

## **Abschlussbericht**

für die Konzeptionierung und Validierung eines Konzeptes für die Wegeföhrung von Arbeitsmaschinen in Weinbergen abseits von öfentlichen StraÖen im Rahmen des Experimentierfeldes „DigiVine“

**Az.: 214-02.05-20.0089-20-I-B**

**„Konzept für die Wegeföhrung von Arbeitsmaschinen im Weinberg“**

**AP 3: Validierung der Konzeptionierung**

## Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung und Vorgehensweise .....	3
2. Anforderungen der Zielgruppen und des Auftraggebers: erforderliche Projektqualität .....	4
2.1 Erfassung der zeitbezogenen GPS-Koordinaten inkl. Umweltparameter .....	4
2.1.1 Digitale Kartierung der Anbauflächen .....	4
.....	6
2.1.2 Umweltfaktoren .....	6
2.1.3 Erfassung der zeitbezogenen GPS-Koordinaten.....	7
3. Ausgangssituation und bisherige Lösung .....	7
3.1 Zu berücksichtigende Anforderungen der Weinbaupraxis .....	8
4. Lösungen, die im Rahmen des Projekts umgesetzt wurden .....	11
4.1 AP 1 Marktrecherche und Festlegung des Datenstandards.....	11
4.1.1 Marktführer OEMs .....	12
4.1.2 Technologie .....	13
4.2 AP 2 Proof of Concept Teil 1.....	14
4.3 AP 2 Proof of Concept Teil 2.....	16
5. Weitere Forschungspunkte .....	17
6. AP 3 Validierung der Konzeptionierung .....	18
6.1 Fragenkatalog zur Bewertung der Implementierbarkeit des Konzeptes zur Wegeföhrung .....	18
6.1.1 Basisdaten .....	18
6.1.2 Maschinelle Wegeföhrung im Betrieb.....	18
6.1.3 Arbeitsprozesse .....	20
6.1.4 Verwaltung Wegeföhrung.....	21
6.2 Fazit der Umfrage .....	21

## 1. Zielsetzung und Vorgehensweise

Im Rahmen des Experimentierfeldes „DigiVine“ möchten wir als Vineyard Cloud GmbH ein praxisbezogenes und möglichst vollumfängliches Konzept für die Wegeführung von Arbeitsmaschinen in Weinbergen abseits von öffentlichen Straßen erarbeiten.

Mit dem in AP 1 festgelegten Datenstandard haben wir im AP 2 die technische Konzeptionierung der Datenübertragung erstellt. Dies erfolgte im Zwei-Phasen-Ansatz, nämlich der Planung der Route in Phase 1 und der Online-Navigation in Phase 2. Zunächst wurde in Phase 1 ein Proof of concept zur Konzeptionierung der erforderlichen Machine-Learning Komponenten für die optimierte Wegeführung erarbeitet. Konkret wurde die Routenplanung, die Berechnung der optimalen Route gegeben der vom Nutzer selektierten Kriterien, differenziert betrachtet. Dieses Problem ist bekannt als Vehicle-Routing-Problem (VRP). Anschließend folgte in Phase 2 die Beurteilung und Erstellung des Proof of concept zur Konzeptionierung einer optimierten Feldnavigation. Die Online-Navigation beinhaltet die Unterstützung der Nutzer während der Bearbeitung der Aufgabe. Hierzu zählen die visuelle und/oder auditive Navigation entlang der optimierten Route, sowie neue Kalkulationen der optimierten Route, sollten Nutzer von der vorgegebenen Route abweichen.

Dieser Abschlussbericht schließt das Projekt für die Konzeptionierung und Validierung eines Konzeptes für die Wegeführung von Arbeitsmaschinen in Weinbergen abseits von öffentlichen Straßen im Rahmen des Experimentierfeldes „DigiVine“ ab. Der Abschlussbericht greift zunächst die Anforderungen der Zielgruppen und des Auftraggebers hinsichtlich der erforderlichen Projektqualität auf. Es folgt eine kurze Beschreibung der Ausgangssituation und bisherigen Lösung sowie Lösungsansätze, die im Rahmen des Projektes bisher ermittelt wurden. Abschließend erläutert wird das AP 3, die Validierung der Konzeptionierung, welche aus den zuvor gewonnen Erkenntnissen aus AP 1-2, sowie aus einer Marktumfrage ausgearbeitet wurde.

## 2. Anforderungen der Zielgruppen und des Auftraggebers: erforderliche Projektqualität

Im Rahmen des Experimentierfeldes „DigiVine“ haben wir als Vineyard Cloud GmbH ein praxisbezogenes und vollumfängliches Konzept für die Wegeführung von Arbeitsmaschinen in Weinbergen abseits von öffentlichen Straßen erarbeitet.

Die in der Leistungsbeschreibung vorgegebenen Rahmenvorgaben decken sich vollständig mit den durch Vineyard Cloud angebotenen digitalen Services. Die folgenden wesentlichen Rahmenvorgaben werden von uns wie folgt erfüllt.

### 2.1 Erfassung der zeitbezogenen GPS-Koordinaten inkl. Umweltparameter

Vineyard Cloud basiert zunächst auf einer digitalen Schlagkartei, welche sowohl über einen Webservice, sowie über mobile Apps erstellt, verwaltet und angepasst werden kann. Um die zeitbezogenen GPS-Koordinaten den entsprechenden Umweltparametern zuordnen zu können, benötigen wir nachfolgend ausgeführte Rahmenbedingungen, welche wir erfüllen.

#### 2.1.1 Digitale Kartierung der Anbauflächen

Die Anbauflächen sind als Polygone auf einer Kartenansicht hinterlegt. Als unterliegendes Kartenmaterial wird von uns das bereits heute umfangreichste verfügbare digitale Kartenmaterial von Google genutzt und anschließend zunächst mit den Polygondaten aus z.B. floRLP, FIONA, HELENA oder iBalis angereichert. Zusätzlich vermessen wir als Vineyard Cloud die Schläge unserer Kunden pro Rebzeile mit einer Genauigkeit von 1-4cm mittels Hochleistungs-D-GPS-Messsensorik im dreidimensionalen Raum (xyz-Koordinaten). Diese Daten werden anschließend den Weinbaubetrieben wieder digital innerhalb von Vineyard Cloud zur Verfügung gestellt.

Die Einmessung der Schläge pro Rebzeile gewährleistet eine noch genauere Dokumentation der geleisteten Arbeiten und ist unserer Ansicht nach zwingend notwendig, um eine Wegeführung der Arbeitsmaschinen außerhalb öffentlicher Straßen sinnvoll zu konzeptionieren. Denn nur mit diesem Basiskartenmaterial können befahrene Routen so präzise nachvollzogen werden, dass daraus Rückschlüsse für zukünftige Wegeführungen an gleicher Stelle gezogen werden können.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für unser hochpräzises Kartenmaterial der Schläge. Hier wird verdeutlicht, wie wichtig eine genaue Kartierung der Schläge für die Wegeführung ist. Im Vergleich zur rechten Seite des Schlags, weist die linke Seite eine deutlich stärkere nach links unten abfallende Hangneigung auf. Zwischen den beiden Schlagabschnitten ist deutlich zu erkennen, dass eine unbestockte breitere Gasse die beiden Teile trennt.



Abbildung 1 Beispiel für die Kartierung einer hanggeneigten Parzelle mit Spitzzeilen

Folglich sind hier mehrere Faktoren relevant für die Wegeführung:

- Das Delta zwischen den z-Koordinaten der Anfangs- und Endpunkte der Rebzeilen (hieraus folgt der variierende Verlauf der Hangneigung innerhalb des Schlages)
- Der zwischenbegrünte Gang zwischen dem linken und rechten Teil des Schlages
- Der Verlauf der Spitzzeilen im linken Teil des Schlages
- Die Anfahrtswege zum Schlag aus insgesamt drei Richtungen

Die Anfahrtswege zum Schlag sind hier gesondert zu betrachten. Diese variieren je nach Reihenfolge der zu bearbeitenden Schläge und Aufgabentyp.

Die folgende Abbildung 2 verdeutlicht dies anschaulich.





Abbildung 2 Beispiel für Anfahrtsweg zu einer Parzelle, Aufgabentyp Mulchen

### 2.1.2 Umweltfaktoren

Alle Außenbetriebsmitarbeiter, der Außenbetriebsleiter, sowie der Eigentümer sind pro Weingut als Nutzer in Vineyard Cloud hinterlegt und verwaltbar.

Zusätzlich ist der gesamte Maschinenfuhrpark pro Weingut hinterlegt und verwaltbar. Maschinen sind pro Maschinenkategorie und Typbezeichnung angelegt. Maschinenkategorien beinhalten unter anderem Schmalspurschlepper, Mulcher, Zwischenachsgeräte, Vollernter und Pflanzenschutzspritzen inkl. Anbauart & Tankvolumen.

Außerdem können über unsere App bereits erste teilautonome Gerätekombinationen wie der Vineyard Pilot Assistant (VPA) der Braun Maschinenbau GmbH direkt über unser User-Interface (UI) gesteuert und mit Echtzeit-GPS-Daten versorgt werden. Umgekehrt übertragen wir bereits heute die Echtzeitmaschinendaten des VPA in unser Backend (Data Warehouse). Diese Daten beinhalten unter anderem die zurückgelegte Wegstrecke, Fahrzeit, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung.

Im täglichen Betrieb kann der Nutzer aus allen gängigen Aufgabentypen der Weinbaupraxis Aufgaben für die Außenbetriebsmitarbeiter erstellen, welche nach erfolgter Erstellung automatisch an die App-Nutzer im Weinberg übertragen werden.

