AP1 und AP2 entworfenen Konzepte für die modulare Datenlogik, die Interoperabilität über agrirouter sowie die sichere Rollen- und Benutzerverwaltung.

Das Ziel ist dabei die funktionale Erprobung wesentlicher Kernbausteine:

- Verwaltung von Benutzern und Endpunkten,
- Steuerung von Datenflüssen über agrirouter,
- sichere Handhabung von Authentifizierungs- und Zugriffskontrollen,
- sowie die Umsetzung von automatisierten Datenpipelines zu ausgewählten Anwendungen.

Die Webanwendung ermöglicht die Evaluation von SiteRoute: Sie zeigt die praktische Umsetzung und bietet gleichzeitig eine Grundlage für Workshops, Testszenarien und Feedbackrunden mit Praxispartnern. Im Folgenden wird die Grundstruktur der Anwendung erläutert, die sich aus Frontend-, Backend- und Datenbankkomponenten zusammensetzt und durch funktionale Module ergänzt wird.

### 4.1 Implementierung als Webanwendung

#### 4.1.1 Struktur der Webanwendung

Das folgende Diagramm zeigt die grundlegende Struktur der Webanwendung:

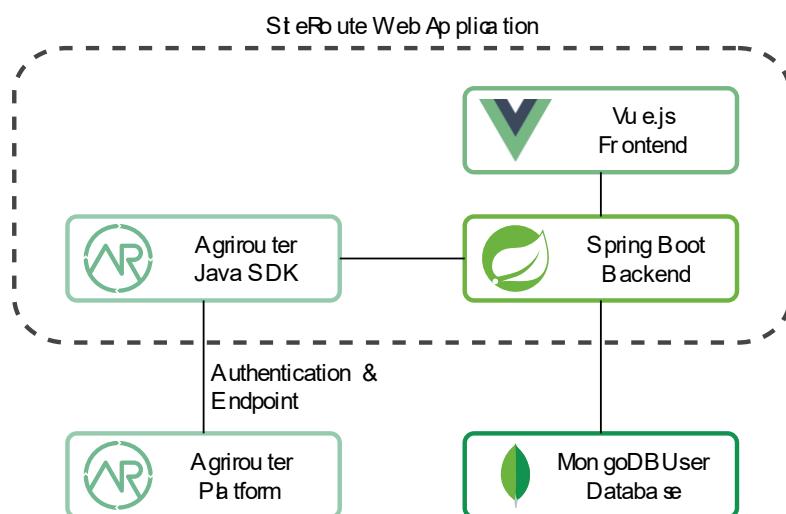


Abbildung 8: High-Level-Diagramm der Architektur von SiteRoute

Die Implementierung der Anwendung erfolgt mit modernen Open-Source-Technologien. Das Frontend basiert auf Vue.js unter Verwendung von JavaScript, während das Backend mit Spring Boot in Java entwickelt ist. Für die Datenhaltung kommt MongoDB als dokumentenorientierte Datenbank zum Einsatz. Der gesamte Technologie-Stack ist cloudfähig ausgelegt und ermöglicht eine modulare Erweiterung der Anwendung.

Die Architektur der SiteRoute-Anwendung besteht aus drei Kernschichten:

#### **Frontend (Vue.js) Schicht:**

Die Benutzeroberfläche der Anwendung ermöglicht es den Benutzern, Konten zu erstellen, agrirouter-Endpunkte zu verwalten und Dateien über agrirouter auszutauschen. Zu den Funktionen des Frontends gehören das Erstellen und Löschen von Endpunkten, die Konfiguration von Fähigkeiten (z. B. unterstützte Nachrichtentypen ISO 15143-3 [6]) und die Ausführung einer manuellen und automatisierten Pipeline.

#### **Backend (Spring Boot) Schicht:**

Das Backend dient der Handhabung von Datenlogiken, Authentifizierung und Datenrouting, um einen reibungslosen Datenfluss zwischen den Parteien über die agrirouter-Plattform zu gewährleisten.

#### **Datenbank (MongoDB) Schicht:**

Die Datenbankschicht wird für die Speicherung von Benutzeranmeldeinformationen, Endpunktkonfigurationen und Routing-Metadaten verwendet. Die dynamische Schemaunterstützung ermöglicht die Einführung neuer Datenstrukturen, ohne die bestehenden Datensätze zu beeinträchtigen. Die einzelnen Datenpakete, die durch SiteRoute fließen, werden absichtlich nicht in der Datenbank gespeichert. Damit bleibt die Datenhoheit vollständig bei den jeweiligen Akteuren, was insbesondere im Sinne der DSGVO und des Data Acts erforderlich ist.

#### *Funktionale Module*

SiteRoute besteht aus mehreren Funktionsmodulen, die innerhalb der Backend-Schicht (Spring Boot) implementiert sind. Sie bilden den logischen Kern der Anwendung und steuern Authentifizierung, Datenrouting, Schnittstellenkommunikation und Prozessautomatisierung. Das Frontend (Vue.js) kommuniziert mit diesen Modulen über standardisierte REST-API (Representational State Transfer), während persistente Konfigurations- und Benutzerdaten in der MongoDB-Datenbank abgelegt werden. Die zentralen Module sind:

#### **AgrirouterService**

Die Klasse AgrirouterService bietet die Kernfunktionalität für das Onboarding von Benutzern mit der agrirouter-Plattform. Das Modul ist eine Eigenentwicklung im Rahmen von SiteRoute, die auf der agrirouter-SDK basiert. Es generiert zunächst eine Autorisierungs-URL, über die sich ein Benutzer mit seinem agrirouter-Konto verbindet und den Zugriff für SiteRoute freigibt. Anschließend führt das Modul den Onboarding-Prozess aus, bei dem agrirouter einen eindeutigen Kommunikationsschlüssel (Onboarding-Antwort) an SiteRoute übermittelt. Diese Antwort enthält unter anderem die Registrierungsinformationen, die für die gesicherte Kommunikation mit der Plattform notwendig sind. Der Service übernimmt zudem die sichere Verwaltung der Zugriffstoken, um einen kontinuierlichen Datenaustausch zu gewährleisten, und speichert die Onboarding-Details (z. B. Endpoint-ID, Capability-Informationen) in der Datenbank.

#### **DataFetcherService**

Die Klasse DataFetcherService dient dazu, Daten von einem externen Server abzurufen und zu verarbeiten. Im Anwendungsbereich von SiteRoute entspricht dieser Remote-Server den Servern des Herstellers und agrirouter. Sie wickelt den gesamten Ablauf der Beschaffung eines OAuth2-Zugriffstokens, die Durchführung einer GET-Anfrage mit diesem Token, die Handhabung möglicher Weiterleitungen und die Formatierung der JSON-Antwort des Servers in ein lesbaren Format ab.

## EndpointService

Der EndpointService ist zentral für die Verwaltung der Datenaustauschkanäle von SiteRoute, die als Endpunkte bezeichnet werden. Diese Endpunkte dienen als dedizierte Verbindungen für den strukturierten Datentransfer zwischen SiteRoute-Nutzern und dem agrirouter-System. Der EndpointService bietet mehrere wesentliche Funktionen, einschließlich Capability Management, Message Handling, Endpoint Listing und Datenabruf, die alle darauf ausgelegt sind, einen sicheren Datentransfer über eine intuitive Schnittstelle zu ermöglichen.

Eine wichtige Funktion des EndpointService ist die Einstellung und Anzeige von Endpunkt-Fähigkeiten. Fähigkeiten definieren, welche Arten von Nachrichten ein Endpunkt senden oder empfangen kann, und stellen sicher, dass jeder Endpunkt nur die relevanten Datentypen und -formate verarbeitet. Benutzer können Fähigkeiten (Capabilities) entsprechend ihren spezifischen Datenanforderungen festlegen, z. B. nur Bild- oder Dokumentdateien zulassen, und diese Einstellungen über Get-Methoden einfach anzeigen, was eine effiziente Kontrolle des Datenaustauschs ermöglicht.

Zusätzlich zum Fähigkeiten-Management unterstützt der EndpointService das Auflisten und Abrufen von Endpunkten. Er bietet sowohl Standard- als auch gefilterte Optionen, die es dem Benutzer ermöglichen, alle Endpunkte oder nur diejenigen anzuzeigen, die für die gegenseitige Kommunikation mit dem ausgewählten SiteRoute Endpunkt konfiguriert sind. Diese Filterfunktion vereinfacht die Auswahl der Endpunkte und stellt sicher, dass die Benutzer schnell kompatible Kommunikationskanäle identifizieren können, was den Datenfluss rationalisiert und die Benutzererfahrung verbessert.

Der EndpointService übernimmt auch die Nachrichtenverarbeitung und ermöglicht es den Endpunkten, Daten über das agrirouter-System zu senden und zu empfangen. Eingehende Nachrichten werden aus Endpunkt-Warteschlangen abgerufen, und der Dienst ermöglicht die Bestätigung jeder verarbeiteten Nachricht, indem er den Empfang an agrirouter zurückmeldet. Dieser Bestätigungsprozess verhindert die Duplikierung von Nachrichten und gewährleistet die Datenkonsistenz und Zuverlässigkeit der Kommunikation.

Durch diese Kernfunktionen, die das Einstellen und Anzeigen von Fähigkeiten, das Auflisten von Endpunkten und das Verwalten von sicherem Datentransfer umfassen, ermöglicht der EndpointService den Benutzern einen zuverlässigen und sicheren Datenaustausch über eine einfach zu navigierende Schnittstelle. Jede Methode innerhalb des Dienstes wurde entwickelt, um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern und die Datenverwaltung für SiteRoute-Benutzer einfach und effizient zu gestalten.

## UserService

Die Klasse UserService dient der Verwaltung von Benutzerkonten in der Anwendung, indem sie Methoden zur Registrierung, Anmeldung und Authentifizierung bereitstellt. Sie stellt sicher, dass die Benutzerdaten sicher gespeichert werden und dass die Benutzer authentifiziert und für den Zugriff auf bestimmte Teile der Anwendung autorisiert werden können (s. Abbildung 9).

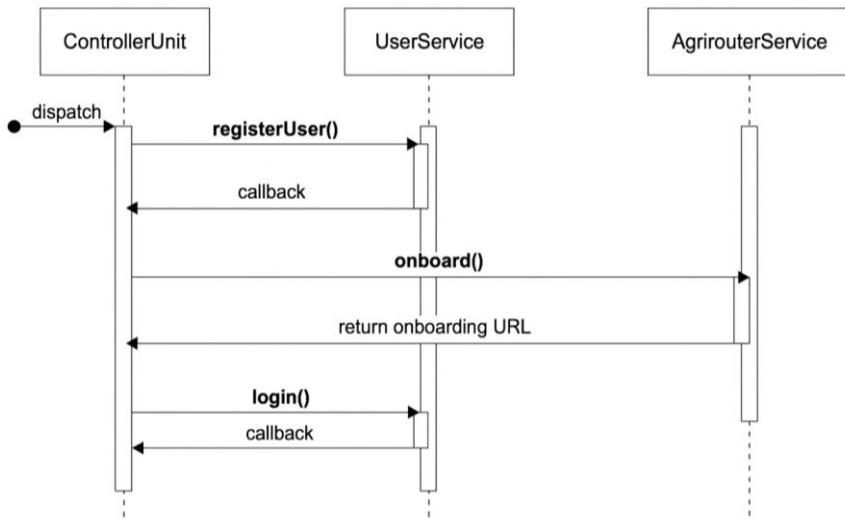


Abbildung 9: Sequenzdiagramm, das die Interaktion von UserService und AgrirouterService im SiteRoute-Endpunkt-Erstellungsprozess zeigt

### PipeLineService

Der PipelineService ist ein zentraler Bestandteil und steuert die automatisierten Abläufe der Datenübertragung zwischen Datenquellen, dem agrirouter als Kommunikationsplattform und den angebundenen Zielsystemen. Er dient als übergeordnete Steuereinheit, die die Kommunikation zwischen den einzelnen Backend-Modulen koordiniert und einen kontinuierlichen Informationsfluss sicherstellt. Das interne Zusammenspiel zwischen EndpointService, OAuth2TokenFetcher und DataFetcherService zeigt einen Ausschnitt dieses Prozesses (s. Abbildung 10). Diese Sequenz bildet den technischen Kern der Datenanforderung, bevor die Informationen über den agrirouter an externe Zielsysteme übergeben werden.

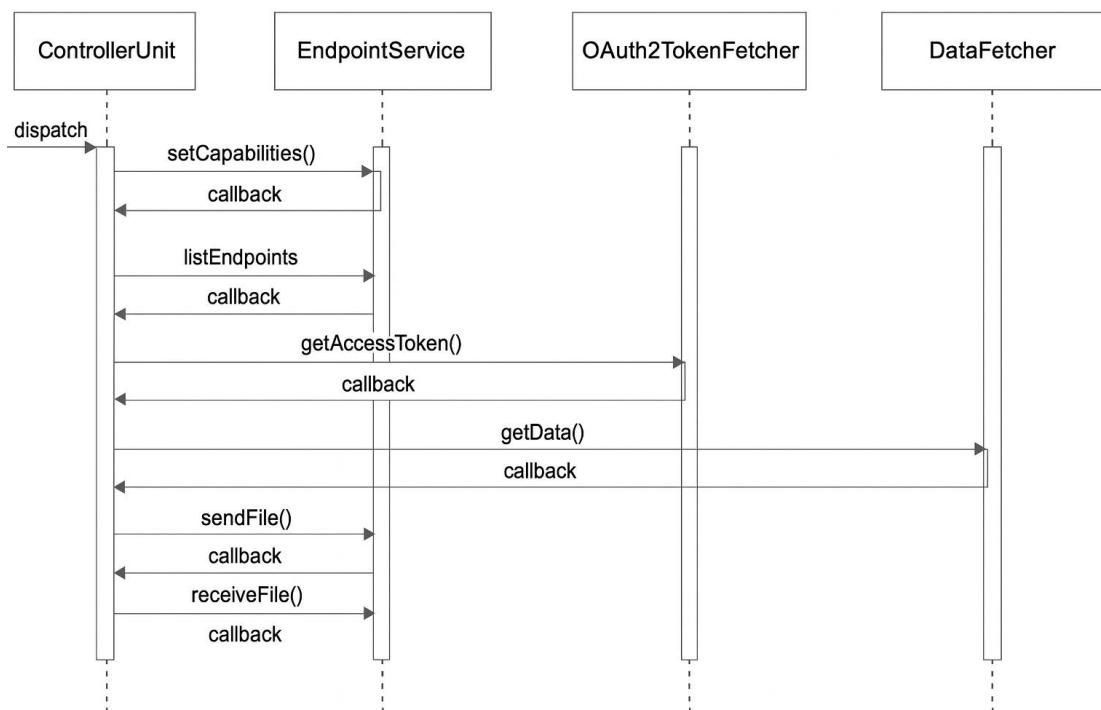


Abbildung 10: Sequenzdiagramm, das das Zusammenspiel von EndpointService, OAuth2TokenFetcher und DataFetcherService in einem Szenario der Herstellerdatenübertragung zeigt.

Der Ablauf beginnt mit der ControllerUnit, die als zentrale Steuerschnittstelle fungiert. Sie empfängt Benutzerbefehle aus dem Frontend und löst anschließend den internen Prozess im Backend aus. Daraufhin ruft die ControllerUnit den EndpointService auf, um verfügbare Endpunkte (listEndpoints) und deren Fähigkeiten (setCapabilities()) zu bestimmen. Der EndpointService fordert anschließend über den OAuth2TokenFetcher ein gültiges Zugriffstoken an (getAccessToken()), das zur Authentifizierung gegenüber externen Datenquellen benötigt wird. Mit diesem Token ruft der EndpointService den DataFetcherService auf, der die relevanten Daten von der jeweiligen Quelle (z. B. einer Herstellerplattform oder Telemetrie-API) abholt (getData()). Nach erfolgreichem Abruf werden die Daten über Callbacks an den EndpointService zurückgegeben, von dort weiterverarbeitet und im Gesamtsystem über den agrirouter an die konfigurierten Zielsysteme weitergeleitet (sendFile() und receiveFile()).

Neben der eigentlichen Datenübertragung verfügt der Service über Mechanismen zur Ablaufsteuerung. Er kann gestartet, gestoppt oder in bestimmten Abständen neu ausgeführt werden und verwaltet dabei Statusinformationen wie den Zeitpunkt des letzten Laufs, den aktuellen Betriebszustand oder die verbleibende Zeit bis zur nächsten Ausführung. Über eine Debug-Funktion lassen sich zudem Informationen zum laufenden Prozess transparent anzeigen, was die Überwachung und Fehlersuche erleichtert. Durch die Kombination aus automatischer Planung, klarer Fehlerbehandlung und gezielter Weiterleitung von Daten sorgt der PipelineService für einen robusten und kontinuierlichen Datenfluss, der ohne manuelles Eingreifen zuverlässig abläuft, aber gleichzeitig jederzeit kontrolliert oder unterbrochen werden kann.

#### 4.1.2 Integration der Plattform

In diesem Abschnitt werden die im Projekt umgesetzten Webanwendungen und Schnittstellenintegrationen beschrieben. Der Demonstrator umfasst dabei die Einbindung des agrirouter als zentrale Kommunikationsplattform, die Integration eines lokalen Traccar-Servers zur Visualisierung von Telemetriedaten sowie die Anbindung an die Max Bögl Plattform. Weitere Systeme wie Bauer oder Google Sheets dienten ergänzend der demonstrativen Darstellung des Datenflusses, ohne hier im Detail beschrieben zu werden.

##### agrirouter-Integration

Für die demonstratorische Umsetzung von SiteRoute wurde der agrirouter als zentrale Integrationsschicht eingesetzt. Dabei greift das Projekt auf eine bereits etablierte Plattform zurück, deren Architektur in Abschnitt 1.4.2 erläutert wurde. Während dort die allgemeinen Prinzipien von Endpunkten, Routen und Standardisierung beschrieben sind, liegt der Schwerpunkt im AP4 auf der konkreten Einbettung in den SiteRoute-Demonstrator.

Die Integration umfasst insbesondere folgende Aspekte:

- **Endpunkt-Anbindung:** SiteRoute richtet für jede beteiligte Anwendung oder Maschine eigene Endpunkte innerhalb des agrirouter ein. Dadurch können sowohl Telemetriedaten über bestehende APIs (z. B. Bauer oder Synotec) als auch Zielsysteme wie Traccar oder Google Sheets direkt über agrirouter verbunden werden.
- **Routenkonfiguration:** Die Datenflüsse werden im Demonstrator exemplarisch so gesteuert, dass Telemetriedaten aus Baumaschinen automatisiert an ausgewählte Partneranwendungen (z. B. von Bauer Maschinen zu Max Bögl Plattform) weitergeleitet werden. Dies demonstriert, wie SiteRoute herstellerübergreifende Datenpipelines aufbauen und administrieren kann.

- Unterstützung verschiedener Datenformate: Neben branchenspezifischen Standards wie der ISO 15143-3 [6] zeigt die demonstratorische Umsetzung auch, dass allgemeine Formate (z. B. PDF, JPEG) über agrirouter übertragen werden können (s. Abbildung 4). Damit wird verdeutlicht, dass SiteRoute nicht nur maschinenspezifische, sondern auch projektrelevante Datenströme integriert.
- Datensicherheit und Governance: Im Einklang mit den Prinzipien des agrirouters verbleibt die Verantwortung über die Daten beim Nutzer. SiteRoute übernimmt lediglich die Steuerung der Flüsse, speichert jedoch keine Rohdaten dauerhaft.

Die Webanwendung von SiteRoute fungiert als Benutzeroberfläche für das Onboarding und die Steuerung von agrirouter-Endpunkten, während das Backend die automatisierte Datenweiterleitung übernimmt (s. Abbildung 6). Damit wird die bestehende Infrastruktur des agrirouters gezielt auf die Anforderungen der Bauwirtschaft angewendet und erweitert.

### **Senden von Nachrichten an agrirouter**

Um Telemetriedaten oder andere Daten an agrirouter zu übertragen, verwendet SiteRoute das offizielle agrirouter SDK, um Nachrichten zu erstellen und zu senden. Dieser Prozess wird im Backend hauptsächlich über den DataFetcherService abgewickelt, insbesondere über die Methode fetchDataAndSendToAgrirouter. Nach dem Sammeln von Telemetriedaten von einem Datenanbieter wie Bauer oder Syniotec werden die Rohdaten mit dem EncodeMessageService von agrirouter base64-kodiert und verpackt. Der Nachrichtenkopf wird mit Routing-Informationen wie dem technischen Nachrichtentyp und der Endpunkt-ID des Empfängers konfiguriert.

Nach der Kodierung wird die Nachricht mit SendMessageServiceImpl übermittelt, dass die direkte Zustellung der Nachricht über die agrirouter-Infrastruktur übernimmt. Das System holt auch die resultierend Acknowledgment oder Fehlerantwort ab und dekodiert sie, um die erfolgreiche Übertragung zu überprüfen. Dies ermöglicht den Nutzern, von externen APIs gesammelte Daten direkt an die im agrirouter-Netzwerk registrierten Zielendpunkte weiterzuleiten, was einen Kern der SiteRoute-Funktionen darstellt.

### **Empfangen von agrirouter-Nachrichten**

agrirouter ermöglicht eine asynchrone Kommunikation zwischen Endpunkten, indem eingehende Nachrichten in einem bestimmten Posteingang gepuffert werden, falls die Empfängerendpunkte nicht online sind. SiteRoute-Benutzer können diese Nachrichten über Backend-Dienste abrufen, die die agrirouter-Nachrichtenwarteschlange abfragen. Dieser Vorgang nutzt die Mechanismen zum Abrufen und Dekodieren von Nachrichten des agrirouter SDK (s. Abbildung 11).

1: Send to agrirouter      2: Route through agrirouter      3: Call from agrirouter

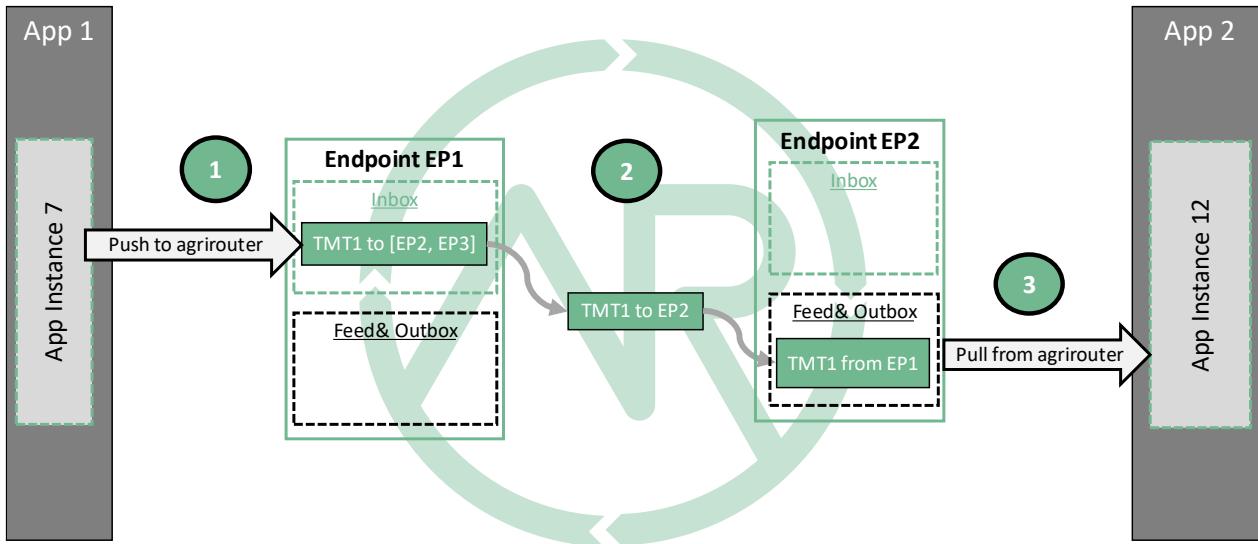


Abbildung 11: Ablauf einer Datenübertragung über den agrirouter [12]

Eingehende Nachrichten werden abgerufen, das den Nachrichtenpuffer des Endpunkts abfragt. Nach dem Empfang werden die Nachrichten an den DecodeMessageService übergeben, der die Nutzlast interpretiert und verwertbare Daten extrahiert. Die Nachrichten werden nach der Verarbeitung bestätigt, um Duplikate zu vermeiden. Dieses System unterstützt Offline-First-Workflows, bei denen Daten auch dann gesendet werden können, wenn die Verbindung zum Empfänger vorübergehend unterbrochen ist, und abgerufen werden können, sobald die Verbindung wiederhergestellt ist. Es stellt außerdem sicher, dass alle Nachrichtenübertragungen überprüfbar, strukturiert und protokolliert sind.

#### Integration mit Syniotec API

Die SiteRoute-Plattform ist mit der Telemetrie-API von Syniotec integriert, um aktuelle Maschinendaten in die Demonstrator-Pipeline einzubinden. Ziel ist die Übertragung von Betriebsdaten wie GPS-Position aus dem Syniotec CORE zunächst an das SiteRoute Backend, um diese anschließend über die agrirouter-Plattform an verbundene Zielsysteme weiterzuleiten (s. Abbildung 1/Abbildung 12).

Die Integration folgt einem zweistufigen Ablauf bestehend aus Authentifizierung und Datenabfrage. Die Authentifizierung erfolgt über die Syniotec Authentication API, die ein sogenanntes Bearer Access Token bereitstellt. Dieses Token wird über eine POST-Anfrage (POST Call) erzeugt, die Benutzername, Passwort und Client-ID enthält.

Nach erfolgreicher Authentifizierung ruft DataFetcherService über die Syniotec Fleet Snapshot API die aktuellen Telemetriedaten ab. Der Abruf erfolgt über eine GET-Anfrage (GET Call), die um Mechanismen zur Fehlerbehandlung, Protokollierung und Umleitungssteuerung ergänzt ist. Die erhaltenen Antworten werden als JSON-String verarbeitet, aus dem die im ISO 15143-3-Standard definierten XML-Daten extrahiert werden. Im Anschluss werden die Daten direkt an die nachgelagerten Module innerhalb der Demonstrator-Pipeline weitergegeben.

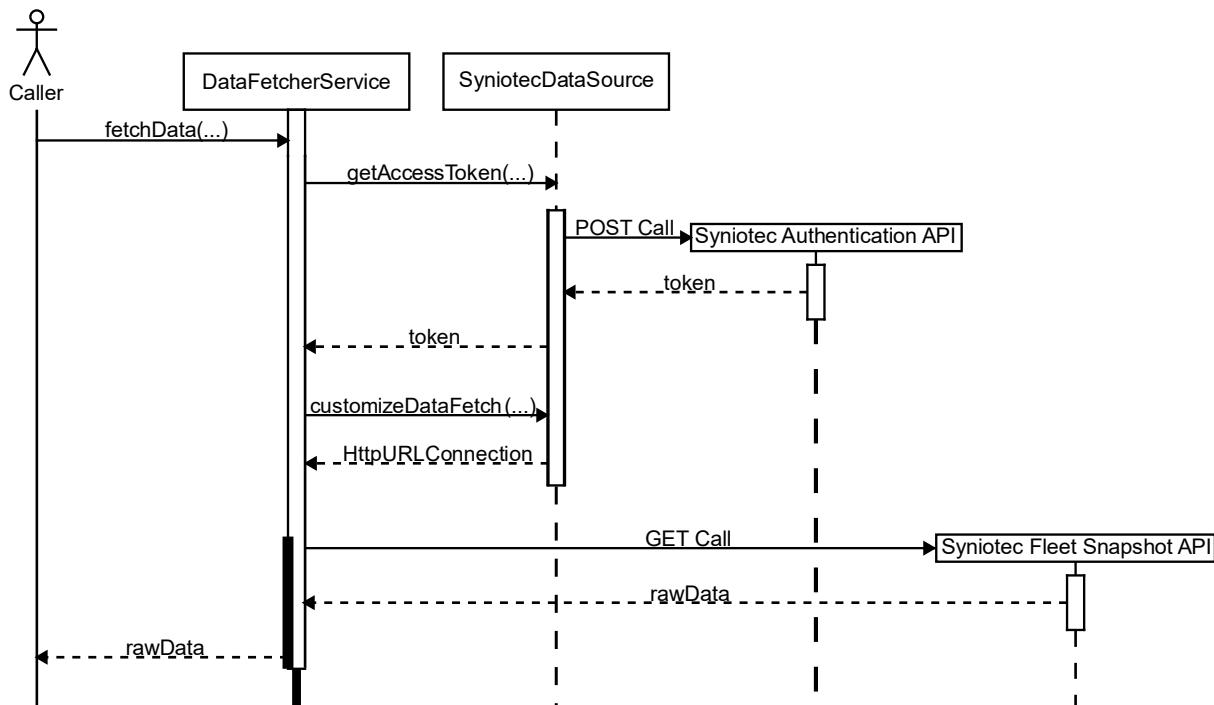


Abbildung 12: Ablauf der Datenabfrage von Maschinendaten über die Syniotec API und Weiterleitung an die Demonstrator-Pipeline

### Integration mit lokalem Traccar Server

Eine lokale Instanz des Traccar GPS Tracking Servers dient als Empfänger in der Demonstrator-Pipeline. Traccar ist ein Open-Source-System zur Speicherung und Visualisierung von Maschinen Telemetriedaten. Zwei Komponenten des Traccar-Servers sind für die Integration in SiteRoute relevant: (1) die Traccar REST-API und (2) der OsmAnd-HTTP-Eingabepunkt.

Die Hauptmethode `sendToTraccar` steuert den gesamten Prozess des Empfangs von Telemetrie-Rohdaten im ISO 15143-3 XML-Format und deren Übermittlung an Traccar (s. Abbildung 13). Zunächst wird über die REST-API geprüft, ob das Gerät bereits im Traccar-Backend registriert ist (`deviceExists`). Falls nicht, wird es automatisch über `createDevice` angelegt. Nach erfolgreicher Registrierung erstellt das System eine vollständige URL mit Standortparametern, ergänzt um optionale Telematikfelder wie `EngineRunning`. Anschließend sendet das Backend eine GET-Anfrage an den OsmAnd-Endpunkt. Bei einer erfolgreichen Antwort werden die Daten im Traccar-Dashboard angezeigt und als Positionsmarker visualisiert. So lässt sich der gesamte Datenfluss, z. B. von der Erfassung über Syniotec, die Weiterleitung über den agrirouter bis zur Anzeige in Traccar, nachvollziehen.