Durch die Integration zu einem führenden Anbieter von Sensorik & Wetterstationen für den Weinbau können zudem weitere kontext-bezogene Umweltdaten pro Maschinenfahrt aufgezeichnet werden. Diese beinhalten beispielsweise Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Spätfrost und phänologische Phasen pro Zeitintervall.

### 2.1.3 Erfassung der zeitbezogenen GPS-Koordinaten

Sobald ein Nutzer eine entsprechende Aufgabe startet, startet automatisch die GPS-Aufzeichnung über das in der Maschine vorinstallierte mobile Endgerät. Zusätzlich wird automatisch pro aufgezeichnetem GPS-Punkt die entsprechende Zeitkoordinate automatisch aufgezeichnet.

So kann nachvollzogen werden, welche Maschine, an welchem Tag, in welcher Aufgabe, auf welchen Parzellen und Routen wie genutzt wurde. Durch unsere intern entwickelten Machine-Learning-Ansätze werden die aufgezeichneten zeitbezogenen GPS-Koordinaten Backend-seitig auf Daten-Outlier kontrolliert und geglättet.

Durch die Nutzung unserer nativen iOS- oder Android-App (verfügbar ab iOS 10 oder Android 6.0) werden nach dem Aufgabenstart automatisch die zeitbezogenen GPS-Daten der genutzten Maschinen an unsere Server übertragen und zur Analyse aufbereitet. Die GPS- sowie die Aufgabenfortschrittsdaten werden in Echtzeit mit dem Vineyard Cloud Backend & Webend synchronisiert. So kann jederzeit gewährleistet werden, dass pro Maschine und Arbeitsauftrag eine Aufzeichnung des zurückgelegten Weges inkl. GPS-Koordinaten und entsprechender Zeitstempel sichergestellt ist, wobei die Datenaufzeichnungen über alle gängigen Endgeräte gewährleistet werden können.

## 3. Ausgangssituation und bisherige Lösung

Geographische Informations-Systeme (GIS) bilden bereits in einer Vielzahl von landwirtschaftlichen Tätigkeiten die essenzielle Grundlage für ein flächen-spezifisches, zielgerichtetes und nachhaltiges Bewirtschaften der landwirtschaftlichen Flächen. In der konventionellen Landwirtschaft (Cash-Crops) gehören solche Anwendungen bereits seit mindestens 10 Jahren zu den Best-Practices und werden dort unter anderem für Ertragsoptimierungen, synchronisierte Landmaschinen, optimierte Feldführung und reduzierte Nutzung von Pflanzenschutz-, Dünge- sowie weiterer Verbrauchsmittel genutzt.

Im Bereich der Sonderkulturen (Special-Crops), in welchem Wein eine der anbauintensivsten Sonderkulturen bildet (alleine in Deutschland ca. 100.000ha Anbaufläche), ist diese Vorgehensweise noch deutlich unterentwickelt, was maßgeblich den wesentlich komplexeren und weniger redundanten Arbeitsabläufen zuzuordnen ist. Zusätzlich sind die bewirtschafteten Flächen größtenteils deutlich kleiner parzelliert, sowie zumeist in öffentliche Räume eingebettet, welche nicht per se automatisiert bzw. vereinheitlicht befahren werden können (Weinberge sind hier ein sehr typisches Beispiel).

Folglich gilt es, die besonderen Arbeits- und Umweltparameter im Weinbau in die Konzeptionierung einer Wegeführung von Arbeitsmaschinen möglichst umfassend einzubeziehen. Die bereits gesammelten Erkenntnisse aus unserer knapp sechs-jährigen Erfahrung durch die eigene Entwicklung eines GIS-basierten Managementsystems für wein- und

obstbauliche Außenbetriebe (basierend auf einer Schlagkartei) sehen wir als zentralen Vorteil, um bei der Konzeptionierung einer Wegeführung außerhalb öffentlicher Straßen im Weinbau einen Mehrwert für die gesamte Branche zu schaffen. Unsere Web- und Applösungen werden bereits auf über 15.000 ha Anbaufläche in ganz Deutschland, aber auch in Österreich, der Schweiz, Luxemburg, Italien, Frankreich und Spanien genutzt.

### 3.1 Zu berücksichtigende Anforderungen der Weinbaupraxis

Um innerhalb der gängigen Prozessfolgen im Weinbau die notwendigen kontext-bezogenen Umwelt- und Nutzungsparameter vernünftig dokumentieren und analysieren zu können, benötigt die in der Erprobung beispielhaft genutzte GIS-Anwendung laut Leistungsbeschreibung für das „Konzept für die Wegeführung von Arbeitsmaschinen im Weinberg“ die Möglichkeit, n-viele Fahrer und n-viele Flächen innerhalb einer Maßnahme gleichzeitig bearbeiten zu können.

Diese Vorgabe ist in Vineyard Cloud ein zentraler Bestandteil des App-basierten Prozessmanagements. Die geforderten Daten werden in Echtzeit mit unserem Backend (Date-Warehouse) synchronisiert.

Zusätzlich können Benutzer mit Vineyard Cloud punktuelle Markierungen im Feld setzen, um beispielsweise Schäden oder Krankheitsbefall markieren zu können. Alternativ können pro Aufgabe bis zu 10 mit Geoposition vermerkte Bilder erstellt und gespeichert werden.

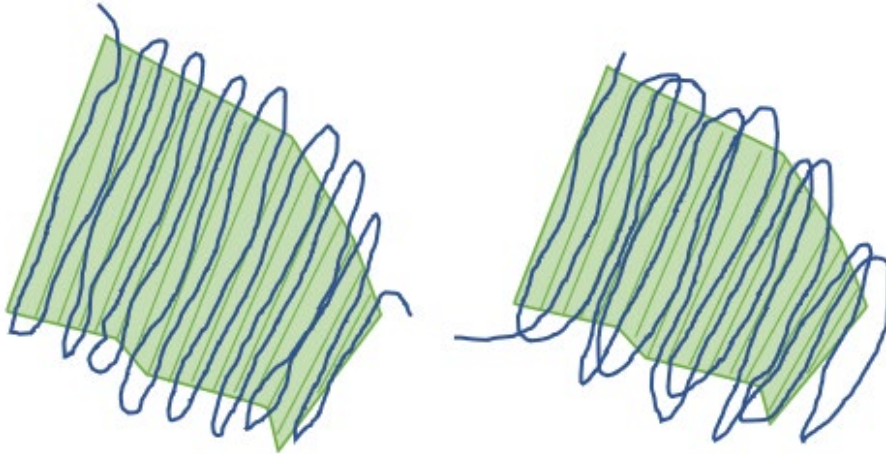
Im Weinbau werden häufig innerhalb einer Maßnahme mehrere Arbeitsmaschinen gleichzeitig eingesetzt. Je nach Schlagbeschaffenheit werden jedoch für den gleichen Arbeitsschritt unterschiedliche Maschinenkonfigurationen in bestimmten Teilbereichen der zu befahrenen Weinberge genutzt. Beispielsweise variiert häufig der Zeilenabstand zwischen den Schlägen. Unterschiede zwischen 1,60m und 2,40m sind keine Seltenheit und bedeuten, dass nur jeweils bestimmte Gerätekombinationen genutzt werden können.

Zudem erlauben bestimmte Bepflanzungsmuster, sowie die Schlag-spezifischen Gefälle häufig nur bestimmte Ein- und Ausfahrtsszenarien in und aus den Rebzeilen eines Weinbergs. Je nach Tätigkeitsart, Witterungsbedingungen und geographischer Beschaffenheit der Weinberge können jedoch auch auf einem Schlag zum Teil mehrere unterschiedliche Ein- und Ausfahrtsszenarien in die Rebzeilen relevant sein.

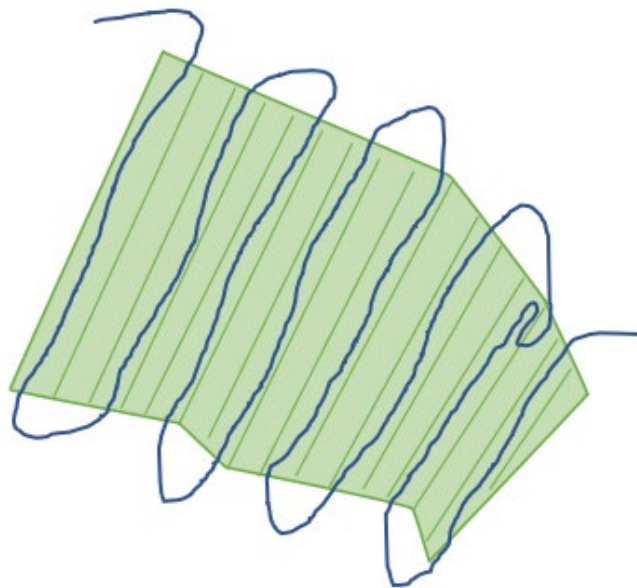


Nachfolgend werden exemplarisch einige Beispiele aufgeführt, welche bei einer Konzeptionierung für die Wegeführung in Weinbergen berücksichtigt werden sollten.

## Einzeilig

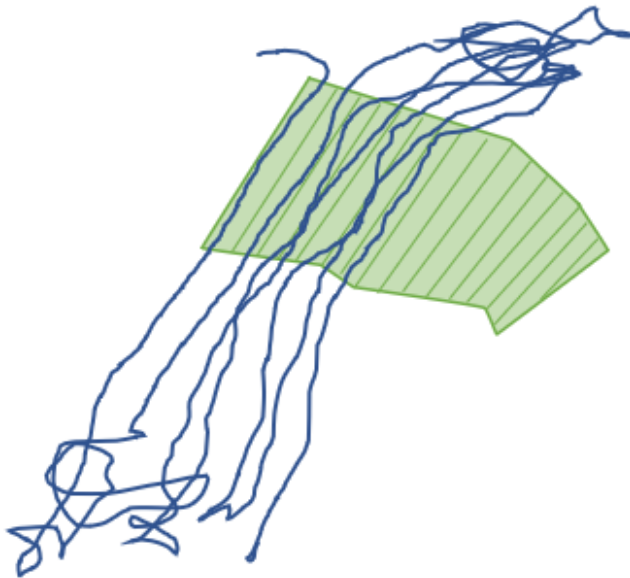


## Zweizeilig

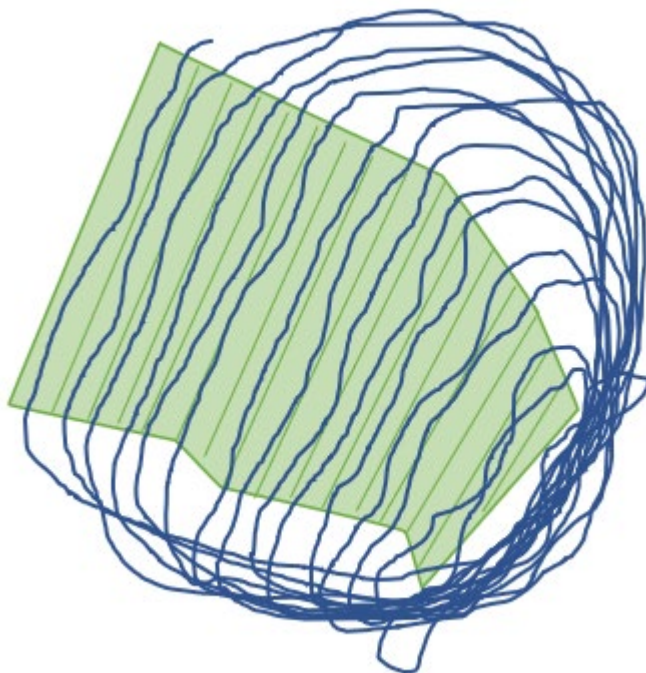


*Abbildung 3 Typische Ein- und Ausfahrtsszenarien in die Rebzeilen eines Weinbergs  
Einzeilig & Zweizeilig*

## Mehrere Felder gleichzeitig



## Schnecke



*Abbildung 4 Typische Ein- und Ausfahrtsszenarien in die Rebzeilen eines Weinbergs  
Mehrere Felder & Schnecke*

Die Nutzungsprofile, und somit auch die Anforderungen an unser GIS-basiertes Managementsystem unserer Kundenbetriebe im Weinbau, variieren allerdings deutlich und sollten unserer Ansicht nach unbedingt in der Konzeptionierung einer Wegführung von

Arbeitsmaschinen in Weinbergen abseits von öffentlichen Straßen ebenfalls holistisch begutachtet und berücksichtigt werden.

Wir sehen folgende zu berücksichtigende Anforderungsprofile der Weinbaulichen Praxis:

- Kleine bis mittlere Inhaber-geführte Betriebe (5 – 50 ha Anbaufläche)
  - Ein bis drei Maschinenführer gleichzeitig je Prozess
  - Zumeist gute bis sehr gute Kenntnis der eigenen Anbauflächen, Anfahrtswege und Zeilenein- und ausfahrtsszenarien
  - Geringe Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen
  - Häufige Nutzung von Lohnunternehmern als Subauftragnehmer für Arbeitsschritte mit zwingendem Einsatz besonders teurer Maschinen (z.B. Traubenvollernter)
- Großkellereien & Großbetriebe (50 – 200 ha Anbaufläche)
  - 4-10 Maschinenführer gleichzeitig je Prozess
  - Mittlere Kenntnis der eigenen Anbauflächen, Anfahrtswege und Zeilenein- und ausfahrtsszenarien
  - Mittlere bis hohe Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen
  - 80-100% aller auszuführenden Arbeiten mit eigenem Personal & Gerätschaft
- Erzeugergemeinschaften (100 - 2.000 ha Anbaufläche)
  - Keine eigenen Maschinenführer, Genossenschaftsmitglieder bearbeiten eigenständig von Hand oder die eG nutzt Lohnunternehmer
  - Geringe bis keine Kenntnis der eigenen Anbauflächen, Anfahrtswege und Zeilenein- und ausfahrtsszenarien
  - Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen abhängig von den eingesetzten Lohnunternehmern
  - 0% aller auszuführenden Arbeiten mit eigenem Personal & Gerätschaft
- Lohnunternehmer (keine eigene Anbaufläche)
  - Bis zu 150 eigene Maschinenführer pro Prozess über n-viele Kundenbetriebe
  - Geringe bis mittlere Kenntnis der Kunden-Anbauflächen, Anfahrtswege und Zeilenein- und ausfahrtsszenarien
  - Sehr hohe Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen
  - 100% aller auszuführenden Arbeiten mit eigenem Personal & Gerätschaft

## 4. Lösungen, die im Rahmen des Projekts umgesetzt wurden

Das Konzept für die Wegeführung von Arbeitsmaschinen im Weinberg wurde in drei Arbeitspakete gegliedert mit jeweiligem spezifischen Fokus auf gesonderte Teilbereiche der Problemstellung.

### 4.1 AP 1 Marktrecherche und Festlegung des Datenstandards

Eine umfassende Marktrecherche in und außerhalb des Weinbaus, um verfügbare Technologien, Prozesse und Anforderungen im Bezug auf die Nutzung und Übertragung von zeitbezogenen GPS-Koordinaten auszuwerten, wurde zunächst durchgeführt. Im zweiten Schritt wurde aus den Erkenntnissen ein Datenstandard zur Einbindung eines Konzeptes zur Wegeführung in die

Weinbauliche Praxis festgelegt. Im Zuge der Recherche wurden auch Landmaschinenhersteller außerhalb des Weinbaus begutachtet, da die konventionelle Landwirtschaft bereits fortgeschrittenere Digitalisierungskonzepte anwendet als im Weinbau aktuell angeboten wird.

Ein wesentlicher Bestandteil der maschinellen Wegeführung sind zeitbezogene GPS-Koordinaten. Diese werden einerseits von Maschinenherstellern produziert um anschließend direkt und unmittelbar im individuellen Anwendungskontext verwertet zu werden. Andererseits gibt es Anwender im Feld, welche durch die Nutzung der verschiedenen Landmaschinen zeitbezogene GPS-Koordinaten generieren und dann über Drittverwerter wie beispielsweise Softwarehersteller diese Daten wiederum für Folgetätigkeiten und Prozessoptimierungen nutzen.

Während in der konventionellen Landwirtschaft bereits GPS-gesteuerte Trägersysteme zum Teil autonom eingesetzt werden, ist das aktuell im Wein- und Obstbau noch nicht in der Praxis im Einsatz. Die Kleinstparzellierung der Flächen, die geographische Nähe der Weinberge zu öffentlichen Fußgängerwegen, sowie der Weinbau als Nischensegment der Landwirtschaft lassen F&E-Investitionen häufig als wirtschaftlich weniger attraktiv erscheinen, wodurch die Digitalisierung in diesem Bereich noch langsam voranschreitet.

#### 4.1.1 Marktführer OEMs

Um einen Einblick in die aktuelle Lage zu erlangen wurden für diese Recherche die globalen Marktführer der Zugmaschinen-OEMs, AgCo Corporation, Deere&Company, Claas KGaA mbH, CNH Industrial, Kubota Corporation, SDF S.p.A. näher betrachtet. Insbesondere ist zu erwähnen, dass fundamentale Unterschiede in der Bewirtschaftungsweise der konventionellen Landwirtschaft im Vergleich zum Weinbau, andere Nutzerbedürfnisse hervorbringt. Somit finden die digitalen Lösungen zu zeitbezogenen GPS-Daten und die Verwertung dieser innerhalb der maschinellen Arbeitsprozesse nur wenig Anwendung in der weinbaulichen Praxis. Laut unserer Recherche werden keinerlei Daten im Feld dazu genutzt, dynamisch den weiteren Routenverlauf des Trägersystems anzupassen oder vorzugeben. Lediglich vorgespeicherte Linien oder Kreisbewegungen können mittels den zuvor aufgezeichneten GPS-Koordinaten nachgefahren werden. Es findet keine dynamische Routenführung oder Optimierung im Feld statt. Aufgrund der immer gleichen Fahrwege und der Homogenität der Anbauflächen in der konventionellen Landwirtschaft ist dies vermutlich auch nicht nötig. Diese Erkenntnis wiederholt sich bei allen Zugmaschinen-OEMs und wird von uns als einer der Hauptgründe genannt, für die fehlenden Assistenzsysteme in den kleineren Schmalspurtraktor-Serien, welche im Weinbau hauptsächlich genutzt werden.

Zudem sind in Sonderkulturen weitere Umgebungsfaktoren für die richtige Routenfindung auch außerhalb bekannter Straßennetze von Nöten. Die Rebzeilen definieren eine natürliche Gassenbreite, wodurch in Abhängigkeit zu den verschiedenen Einsatzszenarien, nur bestimmte Geräte- und Zugmaschinen/Trägersysteme zum Einsatz kommen können. Die häufigen gemeinsamen Feldarbeiten mit n-vielen Maschinen und Mitarbeitern erfordert zudem eine kabel- und USB-Stick-freie Echtzeitkommunikation zwischen den Maschinen und Mitarbeitern im Feld.

Dies wird verdeutlicht bei einer näheren Betrachtung der Marktführer im Segment der Anbaugerätehersteller und Spezialmaschinen für den Weinbau. Näher betrachtet wurden die reinen Anbaugeräteherstellern BRAUN Maschinenbau GmbH und Clemens GmbH & Co. KG, sowie die Spezialmaschinen-Herstellern ERO GmbH, Braud (CNH Industrial) & PELLENC S.A.S., Wagner-Pflanzen-Technik GmbH und farmunited GmbH (ehemals Inovel systeme AG).