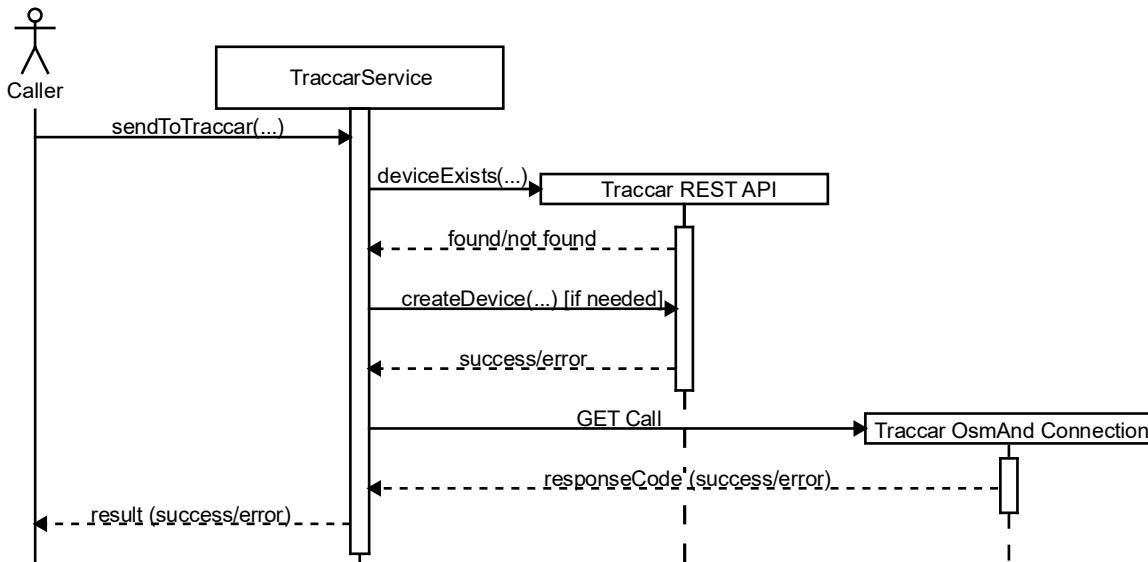


Abbildung 13: Datenfluss bei der Übertragung von Telemetriedaten an den lokalen Traccar-Server über REST-API und OsmAnd-Verbindung

### Integration mit Max Bögl API

Die SiteRoute-Plattform ist mit der Unternehmensplattform von Max Bögl integriert, um eine nahtlose Übertragung von Telemetriedaten aus der Demonstrator-Pipeline an das Backend von Max Bögl zu ermöglichen. Die Max Bögl Plattform verfügt über eine cloudbasierte IoT- und Datenmanagement-Infrastruktur, die bereits Maschinendaten aus verschiedenen Quellen verarbeitet. Dadurch eignet sie sich, um den Datenaustausch über SiteRoute-Demonstrator unter realen industriellen Bedingungen zu demonstrieren und die Übertragbarkeit des Konzepts in bestehende Unternehmenssysteme zu prüfen. Ziel ist, die Integration von Telemetriedaten wie GPS-Position und Motorstatus zur weiteren Visualisierung und Analyse in die Überwachungsinfrastruktur von Max Bögl zu übertragen (s. Abbildung 14).

Die Hauptfunktion `sendToMaxBoegl` wickelt den gesamten Workflow ab. Sie prüft zunächst, ob gültige Telemetriedaten im agrirouter vorhanden sind, konvertiert diese XML-Daten in ein Textformat und verpackt sie dann zusammen mit den Max Bögl-Anmeldedaten in einen JSON-Payload. Dieser Payload wird über eine POST-Anfrage an den Backend-API-Endpunkt von SiteRoute gesendet, der ihn anschließend nach Durchführung der erforderlichen Datentransformationen an die Messungen-API von Max Bögl weiterleitet.

Der Code enthält eine Fehlerbehandlung zur Bewältigung von Netzwerkproblemen oder API-Fehlern, gibt dem Benutzer Rückmeldung durch Erfolgs-/Fehlerbenachrichtigungen und schließt automatisch das Anmeldeeingabemodal, wenn die Eingabe abgeschlossen ist.

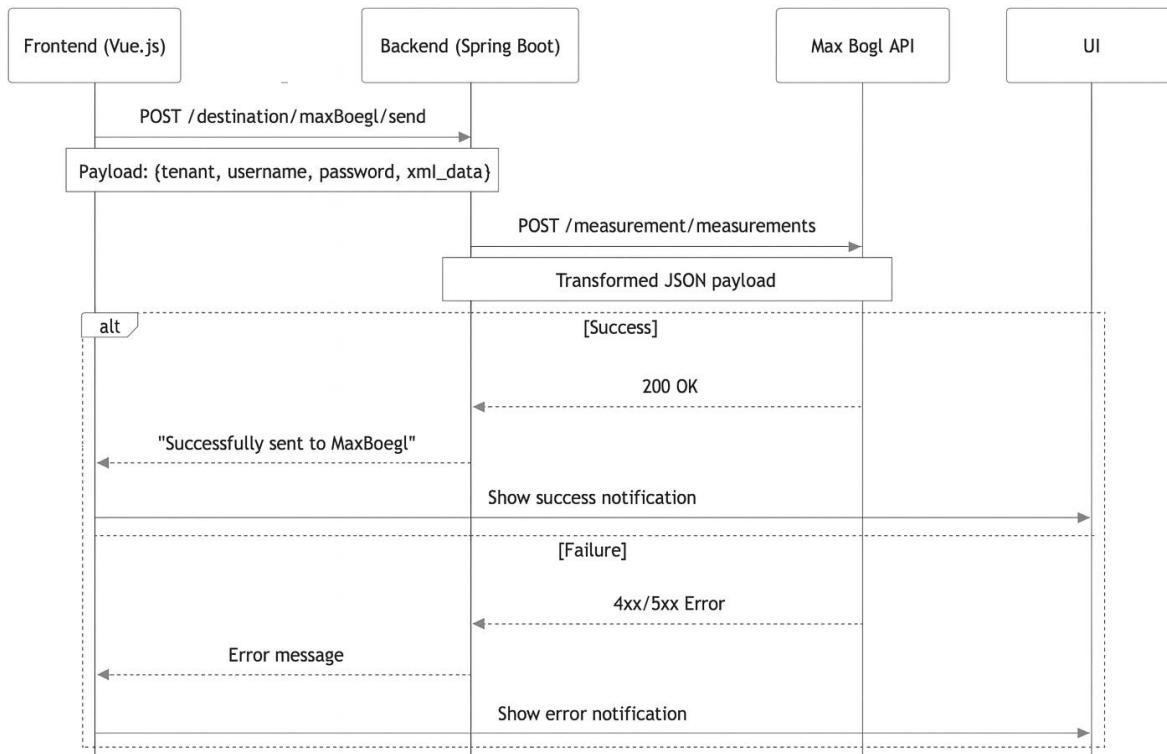


Abbildung 14: Datenfluss von Telemetriedaten über SiteRoute-Backend zur Max Bögl Messungen-API

#### 4.1.3 Datenfluss Automatisierung

Im Folgenden wird beschrieben, wie die in SiteRoute-Demonstrator implementierte automatisierte Datenpipeline den kontinuierlichen Transfer von Telemetriedaten zwischen verschiedenen Systemen ermöglicht. Ziel ist, den zuvor manuell gesteuerten Prozess der Datenübertragung zu vereinfachen und eine wiederholbare, robuste Ablaufstruktur zu schaffen, die ohne Benutzereingriff funktioniert.

#### Pipeline-Automatisierung

Da die Schritte zur Übertragung eines einzelnen Telemetrie-Datenpunkts aufwändig sind, ist eine weitere Automatisierung erforderlich. Der PipelineService vereinfacht diese Komplexität für den Benutzer. Diese Klasse ist für die Orchestrierung der automatischen Übertragung von Telemetriedaten durch die mehrstufige Pipeline verantwortlich.

#### Datenübertragungsobjekte (DTOs)

Wenn der Benutzer das Datenpaket durch die einzelnen Schritte der Pipeline schickt, wird jedes relevante DTO (Datentransferobjekt) gespeichert, dass alle relevanten Anfrageparameter und Nutzdaten kapselt, die während jeder Stufe des Prozesses verwendet werden (s. Abbildung 15). Die folgenden DTOs sind beteiligt:

- **DataFetcherDTO:** Speichert Anmeldeinformationen und die Konfiguration, die zum Abrufen von Telemetrie-Rohdaten von Drittanbieter-Plattformen verwendet werden. Dieses DTO enthält die Kennung der Datenquelle und die für die Authentifizierung erforderlichen Zugriffsparameter.
- **SendFileDTO:** Enthält Metadaten und Inhalte für die Übertragung von Telemetriedaten an agrirouter. Dieses DTO speichert die kodierten Daten sowie die Empfänger-Endpunkt-ID, die das vorgesehene Ziel innerhalb von agrirouter bestimmt.

- **ReceiveFileDTO:** Enthält Metadaten, die zum Abrufen von Telemetrie-Nachrichten von agrirouter erforderlich sind. Dieses DTO enthält die ID des empfangenden Endpunkts und wird an den EndpointService übergeben, um auf ausstehende Nachrichten zuzugreifen.
- **DestinationDTO:** Speichert die Parameter, die für die Weiterleitung der Daten an die endgültige Zielplattform, wie z. B. Traccar, erforderlich sind. Dazu gehören die entsprechenden API-Schlüssel und das Telemetrie-Datenpaket.

Jedes dieser DTOs wird durch spezielle Set-Methoden gespeichert und dann für wiederholte Pipeline-Ausführungen wiederverwendet.

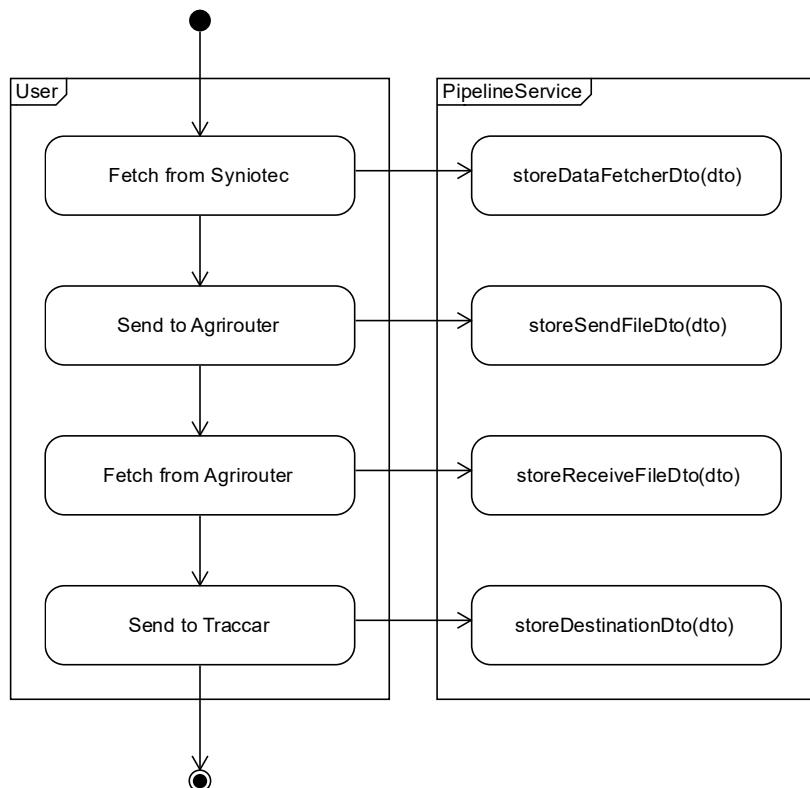
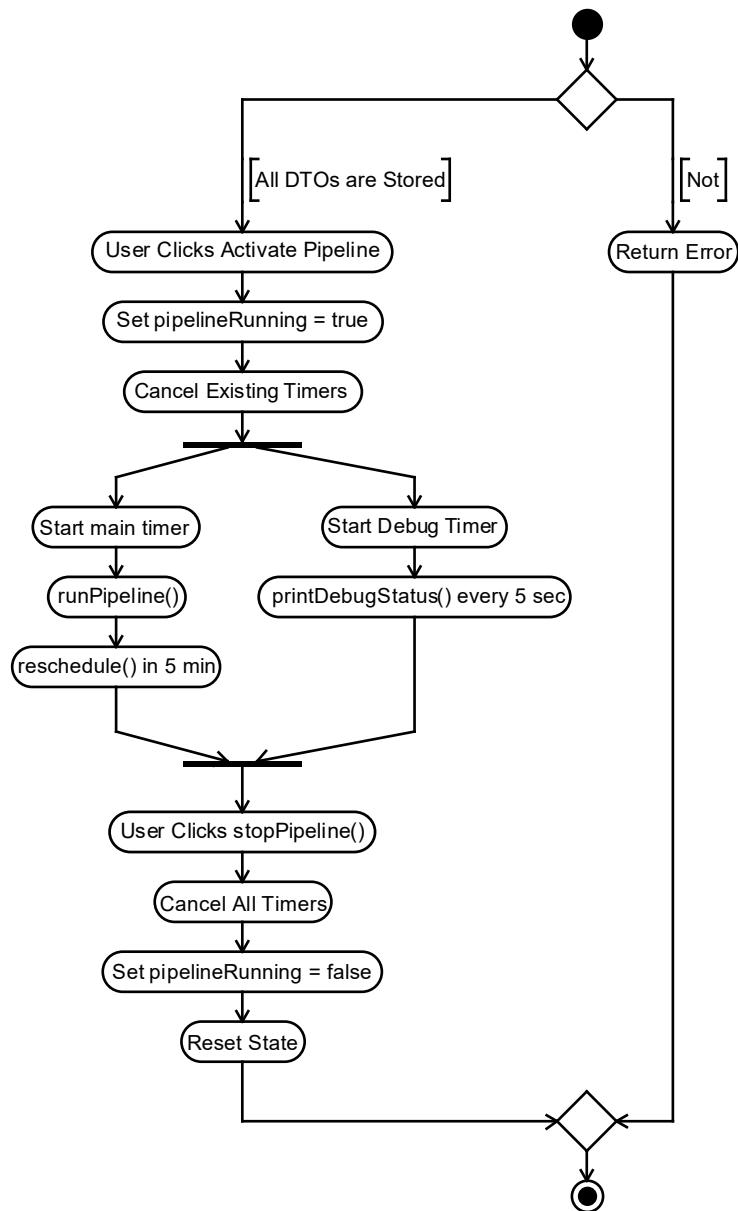


Abbildung 15: Erstellung und Speicherung von DTOs im PipelineService bei der manuellen Pipeline-Ausführung

### Automatisierte Pipeline-Ausführung

Sobald der Benutzer einen Datenpunkt durch die Pipeline schickt, werden alle relevanten DTOs gespeichert. Anschließend kann der Benutzer die automatische Pipeline aktivieren, die einen geplanten Timer initialisiert. Abbildung 16 zeigt alle Schritte, die während des Lebenszyklus der Pipeline zum Abrufen aktueller Telematikdaten ausgeführt werden. Der Timer führt alle 5 Minuten die Methode runPipeline aus, die wiederum die gesamte Sequenz ausführt. Die startPipeline-Methode stellt sicher, dass alle vorhandenen Timer abgebrochen werden, bevor ein neuer gestartet wird. Anschließend werden zwei Timer gestartet: einer für die Ausführung der Pipeline in festen Intervallen und ein weiterer für den Ausdruck regelmäßiger Debug-Ausgaben. Die Debug-Meldungen enthalten Informationen über den Ausführungsstatus und die Zeit bis zur nächsten Ausführung, um während der Entwicklung oder Überwachung Transparenz zu schaffen. Der Timer ist so konfiguriert, dass er sich nach jeder Ausführung rekursiv neu einplant und so einen kontinuierlichen Automatisierungszyklus aufrechterhält, solange die Pipeline aktiv ist.



*Abbildung 16: Ablauf des automatisierten PipelineService-Lebenszyklus*

Um die Pipeline anzuhalten, werden mit der Methode `stopPipeline` sowohl die Ausführungs- als auch die Debug-Timer gelöscht, alle Aufgaben in der Warteschlange entfernt und der Status zurückgesetzt. Beide Lebenszyklus-Methoden, `startPipeline` und `stopPipeline`, werden als synchronisiert deklariert, um Gleichzeitsprobleme in Multithreading-Kontexten zu vermeiden, wenn in zukünftigen Versionen mehrere Pipelines laufen. Die Pipeline verwaltet auch ein internes `pipelineBusy`-Flag, um anzugeben, ob gerade eine Datenübertragung läuft, und ein `pipelineRunning`-Flag, um anzugeben, ob die Automatisierung aktiv ist. Insgesamt bietet die PipelineService einen robusten Rahmen für die periodische Datenübertragung über mehrere Dienste hinweg. Die modulare Verwendung von DTOs und klar definierten Lebenszykluskontrollen ermöglicht eine zukünftige Erweiterung.

#### 4.1.4 Interaktion mit der Webanwendung (Vue.js Frontend)

Das Vue.js-Frontend von SiteRoute interagiert direkt mit dem Spring Boot-Backend über eine Reihe von REST-Controllern. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Controller, die im Rahmen dieses Projekts hinzugefügt oder modifiziert wurden, um die Datenübertragung, die Automatisierung der Pipeline und die Statusüberwachung zu unterstützen.

##### DataFetcherController: Abruf von Telemetriedaten

Der DataFetcherController bietet Endpunkte für den manuellen Abruf von Telemetriedaten von externen Plattformen wie Syniotec oder Bauer. Der Hauptendpunkt, POST /fetchData, empfängt ein DataFetcherDto mit Zugangsdaten und Konfiguration. Das Backend holt die Telemetriedaten über die entsprechende API ab und speichert bei Erfolg das DTO zur Wiederverwendung bei der automatischen Ausführung. Ein zusätzlicher Endpunkt, /fetch-and-send, ermöglicht die Verkettung von zwei Vorgängen: Abruf von Telemetriedaten und deren direkte Übermittlung an agrirouter.

##### DestinationController: Senden von Daten an Zielen

Der DestinationController bietet einen Endpunkt für die Weiterleitung von Telemetriedaten an Traccar und MaxBögl. Dies geschieht über eine POST-Anfrage an /destination/<Ziel>/send. Der Endpunkt akzeptiert ein strukturiertes DestinationDto, dass die XML-Telemetriedaten und den API-Schlüssel enthält. Intern setzt der Controller den API-Schlüssel auf den TraccarService oder MaxBöglService und ruft dann die Methode sendToTraccar oder sendToMaxBoegl auf, um die Daten weiterzuleiten.

##### PipelineController: Starten, Stoppen und Überwachen der Pipeline

Der PipelineController ist für die Verwaltung des Lebenszyklus der automatisierten Telemetrie-Pipeline zuständig, damit der Prozess für Nutzer visualisiert wird. Er stellt drei Hauptendpunkte zur Verfügung:

- **POST /pipeline/start:** Startet die automatische Pipeline. Dadurch wird ein Timer initialisiert, der die Pipeline-Sequenz in festen Intervallen wiederholt auslöst.
- **POST /pipeline/stop:** Stoppt die Pipeline, indem es die geplanten Timer abbricht und den internen Status zurücksetzt.
- **GET /pipeline/status:** Gibt ein JSON-Objekt mit Informationen darüber zurück, ob die Pipeline läuft oder beschäftigt ist, wie viel Zeit bis zum nächsten Lauf verbleibt und das konfigurierte Intervall.

#### 4.1.5 Demonstration

Die Demonstration der SiteRoute-Plattform verdeutlicht, wie die im Projekt entwickelte Webanwendung in der Praxis genutzt wird. Ziel war es, die Funktionalitäten nicht nur technisch zu implementieren, sondern sie auch über eine intuitive Benutzeroberfläche erfahrbar zu machen. Im Folgenden werden die zentralen Schritte des Systems aus Sicht der Nutzer dargestellt.

##### Einrichtung und Login

Nach der Installation von Backend, Frontend und Datenbank öffnet der Anwender die Login-Seite von SiteRoute (s. Abbildung 17). Dort können neue Benutzerkonten erstellt (Register via AgriRouter) und bestehende Konten (Login here) genutzt werden. Bereits an dieser Stelle wird die klare Struktur der Benutzeroberfläche sichtbar, die den Nutzer schrittweise durch die Anbindung an den agrirouter führt.

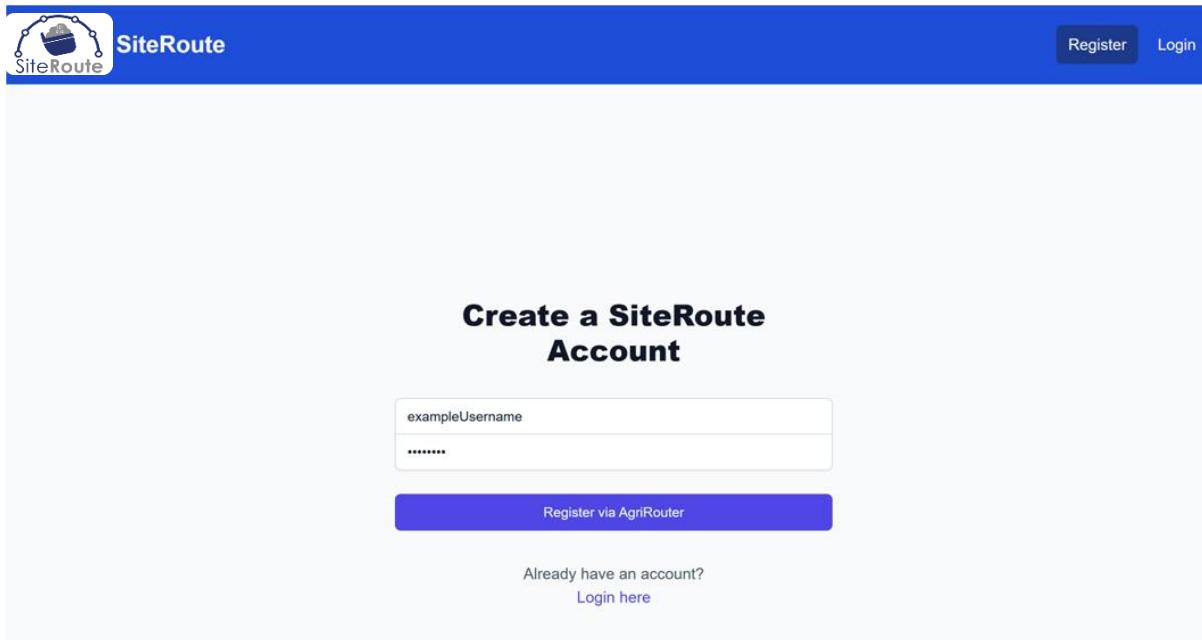


Abbildung 17: SiteRoute Anmeldeseite

Nach erfolgreicher Anmeldung erfolgt die Verknüpfung mit dem agrirouter-Konto. Dieser Onboarding-Prozess wird transparent über einfache Dialogfenster geführt, sodass die Konfiguration für den Endnutzer vereinfacht ist.

### Definition von Endpunkten und Fähigkeiten

Im Bereich Endpunkte können Benutzer anschließend neue Datenaustauschkanäle erstellen. Über die Schaltfläche „Add Endpoint“ wird ein neuer Kommunikationskanal eingerichtet, der für den Austausch mit dem agrirouter dient (s. Abbildung 18).

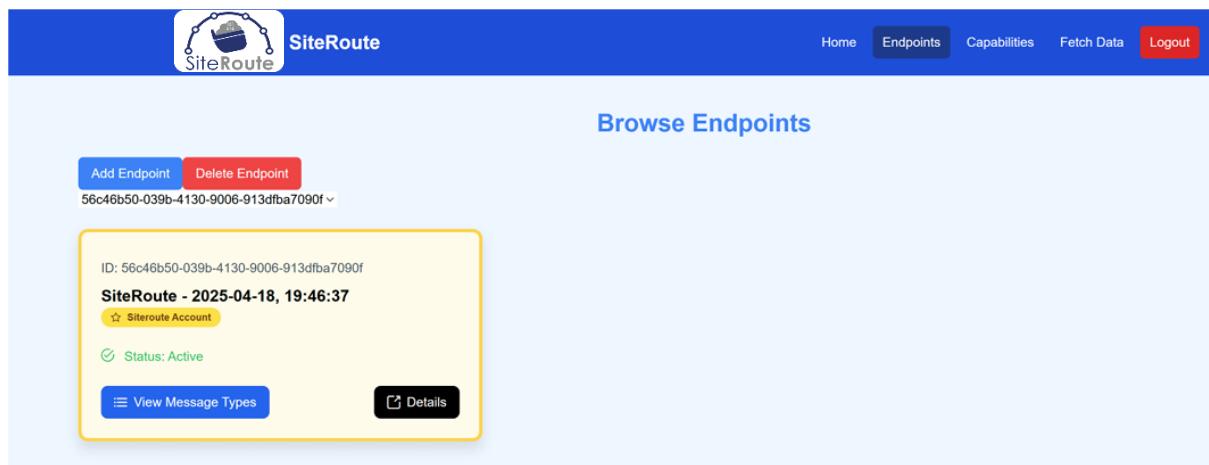


Abbildung 18: Neuen Endpunkt in SiteRoute hinzufügen

Im nächsten Schritt werden in der Weboberfläche die gewünschten Fähigkeiten (Capabilities) definiert, d. h. die Arten von Daten (Message Type), die über SiteRoute gesendet (Can send?) oder empfangen (Can receive?) werden dürfen (z. B. PDF, JPEG, PNG). Diese Konfiguration erfolgt über ein Formular mit klar strukturierten Auswahlfeldern (s. Abbildung 19).

## SiteRoute - 2025-04-18, 19:46:37

Status: Active

MESSAGE TYPE	CAN SEND?	CAN RECEIVE?
doc:pdf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
gps:info	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
img: bmp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
img: jpeg	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
img: png	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
iso:11783:-10:device_description:protobuf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
iso:11783:-10:taskdata:zip	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iso:11783:-10:time_log:protobuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
shp:shape:zip	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vid:avi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vid:mp4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vid:wmv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Abbildung 19: Empfangsfähigkeiten in SiteRoute definieren*

Sowohl Sende- als auch Empfangsfähigkeiten lassen sich dabei flexibel konfigurieren, wodurch die Plattform einen hohen Grad an Kontrolle über den Datenfluss ermöglicht.

Obwohl das ISO 15143-3-Format in der Benutzeroberfläche nicht explizit aufgeführt ist, kann es im Testumfeld ebenfalls verwendet werden. Der agrirouter unterstützt technisch den Versand beliebiger Nachrichtentypen, einschließlich XML-Formate. Die Definition der Fähigkeiten in SiteRoute dient daher in erster Linie der Identifikation und Zuordnung: Sie informiert den Empfänger darüber, welche Datentypen zu erwarten sind und wie diese zu interpretieren sind. Dadurch bleibt das System offen für branchenspezifische Standards wie ISO 15143-3.

### Übersicht im agrirouter

Nach der Einrichtung können die Nutzer ihre Endpunkte direkt im agrirouter-Dashboard einsehen. Hier werden Fähigkeiten (Capabilities), letzte gesendete Nachrichten (Last messages sent), aktuelle Warteschlangen (Current messages) und bestätigte Meldungen (Last messages confirmed) übersichtlich dargestellt (s. Abbildung 20).

< Your endpoint details

**Capabilities**  
Overview of what your endpoint can send or receive.  
  
Your endpoint has not configured its capabilities yet.

SiteRoute - 2025-04-18, 20:01:08 🔗  
Connected

---

**Endpoint details**

Type	telemetry_platform
Connected	15 minutes ago
Software provider	
Software endpoint	SiteRoute
Version number	1

---

**Endpoint route settings**  
agrirouter managed routes

---

**Message storage**

Last sent message	None
Last received message	None
Current messages	0

**Last messages sent**  
Small overview of what your endpoint has sent in the past 30 days.

Time	Message Type	Effective Recipients	Chunk	Size KB

**Last messages confirmed**  
More information about what messages your endpoint has confirmed in the past 30 days. Confirmed messages are deleted from the feed.

Time	Message Type	Sender	Chunk	Size KB

Abbildung 20: agrirouter-Endpunktübersicht

Auch Routen lassen sich über eine grafische Oberfläche einfach erstellen und visualisieren, sodass der gesamte Verbindungsaufbau transparent bleibt (s. Abbildung 21).



Abbildung 21: Erfolgreiche Erstellung einer Route in agrirouter

### Datenabruf und Pipeline-Nutzung

Ein zentrales Feature der Demonstration ist der Abruf und die Weiterleitung von Telemetriedaten. Über die Benutzeroberfläche können Daten von verschiedenen Quellen (z. B. Syniotec oder Bauer) (s. Abbildung 22) unter Verwendung der jeweiligen Client-Anmeldedaten (s. Abbildung 23) abgerufen werden.

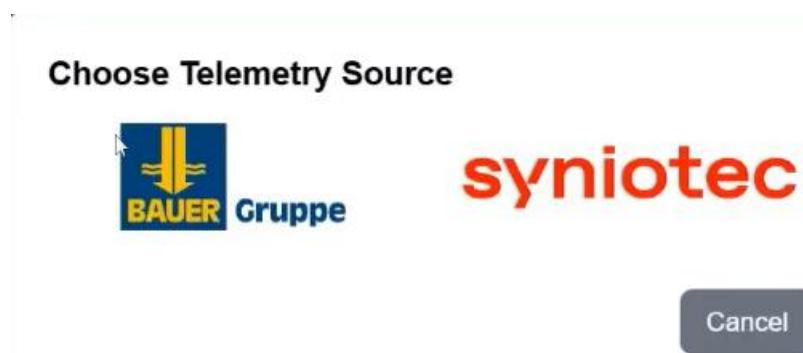


Abbildung 22: Auswahl der Telemetriequelle

### Enter Syniotec Client Credentials

Username

Password

Client ID

API Key

Cancel Fetch Data

Abbildung 23: Modal für die Eingabe der Syniotec-Client-Anmeldedaten

Die abgerufenen Telemetriedaten werden in XML-Vorschauen, sodass der Nutzer die Test-Daten vor der Weiterleitung prüfen kann. Anschließend können die Daten gezielt an einen gewünschten Zielendpunkt im agrirouter übertragen werden. Die erfolgreiche Übertragung wird sowohl in SiteRoute als auch im agrirouter-Dashboard unmittelbar sichtbar.

### Weiterleitung an Zielsysteme

Neben dem Download auf das lokale Gerät unterstützt SiteRoute die Weiterleitung an unterschiedliche Zielplattformen. Hierzu zählen:

- Traccar: eine GPS-Tracking-Plattform, auf der die Maschinenpositionen visualisiert werden können (s. Abbildung 24).

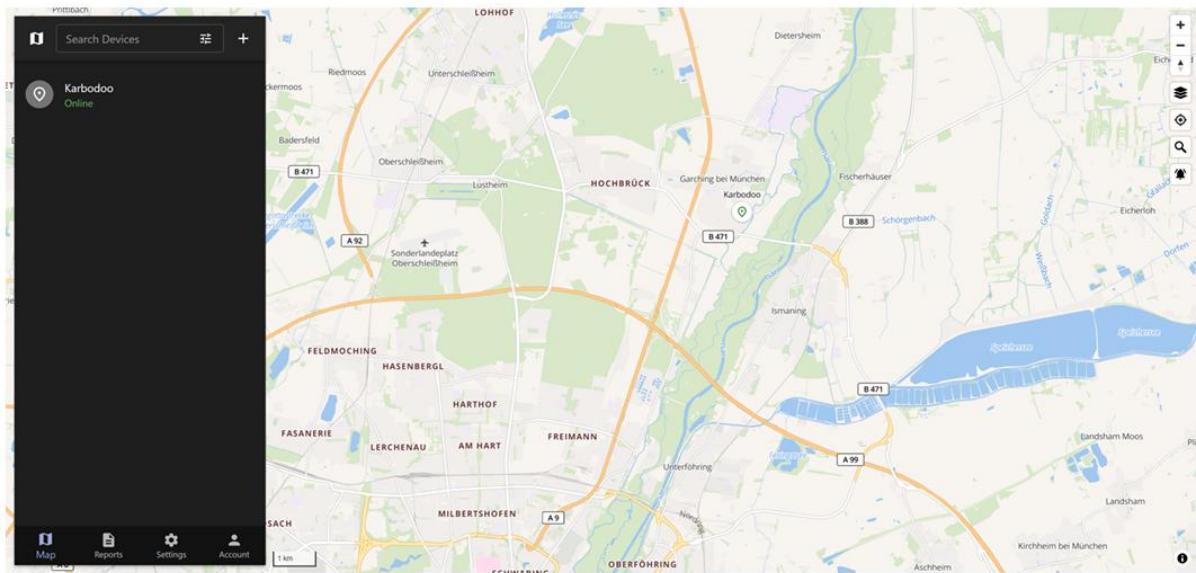


Abbildung 24: Visualisierung der erfolgreich übertragenen GPS-Position in der Traccar-Benutzeroberfläche

- Max Bögl: eine Unternehmensplattform, in der übermittelte Messwerte unmittelbar im Dashboard erscheinen (s. Abbildung 25).