Speziell das Beispiel BRAUN „Vineyard Pilot Assistant“ (VPA) verdeutlicht, dass Anbaugerätehersteller zeitbezogene GPS-Koordinaten zwar nicht zur direkten Steuerung der Maschinen nutzen, jedoch von diesen Daten abhängig sind, um im richtigen Kontext, auf der richtigen Fläche die optimalen Maschinenparameter auszuwählen. Dieses Anwendungskonzept zeitbezogener GPS-Koordinaten in Verbindung mit weiteren Umweltparameterdaten ist unserer Auffassung nach sehr relevant für die erfolgreiche Konzeptionierung einer Wegeführung im Weinbau. Wie bereits eingangs hervorgehoben, bilden Rebzeilen eine natürliche Fahrspurgrenze. So ist eine GPS-gestützte Lenkassistentz für den Weinbau weniger sinnvoll. Zumindest innerhalb der Zeilenfahrt ist eine optische Sensorik zur Steuerung und Lenkassistentz somit ausreichend. Da die Anbauflächen im Weinbau zudem meistens klein-parzelliert an öffentliche Wege grenzen, können autonome Systeme aus Sicherheitsgründen nicht alleine auf GPS-Daten beruhen, sondern benötigen zwingend immer auch optische Kontroll-Sensorik. So werden Traubenvollernter (TVE) aktuell nicht per GPS-Korrektursignal gelenkt, jedoch wäre die benötigte Technologie bereits bei Braud (CNH) und Gregoire (SDF) TVEs bereits im Konzern-Verbund vorhanden.

#### 4.1.2 Technologie

Softwareseitig, sowie Hardwaretechnisch besteht eine sehr heterogene Landschaft zwischen den unterschiedlichen Lösungen und Anbietern. Maschinenhersteller fokussieren maschinen-spezifische Daten, wohingegen Softwarehersteller ihr Datenmodell mit Hinblick auf den Feldanwender modellieren. Die gewählte Programmiersprache kann sich jeweils ebenfalls unter den Anwendern unterscheiden und trägt somit zur Komplexität bei. Um dennoch über verschiedenen Plattformen hinweg miteinander standardisiert kommunizieren zu können, wird ein Kommunikationsstandard benötigt. Dieser sollte demnach die Kommunikationsleitfäden zwischen verschiedenen Software-Anbietern festlegen und der Datenstandard die auszutauschenden Daten qualitativ definieren. Zur Bewertung eines optimalen Daten- und Kommunikationsstandards wurden die Kommunikationsformen Schnittstellenstandardisierung und der Einsatz von Kommunikationsbroker miteinander verglichen. Daraus resultiert unsere Empfehlung, auf Grund der besseren Flexibilität und Umsetzbarkeit, die Schnittstellen-Standardisierung als Grundlage für das Konzept zur Wegeführung in Verbindung mit einer Kommunikation mittels REST API via JSON oder XML Daten zu wählen.

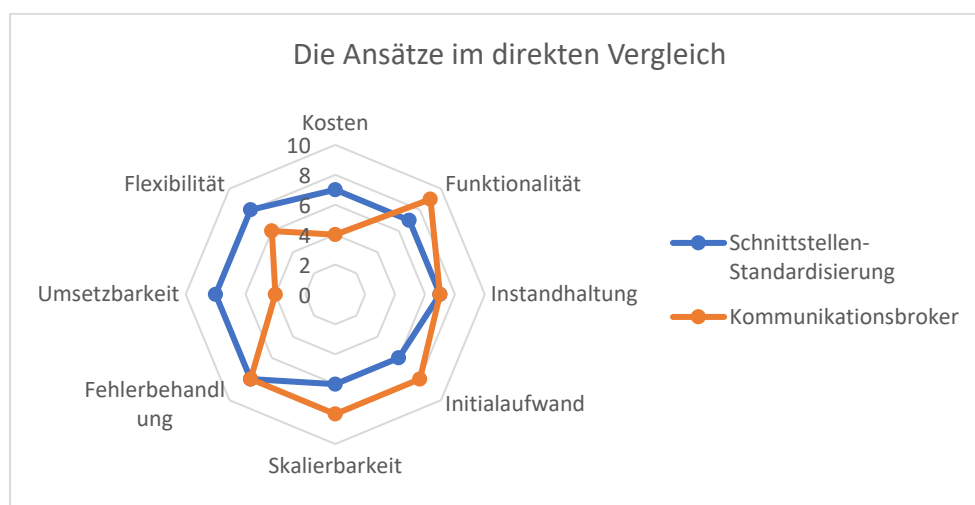


Abbildung 5 Vergleich Kommunikationsstandardisierung

## 4.2 AP 2 Proof of Concept Teil 1

Mit dem in AP 1 festgelegten Datenstandard wurde in AP 2 die technische Konzeptionierung der Datenübertragung erstellt. Im ersten Teil wurde das Proof of Concept zur Konzeptionierung der erforderlichen Machine-Learning Komponenten für optimierte Wegeführung erarbeitet. Insbesondere wird an dieser Stelle der benötigte Algorithmus erläutert und eine Technologie-Analyse gestellt. Abschließend folgt eine Bewertung verschiedener Umsetzungsmöglichkeiten.

Bestehende Softwarelösungen zu Machine-Learning Verfahren zur Umsetzung der Wegeführung sind Google Maps, Open Street Maps, GB Consite und Graphhopper. Diese Lösungen sind jedoch nicht für das Szenario der Wegeführung im Weinberg tauglich, da der Zugang zu Weinbergspartellen nicht ausschließlich über öffentliche Straßen zugänglich sind, sondern teilweise nur über Landwirtschaftswege erreichbar sind. Diese Feldwege werden in den genannten Systemen nicht aufgeführt. Zusätzlich zur Befahrbarkeit, weisen Landwirtschaftswege weitere Besonderheiten auf. So können beispielsweise Landwirtschaftswege nur in eine Richtung befahren werden oder es müssen verschiedene Eintritts- und Austrittspunkte für die Felder beachtet werden. Diese Sonderdaten müssen in der Datenvorbereitung des VRP bereitgestellt werden können.

Um die erforderlichen Koordinaten und Kontext-Daten möglichst effizient in die Machine-Learning Komponenten einzubinden, empfehlen wir sämtliche GIS-spezifische Prozessmerkmale möglichst weit automatisiert über mobile Endgeräte während der Feldarbeit zu erfassen. Zeilenpositionen, Feldzugänge, Hangneigungen, Flussläufe, sowie die verschiedenen Maschinen-, Aufgaben- und Materialeinsatzdaten müssen in Relation zu den verfügbaren GPS-Koordinaten (bewegend / fix) und Kartenmaterialien aufbereitet und verwertet werden.

Im Allgemeinen sollen bestehende Straßen- und Verkehrsdaten, beispielsweise von *Open Street Maps*, mit den Daten von Landwirtschaftswegen und Anfahrtswegen aus dem jeweils genutzten GIS angereichert werden. Des Weiteren werden die Eintritts- und Austrittspunkte, sowie Winzerbetriebe in den Karten markiert. Zusätzlich werden Informationen über die genutzten Maschinen für die Aufgaben benötigt. Diese drei Datenbestände, sowie eine konkrete Anfrage zur Wegeführung werden dann in das VRP eingespeist und anschließend optimiert. Die Rückgabe des VRP ist der optimierte Pfad welcher als Grundlage für die Echtzeitnavigation dient. Hier wird der Nutzer auf der berechneten Route geleitet und bei Abweichung zurückgeführt. Der Algorithmus lässt sich in folgende vier Module unterteilen: Datenverarbeitung, Wegeplanung, Vehicle Routing Problem und Echtzeit-Navigation.

Das schwierigste Modul stellt hier das Vehicle Routing Problem dar. Abbildung 7 zeigt das ungelöste Problem auf der rechten Seite, die optimale Lösung, ausgehend von einem oder mehreren Depots (siehe Viereck) auf der linken Seite. Die optimale Route betrifft die Distanz der angestrebten Wegpunkte, sowie weitere Faktoren für einen oder mehrere Nutzer. Neben Kartenmaterial können weitere Dimensionen in dem Problem mit optimiert werden, wie beispielsweise Spritzmittelstand in der Maschine, Zeit und Zufahrtspunkte.

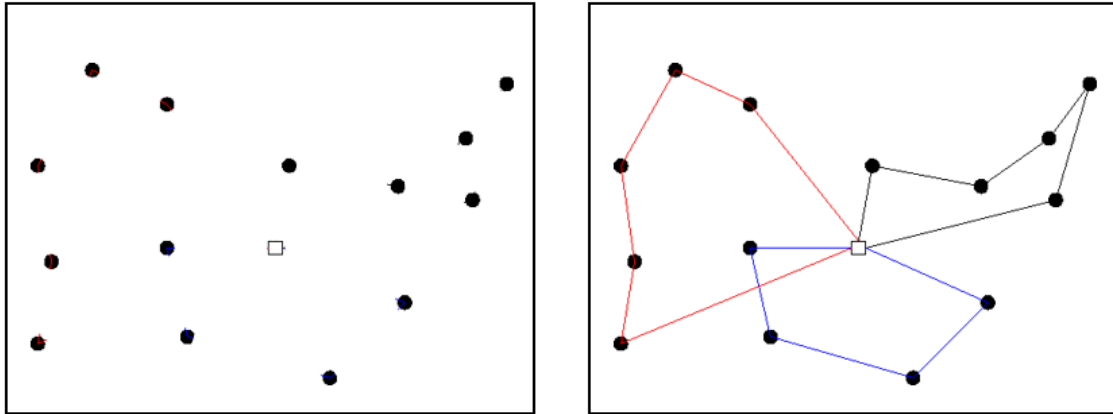


Abbildung 6 Vehicle Routing Problem

Das VRP ist eines der NP-Harten Probleme der Optimierungstheorie. Stark vereinfacht bedeutet diese Klassifikation, dass es ab einer gewissen Problemgröße (Anzahl an Feldern) nicht möglich ist in angemessener Zeit, i.e. mehreren Jahren Berechnungszeit, immer eine optimale Lösung zu finden. Seit sieben Jahrzehnten wird bereits an verschiedenen Lösungsansätzen für dieses Problem geforscht.

Die verschiedenen Lösungsverfahren für das VRP Exact Method, Metaheuristik, Simulated Annealing, Genetic Algorithms, Simulation und Real-Time Solution Methods, wurden untersucht auf die unterschiedlichen Vor- und Nachteile in Bezug auf getestete Geschwindigkeiten (Speed), Anzahl and möglichen zu lösenden Knoten (Size), Genauigkeit (Precision), Vertrauen in die Genauigkeit (Convidence) und Robustheit (Reliability), i.e. das der Algorithmus ein Ergebnis sehr nah am Optimum liefert. Zu beachten ist hier, dass die Genetischen Algorithmen und Simulated Annealing überlappen. In diesem Fall empfehlen wir die Metaheuristiken weiter zu untersuchen, da diese den besten Kompromiss zwischen einer exakten Lösung und einer approximierten Lösung darstellen und dabei sehr viel schneller zu einem Ergebnis kommen. Jedoch sollte gerade der Punkt der Genauigkeit, sowie Vertrauen in das Ergebnis bei einer Validierung des Konzeptes genauer untersucht werden.

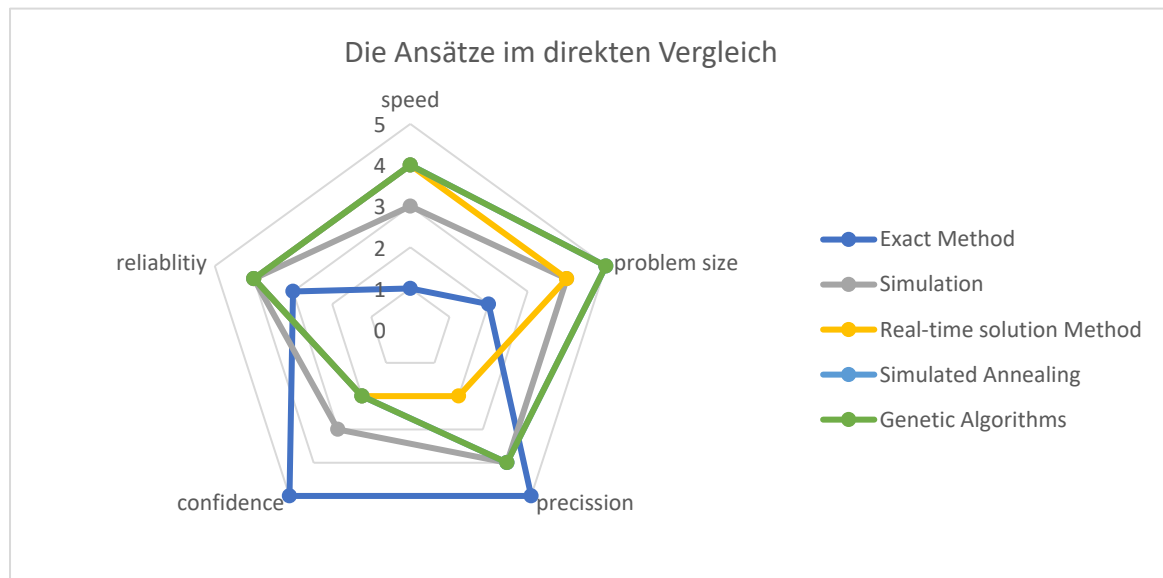


Abbildung 7 Vergleich der Lösungsverfahren für das VRP

### 4.3 AP 2 Proof of Concept Teil 2

Im Anschluss zum Proof of Concept zur Konzeptionierung der erforderlichen Machine-Learning Komponenten für optimierte Wegeführung erfolgte die Erstellung und Beurteilung des Proof of Concept zur Konzeptionierung der Datenintegration/Schnittstelle für die automatisierte Erkenntnisgewinnung. In diesem zweiten Schritt wurde mittels Min/Max-Effort Approach die verschiedenen möglichen Gegebenheiten bei der Entwicklung und Weiterverwendung des Konzeptes zur Feldnavigation abseits öffentlicher Straßen berücksichtigt und daraus Folgeabschätzungen hinsichtlich der zu erwarteten Kosten und Aufwände getätigt.

Die Anforderungen der Nutzer an das System wurden hierzu analysiert und unterteilt in ein minimales und optimales Szenario für die Routenoptimierung in Bezug auf Genauigkeit der Routenoptimierung. Aus diesen Szenarien wurde jeweils ein Anforderungskatalog abgeleitet. Für diese Aufstellung wurden die unterschiedlichen Nutzerprofile der Weinbaulichen Praxis berücksichtigt.

Der minimale Anforderungskatalog beinhaltet:

- Kartenansicht
- Angabe von Feldern und Lager auf der Karte
- Angabe der Mitarbeiteranzahl für die Aufgabe
- Import/Export Funktion für die berechneten Routen
- Routenansicht in einer mobilen App
- Echtzeit-Navigation in mobilen einer App

Das optimale Szenario ermöglicht die Eingabe weiterer Nutzer Informationen, um ein genaueres Routenoptimierungsergebnis zu ermöglichen. Über die genannten Punkte hinaus umfasst der optimale Anforderungskatalog:

- Anmeldeportal
- Nutzerkonto Verwaltung
- Mitarbeiter Verwaltung
- Aufgaben Verwaltung
- Geräte Verwaltung
- Shape-Datei Upload und Verarbeitung
- Gefahrene-Routen-Upload und Verarbeitung
- Offline-Funktionalität zur Zwischenspeicherung zurückgelegter Wegstrecken

Aus diesen minimalen und optimalen Anforderungen resultieren notwendige, sowie optimale Tätigkeiten, welche in Form von Entwickler-Personentagen (PT) eine Einschätzung des zu erwartbaren Aufwandes aufweisen.

Die minimalen Anforderungen sollen die Entwicklungslast, sowie Kosten auf ein Minimum begrenzen, indem möglichst für alle Module bereits fertige Bibliotheken genutzt werden. Für die Datenvorverarbeitung empfehlen wir Open Street Maps als Datengrundlage, für das VRP Modul



Google OR-Tools (google or-tools, 2020), und eine der Open Street Maps Navigations-APIs für die Online-Navigation, welche jeweils kostenfrei verfügbar sind.

Während Nutzer die Services mobil auf ihren mobilen Endgeräten oder alternativ am Bürorechner nutzen können, sind die Hardwareanforderungen für die Anbieter spezifischer. Der Anbieter wird eine Serverstruktur managen müssen, welche die Kapazitäten für die hochkomplexen VRP-Lösungen möglichst in Echtzeit bereitstellen soll. Der Server sollte eine Routenberechnung, Koordinaten-Update und Feldwegerkennung bearbeiten können. Alle drei Aufgaben nutzen im Kern dieselbe Machine-Learning Komponente, einen Algorithmus zum Lösen des VRP. Hierzu wird ein Datenbank-Knoten, wie auch ein High-Performance-Knoten (HPK) benötigt. Die genaue Anzahl der Instanzen des HPK wird abhängig von den Nutzerzahlen sein, ebenso entscheidet die Verarbeitung der VRP Algorithmen über die Serveranforderungen in Hinblick auf Grafikkarte und benötigte Anzahl an schnellen CPUs.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass an dieser Stelle keine konkrete Auflistung der Mindestanforderungen der Hardware bereitgestellt werden kann, da diese von der Implementierung der jeweiligen Komponenten abhängt.

Die PT für die minimalen, sowie optimalen Anforderungen wurden in verschiedene Bereiche aufgeteilt und separat evaluiert. Die Umsetzung des VRP-Algorithmus bildet das Kernmodul des Wegeführungsservers und wird mit einem Aufwand von mindestens 14 Entwickler-Personentage geschätzt. Dieses Modul beinhaltet die Implementierung aller Funktionen zur Berechnung der optimierten Route vom Preprocessing bis Postprocessing. Für die Realisierung der optimalen Anforderungen werden weitere 10 PT benötigt. Für die Umsetzung des Backend-Servers sollten 14 PT einkalkuliert werden. Des Weiteren erfordert die Entwicklung der Webapplikation 10 PT, die Entwicklung der mobilen App 15 PT, der Shape-Datei Upload 6,5 PT, die Entwicklung des Nutzerkonto Moduls 9 PT und der Gefahrene Routen Upload 13 PT. Insgesamt ergibt dies somit einen Aufwand von mindestens 81,5 PT für die Implementierung der Routenplanung mit den minimalen Anforderungen bzw. mindestens 91,5 PT um die optimalen Anforderungen zu ermöglichen.