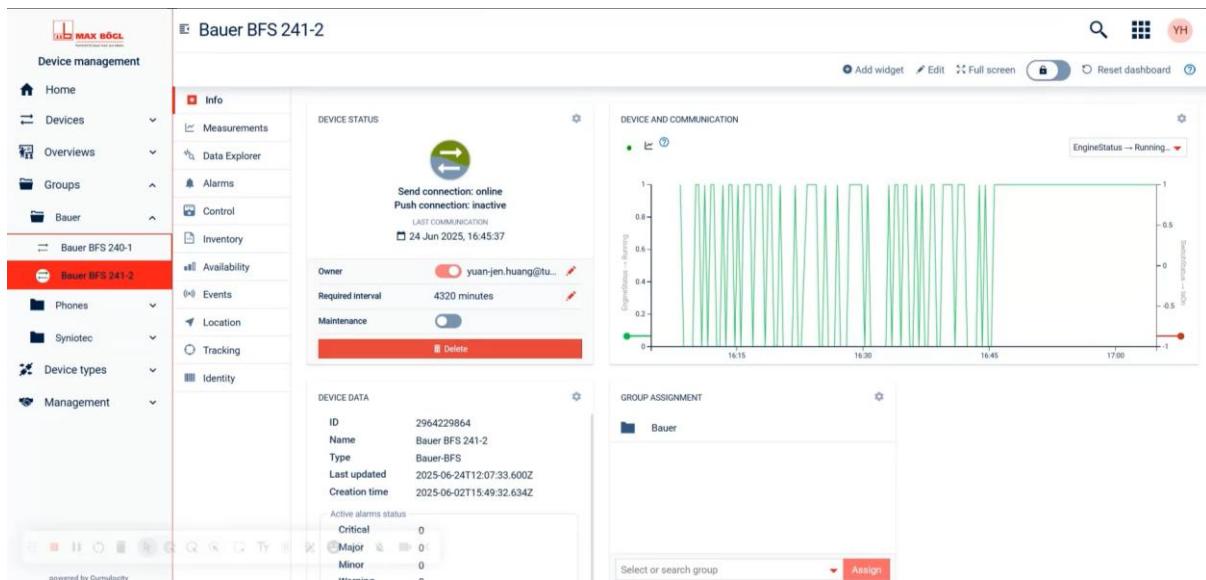


Abbildung 25: Dashboard der Max Bögl Machines.Cloud-Plattform zur Datenvisualisierung und zum Tracking

- Google Sheets: zur Speicherung und Visualisierung von Telemetriedaten in cloudbasierten Tabellen.

Die Benutzeroberfläche unterstützt die Nutzer dabei durch klare Eingabefelder für API-Keys oder Zugangsdaten sowie durch visuelles Feedback nach erfolgreicher Datenübertragung.

### Automatisierte Pipeline

Eine besondere Stärke des Systems zeigt sich in der Pipeline-Automatisierung (s. Kap. 4.1.3). Sobald alle vorbereitenden Schritte (Abruf, Senden, Empfangen, Weiterleitung) erfolgreich durchgeführt wurden, können Nutzer die Pipeline über eine zentrale Schaltfläche aktivieren (s. Abbildung 26).

Die Oberfläche visualisiert den Status der Pipeline durch Farbcodierung und klare Statusmeldungen. Während der Ausführung informiert die Benutzeroberfläche in Echtzeit über den Fortschritt und den aktuellen Betriebszustand. Dadurch wird der gesamte Lebenszyklus der Pipeline für den Nutzer transparent und leicht nachvollziehbar.



Abbildung 26: Die Schaltfläche Pipeline aktiviert, wenn alle Schritte abgeschlossen sind

## 4.2 CO<sub>2</sub>-Emissionsdokumentation – Algorithmusansatz

Ein zentrales Ziel moderner Bauprojekte ist die transparente und belastbare Dokumentation von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dies wurde auch im PA-Workshop am 06. März 2024 deutlich, wo dieses Thema als interessanter Anwendungsfall (Use Case) für eine Demonstration identifiziert wurde. Angesichts zunehmender gesetzlicher Anforderungen, steigender Erwartungen seitens der Auftraggeber und des wachsenden öffentlichen Drucks wird die Bauwirtschaft künftig verpflichtet sein, Emissionen verlässlich, transparent und standardisiert zu erfassen. Ein großes Potenzial der Weiterentwicklung von SiteRoute ist die Unterstützung der CO<sub>2</sub>-Emissionsdokumentation.

### Rechtlicher Rahmen und Reporting-Standards

Auf europäischer Ebene bilden die EU-Taxonomie und die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) die beiden maßgeblichen Richtlinien.

- Die EU-Taxonomie [24] dient als Klassifizierungssystem für nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten. Sie verpflichtet Unternehmen offenzulegen, welche Teile ihres Geschäfts als nachhaltig gelten. Eine direkte CO<sub>2</sub>-Berichtspflicht besteht zwar nicht, jedoch spielen Emissionsdaten eine wichtige Rolle bei der Einstufung der Nachhaltigkeit.
- Die CSRD [25], die ab 2025 in deutsches Recht überführt wird, verpflichtet große Unternehmen zur umfassenden Nachhaltigkeitsberichterstattung. Dazu gehören auch die Erfassung und Veröffentlichung von CO<sub>2</sub>-Emissionen als Teil der ökologischen Dimension. Betroffen sind Unternehmen, die mindestens zwei der drei Kriterien erfüllen: 25 Millionen Euro Bilanzsumme, 50 Millionen Euro Umsatz oder 250 Mitarbeitende.

Für die praktische Umsetzung stehen etablierte Reporting-Standards zur Verfügung:

- Das Greenhouse Gas (GHG) Protokoll [26] ist der weltweit am häufigsten genutzte Standard. Es unterscheidet Emissionen in drei Scopes:
  - Scope 1: Direkte Emissionen aus eigenen Prozessen (z. B. Dieselverbrauch einer Baumaschine),
  - Scope 2: Indirekte Emissionen aus eingekaufter Energie (z. B. Stromverbrauch elektrischer Maschinen),
  - Scope 3: Weitere indirekte Emissionen entlang der Lieferkette (z. B. Materialproduktion, Transport).
- Das ENCORD Construction CO<sub>2</sub> Measurement Protocol ist eine branchenspezifische Erweiterung für die Bauwirtschaft, die eine differenzierte Kategorisierung nach Emissionsquellen, Verantwortlichkeiten und Einflussbereichen erlaubt [27].

Damit stehen Unternehmen Werkzeuge zur Verfügung, um den wachsenden regulatorischen Anforderungen gerecht zu werden und Emissionen systematisch im Rahmen von Projekten zu erfassen.

### Datenbasierte Erfassungsmethoden

Eine wesentliche Grundlage für eine präzise Emissionsberechnung bilden Telemetriedaten nach ISO 15143-3 [6], die standardisierten Parameter wie Maschinenstatus, Position, Betriebsstunden oder Kraftstoffverbrauch erfassen. Diese Daten ermöglichen es, CO<sub>2</sub>-Emissionen direkt aus den Maschinenparametern zu

berechnen. Für die Berechnung bei elektrischen Maschinen werden externe Datenquellen benötigt, wie zum Beispiel der Emissionsfaktor des Stromnetzes.

Die folgende Berechnungsmethode basiert auf Telemetriedaten und stellt eine Weiterentwicklung der brennstoffbasierten Berechnung dar.

### 1. Brennstoffbasierte Berechnung

$$\text{CO}_2 = \text{verbrauchter Kraftstoff (Liter)} \times \text{Emissionsfaktor (kg CO}_2/\text{L})$$

- Emissionsfaktor für Diesel ca. 2,54 kg CO<sub>2</sub>/L bzw. Benzin ca. 2,31 kg CO<sub>2</sub>/L (Erfahrungswerte)
- Vorteil: höchste Genauigkeit, wenn reale Verbrauchsdaten vorliegen, weil Kraftstoffverbrauch direkter Zusammenhang zu Emissionen hat.

### 2. Betriebsstunden- oder Distanzbasierte Berechnung

$$\text{CO}_2 = \text{Betriebsstunde (Std.)} \times \text{Emissionsrate}_{\text{Betrieb}} (\text{kg CO}_2/\text{Std.})$$

$$+ \text{Leerlaufzeit (Std.)} \times \text{Emissionsrate}_{\text{Leerlauf}} (\text{kg CO}_2/\text{Std.})$$

$$\text{CO}_2 = \text{Distanz (km)} \times \text{Emissionsrate (kg CO}_2/\text{km})$$

- Einfache Berechnung unterscheidet zwischen Leerlauf und Lastbetrieb. Komplexere Modelle berücksichtigen mehrere Laststufen und spezifische Einsatzbedingungen.
- Beide Ansätze eignen sich für stationäre Maschinen wie Bagger oder Radlader.
- Distanzansatz ist für Transportfahrzeuge besonders relevant (z. B. LKW, Dumper).
- Aber Emissionsrate (kg CO<sub>2</sub>/Std. oder kg CO<sub>2</sub>/km) variieren je Maschine.

### 3. Elektrische und hybride Maschinen

$$\text{CO}_2 = \text{Energieverbrauch (kWh)} \times \text{Emissionsfaktor Stromnetz (kg/kWh)}$$

- Es gibt drei Ansätze für die Dokumentation:
  - 1) Keine Emissionen anrechnen, wenn ausschließlich zertifizierter „grüner Strom“ genutzt wird.
  - 2) Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Stromnetzes pro kWh (landesspezifische Mittelwerte).
  - 3) Nutzung live-basierter Emissionsfaktoren pro kWh, die Schwankungen im Energiemix (z. B. wetter- und tageszeitabhängig) berücksichtigen.
- Letzterer Ansatz ist am realitätsnahesten und erlaubt es, Emissionen dynamisch in Baustellenprozesse einzubinden.

### 4. Datengetriebene und algorithmische Ansätze

- Durch den Einsatz von Machine Learning lassen sich Betriebsprofile analysieren und präzise Emissionswerte modellieren.
- Insbesondere PEMS-Daten (Portable Emissions Measurement Systems) können genutzt werden, um Unterschiede zwischen theoretischen und realen Emissionen sichtbar zu machen.

## Chancen und Herausforderungen

Die datenbasierte CO<sub>2</sub>-Dokumentation eröffnet der Bauwirtschaft mehrere Potenziale:

- Erfüllung regulatorischer Berichtspflichten und Vorbereitung auf künftige CO<sub>2</sub>-Bepreisung.
- Effizienzsteigerung durch Identifikation von Leerlaufzeiten und ineffizienten Prozessen.
- Nachweis von Nachhaltigkeit als Wettbewerbsvorteil bei Ausschreibungen.

Gleichzeitig bestehen Herausforderungen:

- Datenverfügbarkeit: Noch nicht alle Maschinen sind telematikfähig oder liefern standardisierte Daten.
- Kosten und Komplexität: Die Integration proprietärer Datenquellen ist komplex und erfordert zusätzliche Schnittstellen (vgl. Kap. 2.2).
- Die Abbildung indirekter Emissionen elektrischer und hybrider Maschinen ist methodisch noch nicht einheitlich geregelt.

## Ausblick

Langfristig wird eine CO<sub>2</sub>-Dokumentation nur dann erfolgreich sein, wenn sie automatisiert, standardisiert und interoperabel funktioniert. SiteRoute kann hierbei eine Schlüsselrolle übernehmen:

- Als Datentreuhänder stellt es sicher, dass Emissionsdaten sicher und datenschutzkonform verarbeitet werden.
- Über standardisierte Schnittstellen lassen sich Maschinen-, Betriebs- und Energiemixdaten zusammenführen.
- Eine Integration in BIM bietet die Möglichkeit, Emissionen bereits in der Planungsphase zu simulieren und durch Optimierungen im Bauprozess aktiv zu reduzieren.

Auf diese Weise könnte SiteRoute nicht nur zur Erfüllung gesetzlicher Pflichten beitragen, sondern auch als zentrale Plattform für nachhaltiges Bauen etabliert werden.

## 5 Aufbau eines fairen Finanzierungsmodells

### 5.1 Zielsetzung und Bedeutung im Gesamtprojekt

Mit dem Fortschreiten der digitalen Transformation in der Bauwirtschaft gewinnt der sektorübergreifende Austausch von Daten zunehmend an Bedeutung. Insbesondere KMU sehen sich dabei vor große Herausforderungen gestellt. Der Aufwand für eigene, interoperable IT-Lösungen ist hoch, während die Vorteile einer durchgängigen Informationslogistik oft nur begrenzt zugänglich sind.

Das übergeordnete Ziel dieses Arbeitspakets 5 (AP5) besteht in der Entwicklung eines tragfähigen, transparenten und fairen Finanzierungsmodells für SiteRoute. Dabei muss das Modell nicht nur ökonomisch belastbar sein, sondern auch der spezifischen Marktstruktur der Bauwirtschaft gerecht werden. Im Zentrum steht die Frage: **Wie kann ein nachhaltiger Betrieb der Plattform gewährleistet werden, ohne bestimmte Teilnehmergruppen zu benachteiligen oder von der Nutzung auszuschließen?**

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein umfassender Forschungsansatz gewählt, der sowohl theoretische Grundlagen als auch empirische Marktrückmeldungen berücksichtigt. Ausgangspunkt bildet eine Analyse typischer Preismodelle aus dem Software-as-a-Service-(SaaS)-Umfeld, ergänzt um Best-Practice-Beispiele aus verwandten Industrien. Auch hier dient das Modell des agrirouters als Vorbild.

Gleichzeitig wird ein praxisnaher TCO-Ansatz (Total Cost of Ownership) entwickelt, um die über den Lebenszyklus hinweg entstehenden Betriebs- und Entwicklungskosten transparent abzubilden. Die Kombination aus Kostenerfassung, Marktfeedback und Preismodellierung bildet die Grundlage für ein gestaffeltes, skaliertes Preissystem, das unterschiedlichen Nutzergruppen – vom Bauunternehmen über Maschinenhersteller bis hin zu Softwareanbietern – gerecht wird.

Ziel von Kapitel 5 ist:

- die Entwicklung eines anreizkompatiblen und fairem Preismodell für eine breite Nutzergruppe,
- die transparente Ableitung und Verteilung der Betriebskosten,
- sowie die Sicherstellung von Akzeptanz und Beteiligungsbereitschaft durch diskriminierungsfreie Zugangsbedingungen.

SiteRoute versteht sich dabei bewusst nicht als profitorientiertes Geschäftsmodell, sondern als gemeinschaftlich getragene Infrastruktur zur Stärkung der gesamten Bauwirtschaft. Ein solcher Ansatz erfordert, dass alle Beteiligten, auch KMU, finanziell tragfähig eingebunden werden, ohne die Offenheit und Neutralität der Plattform zu gefährden.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden daher sowohl die Marktpotenziale (Kap. 5.2) als auch unterschiedliche Finanzierungsoptionen (Kap. 5.3) systematisch untersucht. Die Rückkopplung mit dem Workshop und der Umfrage (Kap. 5.4) stellt sicher, dass das Modell nicht nur in der Theorie tragfähig, sondern auch in der Praxis anschlussfähig ist. Abschließend erfolgt eine Nutzenargumentation (Kap. 5.5), die SiteRoute im Vergleich zu Eigenlösungen positioniert und potenzielle Einsparungen sowie Mehrwerte für die Bauwirtschaft aufzeigt.

## 5.2 Szenarioanalysen für verschiedene Marktsegmente: Bau vs. Landwirtschaft

Die Entwicklung eines tragfähigen Finanzierungsmodells für SiteRoute auf Basis der Erfahrungen mit agrirouter erfordert ein tiefes Verständnis der jeweiligen Marktsegmente und ihrer Akteure. In diesem Abschnitt werden zentrale strukturelle Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Bezug auf Marktstruktur, Betriebsgrößen und potenzielle Zahlungsbereitschaft zwischen Bauwirtschaft und Landwirtschaft beleuchtet. Der Fokus liegt auf den drei zentralen Teilnehmergruppen: (1) Ausführende Unternehmen (Contractors), (2) Maschinenhersteller (OEMs) und (3) Softwareanbieter. Ziel ist es, die Übertragbarkeit der Erfahrungen aus dem agrirouter-Modell realistisch zu bewerten und spezifische Anpassungsbedarfe für SiteRoute zu identifizieren.

### 5.2.1 Marktakteure im Vergleich: Bauwirtschaft vs. Landwirtschaft

Im Folgenden werden die zentralen Marktakteure beider Branchen analysiert. Der Vergleich zeigt, wie sich Marktgröße, Wettbewerbsdynamik und technologische Reife auf die Einführung plattformbasierter Datenlösungen auswirken.

#### *Bauunternehmen in der Bauwirtschaft*

Die deutsche Bauwirtschaft ist durch eine sehr hohe Anzahl KMU geprägt. Im Jahr 2024 gab es rund 81.950 Betriebe im Bauhauptgewerbe in Deutschland [28]. Laut Statistischem Bundesamt wurden 2023 über 18.000 Bauunternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten gezählt [29]. Diese Unternehmen erwirtschafteten einen Gesamtumsatz von rund 203 Milliarden Euro (s. Abbildung 27) [30]. Gemäß EU-Definition gelten 96,6 % aller Bauunternehmen als KMU mit weniger als 50 Mitarbeitenden [31].

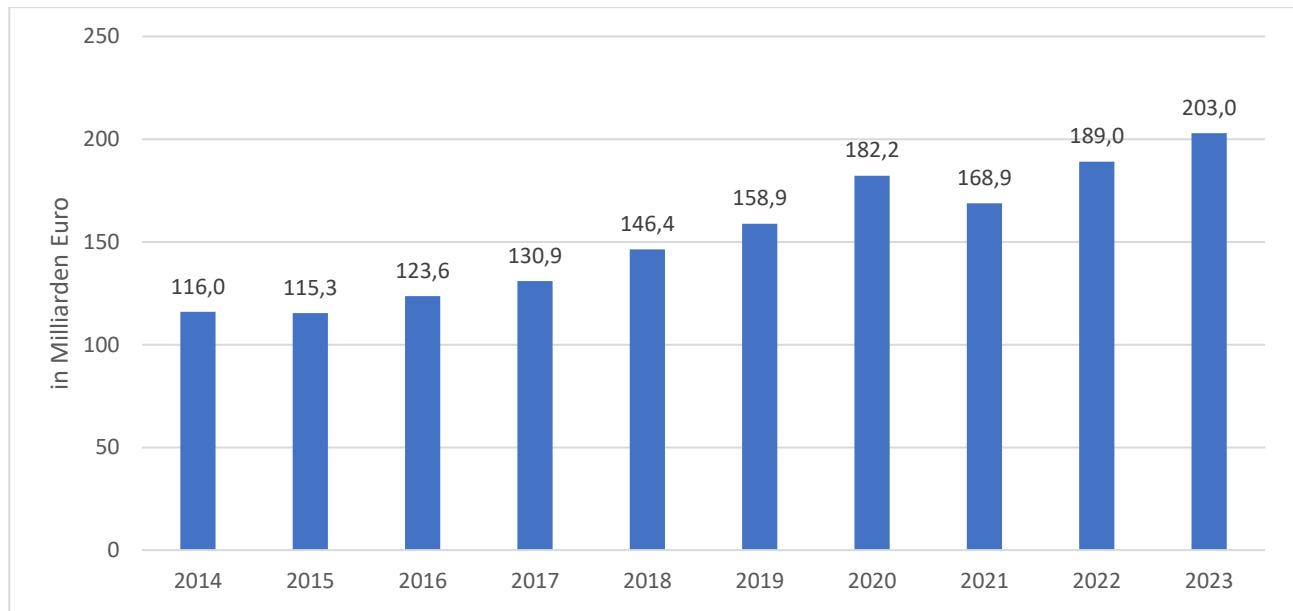


Abbildung 27: Umsatz im Baugewerbe in Deutschland, 2014-2023 [30]

Trotz dieser kleinteiligen Struktur wird ein erheblicher Teil des Branchenumsatzes von wenigen großen Unternehmen generiert. So erzielten die 15 größten Bauunternehmen in Deutschland im Jahr 2023 zusammen rund 72 Milliarden Euro Umsatz [32]. Beispiele sind Konzerne wie Hochtief, Strabag, Goldbeck und Züblin, die jedoch nur einen geringen Anteil an der Gesamtzahl der Marktteilnehmer ausmachen. Diese Struktur unterstreicht die Herausforderung, ein Preismodell zu gestalten, das sowohl Großunternehmen als auch KMU einschließt.

### Lohnunternehmen in der Landwirtschaft

Im Vergleich zur Bauwirtschaft ist die Anzahl der Marktteilnehmer in der Landwirtschaft deutlich geringer. Landwirtschaftliche Lohnunternehmen in Deutschland bieten professionelle Dienstleistungen für Landwirte an, z. B. Pflügen, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte. Diese Unternehmen greifen auf moderne Maschinen und geschultes Personal zurück, um den Bauern effiziente und ganzheitliche Services zu bieten [33, 34].

Die Nachfrage nach Lohnunternehmen entsteht insbesondere dort, wo Landwirte entweder keine eigenen Maschinen besitzen oder über kein ausreichend qualifiziertes Personal verfügen. In solchen Fällen ermöglichen Lohnunternehmen durchgängige und effizient organisierte Arbeitsprozesse [34]. Im Jahr 2023 beschäftigten die etwa 3.000 Lohnunternehmen rund 20.000 Festangestellte und eine große Zahl saisonaler Aushilfen. Der Gesamtumsatz der Branche betrug etwa 4,5 Milliarden Euro, davon 3 Milliarden aus landwirtschaftlichen Dienstleistungen und 1,5 Milliarden aus kommunalen und privaten Aufträgen (s. Abbildung 28) [33].

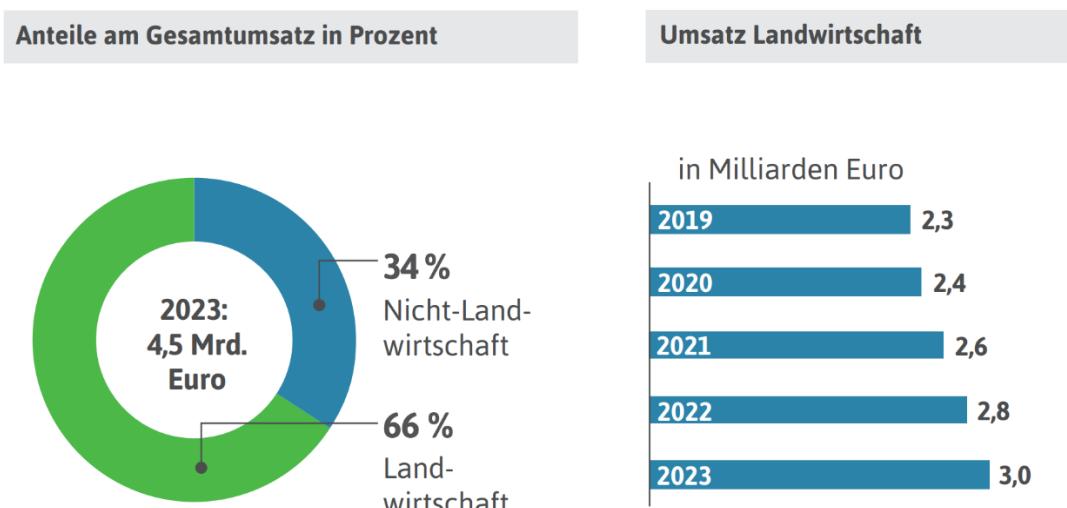


Abbildung 28: Landwirtschaftliche Lohnunternehmen in Deutschland [33]

Die vergleichsweise geringe Anzahl an Marktteilnehmern und die homogene Dienstleistungsstruktur fördern einen gezielten Technologieeinsatz und eine hohe Kooperationsbereitschaft. Beides begünstigt die Etablierung gemeinsamer Plattformen. Dadurch finden standardisierte Lösungen wie der agrirouter eine breite Akzeptanz.

### Maschinenhersteller – Parallele Marktlogiken, Integrationsunterschiede

Sowohl in der Bauwirtschaft als auch in der Landwirtschaft sind die Märkte für Maschinenhersteller stark konzentriert. Die Baugeräteindustrie ist geprägt von vergleichsweise niedrigen Stückzahlen bei gleichzeitig hoher technischer Komplexität. Aus struktureller Sicht dominiert in beiden Branchen eine Handvoll großer Anbieter. Laut MarketsandMarkets (2025) vereinten die fünf führenden Hersteller, Caterpillar, Komatsu, XCMG Group, Deere & Company und SANY Group, zwischen 42 % und 52 % des globalen Marktanteils auf sich [35].

In Deutschland lag der Umsatz der Baumaschinenhersteller im Jahr 2023 bei rund 16,7 Milliarden Euro, während die Hersteller von Landtechnik etwa 18,6 Milliarden Euro erwirtschafteten. Beide Branchen beschäftigen zwischen 38.000 und 44.000 Mitarbeitende. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf ähnliche Marktgrößen und vergleichbare Branchenstrukturen (s. Abbildung 29) [36, 37, 38, 39].

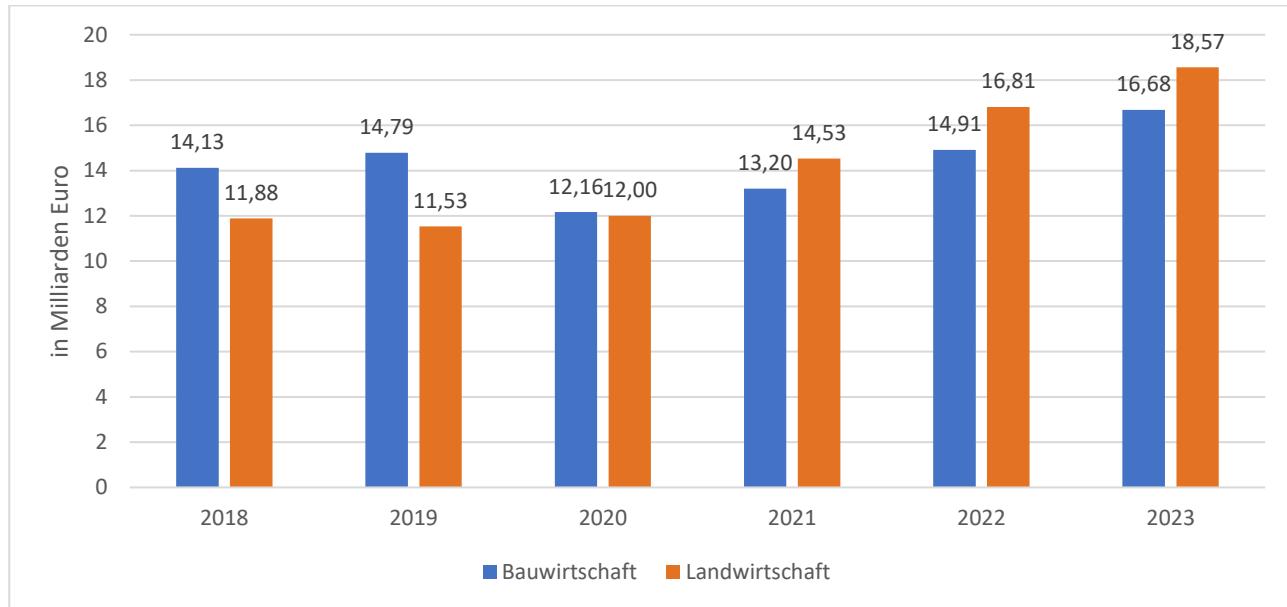


Abbildung 29: Umsatz der Maschinenhersteller in Bauwirtschaft und Landwirtschaft, 2018–2023 [36, 37]

Trotz struktureller Parallelen zeigen sich deutliche Unterschiede im Grad der Systemintegration und Standardisierung: In der Landtechnik agieren zunehmend integrierte Hersteller, die standardisierte Schnittstellen basierend auf ISO 11783-10 oder ISO 5231 implementieren und so eine hohe Interoperabilität ermöglichen. Demgegenüber ist die Baugeräteindustrie noch stark von proprietären Telematiklösungen geprägt, die herstellerindividuell konzipiert und oft nicht miteinander kompatibel sind. Diese mangelnde Standardisierung behindert die durchgängige digitale Vernetzung und stellt eine zentrale Herausforderung für die Umsetzung plattformbasierter Ansätze wie SiteRoute dar. Der Telematikstandard ist in der ISO 15143-3 [6] für die Erdbewegung und den Straßenbau formuliert (s. Kap. 2.1).

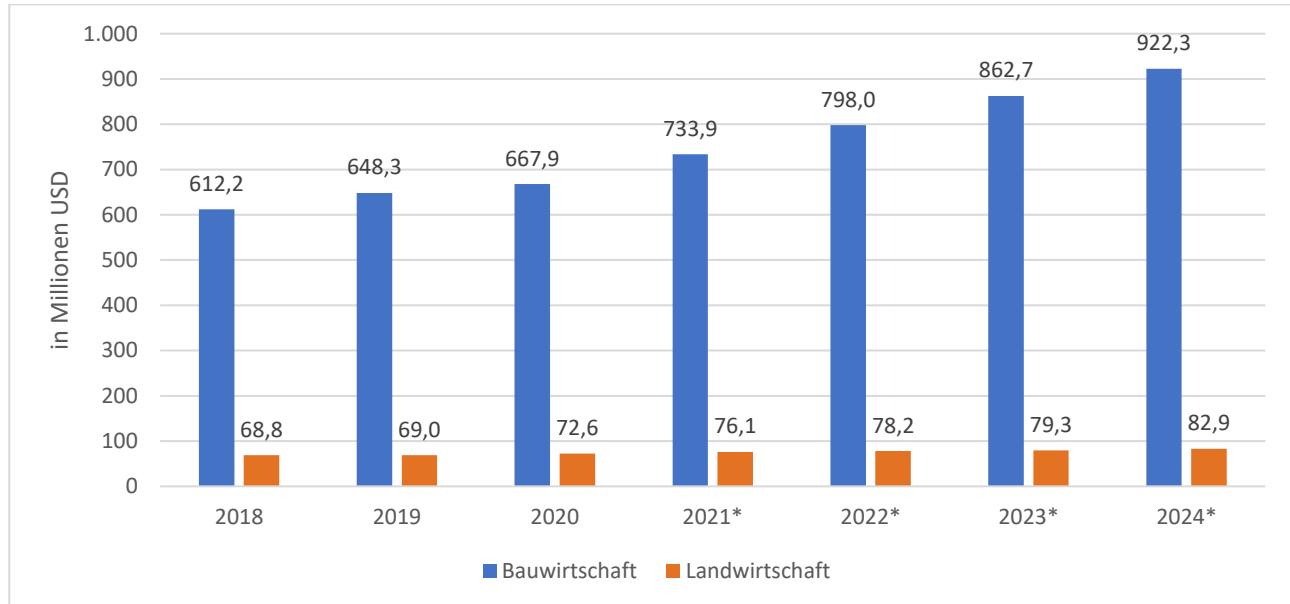
#### *Softwareanbieter – unterschiedliche Marktgrößen, ähnliche Technologien*

Der Softwaremarkt in der Bauwirtschaft und der Landwirtschaft unterscheidet sich in Bezug auf Volumen, Reifegrad und Marktdynamik. Er weist jedoch zugleich technologische Parallelen auf, die für plattformbasierte Ansätze wie SiteRoute strategisch bedeutsam sind.