## 5. Weitere Forschungspunkte

Für die Feldwegeerkennung ist weitere Recherche von Nöten. Die Feldwegerkennung dient der erweiterten Routenoptimierung, indem nicht öffentliche Straßeninformationen zum Kartenmaterial hinzugefügt werden und somit die Berechnung eines genaueren Routenoptimierungsergebnisses ermöglicht wird. Hier ist unklar, ob es bereits bestehende Algorithmen oder sogar Bibliotheken gibt, oder ob fachspezifisches Wissen benötigt und eigene Algorithmen entwickelt werden müssen, um eine Extraktion der Datenpunkte zu verwirklichen. Die Komplexität für den „Gefahrene-Routen-Upload“, wodurch unter Angabe von bereits beendeten Aufgaben gefahrene Routen extrahiert und dem Kartenmaterial hinzugefügt werden soll, ist nicht ohne weitere Recherche abzuschätzen. Hier muss weiter untersucht werden, welche Algorithmen es bereits zur Extraktion von Navigationspunkten aus gefahrenen Routen bereits existieren oder wie Nutzer bspw. besondere Umstände wie unbefahrte Routen bei Nässe durch Hanglage kennzeichnen.

## 6. AP 3 Validierung der Konzeptionierung

Anhand einer empirische Analyse wurden Daten gesammelt, um neue Erkenntnisse über die Vereinbarkeit des erarbeiteten Konzepts mit der voraussichtlichen Anwendergruppe zu erlangen. Die Datenerhebung erfolgte in Form eines Fragebogens. Die Umfrage wurde online der Peering Group zur Verfügung gestellt. Bei einigen Kandidaten wurde situationsbedingt die Umfrage telefonisch durchgeführt. Der Fragenkatalog wurde vorab aus informellen Gesprächen und systematischen Analysen von Nutzerdaten zusammengestellt, welche unter anderem bereits in die Anforderungsprofile und Integrationsszenarien aus AP 2 eingeflossen sind.

Die Teilnehmer Betriebe stammen alle aus den 13 deutschen Weinanbaugebieten und bilden verschiedene Betriebsgrößen und -organisationen ab, um die unterschiedlichen Nutzungsanforderungen an das System widerzuspiegeln. Alle Umfragen wurden anonymisiert ausgewertet.

Eine Kopie der erarbeiteten Umfrage ist diesem Abschlussbericht beigelegt.

### 6.1 Fragenkatalog zur Bewertung der Implementierbarkeit des Konzeptes zur Wegeführung

Die Umfrage besteht aus 33 Fragen, zusammengesetzt aus Skalenfragen (mögliche Werte 1 bis 6), Multiple Choice und offenen Fragen. Der Fragenkatalog ist strukturiert in 3 Teilbereiche. Im ersten Abschnitt wurden Basisdaten wie Betriebsgröße, Anbaugebiet und Betriebsart erhoben. Anschließend folgte eine Untersuchung der im Betrieb vorhandenen, sowie gewünschten maschinellen Wegeführung. Der dritte Abschnitt erkundete vorhandene Arbeitsprozesse, um die betrieblichen Strukturen und Bedürfnisse bei der Wegeführung zu erfassen. Final wurden die betrieblichen Strukturen zur Verwaltung der maschinellen Wegeführung, sowie die fachlichen Kapazitäten zur Verwertung, Aufarbeitung und Kontrolle der Routenoptimierung ermittelt.

Im Folgenden werden die Schlüsselerkenntnisse aus der Umfrage entlang dieser Unterteilung im Detail beleuchtet.

#### 6.1.1 Basisdaten

Insgesamt wurden 100 Betriebe kontaktiert, wovon 81 Rückmeldungen mit verwertbaren Antworten zurückkamen. Wie bereits in AP 2 erörtert, weist der Weinbau folgende Nutzergruppen auf:

- Kleine bis mittlere Inhaber-geführte Betriebe (KMU): 49 Teilnehmer
- Großkellereien & Großbetriebe (GKB): 23 Teilnehmer
- Erzeugergemeinschaften (EG): 5 Teilnehmer
- Lohnunternehmer (LU): 4 Teilnehmer

#### 6.1.2 Maschinelle Wegeführung im Betrieb

Im Unterschied zu größeren Betrieben (>50ha) haben kleinere Betriebe (<15ha) aktuell nur vereinzelt Routenplaner in Gebrauch um Arbeitsprozesse zu steuern.

Kleinere Betriebe verfügen auch überwiegend über keine digitalen Polygondaten ihrer Weinbergsflächen. Dies könnte einerseits an dem kleineren Mitarbeiterstamm liegen, als auch an der überschaubaren Anzahl an unterschiedlichen Weinbergspartellen, welche die einzelnen Zielpunkte in Bewirtschaftungsaufgaben darstellen. Diese Betriebe haben oft einige wenige designierte Maschinenführer oder Fahrer, welche eine Führungsrolle im Unternehmen einnehmen. Es ist anzunehmen, dass die kleineren Mitarbeiterteams die Zielpunkte regelmäßig anfahren und somit gute Kenntnisse über ihre Anfahrtsziele haben. Eine Verwaltung von digitalen Polygondaten oder der regelmäßige Gebrauch von Routenplanern erübrigt sich somit.

Eine Routenoptimierung für Maschinen ist jedoch überwiegend erwünscht. Das Interesse an einer Routenoptimierung für Fahrzeuge mit Handarbeiter Teams ist hingegen weniger ausgeprägt. Dies wird daran liegen, dass Arbeitsprozesse, welche ausschließlich Handarbeit beinhalten eine weitaus längere Bearbeitungszeit pro angefahrene Parzelle in Anspruch nehmen. Während beispielsweise eine Maschinenaufgabe wie Pflanzenschutz alle vorhandenen Parzellen eines Betriebes innerhalb eines Arbeitstages abfährt, benötigen manuelle Arbeitsprozesse wie das Schneiden der Fruchtruten für das neue Vegetationsjahr deutlich mehr Arbeitskraftstunden pro Hektar Weinberg. So werden innerhalb eines Arbeitstages nur wenige Anfahrtsziele angefahren. Größere Betriebe unterscheiden sich in dieser Hinsicht von kleineren Betrieben und weisen eine deutlich höhere Zustimmung auf in dem sie sich neben einer Routenoptimierung für Maschinenführer auch Routenoptimierung für Handarbeitertruppen wünscht.

Einigkeit über alle Betriebsgrößen hinweg besteht hingegen bei der Frage zur Zugänglichkeit der Weinberge. Hier überwiegt die große Mehrheit mit der Antwort, dass Prozessrouten nicht ausschließlich über öffentlich zugängliche Straßen führen. Noch eindeutiger wird die Notwendigkeit eines Gefahrenen-Routen-Uploads im VRP bei der Frage zur Häufigkeit der Benutzung von Feldwegen während eines Arbeitsprozesses. Die Betriebe wählten zu gleichen Maßen „extrem häufig“ und „ausschließlich“.

Während der geringe Gebrauch von Routenplanern speziell in kleineren Betrieben suggeriert, dass sich optimale Anfahrtsrouten zu den Weinbergen aus den Erfahrungswerten der Maschinenführer/Fahrer bewährt haben, weist die Umfrage über alle Betriebe hinweg wenig Zustimmung auf, hinsichtlich der Frage ob die Routenoptimierung auf Fahrwege langjähriger Mitarbeiter basieren soll. Dies unterstreicht die Notwendigkeit gefahrene Routen mit allen Zusatzinformationen wie Maschinenparameter und Zu-, sowie Ausfahrtsszenarien in das System aufzunehmen, da die Berechnung der optimalen Route in der Praxis ohne System nicht auszuführen ist.

In Bezug auf Erwartungen, die ein Routenoptimierungssystem weckt, wird die eingesparte Arbeitszeit durch eine schnellere Route vorrangig als sehr wichtig empfunden. An zweiter Stelle mit geringfügigem Unterschied werden die eingesparten Kosten durch eine verkürzte Route genannt. Während diese Wahrnehmung bei den Großbetrieben homogen abgebildet ist, unterscheiden sich die Erwartungen stärker bei den kleineren Betrieben. Hier sind fast alle Skalenwerte vertreten. Angesichts des überwiegenden Interesses dieser Betriebe an einer Routenoptimierung wäre hier eine weitere Untersuchung von Nöten, welche weiteren Erwartungen – beispielsweise Umweltfaktoren – an das System gestellt werden.

### 6.1.3 Arbeitsprozesse

Anfahrtsziele können sich während eines Arbeitsprozesses ändern. Dieser Punkt scheint kleinere Betriebe mehr als größere Betriebe zu beeinflussen. Ein möglicher Grund könnte sein, dass kleiner Teams eine größere Flexibilität aufweisen und größere Teams einen erhöhten Verwaltungsaufwand benötigen. Als Faktoren, welche die Priorisierung der Anfahrtsziele innerhalb eines Arbeitsprozesses beeinflussen, wurden mehrfach das Wetter und der Vegetationsfortschritt genannt. Die Witterung stellt somit einen entscheidenden Faktor in der Wegeführung dar. Ausgiebige Niederschlagsmengen können beispielsweise die Befahrbarkeit von Flächen mit Gefälle oder stark wasserspeichernden Böden beeinträchtigen. Ebenso können in wuchsstarken Weinbergen plötzliche Vegetationssprünge durch ideale Wetter- und Standortkonditionen hervorgerufen werden, welche eine unvorhergesehene Priorisierung in der Reihenfolge der Bewirtschaftung erfordern. Kurzfristigen Änderungen in der Priorisierung kommen dadurch zustande, dass sich der Zustand einer Parzelle während der Hauptvegetationsperiode schlagartig ändert. Findet eine vor Ort Kontrolle eines Weinberges nach dem Beginn eines Arbeitsprozesses statt, ist es nicht außergewöhnlich, dass die Priorisierung der Anfahrtsziele innerhalb des Arbeitsprozesses nachträglich reevaluiert wird.

Des Weiteren geht aus der Umfrage hervor, dass Maschinenkonfigurationen, sowie -parameter die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele beeinflussen. Unabhängig der Betriebsgröße geben die Betriebe hier durchschnittlich einen mittleren Skalenwert von 3 an. Zum Beispiel kann unter dem Einflussfaktor „Zeit“ verstanden werden, dass Parzellen, welche angrenzend zu oder nahe eines Wohngebietes liegen, während zeitintensiver Arbeitsphasen wie die Pflanzenschutzsaison oder Weinernte, nur zu bestimmten Zeitfenstern angefahren werden.

Kleine wie große Betriebe geben zu 100% an, dass die Anzahl der Handarbeitertruppen, sowie Maschinenführer sich je Arbeitsprozess und Aufgabentyp unterscheidet. Zusätzlich zu den verschiedenen Aufgabentypen beeinflussen auch Maschinenparameter die die Befahrbarkeit der Anfahrtsziele, und somit die Wegeführung. Kleinere Betriebe weisen einen geringeren Einfluss als größere Betriebe auf. Es ist anzunehmen, dass mit wachsender Betriebsgröße und Anzahl an einzelnen Parzellen auch die äußeren Einflussfaktoren steigen. So wird der Einfluss der entscheidenden Maschinenparameter in Bezug auf die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele hinsichtlich Zeit, Zufahrtaspekte, Qualitätsaspekte und Quantitätsaspekte abhängig der Betriebsgröße unterschiedlich gewertet. Hier lassen sich die Betriebe aufteilen in kleinere Betriebe, welche keinen bis wenig Einfluss von Maschinenparametern in den genannten Aspekten sehen, und größeren Betriebe, welche teilweise einen kleinen bis mittelstarken Einfluss sehen. Als Maschinenparameter, welche beispielsweise berücksichtigt werden müssen, wurden unter anderem die Größe der Maschinen, bzw. die befahrbare Gassenbreite, genannt. Weinbergsanlagen entsprechen nicht einer vorgegebenen Norm und können sich durchaus von Weinberg zu Weinberg in der Gassenbreite und Ausrichtung unterscheiden. Diese Unterschiede je Parzelle können somit die Reihenfolge der angefahrenen Zielpunkte beeinflussen. Insgesamt ist anzunehmen, dass größere Betriebe eine höhere Variabilität in ihren Weinbergsanlagen aufweisen, wodurch der Einfluss der genannten Aspekte stärker wahrgenommen wird.

Aus den Umfragen ergibt sich also, dass der minimale Anforderungskatalog für die Bedürfnisse der Betriebe nicht ausreichend ist. Die minimalen Anforderungen an das System für die Berechnung der optimalen Route beinhaltet eine Kartenansicht, auf welcher die Nutzer sowohl Feldpunkte und Mitarbeiteranzahl als auch das Lager angeben können. Die Angabe von Geräten und Spezifikationen, hier können die genutzten Gerätschaften der Winzer sowie weitere Merkmale wie



die Spritzmitteltankgröße angegeben werden, erweist sich jedoch als entscheidend bei Entscheidungen zu Polygon Einstieg- und/oder Ausstiegspunkt. Hintergrund sind verschiedene topographische Gegebenheiten (zum Beispiel Weinberg am Hang), die bei bestimmten Maschinen(kombinationen) in Bezug auf Fahrtrichtung in Erwägung gezogen werden müssen. Dadurch ergibt sich, dass für eine optimale Routenoptimierung der Nutzer die zu bearbeitenden Felder und Mitarbeiter, sowie eingesetzten Geräte definieren können sollte, um im Anschluss die Routen-Verrechnung unter Berücksichtigung der Mehrinformationen (Kontextdaten) zu erhalten. Hierdurch wird die Optimierung der Route stark verbessert und an die Bedürfnisse des Nutzers besser angepasst.

#### 6.1.4 Verwaltung Wegeführung

Eine starke Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Betriebsgrößen wird sichtbar im Abschnitt über Verwaltungsthemen.

In kleineren Betrieben wird oftmals die Koordination der Fahrten der Mitarbeiter und Maschinen sowohl von einer Führungskraft (Inhaber, Außenbetriebsleiter, Verantwortlicher) durchgeführt, als auch von den Mitarbeitern selbst. Dies ist dazu zurückzuführen, dass in diesen kleineren Teams in der Regel die Mitarbeiter sehr gute Kenntnisse über die betriebseigenen Weinbergsflächen und Bewirtschaftungsweisen aufweisen. In größeren Betrieben findet die eigenständige Koordination der Fahrten über die Mitarbeiter nur vereinzelt statt.

Kleinere Betriebe geben überwiegend an, keine Kapazitäten für die Verwaltung von digitalen Karten und Polygonpunkten zu verfügen. Des Weiteren verfügt keines dieser Betriebe über eine IT-Fachperson im Betrieb. Genauso ist die Bereitschaft im Betrieb die notwendigen Strukturen für eine IT-Fachperson zur Verwertung, Aufarbeitung und Kontrolle der Routenoptimierung einzurichten, übereinstimmend gering.

Im Gegenzug sind bei größeren Betrieben die Kapazitäten für die Verwaltung von digitalen Karten und Polygonpunkten größtenteils gegeben. Während <50% dieser Betriebe über eine IT-Fachperson oder Abteilung verfügen, ist die Bereitschaft die notwendigen Strukturen zur Verwertung, Aufarbeitung und Kontrolle der Routenoptimierung einzurichten, überwiegend hoch.

#### 6.2 Fazit der Umfrage

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Umfragewerte größtenteils mit den erarbeiteten Anforderungsprofilen der Endnutzer in der Weinbaupraxis aus AP 1 deckt. Auffällig ist, dass kleinere Betriebe (bis ..ha) aktuell nur sehr selten oder nie Routenplaner nutzen um ihre Arbeitsprozesse zu steuern und keine Verwaltungsperson oder IT Fachkraft im Betrieb beschäftigen. Dennoch ist das Interesse an einer optimierten Wegeführung, speziell für die Maschinenführer vorhanden und die Kapazitäten zur Verwaltung von digitalen Kartenmaterial bzw. Polygonpunkten sind gegeben. Die Fähigkeiten der Mitarbeiter für die Einrichtung mobiler Endgeräte, sowie die Bereitschaft im eigenen Betrieb notwendige Strukturen zu schaffen, welche die Verwaltung von Routenoptimierungsmaßnahmen ermöglicht, liegen im durchschnittlichen Mittel. Diese zunächst scheinbar widersprüchlich wirkenden Aussagen lassen sich folgendermaßen erklären: in diesen kleineren Betrieben ist die Anzahl der Maschinenführer, die

gleichzeitig in einem Prozess tätig sind, sehr gering ist (1-3). Dies deckt sich ebenfalls mit der geringen Anzahl an Anfahrtszielen je durchschnittlichem Arbeitsprozess. Das insgesamt kleinere Mitarbeiterteam, die verringerte Anzahl an anzusteuern Weinberge, sowie eine geringe Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen tragen vermutlich dazu bei, dass das Team gute bis sehr gute Kenntnisse über die Anbauflächen, Anfahrtswege und Ein- und Ausfahrtsszenarien verfügen und somit weniger auf externe Verwaltungssysteme angewiesen sind. Gleichzeitig wird die Möglichkeit der Effizienzsteigerung durch die Routenoptimierung anerkannt. Das geringe Interesse, optimierte Routen auf die historisch gefahrenen Wege zu basieren könnte weiter ein Indiz für die Akzeptanz von und Vertrauen in digitale Lösungen darstellen.

Größere Betriebe hingegen ( 50 ha aufwärts) haben teilweise bereits Routenplaner für ihre Arbeitsprozesse im Einsatz (75%) und verfügen häufiger über geschultes IT Fachpersonal. Die Größe der Betriebe ermöglicht ebenfalls eine andere Kapazitätsplanung als kleinere Betriebe, so besteht vermehrt bereits eigenes Personal für die Flächen- und Maschinenverwaltung. Dies wird darauf zurückzuführen sein, dass die Kenntnisse der einzelnen Mitarbeiter über die eigene Anbauflächen und Bewirtschaftungswege nicht immer gegeben sind und es somit einer dedizierten Planungs- und Verwaltungsposition bedarf. Diese Menge an Flächen, Mitarbeiter und Maschinen müssen koordiniert werden. Beispielsweise ist die Anzahl gleichzeitig fahrender Maschinenführer entsprechend der Anzahl der bewirtschafteten Flächen deutlich höher als bei den Kleinbetrieben. Die Variabilität der eingesetzten Arbeitsmaschinen ist ebenfalls größer als im Vergleich zu kleineren Betrieben. An dieser Stelle muss allerdings unterschieden werden zwischen Großbetrieben im herkömmlichen Sinne, welche zusammen mit Lohnunternehmern ähnliche Arbeitsprozesse aufweisen, und Erzeugergemeinschaften. Während Erzeugergemeinschaften ebenfalls zu den Großbetrieben gehören, wird für gewöhnlich die Bewirtschaftung der Flächen individuell durch die einzelnen Mitglieder durchgeführt. Der Großteil diese Mitglieder setzt sich wiederum aus Kleinbetrieben zusammen, welche aus den oben genannten betrieblichen Strukturen eine größere Kontrolle über und Einsicht in die genutzte oder geplante Wegführung verfügt. Gleichwohl zeigt die Umfrage bei allen Großbetrieben inklusive Erzeugergemeinschaften, ein Interesse an der maschinellen Wegführung und Routenoptimierung auf. Es ist anzunehmen, dass diese gewünschte Routenoptimierung bei Erzeugergemeinschaften für gemeinschaftlich genutzte Maschinen, Qualitätsmanagement Fahrten, oder zur Verwaltung und Koordination der Vollernterleseinsätze genutzt werden soll.