Der Softwareeinsatz in der Bauwirtschaft erstreckt sich über ein breites Spektrum an Anwendungen. Dazu zählen insbesondere CAD- (Computer-Aided Design), CAM- (Computer-Aided Manufacturing) und PLM-Systeme (Product Lifecycle Management). Diese werden in verschiedenen Phasen des Bauprozesses eingesetzt – von der Planung über das Modellieren und Kostenmanagement bis hin zur Fortschrittskontrolle auf der Baustelle. Ergänzt werden sie durch spezialisierte Lösungen, etwa für Ausschreibungen, Zeiterfassung oder Emissionsmonitoring.

Die Softwareausgaben der Bauwirtschaft beliefen sich im Jahr 2021 auf rund 734 Millionen USD [40]. Dieses Volumen verdeutlicht die wirtschaftliche Bedeutung von Digitalisierung im Bauwesen. Gleichzeitig bleibt der Markt stark fragmentiert – sowohl in Bezug auf die Anbieterlandschaft als auch hinsichtlich der eingesetzten Systeme. Interoperabilität zwischen Softwarelösungen und Baumaschinen ist oft nicht gewährleistet, was durchgängige Datenflüsse erheblich erschwert. Insbesondere kleinere Bauunternehmen zeigen sich gegenüber der Einführung komplexer digitaler Systeme häufig zurückhaltend. Hemmnisse sind die hohen Integrationsaufwände, Lizenzkosten und fehlende Schnittstellenstandards (s. Kap. 1.2).

Im Vergleich dazu lagen die Softwareausgaben im landwirtschaftlichen Bereich 2021 bei lediglich 76 Millionen USD (vgl. Abbildung 30) [41]. Diese Differenz erklärt sich unter anderem durch die geringere Zahl an Betrieben sowie ein niedrigeres durchschnittliches Investitionsvolumen je Nutzer. Dennoch ist der Reife-grad vieler Agraranwendungen bemerkenswert hoch.



*Abbildung 30: Vergleich der Softwareausgabenprognose in Bau- und Landwirtschaft bis 2024 basierend auf den Werten von 2018 bis 2021 [40, 41] (\* zeigt prognostizierte Werte)*

Moderne Farm-Management-Systeme, getrieben durch den verstärkten Einsatz von IoT-Technologien, Sensorik und Automatisierung, ermöglichen eine präzise Überwachung und Steuerung landwirtschaftlicher Prozesse. Staatliche Förderprogramme, steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit und der Mangel an qualifiziertem Personal fördern diese Entwicklung zusätzlich [42].

Führende Agrarsoftwareanbieter wie Trimble, AGRIVI, Oracle oder Deere & Company setzen zunehmend auf cloudbasierte Plattformlösungen mit integrierter Datenanalyse und automatisierter Prozessunterstützung. Zudem gehen viele Anbieter strategische Partnerschaften mit Maschinenherstellern ein, um vollständig integrierte Ökosysteme aus Hardware und Software zu schaffen [43].

Trotz der Unterschiede in Marktgröße und Investitionsverhalten basieren die Technologien in beiden Branchen auf vergleichbaren Grundlagen. Cloud-Plattformen, Datenanalyse-Tools, automatisierte Entscheidungslogiken und mobile Anbindungen sind heute sowohl im Bau- als auch im Landwirtschaftsbereich Standard. Größere Softwareanbieter wie Oracle oder Autodesk bedienen beide Branchen mit technologisch verwandten Lösungen. Diese technologischen Überschneidungen bieten Synergien für plattformbasierte Ansätze wie SiteRoute.

#### *Marktvergleich: Zusammenfassung der zentralen Merkmale*

Die nachfolgende Tabelle 2 fasst wesentliche Struktur- und Marktmerkmale der Bauwirtschaft und der Landwirtschaft zusammen. Trotz ähnlicher Teilnehmergruppen unterscheiden sich die beiden Branchen deutlich in Größe, Marktstruktur und Kooperationsverhalten.

Tabelle 2: Struktur- und Marktmerkmale im Vergleich – Bauwirtschaft vs. Landwirtschaft

Merkmal	Bauwirtschaft	Landwirtschaft
<b>Hauptanwender</b>	18.000 Bauunternehmen mit 203 Mrd. € Umsatz	3.000 Lohnunternehmer mit 3 Mrd. € Umsatz
<b>OEM-Marktvolumen</b>	16,7 Mrd. €	18,6 Mrd. €
<b>Softwareausgaben (2021)</b>	734 Mio. \$	76 Mio. \$
<b>Offenheit für Standardisierung</b>	Gering (proprietäre Lösungen)	Hoch (ISO-Normen, agrirouter)
<b>Kooperationsbereitschaft</b>	Niedrig (fragmentierte Interessenlage)	Hoch (branchenweite Kooperationen)

Während in beiden Bereichen Bauunternehmen bzw. landwirtschaftliche Lohnunternehmer als zentrale Anwenderplattformen wie SiteRoute bzw. agrirouter adressiert werden, zeigt sich insbesondere in der Bauwirtschaft ein deutlich größeres Marktvolumen und potenzieller Einfluss dieser Akteure. Diese Marktgröße bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich: Die Bauwirtschaft ist stark fragmentiert, was die Etablierung gemeinsamer Standards und interoperabler Dateninfrastrukturen erschwert. Demgegenüber ist die Landwirtschaft durch klarere Wertschöpfungsketten und eine höhere Bereitschaft zur Standardisierung geprägt.

Auch die Kooperationskultur unterscheidet sich. Während in der Landwirtschaft branchenweite Allianzen und offene Schnittstellen weit verbreitet sind, dominieren im Bauwesen proprietäre Einzellösungen. Für SiteRoute ergibt sich daraus die zentrale Aufgabe, durch gezielte Kommunikations- und Integrationsstrategien eine höhere Beteiligung und Akzeptanz unter den verschiedenen Marktakteuren zu fördern.

Die Marktanalyse zeigt: Trotz struktureller Differenzen bestehen zahlreiche technologische Parallelen – insbesondere bei Maschinenintegration und datenbasierten Softwarelösungen. Die Landwirtschaft liefert mit dem agrirouter ein praxisbewährtes Referenzmodell für offene, standardisierte und kooperative Plattformansätze. Im anschließenden Kapitel wird agrirouter daher näher betrachtet – insbesondere hinsichtlich seiner Systemarchitektur, Organisationsform und Finanzierungsmodell. Ziel ist es, übertragbare Erfolgsfaktoren zu identifizieren und zu prüfen, inwieweit sie auf die Bauwirtschaft und das Modell von SiteRoute anwendbar sind.

### 5.2.2 agrirouter: Ein Referenz-Finanzierungsmodell für Datenaustauschplattformen

Um die konzeptionelle Ausgestaltung von SiteRoute zu fundieren, dient agrirouter als praxisbewährtes Referenzmodell. Die Plattform wurde von DKE-Data GmbH & Co. KG ins Leben gerufen, um den sektorübergreifenden Datenaustausch in der Landwirtschaft zu standardisieren – herstellerneutral, nicht profitorientiert und technisch interoperabel. Die gemeinnützige Ausrichtung und das Multi-Stakeholder-Organisationsform-Modell liefern wertvolle Impulse für die Bauwirtschaft.

#### Mehrstufiges Preismodell nach Beteiligungsgrad

Alle Marktteilnehmer der Landwirtschaft können sich in unterschiedlichen Rollen beteiligen:

- Association Member (Mitglied)
- Business Partner (Geschäftspartner)
- Shareholder (Gesellschafter)

Landwirte und Lohnunternehmen als Endnutzer können agrirouter auch ohne Mitgliedschaft nutzen. Sie zahlen lediglich eine geringe jährliche Nutzungsgebühr von 250 Euro bzw. 500 Euro [44], um eine niedrige

Eintrittshürde zu schaffen und die Zahl der Anwender zu erhöhen. Dies steigert wiederum die Attraktivität der Plattform für Maschinenhersteller und Softwareanbieter.

Das Preismodell des agrirouters ist nicht profitorientiert, sondern folgt einem Kostendeckungsansatz (Cost Contribution Model). Die Umlage erfolgt fair unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren:

### Unternehmensklassifikation und Korrekturfaktor

- Festlegung, ob es sich um einen Konzern, eine Unternehmenssparte oder ein eigenständiges Unternehmen handelt.
- Ermittlung eines Korrekturfaktors basierend auf der Umsatzrendite (ROS, Return on Sales).

### Berechnung des gewichteten AG-Umsatzes

- Kombination aus Organisationsstruktur, Korrekturfaktor und durchschnittlichem Jahresumsatz.

### Rollenwahl und Mitgliedsbeitrag

- Auf Basis des gewichteten AG-Umsatzes wählen Unternehmen ihre Rolle: Association Member, Business Partner oder Shareholder.
- Jede Rolle ist mit spezifischen Mitgliedsbeiträgen und Organisationsform-Rechten verbunden.

Abbildung 31 zeigt das Bewertungsmodell des gewichteten AG-Umsatzes. Unternehmen mit einem gewichteten AG-Umsatz ab 60 Millionen Euro können nur als Business Partner oder Shareholder teilnehmen; kleinere Unternehmen haben zusätzlich die Option, Association Member zu werden.

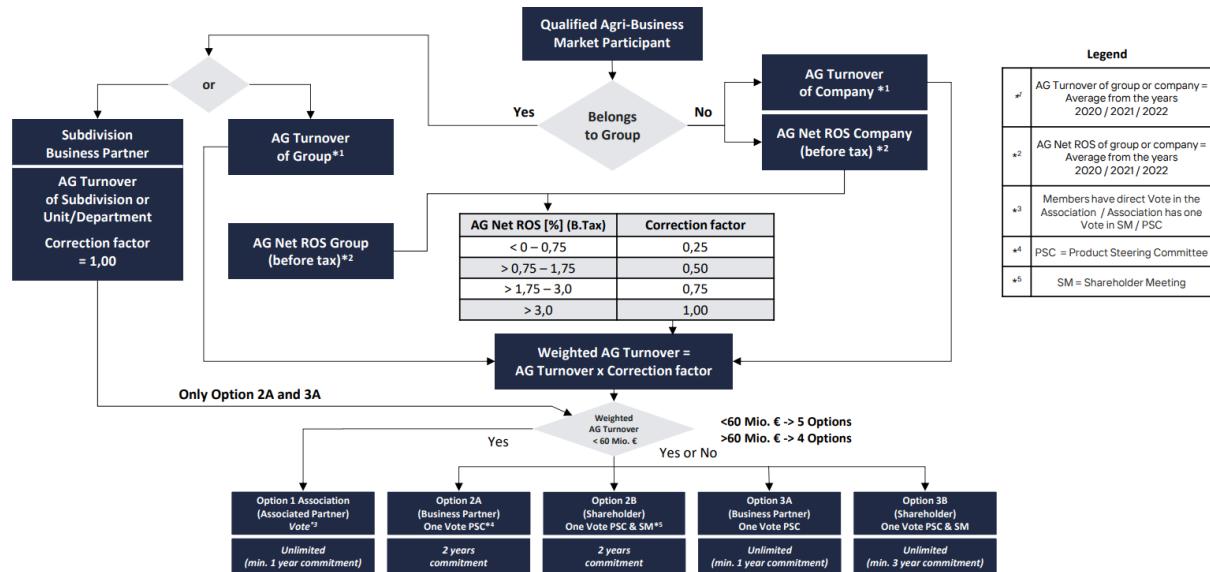


Abbildung 31: Berechnungsmodell für den gewichteten AG-Umsatz [44]

### Organisationsform und Rechte

Die Organisationsform-Struktur unterscheidet sich je nach Rolle:

#### Association Members

- Dürfen unbegrenzt Anwendungen mit agrirouter-Anbindung veröffentlichen.
- Teilnahme an Verbandsaktivitäten mit indirektem Einfluss auf die Plattformentwicklung.
- Keine direkten Stimm- oder Mitbestimmungsrechte.

## Business Partners

- Stimmrechte im Product Steering Committee (PSC).
- Das PSC gibt Empfehlungen zu Produktentwicklung und zentralen Diensten.
- Jede Business Partner hat eine Stimme.

## Shareholders

- Besitzen zusätzlich Stimmrechte im Shareholders Meeting (SM).
- Beteiligung an strategischen Entscheidungen und der langfristigen Ausrichtung von agrirouter.

Die Mindestbindungsdauer beträgt in der Regel ein Jahr, häufig auch einen zweijährigen Pilotzeitraum (z. B. Option 2A/2B) (s. Abbildung 32). Anschließend können Unternehmen ihre Rolle flexibel anpassen, z. B. vom Business Partner zum Shareholder aufsteigen oder auf eine geringere Beteiligung zurückwechseln.

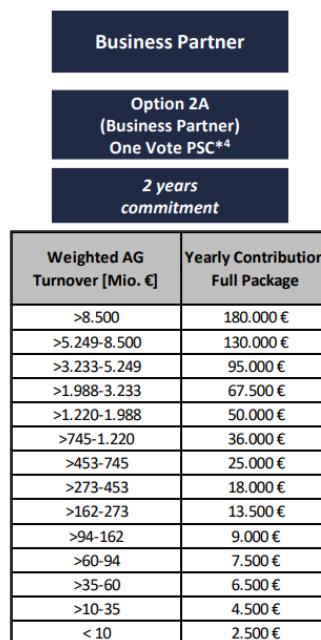


Abbildung 32: Gebührenmodell der Option 2A im Pilotzeitraum [44]

## 5.3 Modellierung von Finanzierungsoptionen

Der Vergleich in Kapitel 5.2 zeigt, dass trotz struktureller Unterschiede Prinzipien des agrirouters für Site-Route anwendbar sind, z. B. –Offenheit, Mehrrollen-Organisationsform, fairer Zugang und finanzielle Staffelung. In Kapitel 5.3 wird das daraus abgeleitete Preismodell für SiteRoute näher vorgestellt, das sich an diesen Prinzipien orientiert, aber auf die spezifischen Anforderungen der Bauwirtschaft angepasst wurde.

### 5.3.1 Software as a Service (SaaS)

Die zunehmende Verbreitung von Cloud Computing (CC) hat die Softwarelandschaft grundlegend verändert. Eine der zentralen Ausprägungen dieses Trends ist das Modell „Software as a Service“ (SaaS). In diesem Abschnitt werden die Grundlagen von SaaS erläutert, typische Preismodelle dargestellt und damit die theoretische Basis für die spätere Entwicklung eines geeigneten Finanzierungsmodells für SiteRoute gelegt.

CC beschreibt laut dem National Institute of Standards and Technology (NIST) ein Modell für den ortsunabhängigen, flexiblen Zugriff auf gemeinsam nutzbare IT-Ressourcen wie Netzwerke, Server, Speicher,

Anwendungen und Dienste [45]. Diese können je nach Bedarf schnell bereitgestellt und skaliert werden bei minimalem Verwaltungsaufwand und geringer Anbieterbindung. Dabei werden drei grundlegende Servicemodelle unterschieden, die sich hinsichtlich der Verantwortung und Kontrolle zwischen Anbieter und Nutzer unterscheiden (s. Abbildung 33): Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) und Software as a Service (SaaS).

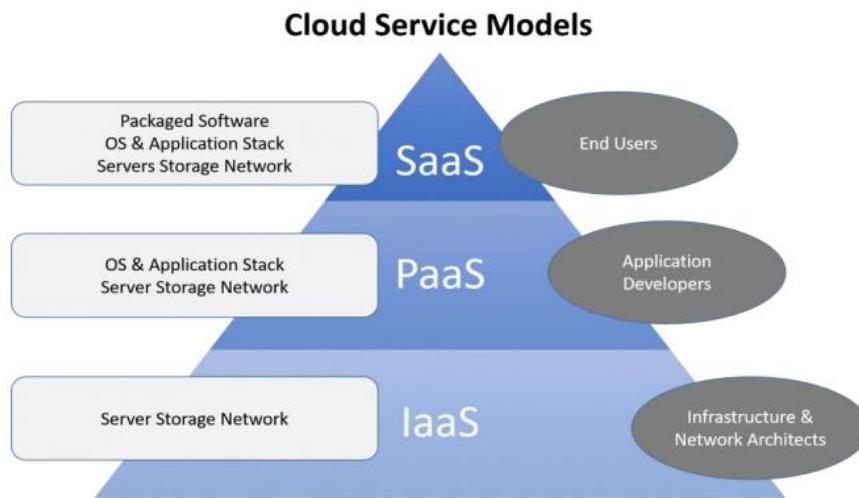


Abbildung 33: Cloud Servicemodele (IaaS, PaaS, und SaaS) [46]

- **Infrastructure as a Service (IaaS):**

Nutzer erhalten grundlegende IT-Infrastrukturen wie virtuelle Maschinen, Speicherplatz oder Netzwerkkapazitäten über das Internet [46]. Beispiele hierfür sind Amazon EC2, IBM Smart Cloud oder Microsoft Azure Infrastructure Services. Diese Dienste bieten hohe Skalierbarkeit, reduzieren den Aufwand für eigene Rechenzentren und ermöglichen flexible Ressourcennutzung [47].

- **Platform as a Service (PaaS):**

PaaS stellt komplettete Entwicklungs- und Betriebsumgebungen bereit, in denen Softwareentwickler eigene Anwendungen erstellen, testen und bereitstellen können. Diese Plattformen übernehmen dabei viele technische Aufgaben wie Datenbankverwaltung, Middleware und Skalierung. Bekannte Beispiele sind Google App Engine, Microsoft Azure oder Salesforce Platform [46].

- **Software as a Service (SaaS):**

SaaS schließlich bildet die oberste Schicht und wird direkt nutzbare Software zentral gehostet und über das Internet bereitgestellt. Die Nutzer greifen per Webbrowser auf die Anwendung zu, ohne sie lokal installieren oder warten zu müssen. Typische Beispiele für SaaS sind Microsoft 365, Google Workspace, Adobe Creative Cloud oder Dropbox. SaaS-Lösungen bieten dabei automatische Updates, ortsunabhängigen Zugriff und hohe Skalierbarkeit – bei gleichzeitig niedriger Einstieghürde für die Nutzer [48].

Sowohl SiteRoute als auch das Referenzmodell agrirouter lassen sich klar als SaaS-Plattformen einordnen. Beide bieten cloudbasierte Dienste, die Nutzern, insbesondere Ausführenden Unternehmen, Maschinenherstellern und Drittanbieter-Softwarefirmen, die Möglichkeit geben, digitale Werkzeuge und Daten auszutauschen, ohne eigene IT-Infrastrukturen aufzubauen zu müssen. Charakteristisch sind dabei zentral gehostete Software, Zugriff über das Internet, automatisierte Updates sowie nutzungs- oder abonnentenbasierte

Bezahlmodelle. Damit erfüllen beide Plattformen die Kernkriterien eines modernen SaaS-Ansatzes und profitieren von dessen Vorteilen hinsichtlich Skalierbarkeit, Wartungsaufwand und Marktzugang.

#### *Preismodelle im SaaS-Kontext*

Die Wahl des passenden Preismodells ist entscheidend für den kommerziellen Erfolg einer SaaS-Plattform. Im Gegensatz zur klassischen Lizenzvergabe basiert SaaS auf wiederkehrenden Einnahmen. Diese können durch unterschiedliche Preisstrategien realisiert werden.

Die gängigsten Preisstrategien lassen sich wie folgt kategorisieren:

#### **Fixe Preismodelle:**

Hierzu zählen:

- Abonnement-Modelle, bei denen Nutzer regelmäßige Gebühren (monatlich, vierteljährlich, jährlich) für eine bestimmte Nutzungspauschale zahlen. Diese enthalten meist alle wesentlichen Leistungen wie Lizenz, Wartung, und Support [49].
- Kostenbasierte Modelle, die sich an den internen Kostenstrukturen des Anbieters orientieren. Solche Modelle werden insbesondere eingesetzt, wenn der Kundennutzen schwer quantifizierbar ist oder der Markt wenig Preistransparenz aufweist [50].

#### **Dynamische Preismodelle:**

Die Preise werden flexibel auf Basis von Angebot und Nachfrage oder individueller Nutzung berechnet. Ein typisches Beispiel ist das Usage-based Pricing, bei dem Nutzer nur für tatsächlich in Anspruch genommene Dienste zahlen. Diese Modelle erlauben es Anbietern, die Zahlungsbereitschaft besser zu erfassen und die Wertschöpfung angemessen abzubilden [51].

#### **Marktbasierte Preisfindung:**

Preissetzung erfolgt durch Auktionen, Verhandlungen oder Benchmarking gegen Wettbewerberpreise [52].

#### **Hybride Modelle:**

Kombination aus festen Grundgebühren und nutzungsabhängiger Abrechnung. Häufig werden solche Modelle mit einem Freemium-Ansatz kombiniert: Basisfunktionen sind kostenlos verfügbar, während zusätzliche Premium-Dienste gegen Gebühr angeboten werden. Studien zeigen, dass solche Modelle insbesondere bei SaaS-Start-ups überdurchschnittlich erfolgreich sein können [53].

#### *Wahrnehmung von Preisfairness*

Neben der rein technischen Ausgestaltung ist auch die wahrgenommene Fairness zentral. Nutzer vergleichen Preise explizit (z. B. mit anderen Anbietern) oder implizit (z. B. Erwartungen aufgrund von Betriebsgröße oder Budgetrestriktionen) [54]. Um langfristiges Vertrauen und Kundenbindung zu erreichen, sollten SaaS-Anbieter daher:

- Preismodelle transparent und nachvollziehbar kommunizieren,
- Zielgruppen differenzieren (z. B. KMU vs. Konzerne),
- und überzeugende Gegenwerte für gebuchte Leistungen liefern.

Gerade bei Plattformmodellen wie SiteRoute, die auf Beteiligung unterschiedlich großer und strukturierter Markakteure angewiesen sind, ist eine faire und differenzierte Preisgestaltung eine Grundvoraussetzung für breite Marktazeptanz und nachhaltigen Betrieb.

### 5.3.2 TCO-Analyse zur Ermittlung der Gesamtkostenstruktur

Im Zuge der Einführung cloudbasierter Plattformmodelle wie SiteRoute gewinnt die Analyse der Gesamtkostenstruktur zunehmend an Bedeutung. Besonders im Kontext von SaaS bietet das Konzept des Total Cost of Ownership (TCO) einen geeigneten methodischen Rahmen, um alle relevanten Kostenkomponenten über den gesamten Lebenszyklus hinweg transparent zu erfassen und zu bewerten.

Das TCO-Konzept dient als umfassender Bezugsrahmen zur Analyse sämtlicher Kosten, die während der Nutzung einer IT-Lösung anfallen. Es berücksichtigt nicht nur die Anschaffungskosten für Hardware und Software, sondern auch Betriebs- und Wartungsausgaben, Kommunikations- und Schulungskosten sowie potenzielle Verluste durch Systemausfälle und ineffiziente Nutzung [55]. Im Gegensatz zu traditionellen Ansätzen, die primär auf kurzfristige Kostensenkung abzielen, verfolgt TCO einen langfristigen, ganzheitlichen Ansatz [56]. Ziel ist es, die Gesamtkosten von der Einführung über den Betrieb und Wartung bis hin zur Außerbetriebnahme abzubilden.

#### *TCO im SaaS-Kontext*

Die zunehmende Verbreitung von SaaS-Modellen verändert die Kostenstruktur von Software grundlegend. Während bei On-Premises-Lösungen die Verantwortung für Infrastruktur, Wartung und Updates beim Nutzer liegt, übernimmt dies im SaaS-Modell der Anbieter. Dadurch verschieben sich viele klassische Investitionen hin zu operativen, meist nutzungsbasierten Kosten [57].

Martens et al. (2012) erweiterten das klassische TCO-Modell um Cloud-Dienste wie IaaS, PaaS und SaaS. Dabei werden aus Sicht des Nutzers verschiedene Kostenfaktoren entlang der gesamten Nutzungskette identifiziert: von der strategischen Entscheidungsfindung über Implementierung und Betrieb bis hin zu Schulung und Systemausfällen. Insbesondere bei SaaS-Lösungen werden die Kosten in Zugangsgebühren und nutzungsabhängige Entgelte unterteilt, was die Charakteristik des Abonnementmodells abbildet [58].

TCO-Modelle ermöglichen auch Vergleiche zwischen Bereitstellungsformen, etwa SaaS-Nutzung versus Eigenentwicklung. Bibi et al. (2012) entwickelten ein allgemeines TCO-Modell, das Kostenposten wie Entwicklungs- bzw. Abonnementgebühren, Integration, Schulung, Hardware, Energie, Netzwerk und Raumkosten einbezieht [59]. Die Ergebnisse zeigen, dass SaaS-Modelle vor allem kurzfristig deutliche Kostenvorteile bieten, da sie Infrastrukturkosten reduzieren und Skaleneffekte nutzen können. Aggarwal (2005) betont, dass die TCO-Betrachtung im SaaS-Abonnementmodell idealerweise alle wesentlichen Kosten über drei bis fünf Jahre umfassen sollte [60]. Im Vergleich zu On-Premises-Lösungen werden die meisten Betriebs- und Infrastrukturkosten in eine kalkulierbare Abonnementgebühr integriert, was vor allem für KMU mit begrenzten IT-Ressourcen attraktiv ist.

Die Forschung belegt, dass TCO-Modelle im SaaS-Bereich breit angewendet und sowohl aus Kunden- als auch aus Anbietersicht weiterentwickelt wurden. Eine fundierte Langfristbewertung erfordert jedoch ein strukturiertes TCO-Modell in Kombination mit quantitativer Analyse spezifischer Anwendungsszenarien.

#### *TCO-Rahmenmodell für SiteRoute*

Da SiteRoute als neutraler, nicht profitorientierter Plattformbetreiber agieren soll, ist ein kostenbasiertes Preismodell vorgesehen. Hierzu müssen alle Plattformkosten über den gesamten Lebenszyklus systematisch erfasst und fair auf die relevanten Nutzergruppen verteilt werden.

Parallel dazu wird die TCO aus Kundensicht in zwei Szenarien betrachtet: (1) Nutzung von SiteRoute per Abonnement und (2) Entwicklung einer vergleichbaren Plattform im eigenen Unternehmen. Dieser Vergleich unterstützt die Bewertung der Kostenvorteile und Effizienzpotenziale von SiteRoute (s. Kap. 5.5).

Für die Entwicklung des TCO-Rahmenmodells werden drei unterschiedliche Perspektiven betrachtet:

1. Die TCO aus Sicht von SiteRoute als Plattformbetreiber (SiteRoute-Betrieb)
2. Die TCO aus Sicht eines Unternehmens, der SiteRoute abonniert (SaaS-Nutzung)
3. Die TCO aus Sicht eines Unternehmens, das eine ähnliche Plattform intern entwickelt (Eigenentwicklung)

Obwohl die drei Szenarien einer einheitlichen Kostenstruktur folgen, unterscheidet sich die Analyse aus Sicht des SaaS-Anbieters deutlich von den beiden anderen, insbesondere durch den Fokus auf Anfangsinvestitionen und wiederkehrende Betriebskosten. Inhalt, Methode und Zielsetzung weichen hier ab. Das einheitliche Rahmenmodell ermöglicht sowohl horizontale Vergleiche zwischen den Szenarien als auch vertikale Detailanalysen aus unterschiedlichen Blickwinkeln und bildet damit die Grundlage für die Kostenanalyse.

Zur Vereinfachung und Fokussierung auf zentrale Kostentreiber werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Unternehmen verfügen bereits über grundlegende IT-Infrastruktur (z. B. Internetzugang, Arbeitsplätze).
- Der Betrachtungszeitraum beträgt mindestens fünf Jahre, ohne Berücksichtigung möglicher Ausstiegskosten.
- Preisfluktuationen durch Inflation oder technische Upgrades werden nicht einbezogen.

Auf Basis dieser Annahmen wird ein allgemeines TCO-Rahmenmodell entwickelt, das aus zwei Hauptkomponenten besteht: Einmalkosten (Cu) und laufenden Betriebskosten (Co). Zusammensetzung und Gewichtung dieser Kosten variieren je nach Szenario in Tabelle 3.

*Tabelle 3: TCO-Rahmenmodell für drei Szenarien (SiteRoute-Betrieb, SaaS-Nutzung, Eigenentwicklung)*

Kostenart	Kostenstruktur	SiteRoute-Betrieb	SaaS-Nutzung	Eigenentwicklung
<b>Einmalkosten (Cu)</b>	Entwicklungskosten (Cd)	✓	✗	✓
	Strategiekosten (Cps)	✓	✓	✓
	Implementierungs-/Integrationskosten (Cint)	✓	✓	✓
	Hardware-/Middlewarekosten (Ch)	✗	✗	✓
<b>Laufende Kosten (Co)</b>	Abonnementskosten (Csub)	✓	✓	✗
	Softwarewartungskosten (Csmain)	✓	✗	✓
	Hardwarewartungskosten (Chmain)	✗	✗	✓
	Systemausfallkosten (Cf)	✓	✓	✓
	Standard-Supportkosten (Cops)	✓	✓	✓
	Individualsupportkosten (Cocs)	✗	✓	✓
	IT-/Administrationskosten (Cadm)	✓	✓	✓
	Sicherheits-/Netzwerkkosten (Csec)	✗	✗	✓
	Raumkosten (Cfloor)	✓	✗	✓

## 1. Einmalkosten (Cu)

Hierbei handelt es sich um einmalige Anfangsinvestitionen für die Einführung oder Entwicklung einer Plattform:

- Entwicklungskosten (Cd): Fallen nur bei einer Eigenentwicklung oder beim initialen Aufbau von SiteRoute an. Für Abonnenten von SiteRoute entfallen diese, da die Plattform bereits entwickelt wurde.
- Strategiekosten (Cps): Kosten, die im Rahmen von strategischen Beratungen und Entscheidungsprozessen entstehen. Dazu zählen Marktanalysen, die Bewertung mehrerer Lösungsanbieter und die finale Anbieterauswahl. Ebenfalls eingeschlossen sind erste Anpassungen an spezifische Unternehmensanforderungen sowie Abstimmungs- und Kommunikationsaufwände zu Beginn.
- Implementierungs-/Integrationskosten (Cint): Aufwand für Einrichtung, API-Integration, Datenmigration und Tests.
- Hardware-/Middlewarekosten (Ch): Nur relevant bei Eigenentwicklung, z. B. für Server, Betriebssysteme, Datenbank- und Webserver, Middleware, Speicher und Lizenzen. Bei SaaS und SiteRoute sind diese in der Cloud-Gebühr wie AWS enthalten.

## 2. Laufende Betriebskosten (Co)

Dies sind die jährlich wiederkehrenden Kosten für den Betrieb der Plattform:

- Abonnementkosten (Csub): Monatliche oder jährliche Gebühren, die bei der Nutzung einer SaaS-Lösung anfallen, sowie die Cloud-Infrastrukturkosten, die im Fall von SiteRoute durch den Plattformbetreiber getragen werden.
- Softwarewartung (Csmain): Umfasst kontinuierliche Updates, Fehlerbehebungen (Debugging) und Leistungsoptimierungen der Plattform. Bei der Nutzung von SiteRoute sind diese Leistungen bereits im Abonnement enthalten.
- Hardwarewartung (Chmain): Entsteht ausschließlich bei einer Eigenentwicklung und umfasst die laufende Wartung von Servern, Speicher- und Netzwerksystemen.
- Systemausfallkosten (Cf): Bezeichnen Produktivitätsverluste und den internen Aufwand, die durch Systemstörungen oder ungeplante Ausfälle verursacht werden. Dazu zählen sowohl die Ausfallzeiten der Nutzer als auch die Ressourcen, die zur Fehlerbehebung eingesetzt werden müssen.
- Standard-Support (Cops): Deckt einheitliche Schulungen, Onboarding-Maßnahmen sowie allgemeine Hilfestellungen ab, die in allen drei Szenarien (SiteRoute-Betrieb, SaaS-Nutzung und Eigenentwicklung) relevant sind.
- Individualsupport (Cocs): Beinhaltet maßgeschneiderte Unterstützung, die speziell auf die Bedürfnisse einzelner Unternehmen zugeschnitten ist. Dieser Kostenfaktor fällt ausschließlich bei SaaS-Nutzern und Eigenentwicklern an.
- Administrationskosten (Cadm): Umfassen die Personalkosten für IT-Fachkräfte und das Betriebsmanagement. Bei einer Eigenentwicklung gehören hierzu Aufgaben wie Benutzer- und Rechteverwaltung, Koordination von Supportanfragen, Datensicherung, Log-Überwachung sowie allgemeine Systemadministration. Im Fall eines SaaS-Nutzung werden die meisten Wartungs- und Betriebsaufgaben vom Plattformanbieter übernommen, sodass das nutzende Unternehmen nur einen geringen internen Koordinations- und Kommunikationsaufwand hat. Für den SiteRoute-

Betreiber hingegen ist dieser Kostenblock erheblich, da ein komplettes Team für den kontinuierlichen Betrieb, die Überwachung und die Weiterentwicklung der Plattform erforderlich ist.

- Sicherheits-/Netzwerkkosten (Csec): Fallen nur bei einer Eigenentwicklung an und beinhalten die Anschaffung, Konfiguration und Wartung von Firewalls, Routern, Switches sowie weiterer Netzwerksicherheitsinfrastruktur.
- Raumkosten (Cfloor): Beziehen sich auf Büro- oder Serverflächen, die für den Betrieb und die Verwaltung der Plattform benötigt werden. Bei SaaS-Nutzern entfallen diese, da keine eigene Hardware vor Ort betrieben wird.

Gesamtformel über n Jahre:

$$TCO = C_u + \sum_{i=1}^n C_o$$

Das entwickelte TCO-Modell bildet somit eine ganzheitliche Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung von SiteRoute und ermöglicht sowohl Detailanalysen einzelner Kostenarten als auch Vergleichsrechnungen zwischen unterschiedlichen Implementierungsszenarien. Im nächsten Schritt erfolgt die Modellierung konkreter Preisoptionen und deren Bewertung entlang der TCO-Struktur.

### 5.3.3 Bewertung unterschiedlicher Preismodelle

Da beim agrirouter die Endnutzer vor allem aus Landwirten und Lohnunternehmern bestehen, die aufgrund begrenzter Ressourcen in Spitzenzeiten häufig zusammenarbeiten. Im agrirouter zahlen Landwirte und Lohnunternehmer eine geringe Abonnementgebühr (250 Euro bzw. 500 Euro) und müssen keine Mitglieder werden. Die Finanzierung erfolgt im Wesentlichen über Mitgliedsbeiträge von Landmaschinenherstellern und Softwareanbietern, nicht über die Endnutzer.

Es ist anzunehmen, dass selbst KMU über einen größeren Gerätelpark und höhere Umsätze als einzelne landwirtschaftliche Betriebe. Gleichzeitig ist der Markt durch große Bauunternehmen geprägt (s. Kap. 5.2.1). Deshalb werden Bauunternehmen im SiteRoute-Modell nicht nur als Nutzer, sondern auch als vollwertige Beitragspflichtige in die gleiche Gebührenstruktur wie Maschinenhersteller und Softwareanbieter integriert. Die von Bauunternehmen gezahlten Abonnementgebühren erfüllen somit dieselbe Funktion wie die Mitgliedsbeiträge in der Landwirtschaft und stellen eine zentrale Einnahmequelle für SiteRoute dar.

#### *Preismodell auf Basis des gewichteten Umsatzes*

Als Ausgangspunkt dient das bewährte Gebührenmodell des agrirouter, da Plattformarchitektur, Teilnehmerstruktur und Zielsetzung große Ähnlichkeiten aufweisen. Marktanalysen zeigen zudem, dass es Überschneidungen bei den Softwareanbietern gibt und die Marktstrukturen bei Maschinenherstellern vergleichbar sind.

Das SiteRoute-Modell übernimmt die Berechnungslogik des agrirouter nahezu unverändert (s. Abbildung 34).

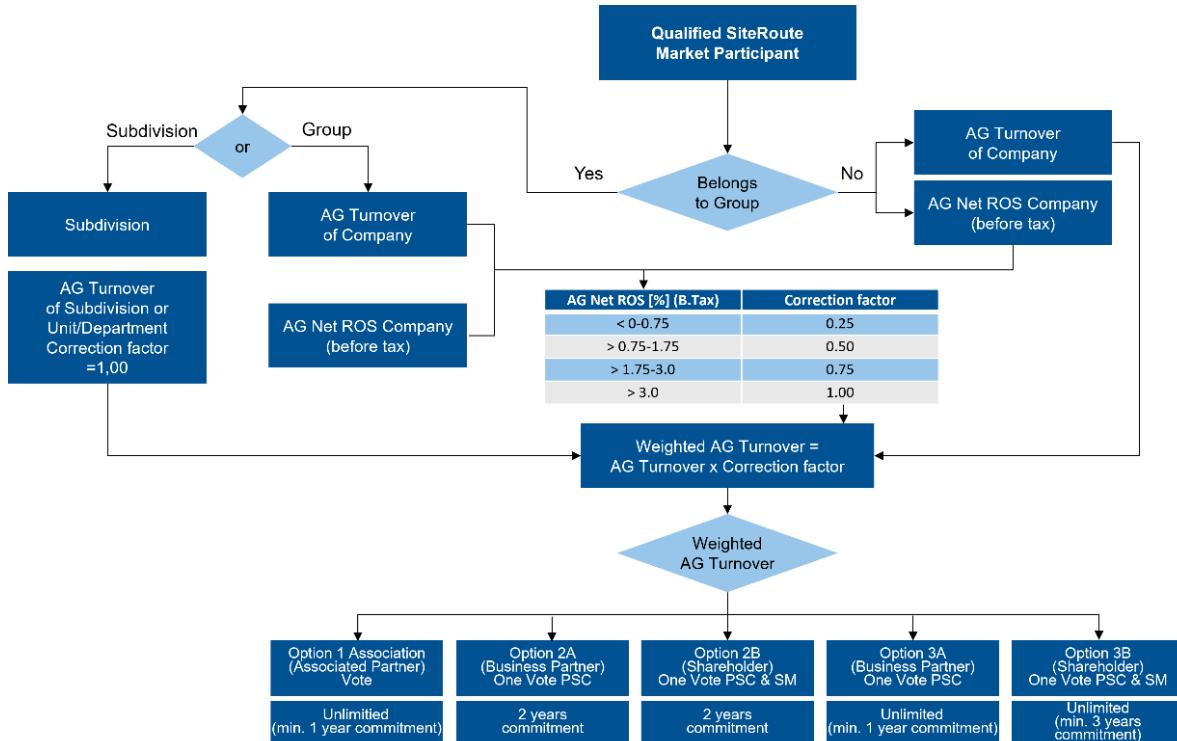


Abbildung 34: Modell für den gewichteten Umsatz von SiteRoute

Entscheidende Kennzahlen sind Umsatz und Nettoumsatzrendite (Net ROS), die durch einen prozentualen Korrekturfaktor (Correction factor) angepasst werden, um den „gewichteten Umsatz“ (Weighted AG Turnover) zu bestimmen. Diese Methodik stellt sicher, dass Unternehmen mit unterschiedlicher Profitabilität fair am Kostenbeitrag beteiligt werden.

Die Rollenstruktur bleibt ebenfalls bestehen: Associate Partner, Business Partner und Shareholder – jeweils mit definierten Rechten in der Plattform-Organisationsform. Im Unterschied zum agrirouter entfällt jedoch die Beschränkung, dass Tochterunternehmen nur Business Partner werden dürfen. Bei SiteRoute können Unternehmen unabhängig von Konzernzugehörigkeit frei wählen, welche Rolle sie einnehmen. Dies erhöht die Attraktivität, vereinfacht den Einstieg und macht die Plattformregeln transparenter.

Die Gebührenstruktur orientiert sich grundsätzlich am agrirouter, wird jedoch auf die Bauwirtschaft angepasst. Während der agrirouter für Landwirte und Lohnunternehmer nominale Gebühren vorsieht, entfallen diese bei SiteRoute zugunsten einer einheitlichen Beitragsstruktur. Lediglich Associate Partner mit einem gewichteten Umsatz unter 60 Millionen Euro zahlen reduzierte Beiträge (s. Abbildung 31), um KMU den Einstieg zu motivieren und erleichtern. Für Business Partner und Shareholder bleibt die Gebührenhöhe stabil, wobei eine zweijährige Pilotphase mit reduzierten Gebühren vorgesehen ist, bevor ab dem dritten Jahr die regulären Sätze gelten. Diese Struktur sollte jedoch in der praktischen Umsetzung kontinuierlich beobachtet und gegebenenfalls an die Marktbedingungen der Bauwirtschaft angepasst werden.

Die detaillierte jährliche Gebührenstruktur von SiteRoute ist in Anhang A.3 dargestellt und lehnt sich an das Gebührenmodell des agrirouter [44] an. Das Modell der gewichteten Umsatzberechnung in Kombination mit der Gebührenstruktur bildet gemeinsam das Preismodell von SiteRoute.

Die Kombination aus gewichteter Umsatzberechnung und klarer Rollenverteilung bietet mehrere Vorteile: Sie ist bereits durch den agrirouter am Markt in der Landwirtschaft erprobt und in ihrer Fairness validiert,

schafft Transparenz in der Kostenverteilung und erleichtert SiteRoute dadurch die Prognose von Einnahmen sowie die langfristige Finanzplanung. Zudem ermöglicht das Einmalentgelt den Nutzern, mehrere Maschinen ohne zusätzliche Kosten anzubinden, was die breite Nutzung der Plattform fördert. Allerdings kann dieses Modell von Unternehmen mit hohem Umsatz, aber vergleichsweise wenigen Maschinen als weniger fair empfunden werden.

#### *Preismodell auf Basis der Maschinenanzahl*

Im Rahmen einem PA-Workshop am 20. November 2024 (s. Kap. 5.4) zum Preismodell von SiteRoute brachten die Bauunternehmen den Vorschlag ein, die Gebührenstruktur an der Anzahl der mit der Plattform verbundenen Maschinen auszurichten. Dieses Modell ist speziell auf die Bedürfnisse von Bauunternehmen zugeschnitten, da deren Maschinenbestand maßgeblich den Umfang der Nutzung und damit auch den Mehrwert der Plattform bestimmt.

Das Grundprinzip ist, dass die jährliche Abonnementgebühr eines Unternehmens proportional zur Anzahl der an SiteRoute angeschlossenen Maschinen ausfällt. Ergänzend wird eine fixe Grundgebühr erhoben, um einen Teil der laufenden Betriebskosten unabhängig von der Maschinenanzahl zu decken und eine stabilere Einnahmenbasis für den Plattformbetrieb zu schaffen. Die Berechnungsformel für dieses Modell lautet:

$$\text{Abonnementgebühr} = \text{fixe Grundgebühr} + (\text{Preis pro Maschine} \times \text{Anzahl der Maschinen})$$

Ein Beispiel: Besitzt ein Bauunternehmen 100 Maschinen, beträgt die Grundgebühr 1.000 Euro, und der Preis pro Maschine liegt bei 30 Euro/Jahr, so ergibt sich eine jährliche Abonnementgebühr von 31.000 Euro.

Dieses Modell hat mehrere Vorteile. Zum einen besteht eine direkte, leicht nachvollziehbare Korrelation zwischen der Nutzung der Plattform (gemessen an der Maschinenanzahl) und den Kosten für den Kunden, was ein hohes Maß an wahrgenommener Fairness schafft. Zum anderen ist die Preisstruktur transparent, einfach zu verstehen und zu kommunizieren, was die Akzeptanz bei potenziellen Nutzern steigern kann.

Allerdings ergeben sich bei einer Umsetzung dieses Modells in der Bauwirtschaft erhebliche praktische Herausforderungen. Wird ein fixes Modell auf Basis der Maschinenanzahl angewendet, muss SiteRoute für jeden Abrechnungszeitraum die exakte Maschinenanzahl eines Unternehmens ermitteln. Da Baumaschinen während ihres Lebenszyklus verschiedene Phasen von der Beschaffung, der Vermietung, der Umverteilung, der Reparatur und der Ausmusterung durchlaufen, schwankt die Anzahl der verfügbaren Maschinen. Dies kann zu stark variierenden Ergebnissen je nach Erhebungszeitpunkt führen. Hinzu kommt, dass verlässliche Marktdaten zur tatsächlichen Maschinenanzahl vieler Unternehmen fehlen, was die Planung und Einnahmenprognose erschweren.

Komplexer wird es, wenn ein dynamisches Modell eingesetzt wird, das auf der Echtzeitanzahl der angeschlossenen Maschinen basiert. In diesem Fall müsste SiteRoute kontinuierlich den Verbindungsstatus jeder Maschine überwachen und die Daten laufend erfassen. Dies würde zusätzliche technische Module zur Maschinenüberwachung und Statuserkennung erfordern mit entsprechend höheren Betriebskosten. Aus Sicht der Kostenkontrolle ist dieses Modell daher wenig attraktiv.

Als gemeinnützige Datenaustauschplattform verfolgt SiteRoute das Prinzip einer kostenbasierten Beitragsverteilung: Entwicklungs- und Betriebskosten sollen fair auf alle Nutzer- und Partnergruppen verteilt werden. Hängt die Abonnementgebühr für Bauunternehmen jedoch ausschließlich von der Maschinenanzahl ab, muss SiteRoute besonders auf die ausgewogene Kostenverteilung zwischen den beteiligten Gruppen (z. B. Maschinenhersteller oder Softwareanbieter) achten. Dies erschwert sowohl die Beitragskalkulation als

auch eine verlässliche langfristige Finanzplanung. Ein Preismodell auf Basis der Maschinenanzahl für bestimmte SaaS-Produkte ist aufgrund der hohen Implementierungskomplexität, der eingeschränkten Datenverfügbarkeit und der fehlenden Planungssicherheit nur bedingt geeignet. Eine mögliche Einführung erfordert weitere Marktstudien und eine präzise Festlegung der Preisparameter.

Welches Modell letztlich zu empfehlen ist, hängt stark von den verfügbaren Ressourcen ab. Wenn keine umfassenden Marktanalysen oder nur begrenzte finanzielle Mittel zur Verfügung stehen, bietet das Preismodell auf Basis des gewichteten Umsatzes eine praktikablere und risikoärmere Lösung.

Stehen hingegen Zeit und Mittel für vertiefte Marktstudien sowie die Weiterentwicklung der Datengrundlagen bereit, kann das maschinenbasierte Preismodell langfristig passgenauer auf die Nutzung und den Mehrwert für Bauunternehmen zugeschnitten werden.

## 5.4 Diskussion aus der Praxis und Bewertungskriterien

### 5.4.1 Feedback aus dem Workshop

Dieser Abschnitt fasst die zentralen Erkenntnisse des SiteRoute PA-Workshops am 20. November 2024, darunter 20 Befragte aus unterschiedlichen Unternehmens- und Organisationsformen (u. a. Bauunternehmen, Softwareanbieter, Maschinenhersteller, Verbände und Forschungseinrichtungen), zusammen und zeigt die Erwartungen und Zahlungsbereitschaft der Teilnehmer aus der Bauwirtschaft in Bezug auf das Finanzierungsmodell. Das detaillierte Ergebnis ist in Anhang A.4 dargestellt.

Unter den Teilnehmern befanden sich sieben Bauunternehmen, drei Maschinenhersteller, zwei Softwareanbieter und fünf Branchenverbände sowie Forschungseinrichtungen (s. Abbildung A.4.1). Hinsichtlich der Unternehmensgröße waren 40 % KMU mit einem Jahresumsatz unter 50 Millionen Euro, während 35 % einen Umsatz von mehr als 370 Millionen Euro erzielten und damit zu den Großunternehmen zählen (s. Abbildung A.4.2). Dies verdeutlichen die Breite und Vielfalt des Bausektors.

55,6 % der Unternehmen gaben ihre Umsatzrendite (ROS) nicht an (s. Abbildung A.4.3). 33,3 % wiesen eine ROS von unter 4,6 % aus, was auf eine begrenzte Gewinnmarge bei einem Drittel der befragten Unternehmen hinweist. Da ROS und Umsatz gemeinsam die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Unternehmens abbilden, kann die Berücksichtigung der ROS in unternehmensgrößenbasierten Preismodellen zu mehr Fairness beitragen.

Bezüglich der Kooperationsabsichten sind 85 % der Teilnehmer bereit, mindestens zwei Jahre mit SiteRoute zusammenzuarbeiten (s. Abbildung A.4.7); die Mehrheit davon strebt eine langfristige Partnerschaft an. Dies deutet auf den Wunsch nach einem stabilen, nachhaltigen Preismodell hin.

In Bezug auf Rollen, Rechte und Beteiligung möchten meistern Unternehmen (58 %) nicht nur die Plattform nutzen, sondern auch im PSC mitwirken, was auf ein hohes Engagement der Nutzer schließen lässt (s. Abbildung A.4.5). 21 % möchten zusätzlich im SM mit Stimmrecht vertreten sein, während lediglich 21 % ausschließlich an der Nutzung der Plattform interessiert sind. Damit wird deutlich, dass Mitbestimmung für viele Unternehmen ein zentrales Kriterium ist.

Bei der Zahlungsbereitschaft zeigt sich eine deutliche Spreizung (s. Abbildung A.4.10): 57 % der Nennungen liegen unter 4.000 Euro pro Jahr, was insbesondere zum Budgetrahmen von KMU passt. 29 % der Unternehmen sind bereit, mehr als 9.000 Euro jährlich zu investieren, häufig in Verbindung mit dem Wunsch nach Mitspracherechten.

Zusätzlich wurden offene Anmerkungen gesammelt (s. Abbildung A.4.8). Die meisten der Vorschläge beziehen sich auf nutzungsbasierte Preisgestaltung (Maschinenanzahl oder Datenvolumen), weitere auf Kostentransparenz sowie die Beteiligung von Herstellern und die Sicherstellung der Datenqualität.

Insgesamt zeigt der Workshop eine hohe Zustimmung zu langfristiger Kooperation, gestuften Modellen nach Unternehmensgröße sowie einer flexiblen, nutzungsabhängigen Preisgestaltung. Kostentransparenz und Datenqualität werden als wichtige Voraussetzungen genannt, und ein signifikanter Anteil der Marktteilnehmer wünscht Mitbestimmung bei der strategischen Entwicklung von SiteRoute.

#### 5.4.2 Ergebnisse der Umfrage

Die ergänzende Online-Umfrage wird durch den Verband der Baubranche, Umwelt- und Maschinentechnik e. V. (VDBUM) sowie die Bayerische BauAkademie an Unternehmen verteilt. Sie richtet sich gezielt an Bauunternehmen und liefert ein klareres Bild der Anforderungen der Hauptnutzergruppe. Ziel ist es, die Ergebnisse der Workshop-Diskussionen durch eine breitere Marktstichprobe zu ergänzen und Erkenntnisse zu Themen wie Maschinenbestand, Zahlungsbereitschaft, Beteiligungsinteresse und bevorzugte Preismodellen zu gewinnen. Das detaillierte Ergebnis ist in Anhang A.5 dargestellt.

Von den 20 teilnehmenden Bauunternehmen sind 75 % KMU gemäß EU-Definition (die weniger als 250 Mitarbeitende beschäftigen und entweder einen Jahresumsatz von höchstens 50 Millionen Euro erzielen oder eine Bilanzsumme von höchstens 43 Millionen Euro ausweisen).

Bezüglich der Maschinenausstattung zeigt sich eine große Spannbreite. Die meisten Bauunternehmen verfügen über eine bis 50 Erdbewegungsmaschinen (z. B. Bagger, Radlader) und ähnliche Stückzahlen in den Kategorien Krane sowie sonstige Baugeräte. LKW und Baufahrzeuge sind häufiger in der kleineren Größenordnung von einer bis zehn Maschinen vorhanden. Betrachtet man die Gesamtzahl der Maschinen im Unternehmen, liegt der häufigste Bereich ebenfalls bei elf bis 50 (35 %), gefolgt von 51–100 (15 %).

Bei der Zahlungsbereitschaft für die Nutzung von SiteRoute gibt eine deutliche Mehrheit an, im unteren Preissegment bleiben zu wollen. 70 % nennen einen Jahresbetrag unter 1.000 Euro, 30 % sind bereit, 1.001–2.000 Euro zu zahlen, und nur 20 % akzeptieren 2.001–3.000 Euro. Höhere Beträge werden nicht genannt.

In Bezug auf die Mitbestimmung äußern sich die Bauunternehmen deutlich zurückhaltender als die gemischte Workshop-Gruppe. 70 % wollen die Plattform ausschließlich nutzen, ohne sich an Gremienarbeit zu beteiligen. Nur 20 % möchten im PSC mitwirken, und lediglich 10 % streben zusätzlich Stimmrechte im SM an.

Bei den bevorzugten Preismodellen überwiegt mit 55 % deutlich der Wunsch nach einer Preisgestaltung entsprechend der Anzahl der Maschinen oder des übertragenen Datenvolumens. Weitere 20 % befürworten eine Staffelung nach Unternehmensgröße.

### 5.4.3 Analyse der Ergebnisse

Die Gegenüberstellung der Workshop- und Umfrageergebnisse verdeutlicht, wie stark sich die Teilnehmerstruktur auf Erwartungen und Beteiligungsbereitschaft auswirkt (s. Tabelle 4).

*Tabelle 4: Vergleich: Workshop-Ergebnisse aus Projektbegleitender Ausschuss vs. Umfrage-Ergebnisse mit Fokus KMU*

Kriterium	Workshop	Umfrage	Hauptunterschied
<b>Teilnehmerstruktur</b>	Gemischte Teilnehmer: Bauunternehmen, Hersteller, Softwareanbieter, Forschung/Verbände	75 % KMU, alle Bauunternehmen	Umfrage homogener, stärker KMU-orientiert
<b>Beteiligungswunsch</b>	Hohes Interesse und aktive Beteiligung: 58 % PSC, 21 % SM, 21 % reine Nutzung	Reine Nutzung der bereitgestellten Lösungen: 20 % PSC, 10 % SM, 70 % reine Nutzung	Deutlich weniger Engagement in der Umfrage
<b>Preismodell-Präferenz</b>	56 % nach Maschinenanzahl/Datenvolumen	55 % nach Maschinenanzahl/Datenvolumen	Gleicher Schwerpunkt
<b>Zahlungsbereitschaft</b>	Teilweise > 9.000 €, breites Spektrum	Max. 3.000 €, überwiegend < 1.000 €	Umfrage deutlich preissensibler
<b>Sonstige Anforderungen</b>	Kostentransparenz, Datenqualität	Kostentransparenz, einfache Logik	Gleicher Schwerpunkt

Im PA-Workshop mit einer gemischten Gruppe aus Bauunternehmen, Maschinenherstellern, Softwareanbietern sowie Verbänden und Forschungseinrichtungen zeigte sich ein hohes Maß an Engagement. 58 % wollen SiteRoute nicht nur nutzen, sondern sich auch aktiv im PSC einbringen. Dagegen überwog in der reinen Bauunternehmer-Umfrage, in der 75 % KMU vertreten waren, ein eher zurückhaltender Ansatz: 70 % bevorzugten die reine Nutzung der Plattform ohne zusätzliche organisatorische oder strategische Beteiligung. Dies deutet darauf hin, dass KMU mit begrenzten personellen Ressourcen den Schwerpunkt stärker auf eine pragmatische Anwendung legen, während heterogene Gruppen eher Mitgestaltung und Organisationsform anstreben.

Trotz dieser Unterschiede gibt es auch klare Schnittmengen. Sowohl im PA-Workshop (56 %) als auch in der Umfrage (55 %) wurde eine Preisgestaltung nach Anzahl der Maschinen oder übertragenem Datenvolumen als bevorzugt angegeben. Diese weitgehende Übereinstimmung zeigt, dass nutzungsabhängige, klar nachvollziehbare Kostenmodelle branchenübergreifend als fair empfunden werden, unabhängig von Unternehmensgröße oder Rolle im Ökosystem.

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich ein akzeptiertes und faires Preismodell an vier wesentlichen Kriterien orientiert:

- Fairness – Maschinen- bzw. datenbasierte Modelle werden in beiden Gruppen als gerecht wahrgenommen.
- Transparenz – Eine einfach nachvollziehbare Preislogik wird klar gefordert; Modelle auf Basis der Maschinenanzahl erfüllen diese Anforderung.
- Skalierbarkeit – Maschinenbasierte Ansätze lassen sich auf verschiedene Unternehmensgrößen übertragen, erfordern jedoch geeignete technische Implementierungen.
- KMU-Tauglichkeit – Die in der Umfrage ermittelte, oft niedrige Zahlungsbereitschaft erfordert ein gestuftes Einstiegsmodell mit geringen Fixkosten, um auch kleineren Betrieben den Zugang zu ermöglichen.

In Verbindung mit den Erkenntnissen aus Kapitel 5.1 zur Ausgangslage und den detaillierten Ergebnissen in Abschnitt 5.3.3 wird deutlich: Ein Finanzierungsmodell für SiteRoute muss die Budgetrealität von KMU berücksichtigen, nutzungsabhängig skalieren und zugleich Transparenz sowie langfristige Partnerschaften fördern.

## 5.5 Nutzenargumentation und Wirtschaftlichkeitsvergleich

Bauunternehmen stehen vor der strategischen Entscheidung, ob sie für den digitalen Datenaustausch eine eigene Plattform entwickeln oder die bestehende Lösung SiteRoute im Abonnement nutzen. Um diese Alternativen fundiert zu vergleichen, wurde auf Basis der in Kapitel 5.3 beschriebenen TCO-Methodik eine Fallstudie erstellt. Dabei wird der Fünfjahres-Gesamtaufwand (TCO) für ein Beispielunternehmen in beiden Szenarien untersucht. Alle verwendeten Daten in diesem Kapitel sind aus der Studie der Yankee Group [60], einem Marktforschungs- und Beratungsunternehmen, das sich auf Technologie- und IT-Strategien spezialisiert hat. Weitere Annahmen beruhen auf Expertengesprächen.

### Kostenstruktur SiteRoute-Abo (SaaS-Nutzung)

Für das Beispielunternehmen mit einem gewichteten Umsatz von über 745 Millionen Euro ist die Rolle als Business Partner verpflichtend, da der gewichtete Umsatz über der 60-Millionen-Euro-Grenze liegt. Die jährliche Abonnementgebühr beträgt gemäß der in Anhang A.3 dargestellten Gebührenstruktur in den ersten beiden Jahren 36.000 Euro, ab dem dritten Jahr 47.500 Euro. Zusätzlich fallen einmalige Strategieaufwendungen in Höhe von ca. 18 % der Abonnementgebühr an, z. B. für die Teilnahme an Einführungsworkshops, interne Evaluierungen und Entscheidungsprozesse. Für die technische Anbindung wird eine API-Integration benötigt, die mit etwa 10.000 Euro veranschlagt wird.

Obwohl SiteRoute auf eine hohe Systemstabilität ausgelegt ist, muss das Risiko ungeplanter Systemausfälle berücksichtigt werden. Die Analyse geht vorsichtig davon aus, dass es pro Jahr zu maximal 24 Stunden Betriebsunterbrechung kommen kann. Als kontinuierlich optimierte SaaS-Plattform erfordert SiteRoute zudem, dass Nutzer sich regelmäßig über Neuerungen informieren und Arbeitsabläufe anpassen.

Trotz standardisierter Funktionen, und umfassender Dokumentation kann es vorkommen, dass spezifische technische Unterstützung erforderlich wird. Zwar sinkt durch das SaaS-Modell der Personalbedarf, dennoch muss das Beispielunternehmen einen internen Koordinator benennen, der für Plattformintegration, interne Kommunikation und Projektmanagement verantwortlich ist. Als Business Partner ist außerdem die regelmäßige Teilnahme am PSC vorgesehen.

Die Analyse geht davon aus, dass der Koordinator etwa 10 Stunden pro Woche für diese Aufgaben einsetzt. Hinzu kommen monatlich rund 5 Stunden Schulung sowie jährlich ca. 5 Stunden Individualsupport. Die Personalkosten werden auf Basis des durchschnittlichen Stundenlohns von Nicht-Softwareentwicklungspositionen kalkuliert.

### Kostenstruktur Eigenentwicklung

Entscheidet sich das Beispielunternehmen für eine Eigenentwicklung, ist der Aufbau einer Plattform mit 18 API-Schnittstellen zu unterschiedlichen Baumaschinenherstellern und internen Softwaresystemen geplant. Die Entwicklung einer einzelnen API erfordert ca. 10 Stunden für Programmierung und weitere 2 Stunden für Data Mapping (z. B. Formatkonvertierungen), durchgeführt von Senior-Softwareentwicklern.

Zusätzlich entstehen Hardware- und Middlewarekosten in Höhe von ca. 6.408 Euro, zuzüglich jährlicher Wartungskosten von 5 % dieses Betrags. Strategie-, Integrations- und Wartungsaufwände werden anteilig zu den Entwicklungskosten berechnet: einmalige 18 % für Strategie, 75 % für Implementierung/Integration und jährliche 18 % für Softwarewartung.

Auch bei einer Eigenentwicklung benötigen interne Nutzer Schulungen; ebenso sind individueller Support und Systemausfälle unvermeidlich. Um einen fairen Vergleich zu ermöglichen, werden für Systemausfälle, Standardsupport und Individualsupport vergleichbare Kosten wie im SiteRoute-Szenario angesetzt.

Für den laufenden Betrieb wird ein Teilzeitingenieur eingestellt, der 20 Stunden pro Woche für Systemadministration und technischen Support aufwendet. Zusätzlich muss Rechenzentrumsfläche bereitgestellt werden, um die notwendige Serverinfrastruktur zu betreiben.

### Ergebnisse des TCO-Vergleichs

Die Gegenüberstellung der Kostenstrukturen (s. Tabelle 5) verdeutlicht die unterschiedlichen Kostenverteilungen zwischen SiteRoute-Abo und Eigenentwicklung.