Als weitere Erkenntnis ist auch hervorzuheben, dass Aufgabentypen und Maschinenparameter in der Wegführung berücksichtigt werden müssen, um auf die Bedürfnisse der Anwendergruppen einzugehen. Die minimalen Anforderungen an das System sollten demnach erweitert werden um die Eingabe von Geräteinformationen und den Upload gefahrener Routen, um über das System das Anreichern der Karten-Informationen zu ermöglichen, sodass bei zukünftigen Neuberechnungen diese Zusatz Informationen aus der Praxis berücksichtigt werden können.

Aus den Daten dieser Umfrage ergibt sich im Allgemeinen eine höherer Marktakzeptanz für Routenoptimierungssysteme bei Großkellereien und Großbetrieben, Erzeugergemeinschaften, sowie Lohnunternehmer Betrieben. Der Koordinationsbedarf von Maschinen, Flächen und Mitarbeiter, sowie die Bereitschaft Kapazitäten für entsprechende Systeme einzuräumen ist

wesentlich höher bei diesen Betrieben. Das Interesse an digitaler Wegeführung und Routenoptimierung ist jedoch Betriebsgrößenübergreifend vorhanden und wir sehen eine positive Vereinbarkeit des erarbeiteten Konzepts mit den Anwendergruppen in der weinbaulichen Praxis. Um weitere Erkenntnisse, möglicherweise über überregionale Märkte, zu erlangen wäre eine weiterführende Umfrage in internationalen Weinbauregionen sicherlich von Vorteil. Forschungspunkte, die weitere Recherche bedürfen ist außerdem der „Gefahrenen Routen Upload“. Hier muss beispielsweise näher untersucht werden, welche Algorithmen bereits zur Extraktion von Navigationspunkten aus gefahrenen Routen existieren.

# Umfrage zur maschinellen Wegeführung und Routenoptimierung im Weinbau

Gerne würden wir mehr zu Ihren Arbeitsprozessen und Erfahrungen speziell in Anbetracht der maschinellen Wegeführung erfahren. Dieser Fragebogen umfasst 33 offene, sowie Multiple-Choice und Skalenfragen. Bitte markieren

Sie die Antwort die auf Sie zutrifft, indem Sie in den entsprechenden Bereich klicken. Die Bearbeitungsdauer dieser Umfrage beträgt etwa 15 Minuten. Für den Erfolg der Studie ist es wichtig, dass Sie den Fragebogen vollständig ausfüllen und keine der Fragen auslassen. Alle Daten werden anonym erhoben, sie können weder Ihrer Person, noch Ihrem Betrieb zugeordnet werden und werden streng vertraulich behandelt.

## Betriebsangaben

### 1. Betriebsgröße Fläche

*Markieren Sie nur ein Oval.*

- <15ha
- 15-25ha
- 26-50ha
- 51-100ha
- >100ha

### 2. Betriebsgröße Personen (durchschnittl. im Jahr)

*Markieren Sie nur ein Oval.*

- 1-5
- 6-10
- 11-15
- >15



### 3. Anbaugebiet

*Markieren Sie nur ein Oval.*

- Ahr
- Baden
- Franken
- Hessische Bergstraße
- Mittelrhein
- Mosel
- Nahe
- Pfalz
- Rheingau
- Rheinhessen
- Saale-Unstrut
- Sachsen
- Württemberg

### 4. Ihre Position im Betrieb

*Markieren Sie nur ein Oval.*

- Mitarbeiter
- Außenbetriebsleiter
- Inhaber
- Sonstiges

**Maschinelle  
Wegeföhrung im  
Betrieb**

Bitte erzählen Sie uns mehr über vorhandene und gewünschte Wegeföhrung in Ihrem Betrieb.

(Arbeitsprozess =  
Aufgabe über mehrere Tage oder ein Arbeitstag)

5. Benutzen Sie aktuell Routenplaner um Arbeitsprozesse zu steuern?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

6. Sind Sie im Besitz digitaler Polygondaten Ihrer Anfahrtsziele?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

7. Führen Ihre Prozessrouten ausschließlich über öffentlich zugängliche Straßen?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

8. Wie häufig befahren Ihre Mitarbeiter während des Arbeitsprozesses Feldwege?

Markieren Sie nur ein Oval.

nie

---

1

---

2

---

3

---

4

---

5

---

6

---

ausschließlich

---

9. Routenoptimierung für Maschinenarbeiten ist gewünscht.

Markieren Sie nur ein Oval.

stimme nicht zu

---

1

---

2

---

3

---

4

---

5

---

6

---

stimme voll und ganz zu

---

10. Routenoptimierung für Handarbeiten ist gewünscht.

Markieren Sie nur ein Oval.

stimme nicht zu

1

2

3

4

5

6

stimme voll und ganz zu

11. Die Routenoptimierung soll auf Fahrwege langjähriger Mitarbeiter basieren.

Markieren Sie nur ein Oval.

stimme nicht zu

1

2

3

4

5

6

stimme voll und ganz zu



12. Bei der Routenoptimierung und Wegeführung ist mir am wichtigsten die eingesparte Arbeitszeit (schnellste Route).

*Markieren Sie nur ein Oval.*

stimme nicht zu

1

2

3

4

5

6

stimme voll und ganz zu

13. Bei der Routenoptimierung und Wegeführung sind mir am wichtigsten die eingesparten Spritkosten (kürzeste Route).

*Markieren Sie nur ein Oval.*

stimme nicht zu

1

2

3

4

5

6

stimme voll und ganz zu

Arbeitsprozesse

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre Arbeitsprozesse

(Arbeitsprozess =  
Aufgabe über mehrere Tage oder ein Arbeitstag)

14. Unterscheidet sich die Anzahl der Handarbeitstruppen bzw. Maschinenführer je Arbeitsprozess und Aufgabentyp (zB. Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, etc.)?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

15. Wie viele Maschinenführer sind durchschnittlich gleichzeitig innerhalb eines Arbeitsprozesses aktiv?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

1-3

4-6

7-9

>9

16. Wie viele Handarbeitstruppen sind durchschnittlich gleichzeitig innerhalb eines Arbeitsprozesses aktiv?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

1-2

3-4

5-6

>6

17. Wie viele Anfahrtsziele erwarten Sie als Wegpunkte in einem durchschnittlichen Arbeitsprozess?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

1-3

4-6

7-9

>9

18. Wie häufig ändern sich die Anfahrtsziele und/oder Routen innerhalb des gleichen Arbeitsprozesses?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

keine Anpassungen

1

2

3

4

5

6

sehr häufige Anpassungen

19. Welche Parameter beeinflussen die Priorisierung Ihrer Anfahrtsziele innerhalb eines Arbeitsprozesses?(zB. Wetter, Zeit- und Zugangsbeschränkungen, etc.)

---

---

---

---

---

20. Erfordern Ihre Arbeitsprozesse eine ständige Echtzeitkommunikation zwischen den Mitarbeitern/Maschinen und dem Außenbetriebsleiter/Inhaber?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

21. Wie viele unterschiedliche Maschinenkonfigurationen gibt es in Ihrem Betrieb?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

1-3

4-6

7-9

>9

22. Wie stark wirken sich diese Maschinenkonfigurationen auf die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele aus?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

gar keine Auswirkungen

1

2

3

4

5

6

sehr starke Auswirkungen

23. Welche Maschinenparameter müssen bei der Reihenfolge der Anfahrtsziele berücksichtigt werden? (zB. Gewicht, Größe, etc.)

---

---

---

---

---



24. Wie stark beeinflussen diese Maschinenparameter die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele in Bezug auf:

Zeitaspekte?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

sehr geringer Einfluss

1

2

3

4

5

6

sehr starker Einfluss

25. Wie stark beeinflussen diese Maschinenparameter die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele in Bezug auf:

Zufahrtsaspekte?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

sehr geringer Einfluss

1

2

3

4

5

6

sehr starker Einfluss

26. Wie stark beeinflussen diese Maschinenparameter die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele in Bezug auf:

Qualitätsaspekte (welcher Mitarbeiter soll welche Parzelle bearbeiten)?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

sehr geringer Einfluss

1

2

3

4

5

6

sehr starker Einfluss

27. Wie stark beeinflussen diese Maschinenparameter die Befahrbarkeit der verschiedenen Anfahrtsziele in Bezug auf:

Quantitätsaspekte (können mehrere Mitarbeiter gleichzeitig eine Parzelle bearbeiten)?

Markieren Sie nur ein Oval.

sehr geringer Einfluss

1

2

3

4

5

6

sehr starker Einfluss

Verwaltung  
Wegeführung

Wie groß ist Ihr Verwaltungsaufwand für die  
Wegeführung?

28. Koordiniert der Außenbetriebsleiter/Inhaber/Verantwortlicher die Fahrten der Mitarbeiter/Maschinen?

Markieren Sie nur ein Oval.

- Ja
- Nein

29. Koordinieren die Mitarbeiter selbst die Fahrten der Mitarbeiter/Maschinen?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

30. Verfügen Sie über Kapazitäten eine digitale Karte bzw. Polygonpunkte zu verwalten?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

31. Haben Sie in Ihrem Betrieb eine IT-Fachperson/Abteilung?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

Ja

Nein

32. Wie gut geschult sind Sie/Ihre Mitarbeiter für die Einrichtung mobiler Endgeräte im B2B-Bereich?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

gar nicht geschult

1

2

3

4

5

6

sehr gut geschult



3. Wie groß ist die Bereitschaft in Ihrem Betrieb die notwendigen Strukturen für eine IT-Abteilung und/oder Fachperson zur Verwertung, Aufarbeitung und Kontrolle der Routenoptimierungen einzurichten?

*Markieren Sie nur ein Oval.*

gar nicht bereit

1

2

3

4

5

6

sehr bereit

Vielen Dank für die Teilnahme!

---