*Tabelle 5: Vergleich der Kostenstruktur von SiteRoute-Abo und Eigenentwicklung (in Prozent des Gesamt-TCO für fünf Jahre)*

Kostenart	Kostenstruktur	SiteRoute-Abo	Eigenentwicklung
<b>Einmalkosten (Cu)</b>	Entwicklungskosten (Cd)	–	9,75 %
	Strategiekosten (Cps)	1,87 %	1,75 %
	Implementierungs-/Integrationskosten (Cint)	2,88 %	7,31 %
	Hardware-/Middlewarekosten (Ch)	–	1,81 %
<b>Laufende Kosten (Co)</b>	Abonnementskosten (Csub)	61,87 %	–
	Softwarewartungskosten (Csmain)	–	8,77 %
	Hardwarewartungskosten (Chmain)	–	0,45 %
	Systemausfallkosten (Cf)	1,32 %	1,29 %
	Standard-Supportkosten (Cops)	3,29 %	3,22 %
	Individualsupportkosten (Ccs)	0,27 %	0,27 %
	IT-/Administrationskosten (Cadm)	28,50 %	55,75 %
	Sicherheits-/Netzwerkkosten (Csec)	–	9,03 %
	Raumkosten (Cfloor)	–	0,60 %
<b>Gesamt TCO</b>		100 %	100 %

Beim SiteRoute-Abo liegen die Hauptanteile auf den laufenden Kosten: Abonnementgebühren machen mit 61,87 % den größten Block aus, gefolgt von Personalkosten (28,50 %) und Supportgebühren (3,29 %). Die einmaligen Kosten sind deutlich geringer und bestehen im Wesentlichen aus Implementierungs-/Integrationskosten (2,88 %) sowie vorläufigen Strategiekosten (1,87 %).

Bei der Eigenentwicklung entfallen die größten Anteile auf einmalige Entwicklungskosten (9,75 %), Implementierungs- und Integrationskosten (7,31 %) sowie vorläufige Strategiekosten (1,75 %). Unter den laufenden Kosten dominieren Personalkosten (55,75 %), gefolgt von Softwarewartungskosten (8,77 %), Sicherheits- und Versorgungskosten (9,03 %) sowie Supportgebühren (3,22 %).

### Kostenverlauf im Zeitablauf

Die Abbildung 35 zeigt den kumulierten Kostenverlauf über einen Zeitraum von fünf Jahren.

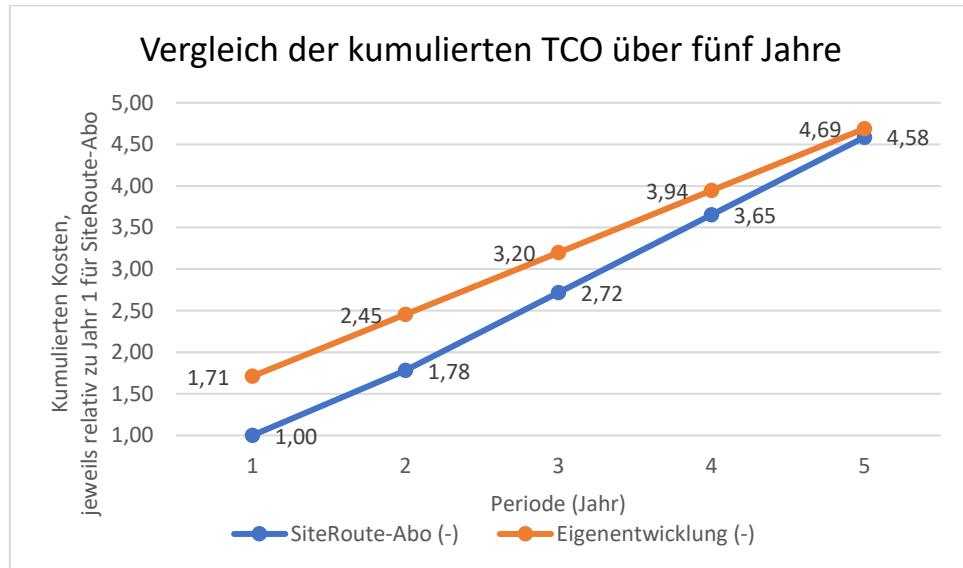


Abbildung 35: Kumulierte Kostenentwicklung über 5 Jahre

Dabei wird deutlich, dass das SiteRoute-Abo in der Anfangs- und mittleren Nutzungsphase einen signifikanten Kostenvorteil bietet, während die Eigenentwicklung langfristig günstiger werden kann. Bereits im ersten Jahr liegen die Aufwände der Eigenentwicklung bei 171 % der Abo-Kosten. Bis zum Ende des fünften Jahres reduziert sich dieser Unterschied auf rund 11 %, wobei der Break-even-Punkt im sechsten Jahr erreicht wird.

Diese Kalkulation beruht jedoch auf der Annahme, dass während des gesamten Betrachtungszeitraums keine zusätzlichen API-Schnittstellen oder Funktionsupdates notwendig werden. Jede Erweiterung würde die Eigenentwicklung verteuern, während die Gebühren beim SiteRoute-Abo im Rahmen des Kostenbeitragsmodells vergleichsweise stabil bleiben.

Die Abbildung 36 simuliert ein erweitertes Szenario mit einer längeren Nutzungsdauer und zusätzlichen Integrationen in der Eigenentwicklung.

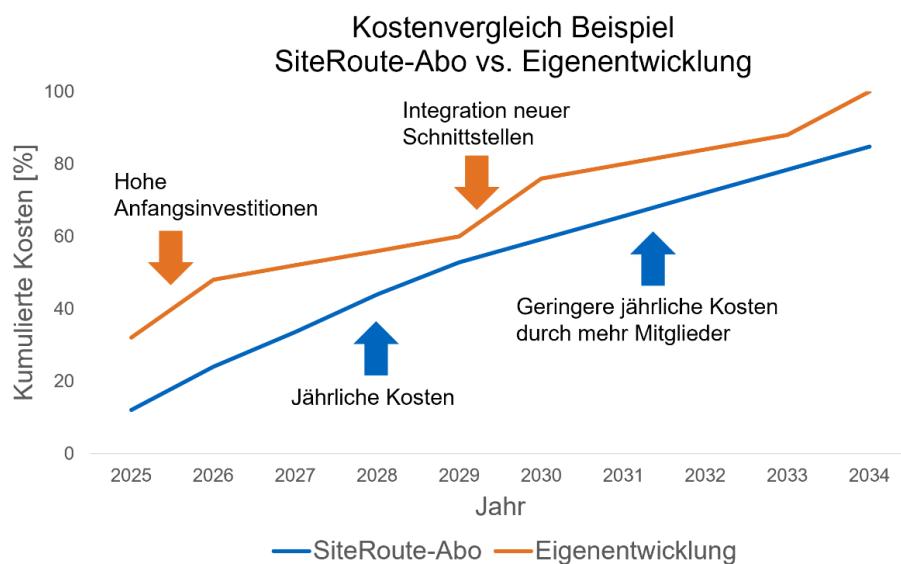


Abbildung 36: Kostenvergleich im erweiterten Zeitverlauf bei zusätzlichen Integrationen

Wird das System im Laufe der Zeit durch neue Schnittstellen oder Funktionsausbauten erweitert, steigen die einmaligen Entwicklungs- und Integrationskosten signifikant an. Zusätzlich können höhere Datenmengen die Betriebskosten für Server und Infrastruktur erhöhen.

Im Gegensatz dazu führt das SiteRoute-Abo selbst bei funktionalen Anpassungen oder Updates nur zu geringen Gebührenänderungen für einzelne Abonnenten. Dies verlängert den Zeitraum, bis eine Eigenentwicklung einen Kostenvorteil gegenüber dem Abo-Modell erzielt.

### Nicht-monetäre Faktoren und Nutzenargumentation

Neben den direkten Kosten unterscheiden sich die Szenarien in weiteren Aspekten (s. Tabelle 6).

*Tabelle 6: Vergleich weiterer Faktoren: SiteRoute-Abo vs. Eigenentwicklung*

Aspekt	SiteRoute-Abo	Eigenentwicklung von Unternehmen
Kosten	Planbare, jährliche Kosten	Hohe Anfangsinvestitionen, potenziell höhere Langfristkosten
Zeit	Schnelle Implementierung	Langwierige Entwicklungs- und Implementierungsphase
Flexibilität	Abhängigkeit von SiteRoute-Updates und -Funktionen	Hohe Flexibilität und individuelle Anpassung
Ressourcen	Weniger IT-Personal, Entlastung der IT-Abteilung	Hoher Bedarf an IT-Personal und Ressourcen
Wartung/Support	Inklusive Wartung und Support	Eigenverantwortliche Wartung und Support
Sicherheit	Bewährte Sicherheitsstandards	Eigenverantwortliche Sicherheitsmaßnahmen

Das SiteRoute-Abo überzeugt vor allem durch schnelle Implementierung, einen geringeren Personalbedarf sowie inkludierten Support und einheitliche Sicherheitsstandards. Diese Eigenschaften reduzieren nicht nur den internen Aufwand, sondern sorgen auch für eine planbare und zuverlässige Nutzung der Plattform.

Die Eigenentwicklung hingegen bietet maximale Flexibilität und individuelle Anpassungsmöglichkeiten an spezifische Geschäftsprozesse sowie volle Kontrolle über Daten und Sicherheitsmaßnahmen. Dies erfordert jedoch deutlich höhere interne Ressourcen und eine längere Einführungszeit.

Aus Sicht potenzieller Abonnenten lassen sich für SiteRoute folgende zentrale Nutzenargumente ableiten:

- Kalkulierbare Kosten: Planbare, jährliche Beiträge ohne zusätzliche Investitionen für API-Erweiterungen oder Funktionsupdates.
- Schnelle Einsatzbereitschaft: Verkürzung der Einführungszeit von mehreren Monaten auf wenige Wochen.
- Entlastung interner Ressourcen: Deutliche Reduktion des internen IT-Personals für Betrieb, Wartung und Support.
- Zentrale Datentreuhand: Einheitliche Sicherheitsstandards, Unterstützung bei Compliance-Anforderungen sowie geringeres Risiko für Datenverlust oder -missbrauch.

Im Rahmen von Kapitel 5 wurde ein umfassender Ansatz zur Entwicklung eines tragfähigen Geschäfts- und Finanzierungsmodells für die Datenaustauschplattform SiteRoute verfolgt. Ausgangspunkt waren Gespräche mit Forschungseinrichtungen, Innovationsgesellschaften sowie Betreibern bestehender Datenplattformen wie dem agrirouter. Ziel war es, sowohl technische und organisatorische Anforderungen als auch

Rollen, Rechte und Verantwortlichkeiten der unterschiedlichen Teilnehmergruppen – Bauunternehmen, Dienstleister und Hersteller – klar zu definieren.

Ein zentrales Arbeitspaket bestand in der Untersuchung möglicher Preismodelle, einschließlich der Analyse des agrirouter-Ansatzes sowie eines Workshops mit dem PA. Hier wurden Zahlungsbereitschaft, Beteiligungsinteresse und Präferenzen für Preisgestaltungstypen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein transparentes und auf die Bauwirtschaft angepasstes Modell bevorzugt wird. Dabei wurden die Vor- und Nachteile von zwei Preismodellen beleuchtet und deren Auswirkungen auf Partizipation, Entscheidungsprozesse und finanzielle Stabilität analysiert.

Zur Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde ein TCO-Vergleich zwischen der SiteRoute-Nutzung im Abonnement und einer Eigenentwicklung durch Bauunternehmen erstellt. Die Fallstudie verdeutlichte: SiteRoute bietet in der Anfangs- und mittleren Nutzungsphase deutliche Kostenvorteile, erfordert weniger interne Ressourcen und ermöglicht eine schnellere Implementierung. Die Eigenentwicklung bietet langfristig Kostenvorteile und höhere Flexibilität, bringt jedoch hohe Anfangsinvestitionen und laufenden Personalaufwand mit sich. Werden jedoch Systemänderungen, Updates oder technologische Anpassungen über den Betrachtungszeitraum hinweg berücksichtigt (s. Abbildung 36), erweist sich das SiteRoute-Abonnement erneut als die wirtschaftlichere Option.

Insgesamt liefert Kapitel 5 eine fundierte Grundlage für die spätere Festlegung eines fairen, transparenten und skalierbaren Finanzierungsmodells, das sowohl die technischen Anforderungen als auch die wirtschaftlichen Realitäten der Bauwirtschaft berücksichtigt.

## 6 Nachhaltige Etablierung des Datentreuhandmodells

### 6.1 Strategische Partnerschaften und Kooperationspotenziale

Für die nachhaltige Etablierung des Datentreuhandmodells in der Bauwirtschaft ist die Frage zentral, wie SiteRoute technologisch, organisatorisch und institutionell verankert werden kann. Eine Schlüsselrolle können dabei strategische Partnerschaften mit etablierten Akteuren wie der DKE-Data GmbH & Co. KG und der von ihr betriebenen Plattform agrirouter übernehmen. Beide haben sich in der Landwirtschaft als erfolgreiche Datenintermediäre bewährt und können wertvolle Impulse für die Bauwirtschaft liefern.

#### Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit DKE-Data / agrirouter

Als Ergebnis können aus der Diskussion im Projekt zwei mögliche Kooperationsmodelle, die jeweils unterschiedliche Chancen und Herausforderungen für SiteRoute mit sich bringen, festgehalten werden:

- **Backend-Teilung mit agrirouter**

Die erste Option sieht vor, dass SiteRoute das bestehende Backend von agrirouter mitnutzt und lediglich ein eigenes Frontend (UI/UX) entwickelt. Damit lassen sich sowohl die Entwicklungskosten reduzieren als auch ein schneller Markteintritt realisieren. Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der deutlich geringeren finanziellen und organisatorischen Belastung in der Startphase, wodurch sich SiteRoute stärker auf seine Kernaktivitäten wie Produktentwicklung und Kundengewinnung konzentrieren kann. Gleichzeitig profitiert SiteRoute von der etablierten Glaubwürdigkeit und Markenwirkung des agrirouter, was die Akzeptanz bei Bauunternehmen und anderen Stakeholdern deutlich erleichtern dürfte.

Trotz dieser Vorteile ist die strategische Autonomie des Modells eingeschränkt. Anpassungen oder Weiterentwicklungen im Backend hängen von den Entscheidungen des Agrarsektors ab, was zu Verzögerungen oder Interessenkonflikten führen kann. Zudem besteht ein Risiko bei der Kosten- und Governance-Verteilung: Während bestehende agrirouter-Mitglieder bereits langfristig investiert haben, müssten neue Teilnehmer wie SiteRoute über faire Mechanismen eingebunden werden. Ohne klare Regelungen zur Kostenbeteiligung, zu Stimmrechten und zu einem möglichen Exit-Szenario könnte dies zu Spannungen führen und die langfristige Stabilität der Zusammenarbeit beeinträchtigen.

- **Lizenzkauf und eigenständiger Betrieb des agrirouter-Backends**

In diesem Szenario würde SiteRoute eine einmalige Lizenz erwerben, die es erlaubt, die bestehende Backend-Architektur von agrirouter zu übernehmen, für die Bauwirtschaft anzupassen und eigenständig zu betreiben. Der wesentliche Vorteil dieses Modells liegt in der vollen Kontrolle über Governance, Weiterentwicklung und branchenspezifische Anpassungen. SiteRoute könnte sämtliche Entscheidungen selbst treffen und wäre unabhängig von externen Prioritäten. Dies eröffnet langfristig die Möglichkeit, eine eigenständige Marke zu etablieren und maßgeschneiderte Services für Bauunternehmen, Maschinenhersteller und Softwareanbieter bereitzustellen.

Demgegenüber stehen jedoch erhebliche finanzielle und organisatorische Belastungen. Der Lizenzkauf bringt hohe Anfangsinvestitionen mit sich, die insbesondere bei einer kleinen Anfangsnutzerbasis zu einem wirtschaftlichen Risiko werden können. Ohne rasches Wachstum oder starke

externe Förderungen könnte die Kostenlast dazu führen, dass Mitgliedsgebühren hoch ausfallen und potenzielle Anwender abgeschreckt werden. Auch der Verlust des positiven Markeneffekts des agrirouter bedeutet, dass SiteRoute Vertrauen erst neu aufbauen müsste.

Tabelle 7 fasst die beiden Kooperationsoptionen zusammen.

*Tabelle 7: Kooperationsoptionen SiteRoute – DKE-Data / agrirouter im Vergleich*

Kriterium	Backend-Teilung mit agrirouter	Lizenzkauf von DKE-Data
<b>Kontrolle &amp; Unabhängigkeit</b>	Eingeschränkte Autonomie, abhängig von agrirouter-Entscheidungen	Volle Kontrolle über Backend, Governance und Weiterentwicklung
<b>Finanzialer Aufwand</b>	Geringere Startkosten, laufende Kostenbeteiligung	Hohe Anfangsinvestition (Lizenzkosten, Betriebskosten)
<b>Zeit bis Markteintritt</b>	Sehr schneller Markteintritt durch Nutzung bestehender Infrastruktur	Schneller als Neuentwicklung, aber komplexer als Backend-Teilung
<b>Risiko</b>	Abhängigkeit von agrirouter, fehlender Exit-Mechanismus, mögliche Governance-Konflikte	Hohe Kapitalbindung, Gefahr zu hoher Mitgliedsgebühren in Startphase
<b>Markeneffekt</b>	Nutzung des agrirouter-Images, leichterer Vertrauensaufbau bei Kunden	Eigenständige Marke, kein Nutzen aus agrirouter-Reputation
<b>Skalierung &amp; Wachstum</b>	Sehr geeignet für Startphase	Potenzial bei schneller Nutzerbasis-Expansion, aber risikoreich
<b>Governance &amp; Fairness</b>	Offene Fragen zu Kostenverteilung, Stimmrechten und Fairness zwischen Alt- und Neumitgliedern	SiteRoute bestimmt Regeln und Vertragsmodelle selbst

Insgesamt bietet der Lizenzkauf von DKE-Data Unabhängigkeit und langfristige Gestaltungsfreiheit, setzt jedoch erhebliche finanzielle Ressourcen und ein starkes Wachstum voraus. Die Backend-Teilung mit agrirouter ermöglicht eine flexible und schnelle Implementierung bei begrenzten Mitteln, bindet SiteRoute jedoch stärker an agrirouter und erfordert klare vertragliche Rahmenbedingungen.

#### Branchenspezifische Übertragbarkeit und ergänzende Partner

Sowohl die Bau- als auch die Landwirtschaft sind geprägt von einer Vielzahl an KMUs, die auf Kooperation und gemeinsame Dateninfrastrukturen angewiesen sind. Technische Anforderungen (Maschinen- und Telemetriedaten) weisen gewisse Parallelen auf, unterscheiden sich jedoch in Standardisierung und Prozesskomplexität. Diese Mischung aus Übertragbarkeit und spezifischem Anpassungsbedarf eröffnet die Chance, durch Technologietransfer, Plattformintegration und Kooperationsnetzwerke tragfähige Lösungen für die Bauwirtschaft zu entwickeln.

Neben DKE-Data kann auch die 2022 gegründete Genossenschaft Bauform eine Schlüsselrolle im Bauökosystem übernehmen. Mit Kernkomponenten wie Identitätsmanagement (z. B. digitale Wallets) und Standardverträgen für Datennutzung und Datenschutz kann Bauform die Datensouveränität technisch und juristisch absichern. Darüber hinaus könnten Organisationsform-Strukturen entwickelt werden, die Fairness, Transparenz und Interoperabilität sicherstellen und damit einen entscheidenden Beitrag zur Vermeidung von Monopolisierung und zur Förderung eines offenen Datenökosystems.

Zusätzlich kann der VDBUM mit seinem breiten Mitgliederkreis aus Anwendern, Herstellern sowie Vertriebs- und Servicepartnern eine wichtige Rolle übernehmen. Er kann somit die Anwenderperspektive vertreten, als Brücke zu Maschinenherstellern fungieren und die Zusammenarbeit mit DKE-Data nach Projektende weiterführen.

## 6.2 Auswirkungen auf Stakeholder und Marktstruktur

Die Einführung von SiteRoute als Datentreuhandmodell für die Bauwirtschaft hat weitreichende Folgen für Unternehmen, Hersteller, Softwareanbieter und den Wettbewerb insgesamt. Im Zentrum steht die Stärkung der Datenhoheit für Bauunternehmen, die zugleich neue Chancen, aber auch Verschiebungen in den bestehenden Marktstrukturen mit sich bringt.

### Vorteile für Bauunternehmen und Maschinenvermieter

Für Bauunternehmen bedeutet SiteRoute ein Paradigmenwechsel: Sie erhalten volle Kontrolle über ihre Daten und können diese nach eigenen Regeln sammeln, auswerten und weitergeben. Der Nutzen zeigt sich in mehreren Dimensionen:

- Dateninteroperabilität: Herstellerunabhängiger und nahtloser Datenaustausch verhindert Datensilos und aufwendige manuelle Übertragungen.
- Effizienzsteigerung: Zentrale Datenverwaltung spart Zeit und Ressourcen, da komplexe Schnittstellenkonfigurationen entfallen.
- Datenrechte und Compliance: Bauunternehmen behalten die Souveränität über ihre Daten und erfüllen zugleich regulatorische Anforderungen wie im Bereich CO<sub>2</sub>-Dokumentation einfacher.
- Sicherer Datenaustausch: SiteRoute stellt eine vertrauenswürdige Infrastruktur bereit, die Datenschutz- und Sicherheitsstandards erfüllt.

Damit eröffnet sich für Bauunternehmen und Vermieter ein Produktivitätsschub, der Prozesse verschlankt, Kosten reduziert und Wettbewerbsvorteile schafft.

### Potenziale und Risiken für Maschinen- und Anbaugerätehersteller

Auch Maschinen- und Anbaugerätehersteller profitieren von einer offenen Datenplattform:

- Mehr Marktattraktivität: Interoperabilität erhöht die Flexibilität für Kunden und schafft Zugang zu neuen Kundengruppen.
- Effizientere Integration: Einheitliche Standards reduzieren Entwicklungsaufwand und Schnittstellenkosten.
- Beschleunigte Innovation: Neue Geräte und Funktionen können schneller eingeführt werden, da keine proprietären Schnittstellen entwickelt werden müssen.
- Vereinfachte Datenverwaltung: Zentrale Datenplattform minimiert Wartungsaufwand durch standardisierte Prozesse.

Gleichzeitig bringt die Plattform auch Herausforderungen:

- Hersteller geben ein Stück weit die Kontrolle über die Daten ab, da die Hoheit bei den Anwendern liegt.
- Es entsteht ein stärkerer Wettbewerb, da Drittanbieter auf Basis offener Daten innovative Services entwickeln können.
- Die Kundenbindung sinkt, da Interoperabilität die Wechselbereitschaft erhöht und proprietäre Lock-in-Effekte geschwächt werden.

Damit verschiebt sich das Kräfteverhältnis im Markt. Hersteller müssen ihre Geschäftsmodelle stärker auf Service-Innovationen und Mehrwertdienste ausrichten, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

## Veränderungen für Telemetrieanbieter und Softwareunternehmen

Für Software- und Telemetrieanbieter bietet SiteRoute ebenfalls große Chancen – aber auch Abhängigkeiten:

- Neue Geschäftsmöglichkeiten: Einheitliche Datenstandards schaffen eine stabile Grundlage für die Entwicklung innovativer Anwendungen und datenbasierter Geschäftsmodelle.
- Wachstumschancen: Der Markt erweitert sich durch die Öffnung der Datenbasis erheblich, da Anwendungen branchenweit eingesetzt werden können.
- Reduzierte Integrationskosten: Proprietäre Hürden und individuelle Schnittstellen entfallen, wodurch Entwicklungsaufwand sinkt.

Auf der anderen Seite wächst jedoch die Abhängigkeit von der Plattformstruktur. Anbieter müssen ihre Geschäftsmodelle an die Governance- und Preisstrukturen von SiteRoute anpassen. Zudem verschärft die Offenheit des Marktes den Wettbewerb, da auch kleinere Anbieter oder Start-ups schnell Zugang zu den gleichen Daten erhalten und konkurrierende Lösungen anbieten können.

## Auswirkungen auf Wettbewerb, Datenhoheit und Kundenbindung

Mit SiteRoute verändert sich die Marktstruktur nachhaltig:

- Wettbewerb: Offene Datenräume fördern Innovation und neuen Wettbewerb, reduzieren jedoch die Möglichkeit einzelner Anbieter, durch geschlossene Systeme Marktanteile abzusichern.
- Datenhoheit: Die Macht über die Daten verschiebt sich von Herstellern und Plattformanbietern zu den Bauunternehmen als Endanwendern.
- Kundenbindung: Während die Wechselbereitschaft steigt, können Anbieter durch neue Services, Transparenz und Fairness Vertrauen aufbauen und ihre Marktstellung sichern.

Insgesamt stärkt SiteRoute die Bauunternehmen als zentrale Akteure des Datenökosystems, während Hersteller und Softwareanbieter ihre Rolle neu definieren müssen. Dies eröffnet große Chancen für ein innovatives, kooperatives und offenes Datenökosystem, bringt aber auch die Notwendigkeit mit sich, Geschäftsmodelle anzupassen und Governance-Strukturen fair und zukunftssicher zu gestalten.

## 6.3 Bewertung und Ausblick

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass das Datentreuhandmodell für die Bauwirtschaft auf einem soliden Fundament steht und wesentliche Anforderungen der Branche adressiert. In der Bewertung stehen vier Kriterien im Vordergrund, die bereits im Antrag als Leitlinien formuliert wurden: Offenheit, Fairness, Transparenz und Erweiterbarkeit.

**Offenheit** wurde durch die klare Fokussierung auf interoperable Schnittstellen, standardisierte Daten und den Abbau proprietärer Hürden gewährleistet. SiteRoute ist darauf ausgelegt, unterschiedliche Akteure von Bauunternehmen über Maschinenhersteller bis hin zu Softwareanbietern einzubinden (s. Kap. 1.3).

**Fairness** spiegelt sich in der geplanten Kosten- sowie Organisationsform-Struktur wider, die allen Beteiligten gleiche Rechte und Pflichten zuschreibt und somit ein Machtungleichgewicht zwischen etablierten Großunternehmen und kleineren Akteuren vermeidet (s. Kap. 5.3).

**Transparenz** wird durch die Standardisierung von Verträgen, Prozessen und Zugangsmechanismen erreicht, die für alle Stakeholder nachvollziehbar sind (s. Kap. 3).

**Erweiterbarkeit** schließlich sichert, dass SiteRoute nicht auf einen einzelnen Anwendungsbereich mit Telemetriedaten beschränkt bleibt. Die Nutzung standardisierter Maschinendaten ist ein erster Schritt, der bereits zukunftsträchtige Anwendungen wie die CO2-Bilanzierung unterstützt (s. Kap. 4.2). In Zukunft wird der Anwendungsbereich weit über Telemetriedaten hinausgehen. Die Vielfalt der Datenformate wird zunehmen, um weitere Use Cases abzudecken. Beispielsweise können auch Daten für Ausführungspläne, Prozessdaten oder Dokumentationen auch in Form von Bildern oder Videos vorliegen und verarbeitet werden.

Ein Abgleich mit den in Kapitel 1 identifizierten funktionalen und qualitativen Anforderungen bestätigt, dass wesentliche Kernziele erreicht wurden:

- Datenhoheit der Bauunternehmen als zentrale Prämisse,
- Sicherheit und Rechtskonformität im Umgang mit Daten,
- sowie die Möglichkeit, flexible, branchenweite Nutzungsszenarien zu realisieren.

Gleichzeitig sind weitere Themen sichtbar geworden, die über den Projektkontext hinaus von hoher Bedeutung sind und künftige Forschung erfordern:

- Normung und Standardisierung zur Schaffung einheitlicher, international anschlussfähiger Standards für den Datenaustausch,
- Datenqualitätsmanagement, um die Zuverlässigkeit und Validität der genutzten Daten sicherzustellen,
- sowie die Integration von BIM, um digitale Bauwerksmodelle mit Echtzeitdaten aus Maschinen und Sensoren zusammenzuführen.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich konkrete Empfehlungen für politische, wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussprojekte ableiten:

- Politisch gilt es, Rahmenbedingungen für faire Datenökosysteme zu schaffen und die Bauwirtschaft als Schlüsselbranche in der Umsetzung des Data Acts gezielt zu unterstützen (s. Kap. 3).
- Wirtschaftlich ist die Etablierung von Kooperationsmodellen zwischen Bauunternehmen, Herstellern und Plattformanbietern entscheidend, um den Nutzen für alle Akteure zu maximieren, z. B. mit Hilfe des vorgestellten SiteRoute-Abos in Kapitel 5.5.
- Wissenschaftlich bietet sich die Chance, die Themen Organisationsform, Datenqualität, Interoperabilität und Sicherheit weiter zu vertiefen und die gewonnenen Ansätze durch Pilotprojekte in der Praxis zu erproben, z. B. aufbauend auf der vorgestellten CO2-Berechnung (s. Kap. 4.2) oder hinsichtlich Demonstratoren zur Bauprozessoptimierung oder Predictive Maintenance.

Insgesamt verdeutlicht die Bewertung, dass SiteRoute die Voraussetzungen für eine nachhaltige, faire und innovationsfördernde Dateninfrastruktur in der Bauwirtschaft schafft. Der Ausblick zeigt, dass die Plattform nicht nur kurzfristig Mehrwerte bringt, sondern langfristig den Weg für eine digitale Transformation der Branche ebnen kann.

## 7 Ressourcenverwendung und Ergebnistransfer

### 7.1 Verwendung der Zuwendung

#### 7.1.1 Wissenschaftlich-technisches Personal und studentische Hilfskräfte

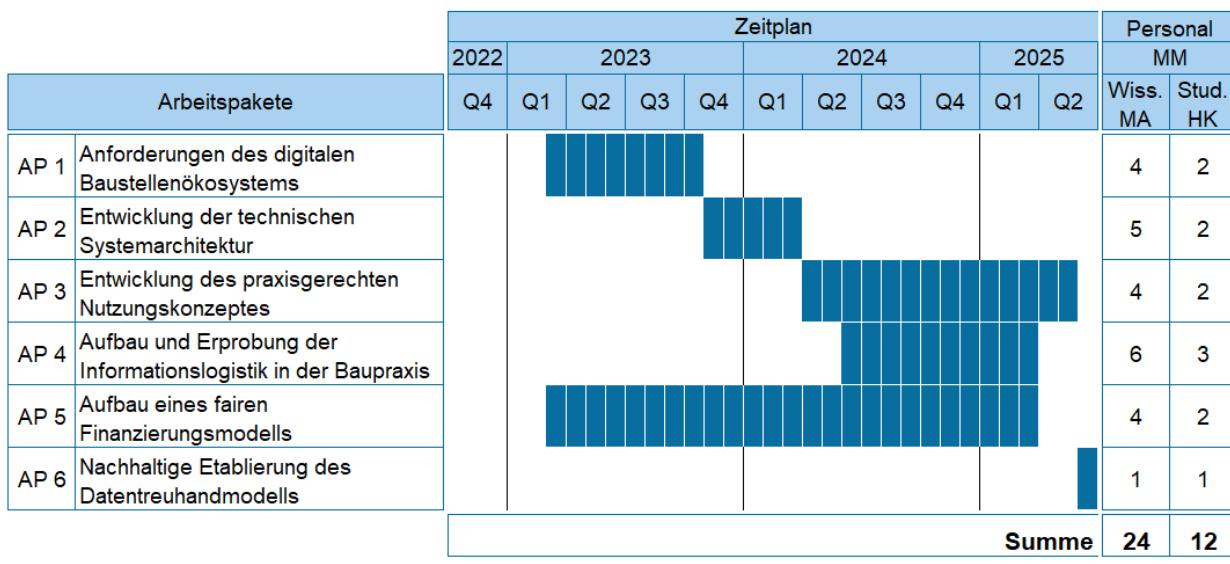


Abbildung 37: Arbeitspakte und Verteilung auf die einzelnen Monate

Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Personalfindung wurde die bisherige Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens mit zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführt. Im Jahr 2023 war eine wissenschaftliche Mitarbeiterin mit einer 50%-Stelle für einen Zeitraum von 9 Monaten im Einsatz. Anschließend wurde eine weitere wissenschaftliche Mitarbeiterin in Vollzeit eingesetzt. Da die Entwicklung der Datenaustauschplattform und des Finanzierungsmodells eine enge Einbindung der Ressourcen und Meinungen des PAs erforderte, wurden die Aufgaben im Arbeitspaket 4 und 5 in verschiedene Teilbereiche aufgeteilt. Die Fertigstellung des Demonstrators in Arbeitspaket 4 verzögerte sich aufgrund der Bereitstellung von Schnittstellen zu den Industriepartnern. Das Ergebnis konnte zur letzten PA-Sitzung erfolgreich vorgestellt werden.

#### 7.1.2 Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)

Es wurden keine Finanzmittel für Gerätebeschaffungen beantragt.

#### 7.1.3 Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)

Es wurden keine Leistungen für die Arbeit Dritter beantragt.

### 7.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Konzepts für eine neutrale, transparente und faire Datenaustauschplattform, die allen Beteiligten auf Baustellen diskriminierungsfrei zur Verfügung steht. Um ein solches Konzept durch ein Datentreuhandmodell zu realisieren, waren zu Beginn des Projekts umfassende Recherchen und Analysen erforderlich.

Es wurden Datenaustauschkonzepte aus anderen Branchen untersucht, um deren Übertragbarkeit und Anpassung an die spezifischen Anforderungen der Bauwirtschaft zu prüfen. Parallel dazu fanden Expertengespräche mit Fachleuten aus anderen Branchen statt, die bereits Erfahrungen mit Datenaustauschplattformen gesammelt haben. Diese Gespräche halfen, die funktionalen Anforderungen und Bedürfnisse für eine maßgeschneiderte Lösung zu identifizieren und anzupassen.

Im Rahmen der Arbeiten wurden bestehende Geschäftsmodelle evaluiert, insbesondere im Hinblick auf Preismodelle. Dabei wurden zentrale Fragen zu den wirtschaftlichen Aspekten einer Datenaustauschplattform geklärt, um ein tragfähiges und nachhaltiges Konzept zu entwickeln.

Um die verschiedenen technischen und organisatorischen Aspekte für den Aufbau einer Datenaustauschplattform zu berücksichtigen, wurden diese in Workshops und Expertengesprächen systematisch erfasst. Die Ergebnisse flossen in die Entwicklung eines Demonstrators ein, der die Umsetzbarkeit und Funktionalität des Konzepts praxisnah veranschaulicht.

Um die nötige wissenschaftliche Gründlichkeit bei der Bearbeitung zu garantieren, mussten wissenschaftliche Mitarbeiter eingesetzt werden. Entsprechend ihrer Notwendigkeit und ihres Umfangs sind die Arbeiten von den eingesetzten wissenschaftlichen Mitarbeitenden mit Unterstützung von studentischen Hilfskräften durchgeführt worden. Zusätzlich wurden die Arbeiten von den Beteiligten des PAs unterstützt.

### **7.3 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten**

Das im Projekt entwickelte Datentreuhandmodell SiteRoute zeigt, wie durch einen herstellerneutralen und interoperablen Datenaustausch zwischen Baumaschinen, Softwarelösungen und Plattformdiensten neue Effizienzpotenziale für die Bauwirtschaft erschlossen werden können. Besonders KMU profitieren davon, da sie ohne hohen Integrationsaufwand auf standardisierte Schnittstellen zugreifen können und damit unabhängig von proprietären Systemen einzelner Hersteller werden.

Der entwickelte Demonstrator zeigt praxisnah, wie Telemetriedaten unterschiedlicher Quellen in ein gemeinsames Datenrouting eingebunden und flexibel an Zielsysteme weitergeleitet werden können. Dies ermöglicht KMU, ihre Flotten effizienter zu betreiben, Betriebsstunden, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Maschinenauslastung transparent zu dokumentieren und dadurch nicht nur die Produktivität, sondern auch die Nachhaltigkeit ihrer Bauprozesse zu erhöhen.

Ein wesentlicher wissenschaftlich-technischer Beitrag liegt in der Entwicklung einer modularen, erweiterbaren Systemarchitektur, die sich an bestehende Standards (ISO 15143-3 [6], MiC 4.0) anlehnt. Damit wird die Grundlage für eine zukunftsfähige und skalierbare Dateninfrastruktur geschaffen, die neue Forschungs- und Entwicklungsprojekte anknüpfen lässt.

Innovativ ist insbesondere die Übertragung des agrirouter-Prinzips aus der Landwirtschaft auf die Bauwirtschaft. Dadurch entstehen neue industrielle Anwendungsmöglichkeiten, etwa die Etablierung datenbasierter Service- und Geschäftsmodelle für Maschinenhersteller, Softwareanbieter und Vermietungsunternehmen. KMU können so leichter digitale Mehrwertdienste anbieten, z. B. vorausschauende Wartung über CO<sub>2</sub>-Monitoring bis hin zu automatisierten Abrechnungs- und Dokumentationsprozessen.

Darüber hinaus werden durch die im Projekt entwickelten Demonstrationsdaten und Prototypen auch KMU in die Lage versetzt, ohne eigene große IT-Abteilungen Pilotanwendungen zu testen und neue digitale Services zu entwickeln. Damit stärkt das Projekt nicht nur die Innovationskraft der Bauwirtschaft, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit von KMU im internationalen Vergleich.

## 7.4 Wissenstransfer in die Wirtschaft

Während der Projektlaufzeit wurden verschiedene Maßnahmen zum Transfer der Zwischen- und Endergebnisse in die Wirtschaft durchgeführt. Sie sind in Tabelle 8 aufgelistet.

*Tabelle 8: Durchgeführte Maßnahmen zum Transfer der Projektergebnisse in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit*

Ziel	Rahmen	Zeitraum
<b>Maßnahme A: Projektbegleitender Ausschuss (PA)</b>		
<b>Fortlaufende Diskussion und Abstimmung des Forschungsfortschrittes mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschuss (PA)</b>	<b>A1</b> Vorstellung des Projekts, Diskussion der geplanten Arbeiten, Abstimmung des Vorgehens.	Q4 2022 <i>erfüllt am 01.03.2023</i>
	<b>A2</b> Diskussion der entwickelten Systemarchitektur und Nutzungskonzept, Vorstellung von Zwischenergebnissen.	Q3 2023 <i>erfüllt in Q1 und Q3 2024</i>
	<b>A3</b> Vorstellung von Zwischenergebnissen, Abstimmung des Evaluations-Vorgehens	Q1 2025 <i>erfüllt am 06.03.2025</i>
	<b>A4</b> Vorstellung der Projektergebnisse sowie der demonstrativen Anwendungen, Diskussion des entwickelten Finanzierungsmodells, Ableitung von öffentlichkeitswirksamen Auftritten und Kontakten	Q2 2025 <i>erfüllt am 26.06.2025</i>
<b>Maßnahme B: Präsentation auf Kongressen und Konferenzen</b>		
<b>Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen vor Wirtschaft und Wissenschaft</b>	<b>B1</b> Vortrag, Posterpräsentation oder Vorführung auf dem Construction Equipment Forum, dem VDBUM Großseminar 2024 oder der Digital Bau	Q4 2023 und Q1 2024 <i>erfüllt in Q1 und Q3 2024</i>
	<b>B2</b> Ergebnisdarstellung der Untersuchungen z. B. im Rahmen dem International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)	In Planung
<b>Maßnahme C: Elektronischer Newsletter und Internetauftritt</b>		
<b>Elektronische Verbreitung der Forschungsinhalte und -ergebnisse, Gewinn weiterer interessierter Unternehmen</b>	<b>C1</b> Vorstellung des Projektes über das Netzwerk der branchenrelevanten Verbände (HDB, MiC 4.0, VDBUM, ...)	Q4 2022 <i>erfüllt in 11.2023 und 12.2024</i>

	<b>C2</b> Informationsplattform im Internet, auf der Erkenntnisse zu Lösungsprinzipien und Anwendungsbeispiele veröffentlicht und diskutiert werden.	In Planung
	<b>C3</b> Frei zugänglicher Internetauftritt des Forschungsprojekts über die Homepage des fml und der BVL	Ab Q4 2022 fortlaufend
<b>Maßnahme D: Veröffentlichungen</b>		
<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>D1</b> Publikation in einschlägigen Fachzeitschriften wie „VDBUMinfo“, „Hebezeuge Fördermittel“, Bauzeitung o. ä.	Q1 2023  Q3 2024  <i>erfüllt in 08.2024</i>
<b>Maßnahme E: Übernahme in die Lehre</b>		
<b>Einbringung der erarbeiteten Ergebnisse in den Lehrbetrieb</b>	<b>E1</b> Mitarbeit studentischer Hilfskräfte	Gesamte Projektlaufzeit
	<b>E2</b> Anfertigung von Studienarbeiten im Rahmen des Projekts	Gesamte Projektlaufzeit
	<b>E3</b> Aufnahme der Ergebnisse in die Vorlesungen „Baumaschinen“ und „Baulogistik“	Q4 2024  <i>erfüllt in 10.2024</i>
<b>Maßnahme F: VDBUM Großseminar</b>		
<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>F1</b> Vortrag auf dem VDBUM Großseminar mit anschließendem Workshop im Arbeitskreis	<i>erfüllt in 01.2024 und 02.2025</i>
<b>Maßnahme G: Beratung</b>		
<b>Ergebnistransfer an Unternehmen (KMU) ohne eigene Forschungsaktivität</b>	<b>G1</b> Unterstützung von Unternehmen bei der eigenständigen Anwendung der Ergebnisse durch das Angebot von Seminaren oder Beratungsleistungen	Ab Q4 2024
<b>Maßnahme H: Veröffentlichungen</b>		
<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>H2</b> Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften wie „VDBUMinfo“, „VDI Wissensforum“ o. ä. sowie auf internationalen Konferenzen wie ISARC, IEEE IEC, ICCC	Q4 2024  <i>erfüllt in 04.2024</i>
	<b>H3</b> Ergebnisse des Projekts werden bei Lehrstuhlbesichtigungen und öffentlichen Veranstaltungen der Wirtschaft vorgeführt	Ab Q4 2024  <i>erfüllt in 04.2024</i>
<b>Maßnahme K: Normungsinitiative</b>		
<b>Initiative zur Einrichtung einer ISO Working Group</b>	<b>K1</b> Vorstellung des Datenaustauschstandards beim AEMP, ISO und weiteren relevanten Gremien.	Ab Q4 2024 fortlaufend

## 7.5 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Die Verbreitung der Forschungsergebnisse wird auch nach Projektende fortgeführt. Die dafür geplanten Maßnahmen sind in Tabelle 9 aufgelistet.

*Tabelle 9: Geplante Maßnahmen zum Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft nach Ende der Projektlaufzeit*

Ziel	Rahmen	Zeitraum
<b>Maßnahme G: Beratung</b>		
<b>Ergebnistransfer an Unternehmen (KMU) ohne eigene Forschungsaktivität</b>	<b>G1</b> Unterstützung von Unternehmen bei der eigenständigen Anwendung der Ergebnisse durch das Angebot von Seminaren oder Beratungsleistungen	Ab Q4 2024
<b>Maßnahme H: Veröffentlichungen</b>		
<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>H1</b> Veröffentlichung des Abschlussberichts auf der Homepage des Lehrstuhls fml	Q4 2025
<b>Maßnahme I: Konzepttransfer</b>		
<b>Möglichkeit der Nutzung der Ergebnisse</b>	<b>I1</b> Das entwickelte Konzept inkl. Demonstrator steht allen Interessierten diskriminierungsfrei zur Begutachtung bereit. Die Veröffentlichungen während und nach der Projektlaufzeit werden für die Bewerbung des Demonstrators genutzt ebenso wie an anderer Forschungsstelle stattfindende Veranstaltungen (bspw. Veranstaltungen von Mittelstand 4.0, etc.).	Ab Q4 2025

## 7.6 Studienarbeiten

Im Rahmen des Projekts wurden fünf Studienarbeiten durchgeführt (s. Tabelle 10).

*Tabelle 10: Im Rahmen des Projekts durchgeführte Studienarbeiten*

Name	Typ	Titel	Zeitraum
Hakan Yesilay, Furkan Baskaya und Angela Yi-Jiun Chen	Interdisziplinäres Projekt	System architecture for a data trust model in the construction industry	15.04.2024 – 14.10.2024
Ruixian Li	Masterarbeit	Development of a Sustainable Financial Model for a Data Exchange Platform in the Construction Industry	01.10.2024 – 07.04.2025
Frederik Theodor Walla	Semesterarbeit	CO <sub>2</sub> Emissions Documentation via the Data Exchange Platform	01.10.2024 – 31.03.2025
Wen-Yen Kuo	Applikation Projekt	Shaping the digital future in the construction industry - Development of a data exchange platform	01.10.2024 – 31.03.2025
Florian Heisen	Semesterarbeit	Integration of a GPS Module into a Mobile Transportation System	01.11.2024 – 30.04.2025

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Bauwirtschaft im Zahlenbild, 2021.
- [2] B. Vogel-Heuser, E. Trunzer, D. Hujo et al., „(Re-)Deployment of Smart Algorithms in Cyber-Physical Production Systems using DSL4hDNCS”, Proceedings of the IEEE, Bd. 109, S. 542–555, 2021. doi: 10.1109/JPROC.2021.3050860.
- [3] McKinsey Global Institute, „Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity”, 2017.
- [4] B. Beck et al., „Bauen 4.0 - Effizientere und produktivere Bauprozesse durch Vernetzung und Kommunikation mobiler Maschinen: Abschlussbericht: Bauen 4.0 Bauprozesse - Vernetzung - Maschinen: Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 31.12.2022”, Technische Universität Dresden, 2023.
- [5] DKE-Data, „What is the agrirouter?: agrirouter Docs”, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://docs.agrirouter.com/agrirouter-interface-documentation/latest/introduction.html>.
- [6] International Organization for Standardization, „Earth-moving machinery and mobile road construction machinery – Worksite data exchange – Part 3: Telematics data, ISO/TS 15143-3:2020”, 2020.
- [7] D. Crosthwaite, „The global construction market: a cross-sectional analysis”, Construction Management and Economics, Bd. 18, Nr. 5, S. 619–627, 2000.
- [8] M. A. Hossain und A. Nadeem, „Towards digitizing the construction industry: state of the art of construction 4.0”, Proceedings of International Structural Engineering and Construction, Bd. 6, Nr. 1, 2019. doi: 10.14455/isec.res.2019.184.
- [9] B. Nikmehr, M. R. Hosseini, I. Martek, E. K. Zavadskas, and J. Antucheviciene, „Digitalization as a strategic means of achieving sustainable efficiencies in construction management: A critical review”, Sustainability, Bd. 13, Nr. 9, S. 5040, 2021.
- [10] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi, and B. S. Mohammed, „Industry Revolution IR 4.0: Future opportunities and challenges in construction industry”, MATEC Web of Conferences, Bd. 203, S. 02010, 2018. doi: 10.1051/matecconf/201820302010.
- [11] Y. Nakanishi, T. Kaneta, and S. Nishino, „A review of monitoring construction equipment in support of construction project management”, Frontiers in Built Environment, Bd. 7, S. 632593, 2022.
- [12] A. Sawhney, M. Riley, and J. Irizarry, „Construction 4.0: Introduction and Overview”, in Construction 4.0, London, UK: Routledge, 2020, S. 3–22.
- [13] „Introduction: Business ecosystems come of age”, Deloitte Insights, 2015. [Online]. Zugegriffen: 3. Apr. 2025. Verfügbar unter: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/business-strategy-growth/business-ecosystems-come-of-age-business-trends.html>.
- [14] Leica Geosystems, „Leica ConX – Digitalisieren Sie Ihren Bauprozess”, 2017. [Online]. Zugegriffen: 3. Apr. 2025. Verfügbar unter: [https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/flyer/leica\\_conx\\_fly.ashx](https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/flyer/leica_conx_fly.ashx).
- [15] MachineMax, „MachineMax”, 2018. [Online]. Zugegriffen: 3. Apr. 2025. Verfügbar unter: <https://www.machinemax.io/>.
- [16] Liebherr, „MyJobsite – Die digitale Branchenlösung von Liebherr für den Spezialtiefbau”, Pressemitteilung, 22. Apr. 2024. [Online]. Zugegriffen: 13. Okt. 2025. Verfügbar unter: <https://www.liebherr.com/de-de/n/myjobsite-%E2%80%93-die-digitale-branchen%C3%B6lung-von-liebherr-f%C3%BCr-den-spezialtiefbau-28024-3704916>.
- [17] International Organization for Standardization, „Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 10: Task controller and management information system data interchange, ISO 11783-10:2015”, 2015.
- [18] MiC 4.0, „MiC 4.0 – One Digital Language”, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://mic40.org/en/1494-2/>.
- [19] Proton Technologies AG, „What is GDPR, the EU's new data protection law?”, GDPR.eu, o. J. [Online]. Verfügbar unter: <https://gdpr.eu/what-is-gdpr/>.
- [20] European Union, „Regulation (EU) 2016/679 – General Data Protection Regulation (GDPR)”, Official Journal of the European Union, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>.

- [21]European Union, „Regulation (EU) 2023/2854 – Data Act”, Official Journal of the European Union, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oi>
- [22]European Commission, „Data Act explained”, Shaping Europe’s digital future. [Online]. Verfügbar unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/data-act-explained>
- [23]European Commission, „Commission publishes frequently asked questions about the Data Act”, Shaping Europe’s digital future. [Online]. Verfügbar unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/commission-publishes-frequently-asked-questions-about-data-act>
- [24]European Commission, „EU Taxonomy Navigator”, Tech. Rep., 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/>
- [25]European Union, „Directive (EU) 2022/2464 – Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)”, Official Journal of the European Union. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>
- [26]GHG Protocol, „Standards & Guidance”. [Online]. Verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/standards-guidance>
- [27]European Network of Construction Companies for Research and Development (ENCORD), „Construction CO<sub>2</sub>e Measurement Protocol”, Tech. Rep., 2012. [Online]. Verfügbar unter: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/ENCORD-Construction-CO2-Measurement-Protocol-Lo-Res\\_FINAL\\_0.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/ENCORD-Construction-CO2-Measurement-Protocol-Lo-Res_FINAL_0.pdf)
- [28]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, „Anzahl der Betriebe im Bauhauptgewerbe in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2024 (in 1.000)”, Statista, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/192164/umfrage/anzahl-der-betriebe-im-bauhauptgewerbe-seit-1999/>
- [29]Statistisches Bundesamt, „Anzahl der Unternehmen im Baugewerbe in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2023”, Statista, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252202/umfrage/umsatz-im-baugewerbe-in-deutschland/>
- [30]Statistisches Bundesamt, „Umsatz im Baugewerbe in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2023 (in Milliarden Euro)”, Statista, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252167/umfrage/umsatz-im-baugewerbe-in-deutschland/>
- [31]Statistisches Bundesamt, „Produzierendes Gewerbe – Tätige Personen und Umsatz der Betriebe im Baugewerbe”, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Baugewerbe-Struktur/personen-umsatz-baugewerbe-2040510227004.pdf>
- [32]Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, „Größte deutsche Bauunternehmen nach Bauleistung in den Jahren 2022 und 2023 (in Millionen Euro)”, Statista, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36343/umfrage/bauleistung-der-groessten-bauunternehmen-in-deutschland-seit-2007/>
- [33]Deutscher Bauernverband e.V., „Situationsbericht 2024/25: Trends und Fakten zur Landwirtschaft – Kapitel 1”, 2024. [Online]. Verfügbar unter: [https://magazin.diemayrei.de/storage/media/1efb798c-0b59-6ef4-b916-5254a201e2da/DBV\\_SB\\_2025-kapitel-1-web.pdf](https://magazin.diemayrei.de/storage/media/1efb798c-0b59-6ef4-b916-5254a201e2da/DBV_SB_2025-kapitel-1-web.pdf)
- [34]Bundesverband Lohnunternehmen e.V., „Was sind Lohnunternehmen?”, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lohnunternehmen.de/unsere-branche/was-sind-lohnunternehmen/>
- [35]MarketsandMarkets, „Construction Equipment Market – Global Forecast to 2030”, 2025. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/construction-mining-equipment-market-179948937.html?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwqcO\\_BhDaARI-sACz62vP9I01APwbvxuM8ImDiE5SgxH8CgBti9FRzNkLf1seccsezZW7sOj4aAtoXEALw\\_wcB](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/construction-mining-equipment-market-179948937.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqcO_BhDaARI-sACz62vP9I01APwbvxuM8ImDiE5SgxH8CgBti9FRzNkLf1seccsezZW7sOj4aAtoXEALw_wcB)
- [36]Statistisches Bundesamt, „Umsatz der deutschen Baumaschinenindustrie in den Jahren 2005 bis 2024 (in Millionen Euro)”, Statista, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/235591/umfrage/umsatz-der-baumaschinenindustrie-in-deutschland/>
- [37]Statistisches Bundesamt, „Umsatz der Landmaschinenindustrie in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2023 (in Millionen Euro)”, Statista, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1237037/umfrage/umsatz-im-bau-von-landmaschinen/>

- [38]Statista, „Baumaschinenindustrie in Deutschland”, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/27839/dokument/baumaschinenindustrie-in-deutschland/>
- [39]Statistisches Bundesamt, „Anzahl der Beschäftigten in der Landmaschinenindustrie in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2023”, Statista, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1237028/umfrage/landmaschinen-anzahl-der-beschaeftigten/>
- [40]Statista, „Total software spending in the construction industry in Germany from 2018 to 2024 (in million U.S. dollars)”, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.statista.com/statistics/1275077/germany-software-spending-industry-construction/>
- [41]Statista, „Total software spending in the agriculture industry in Germany from 2018 to 2024 (in million U.S. dollars)”, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.statista.com/statistics/1275064/germany-software-spending-industry-agriculture/>
- [42]Mordor Intelligence, „Agriculture Software Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025–2030)”, 2024. [Online]. Zugegriffen: 4. Apr. 2025. Verfügbar unter: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/agriculture-software-market>
- [43]Grand View Research, „Farm Management Software Market Size, Share & Trends Analysis Report By Agriculture Type”, 2023. [Online]. Zugegriffen: 4. Apr. 2025. Verfügbar unter: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/farm-management-software-market#>
- [44]DKE-Data, „DataXChange – Management information package for interested companies”, 2025.
- [45]P. Mell und T. Grance, „The NIST Definition of Cloud Computing, National Institute of Standards and Technology”, Special Publication 800-145, 2011.
- [46]C. M. Mohammed und S. R. Zeebaree, „Sufficient comparison among cloud computing services: IaaS, PaaS, and SaaS: A review”, International Journal of Science and Business, Bd. 5, Nr. 2, S. 17–30, 2021.
- [47]M. Almubaddel und A. M. Elmogy, „Cloud computing antecedents, challenges, and directions”, in Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Cloud Computing, 2016, S. 1–5. doi: 10.1145/2896387.2896401.
- [48]A. Saltan und K. Smolander, „Bridging the state-of-the-art and the state-of-the-practice of SaaS pricing: A multivocal literature review”, Information and Software Technology, Bd. 133, 106510, 2021. doi: 10.1016/j.infsof.2021.106510.
- [49]J. Ju, Y. Wang, J. Fu, J. Wu und Z. Lin, „Research on key technology in SaaS”, in 2010 International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics, 2010, S. 384–387. doi: 10.1109/ICICCI.2010.120.
- [50]A. Hinterhuber, „Customer value-based pricing strategies: why companies resist”, Journal of Business Strategy, Bd. 29, Nr. 4, S. 41–50, 2008.
- [51]J. Zhao, H. Li, C. Wu, Z. Li, Z. Zhang und F. C. M. Lau, „Dynamic pricing and profit maximization for the cloud with geo-distributed data centers”, in IEEE INFOCOM 2014 – IEEE Conference on Computer Communications, Toronto, ON, Canada, 2014, S. 118–126. doi: 10.1109/INFOCOM.2014.6847931.
- [52]A. Mazrekaj, I. Shabani und B. Sejdiu, „Pricing schemes in cloud computing: an overview”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Bd. 7, Nr. 2, S. 80–86, 2016.
- [53]U. R. Jayathilaka, „Investigating the relationship between pricing strategies and international customer acquisition in the early stage of SaaS: the role of hybrid pricing”, ResearchBerg Review of Science and Technology, Bd. 1, Nr. 1, S. 84–100, 2021.
- [54]L. Xia, K. B. Monroe und J. L. Cox, „The price is unfair! A conceptual framework of price fairness perceptions”, Journal of Marketing, Bd. 68, Nr. 4, S. 1–15, 2004.
- [55]Gartner, „Total Cost of Ownership (TCO)”, 2019. [Online]. Zugegriffen: 25. März 2025. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/total-cost-of-ownership-tco>
- [56]L. M. Ellram und S. P. Siferd, „Purchasing: The cornerstone of the total cost of ownership concept”, Journal of Business Logistics, Bd. 14, Nr. 1, 1993.
- [57]V. Choudhary, „Comparison of software quality under perpetual licensing and software as a service”, Journal of Management Information Systems, Bd. 24, Nr. 2, S. 141–165, 2007.
- [58]B. Martens, M. Walterbusch und F. Teuteberg, „Costing of cloud computing services: A total cost of ownership approach”, in Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2012, S. 1563–1572. doi: 10.1109/HICSS.2012.186.

[59]S. Bibi, D. Katsaros und P. Bozanis, „Business application acquisition: On-premise or SaaS-based solutions?”, IEEE Software, Bd. 29, Nr. 3, S. 86–93, 2012.

[60]S. Aggarwal, „TCO of on-demand applications is significantly better for SMBs and mid-market enterprises”, Yankee Group Report, 2005.

## A Anhang

### A.1 Umfrage zur Anforderungserhebung

#### **Umfrage zu Datenaustausch auf der Baustelle**

Das Forschungsvorhaben „SiteRoute“ zielt darauf ab, die Herausforderungen bei dem Datenaustausch in der Bauindustrie durch die Entwicklung eines innovativen Informations-logistiksystems zu bewältigen. Durch die Schaffung eines neutralen Datentreuhänders strebt SiteRoute eine effiziente, offene und vernetzte Zukunft für Unternehmen in der Bauwirtschaft an.

#### I. TEILNEHMER

1. Welcher Gruppe gehört Ihr Unternehmen an?
  - Baumaschinen Hersteller
  - Baumaschinen Anwender – Bauunternehmen
  - Baumaschinen Anwender – Verleiher
  - Dienstleister (z. B. Sachverständiger, Software Anbieter, Vermessungstechnik, Entwickler von Steuerungstechnik, usw. ....)
  - Sonstiges: \_\_\_\_\_
  
2. Zu welcher Größenklasse gehört Ihr Unternehmen nach Anzahl der Mitarbeiter (MA)?
  - Kleinstunternehmen (< 10 MA)
  - Kleines Unternehmen (< 50 MA)
  - Mittleres Unternehmen (< 250 MA)
  - Großunternehmen (> 250 MA)
  
3. Wie lautet Ihre aktuelle Position? Wofür sind Sie verantwortlich?

#### II. BAUMASCHINEN- UND BAUSOFTWARE-NUTZUNG

4. Welche Baumaschinen-Software-Lösungen nutzen Sie derzeit? *Mehrfachkennung möglich*
  - Telematiksysteme
  - Assistenzsysteme
  - Wartungs- und Instandhaltung
  - Digitale Maschinensteuerung
  - Disposition / Flottenmanagement
  - Andere (bitte spezifizieren): \_\_\_\_\_
  
5. Welche Bausoftware-Lösungen nutzen Sie derzeit? *Mehrfachkennung möglich*
  - Kalkulation und -ausschreibung
  - Projektmanagement
  - Aufmaß
  - Terminplanung
  - Qualitätssicherung
  - Dokumentenmanagement
  - Bauabrechnung
  - Facility-Management
  - Andere (bitte spezifizieren): \_\_\_\_\_

### III. IDEALER DATENAUSTAUSCH

6. Wie sinnvoll halten Sie eine online Plattform, die eine reibungslose Integration mit einer Vielzahl von Baumaschinen und Bausoftware-Lösungen unterschiedlicher Hersteller ermöglicht?

Sehr sinnvoll      Nicht sinnvoll

7. Wie wichtig ist für Sie der Zugriff auf Echtzeitdaten und Benachrichtigungen über den Status von Baumaschinen und Bauprojekten?

Sehr wichtig      Nicht wichtig

8. Wie hoch ist Ihr Interesse an einen sicheren Datenaustausch zwischen **Maschinen von Hersteller A** und **Maschinen von Hersteller B**? Bspw. Auftragsdaten, Telemetriedaten oder Applikationskarten zwischen Straßenfertiger, Beschicker oder Asphaltwalzen auszutauschen.

Sehr großes Interesse      Gar klein Interesse

9. Wie hoch ist Ihr Interesse daran, Daten von einer **Software von Hersteller A** in eine **Software von Hersteller B** sicher zu übertragen? Bspw. Übertragung von Projektdaten in einer Analyse und Optimierungssoftware.

Sehr großes Interesse      Gar klein Interesse

10. Wie wichtig ist es für Sie, dass Daten nahtlos zwischen **Software von Hersteller A** und **Maschinen von Hersteller B** übertragen werden können? Bspw. Übertragung Steuerungsdaten von einer 3D Baumodell-Software zu einer Maschine mit 3D Baggersystem.

Sehr wichtig      Nicht wichtig

### IV. BESTEHENDER DATENAUSTAUSCH

11. Ist in Ihrem Unternehmen bereits ein herstellerneutraler Datenaustausch implementiert?

*Einfachkennung*

- Ja, intern, aber nicht extern.
- Ja, sowohl intern als auch extern.
- Teilweise, aber es bedarf weiterer Entwicklung.
- Nein, es gibt keine Bemühungen in dieser Richtung.
- Sonstiges (bitte spezifizieren): \_\_\_\_\_

12. Welche spezifischen Herausforderungen oder Probleme erleben Sie beim Datenaustausch zwischen:

- Baumaschinen unterschiedlicher Hersteller
- Baumaschinen und Bausoftware unterschiedlicher Hersteller
- Bausoftware unterschiedlicher Hersteller

13. Wären Sie bereit, für die Nutzung einer herstellerneutralen Datenaustauschplattform eine Gebühr zu entrichten? Wenn ja, in welchen Umfang?

14. In welcher Weise würden Sie sich gerne in einer Gemeinschaft oder einem Verein einbringen, der sich auf den Datenaustausch und die Zusammenarbeit in der Bauindustrie spezialisiert hat? *Mehrfachkenntnung möglich*

- Beitritt als Mitglied
- Aktive Mitarbeit
- Finanzielle Unterstützung
- Sonstiges (bitte spezifizieren): \_\_\_\_\_

15. Sonstige Anmerkungen: \_\_\_\_\_

## A.2 Workshop: Datennutzung, Datenregulierung und Datenschutz

Mentimeter

### Welche Art von Unternehmen/Organisation sind Sie?

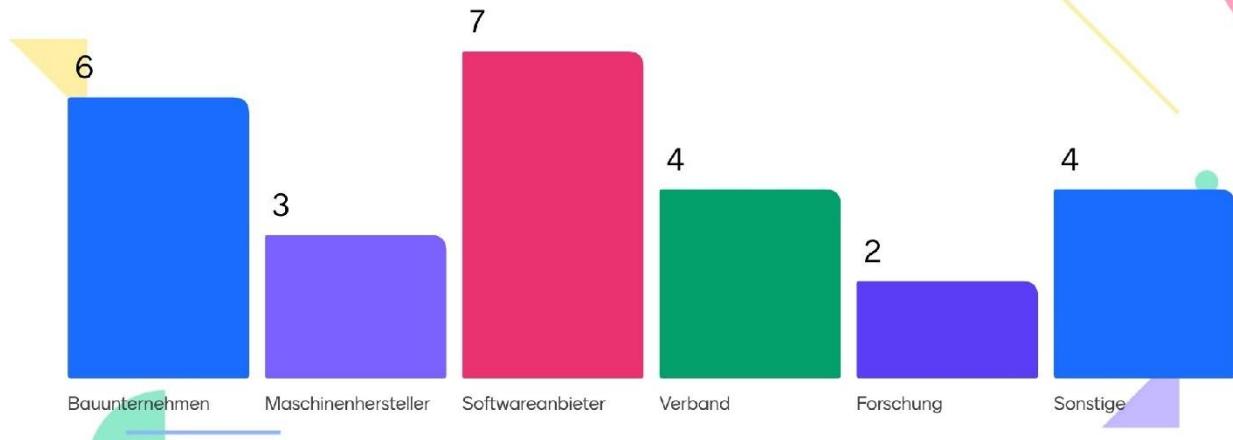


Abbildung A.2.1: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Zugehörigkeit der Teilnehmer ( $n = 26$ )

Mentimeter

### Welche Aspekte des Data Act erscheinen Ihnen für Ihr Unternehmen besonders relevant?

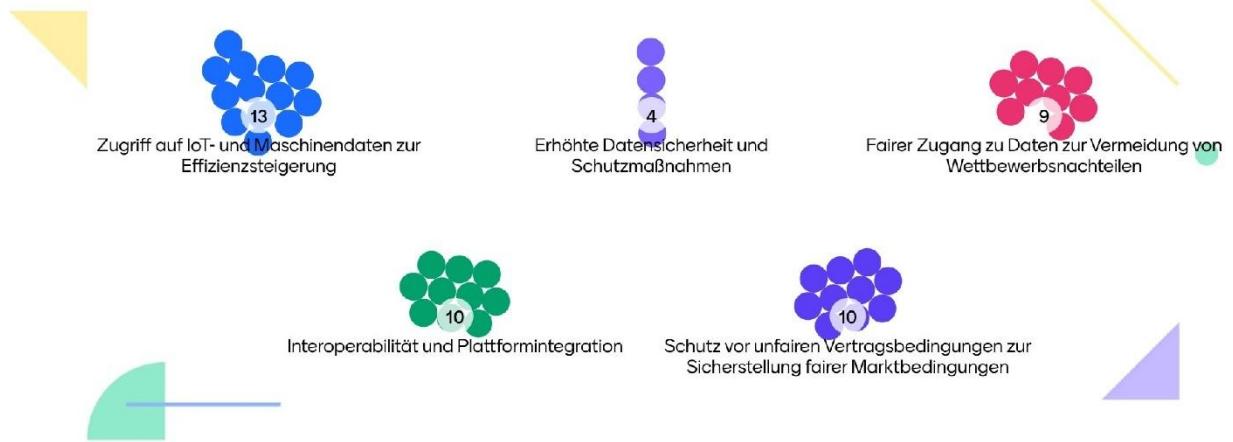


Abbildung A.2.2: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zu besonders relevanten Aspekten des Data Act für Unternehmen ( $n = 19$ )

Sehen Sie praktische Herausforderungen bei der Umsetzung der Data Act in der Baubranche?

Unklare rechtliche Rahmenbedingungen



7

Technische Hürden (z.B. Schnittstellen, Formate)



15

Komplexe Datenverträge und Verhandlungsprozesse



18

Schwierigkeiten bei der Verifizierung von Datenanfragen



10

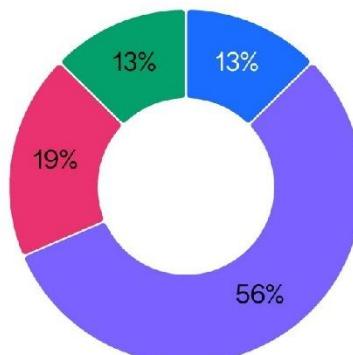
Sonstige



2

Abbildung A.2.3: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zu praktischen Herausforderungen bei der Umsetzung des Data Act in der Bauwirtschaft ( $n = 22$ )

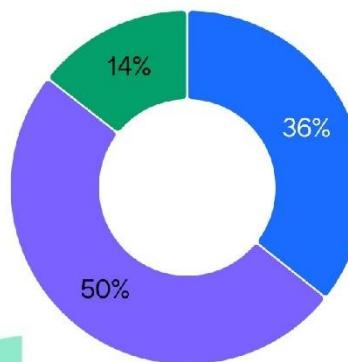
Wie viele unterschiedliche Plattformen oder Systeme nutzen Sie aktuell zur Verwaltung, Analyse und Weiterverwendung von Daten in Ihrem Unternehmen?



- 13% < 3 Plattform/System
- 56% 3 - 6 Plattform/System
- 19% 7 - 10 Plattform/System
- 13% > 10 Plattform/System

Abbildung A.2.4: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Anzahl der im Unternehmen genutzten Plattformen oder Systeme für Datenmanagement und -analyse ( $n = 16$ )

Gibt es in Ihrem Unternehmen bereits Verfahren zur sicheren Weitergabe von Baustellendaten an Dritte?



- 36% Ja, etablierte Prozesse vorhanden
- 50% Teilweise – für bestimmte Datenarten geregelt
- 0% In Planung, aber noch nicht umgesetzt
- 14% Nein, bislang keine Verfahren etabliert

Abbildung A.2.5: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zu bestehenden Verfahren zur sicheren Weitergabe von Baustellendaten an Dritte (n = 14)

Welche Unterstützung wünschen Sie sich von Behörden, Branchenverbänden oder Plattformanbietern zur Umsetzung des Data Act?



16

Abbildung A.2.6: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zu gewünschten Unterstützungsmaßnahmen bei der Umsetzung des Data Act (n = 16)

### A.3 Jährliche Gebührenstruktur von SiteRoute

Option 1 Association (Associated Partner) Vote	
<i>Unlimited (min. 1 year commitment)</i>	

Weighted AG Turnover [Mio. € ]	Yearly Contribution Full Package
>35-60	3,000€
>10-35	2,000€
< 10	1,000€

Business Partner	
Option 2A (Business Partner) One Vote PSC	
<i>2 years commitment</i>	

Weighted AG Turnover[Mio. € ]	Yearly Contribution Full Package
>8,500	180,000€
>5,249-8,500	130,000€
>3,233-5,249	95,000€
>1,988-3,233	67,500€
>1,220-1,988	50,000€
>745-1,220	36,000€
>453-745	25,000€
>273-453	18,000€
>162-273	13,500€
>94-162	9,000€
>60-94	7,500€
>35-60	6,500€
>10-35	4,500€
< 10	2,500€

Business Partner	
Option 3A (Business Partner) One Vote PSC	
<i>Unlimited (min. 1 year commitment)</i>	

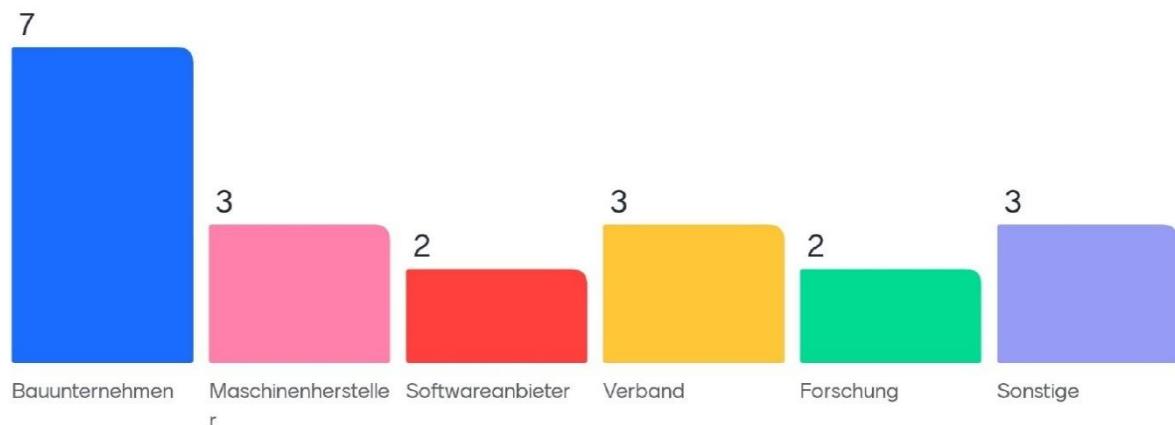
Shareholder	
Option 3B (Shareholder) One Vote PSC & SM	
<i>Unlimited (min. 3 years commitment)</i>	
Shareholder	
Option 3B (Shareholder) One Vote PSC & SM	
<i>Unlimited (min. 3 years commitment)</i>	

Weighted AG Turnover[Mio. € ]	Yearly Contribution Full Package
>8.500	235,000€
>5,249-8,500	170,000€
>3,233-5,249	125,000€
>1,988-3,233	75,000€
>1,220-1,988	65,000€
>745-1,220	47,500€
>453-745	33,000€
>273-453	24,000€
>162-273	18,000€
>94-162	12,000€
>60-94	10,000€
>35-60	7,000€
>10-35	5,000€
< 10	3,000€

#### A.4 Workshop: Finanzierungsmodell für SiteRoute

Mentimeter

Welche Art von Unternehmen/Organisation sind Sie?

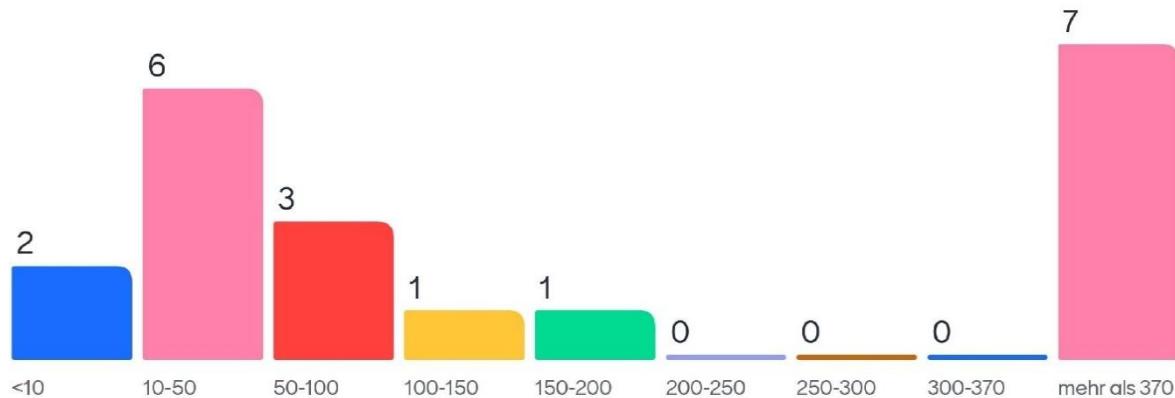


20

Abbildung A.4.1: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Zugehörigkeit der Teilnehmer ( $n = 20$ )

Mentimeter

1. Wie hoch ist Ihr Umsatz (Mio. €) im Jahr 2023?



20

Abbildung A.4.2: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Umsatzverteilung der teilnehmenden Unternehmen im Jahr 2023 ( $n = 20$ )

2. Möchten Sie das ROS (Return on Sales) mit uns teilen? Oder möchten Sie Ihren Gewinn/ROS privat halten?

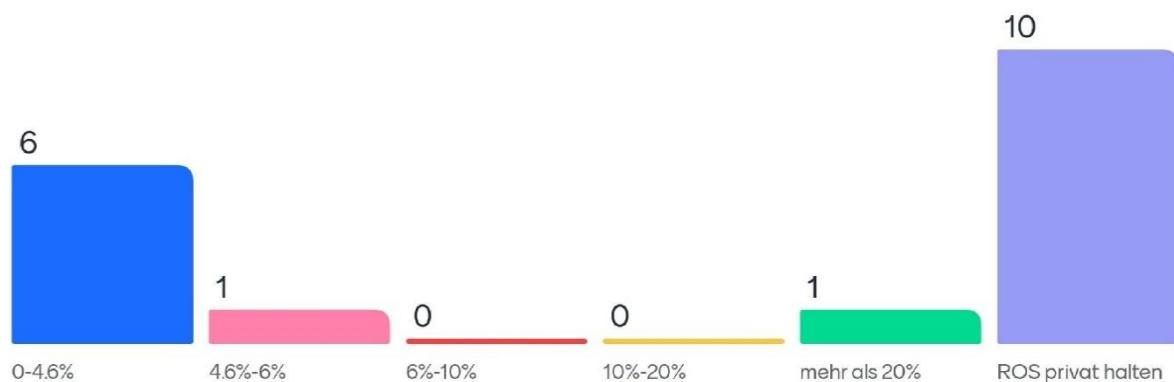


Abbildung A.4.3: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zum ROS der teilnehmenden Unternehmen ( $n = 18$ )

3. Erwarten Sie unterschiedliche Tarife für verschiedene Unternehmensgrößen oder -typen?

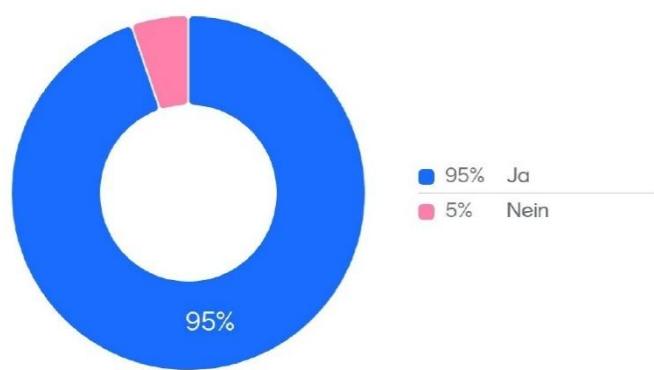
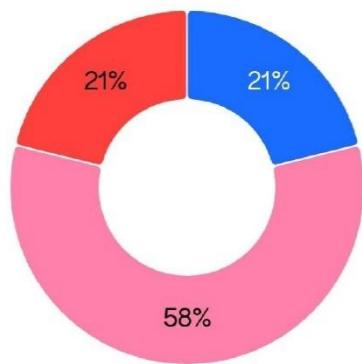


Abbildung A.4.4: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Erwartung unterschiedlicher Tarife für verschiedene Unternehmensgrößen oder -typen ( $n = 20$ )

4. Möchten sie an den Entscheidungssitzungen teilnehmen? Möchten Sie ein Stimmrecht haben?



- 21% Ich möchte nur diese Plattform nutzen und mich nicht an anderen Angelegenheiten beteiligen.
- 58% Ich möchte die Plattform nutzen und an PSC zur Produktentwicklung teilnehmen.
- 21% Ich möchte die Plattform nutzen, an den PSC teilnehmen und SM werden.



Abbildung A.4.5: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur gewünschten Beteiligung an Entscheidungssitzungen und Stimmrechten (n = 19)

5. Wie lange soll die erste Kooperationsdauer sein?

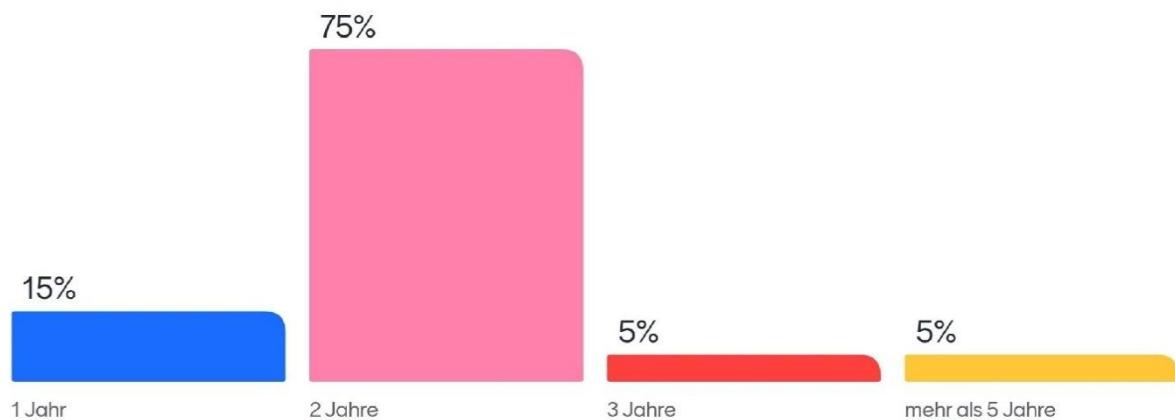


Abbildung A.4.6: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur gewünschten ersten Kooperationsdauer (n = 20)

## 6. Wie lange planen Sie die mindestens Kooperationsdauer?

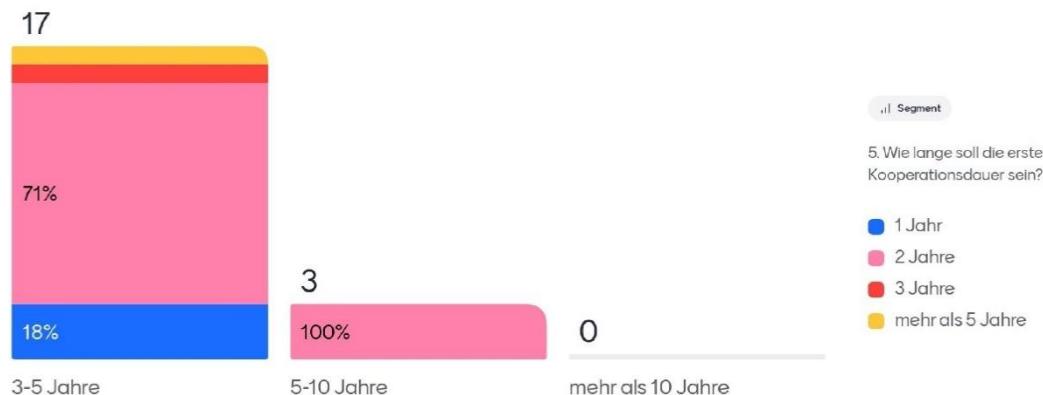


Abbildung A.4.7: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur geplanten Mindestkooperationsdauer ( $n = 20$ )

## 7. Haben Sie Vorschläge oder Ergänzungen zum agrirouter-Preismodell?

Preismodell nach Anzahl Maschinen	Abrechnung nach Anzahl der Maschinen	Preismodel nach Anzahl der Datensätze	Kosteneinsparungen transparent machen
Alle Hersteller müssen dabei sein	Preis nach Datenmenge	Hersteller mit guter Datenqualität sollten Vorfürze haben	Umsatz, Anzahl Maschinen, Maschinen Größe, Projekte ist zu klären.

Abbildung A.4.8: Ergebnisse des Workshops mit Mentimeter zu Vorschlägen und Ergänzungen zum agrirouter-Preismodell ( $n = 8$ )

8. Wenn Sie **Mitglied** sind, wie viel wären Sie bereit, jährlich für die Datenaustauschplattform zu zahlen?

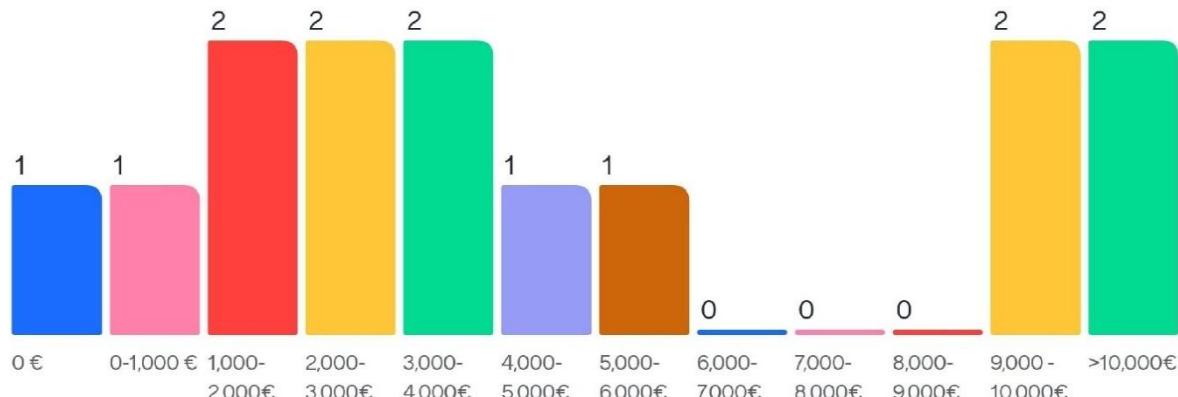


Abbildung A.4.9: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Zahlungsbereitschaft der Mitglieder für die Datenaustauschplattform (n = 14)

9. Wenn Sie ein **Geschäftspartner/Aktionär** sind, wie viel wären Sie bereit, jährlich für die Datenaustauschplattform zu zahlen?

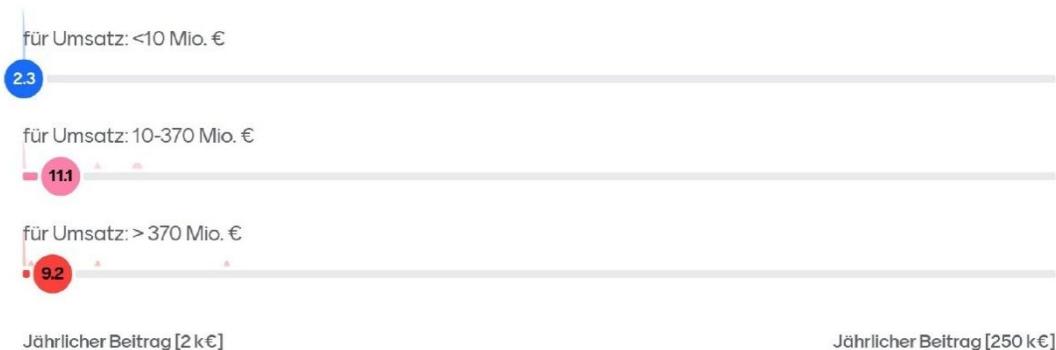
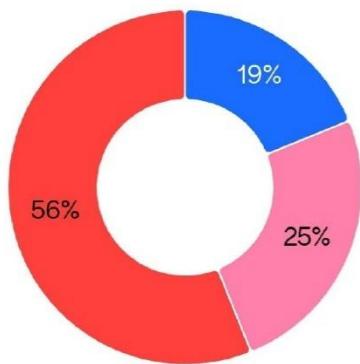


Abbildung A.4.10: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zur Zahlungsbereitschaft von Geschäftspartnern und Aktionären für die Datenaustauschplattform (n = 12)

## 10. Welche Preismodelle bevorzugen Sie?



- 19% Detaillierte gestaffelte Preise ähnlich wie bei agrirouter.
- 25% Direkte Abonnementpreise auf der Grundlage der Rollen und Rechten.
- 56% Ich möchte entsprechend der Anzahl der Endpunkte oder entsprechend der übertragenen Datenvolumen bezahlen.
- 0% Sonstige



Abbildung A.4.11: Ergebnis des Workshops mit Mentimeter zu bevorzugten Preismodellen für die Datenaustauschplattform (n = 16)

## A.5 Umfrage: Finanzierungsmodell für SiteRoute

### Datenaustauschplattform - für Bauunternehmen

(20 responses)

Gehört Ihr Unternehmen zu den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)? KMU: die weniger als 250 Mitarbeitende beschäftigen und entweder ein...anzsumme von höchstens 43 Mio. Euro ausweisen.  
20 responses

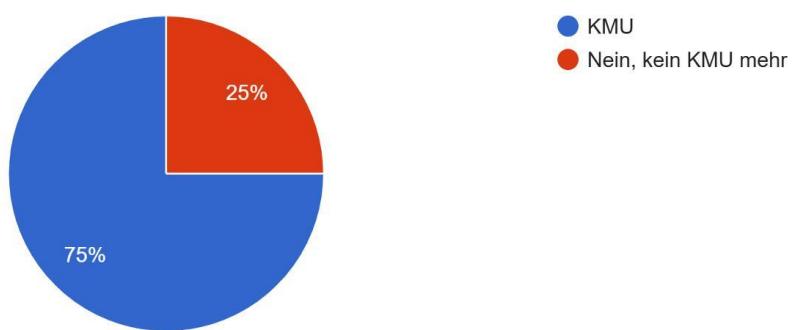


Abbildung A.5.1: Ergebnis der Umfrage mit Google Forms zum Anteil der KMU unter den teilnehmenden Bauunternehmen (n = 20)

Wie viele Maschinen haben Sie? Bitte schätzen Sie die Anzahl der Maschinen in Ihrem Unternehmen anhand der folgenden Kategorien ein.

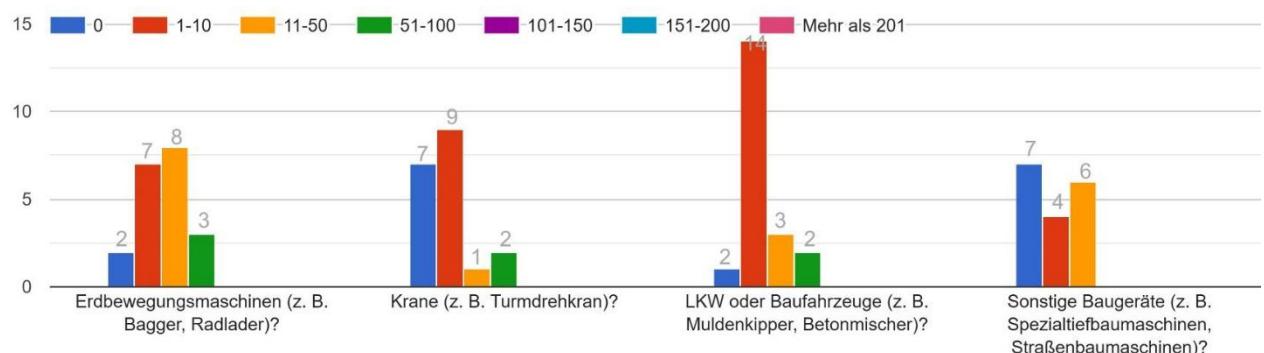


Abbildung A.5.2: Anzahl der Maschinen je Kategorie (Erbewegungsmaschinen, Krane, LKW/Baufahrzeuge, sonstige Baugeräte) der teilnehmenden Bauunternehmen (n = 20)

Wie viele Maschinen haben Sie? Bitte schätzen Sie die Gesamtanzahl der Maschinen in Ihrem Unternehmen anhand der folgenden Kategorien ein. ... und Leichtbaugeräte, sind nicht eingeschlossen.  
20 responses

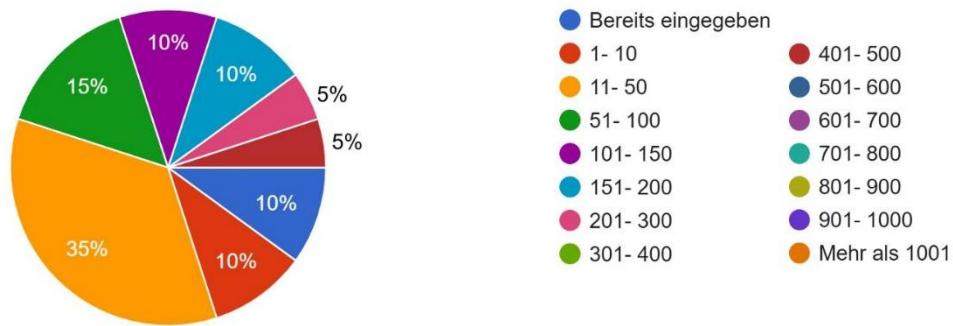


Abbildung A.5.3: Gesamtzahl der Maschinen pro Unternehmen (n = 20)

Wie viel wären Sie bereit, jährlich für die Nutzung der Datenaustauschplattform zu zahlen? Mehrfachauswahl möglich

20 responses

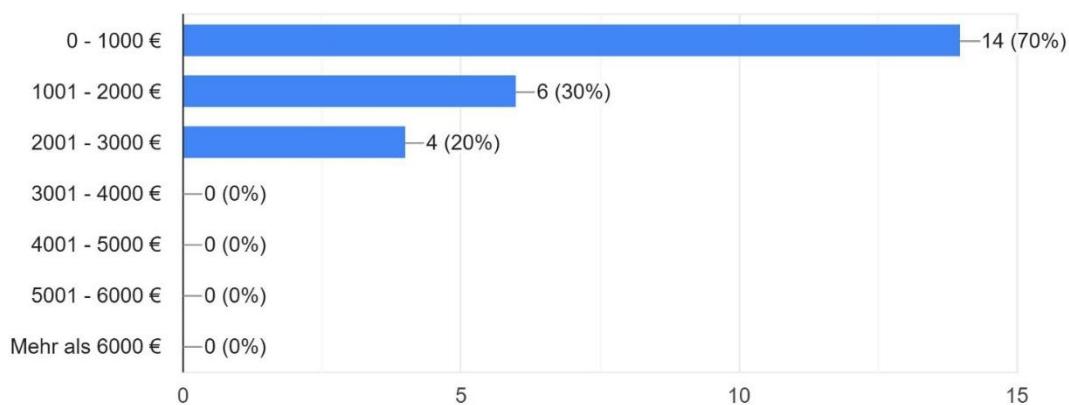


Abbildung A.5.4: Zahlungsbereitschaft der Bauunternehmen für die Nutzung der Datenaustauschplattform (n = 20)

Möchten Sie an Entscheidungsprozessen teilnehmen oder ein Stimmrecht haben? Ich möchte...

20 responses



Abbildung A.5.5: Beteiligungs- und Mitbestimmungsinteresse der Bauunternehmen in der Plattformorganisation (n = 20)

Welche Preismodelle bevorzugen Sie für die Datenaustauschplattform ?

20 responses

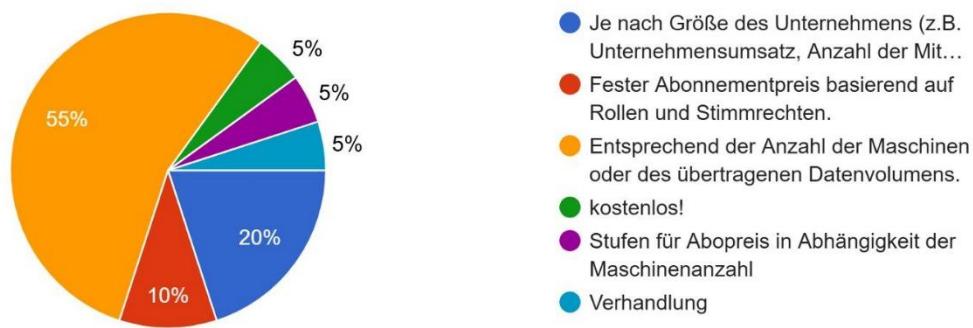


Abbildung A.5.6: Präferenz der Bauunternehmen für verschiedene Preismodelle der Datenaustauschplattform (n = 20)