

# Funktionale und betriebliche Sicherheit autonomer Maschinen im Schwarmbetrieb

---

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme  
IVI

# Überblick

## Themen

---

1. Motivation
2. Sicherheit autonomer Maschinen - Entwicklungsprozess
3. Transport autonomer Maschinen
4. Zonenkonzept
5. Zusammenfassung



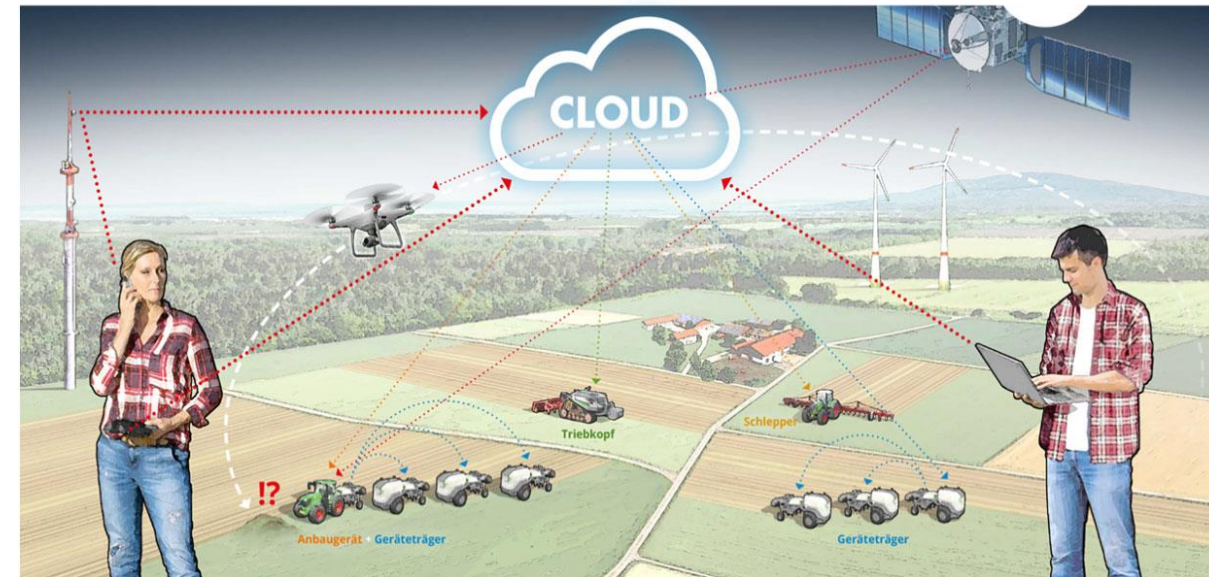
# Motivation

## Projekt **Feldschwarm ÖkoSystem**

- Maschinen und Roboter unterschiedlicher Hersteller
  - Hersteller spezifische Lösungen für automatisierten und autonomen Betrieb – von der Planung bis zum Betriebseinsatz

### Zielstellung Feldschwarm ÖkoSystem

- Gemeinsamer Betrieb autonomer Maschinen und Roboter verschiedener Hersteller
- Einzelbetrieb einer Maschine/eines Roboters oder Schwarmbetrieb mehrerer Maschinen und Roboter
- Aufbau einer herstellerübergreifenden Steuerungsarchitektur
- **Sicherer Betrieb** und **zuverlässiger Betrieb** autonomer Maschinen und Agrarroboter in einem Arbeitsverbund



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Entwicklungsprozess

---

### Lösungsansatz für sicheren und zuverlässigen Betrieb

#### Systembeschreibung

- Welche Aufgaben soll ein Schwarm ausführen?
- Wie ist ein Schwarm zusammengesetzt und welche Maschinen sollen eingesetzt werden?
- Wie soll ein Schwarm gesteuert und bedient werden?
- Wann und wo soll ein Schwarm eingesetzt werden?
- Welche Anforderungen werden an Maschinen und andere technische Systeme gestellt?

### Systembeschreibung Feldschwarm

- Betrieb mehrerer autonomer Maschinen in einem Schwarm
- Einsatz eines Schwarms auf landwirtschaftlichen Nutzflächen für den Anbau von Feldfrüchten
- Einsatz eines Schwarms in der gesamten Bearbeitungssaison von Frühjahr bis Herbst
- Kombiniertes Einsatz fahrerloser und mit Fahrern besetzter Maschinen und Traktoren, jedoch ausschließlich automatisierter und autonomer Arbeitsweise
- Bedienung und Steuerung eines Schwarms und dessen Maschinen mittels Funkfernsteuerung und mobilen Endgeräten
- Ganztägiger Betrieb eines Schwarms (Tag- und Nachtbetrieb)
- Kein Betrieb bei widrigen Bedingungen (z. B. bei begrenzter Sichtweite, starkem Niederschlag, Schneefall)

# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Entwicklungsprozess

---

### Lösungsansatz für sicheren und zuverlässigen Betrieb

#### Gefährdungsanalyse

- Gibt es Normen oder andere Standards, die angewendet werden können?
- Was ist der aktuelle Stand der Technik?
- Gibt es vergleichbare automatisierte Systeme in anderen Branchen?
- In welchen Situationen wird ein Schwarm eingesetzt?
- Welche Betriebsbedingungen hat ein Schwarm?
- Welche Übergänge zwischen Betriebsbedingungen hat ein Schwarm?
- Welche Personen sind bei einem Betrieb eines Schwarms involviert?
- Welche Gefährdungen entstehen für die Personen in den verschiedenen Situationen?

### Gefährdungsanalyse Feldschwarm

- Normen und Standards
  - Normen für autonome Maschinen in der Landwirtschaft
- Vergleichbare Systeme
  - Autonome Maschinen im Bergbau- und Tagebaubetrieb
  - Autonome Maschinen in Containerterminals
- Typische Situationen in der Landwirtschaft
  - Planen einer Arbeitsaufgabe
  - Transport der Maschinen an den Einsatzort
  - Vorbereiten eines Betriebseinsatzes und Aufrüsten der Maschinen
  - Start des autonomen Betriebs und Ausführen einer Arbeitsaufgabe
  - Beseitigen von Störungen an Maschinen
  - Beenden einer Arbeitsaufgabe
- Personen
  - Eingewiesene Personen, z. B. Bediener der Maschinen und Logistiker
  - Nicht eingewiesene Personen, z. B. Passanten

# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Transport von Maschinen – Verfügbarkeit

### Aktueller Stand

- Fahrerlose autonome Maschinen für Feldbetrieb
- nicht für eigenständigen Straßentransport entwickelt oder geeignet

### Möglichkeiten für den Transport

- Transport per Tieflader
- Transport per leistungsstarkem Zugfahrzeug
- Transport mit separater, temporär befestigter Fahrerkabine
- Transport per virtueller Deichsel

### Vorteile

- Bekannte Verfahren und verfügbare Technik

### Nachteile

- Hoher logistischer Aufwand
- Hohe Transportkosten (Spedition, eigene Technik)
- Leistungsstarke Zugfahrzeuge
- Verbleib der Fahrerkabine am Ort des Betriebseinsatzes
- Zulassung der elektronischen Deichsel für den Straßentransport



Quelle: Fraunhofer IVI



Quelle: <https://www.profi.de/technisch/elektronik/agxeed-agbot-mit-amazone-geraeten-robotersaat-mit-front-heck-kombi-29376.html>



Quelle: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/field-robots/vt-field-robot-can-be-towed-by-a-tractor/>

# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Transport von Maschinen – elektromechanische Deichsel

### Fazit

- Weitere Verbreitung und Nutzung autonomer Maschinen
  - Transport in Zukunft öfter notwendig
  - Zeitaufwand und Kosten steigen
  - Aufwand kann hinderlich sein
- Neue Lösungsansätze notwendig

### Lösungsidee

- Kraftfreies Führen einer fahrerlosen autonomen Maschine mit einem Führungsfahrzeug
- Verwenden eines kleineren und leistungsschwachen Führungsfahrzeugs
- Keine technisch aufwändige Vorbereitung des Führungsfahrzeuges
- Verwenden vorhandener Steuerungsmöglichkeiten autonomer Maschinen



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Transport von Maschinen – elektromechanische Deichsel

### Lösungsansatz

- Elektromechanische Deichsel mit Sensorik zur Erfassung einer Längenänderung, der Winkel und der übertragenen Zug- und Druckkraft
- Führungsfahrzeug mit Standard-Zugeinrichtung
- Regelung der Längs- und Querdynamik der autonomen Maschine
- Bereitstellen von Steuerungssignalen für die Antriebs- und Bremseinrichtung und die Lenkanlage der autonomen Maschine
- Bereitstellen von Informationen im Führungsfahrzeug

### Vorteile

- Hohe Mobilität des Personals nach der Erledigung einer Transportaufgabe
- Kostengünstiges und flexibel einsetzbares Transportmittel
- Schnelles Herstellen einer Transportbereitschaft
- Einfache Mitnahme der Deichsel mit dem Führungsfahrzeug

### Nächste Schritte

- Schutzrecht angemeldet
- **Interessenten** an einer gemeinsamen **Entwicklung** gesucht





# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

---

### Randbedingungen

- Häufig wechselnde Einsatzorte
- Häufig wechselnde Arbeitsaufgabe
- Unterschiedliche Zusammenstellung eines Schwarms und der technischen Ausstattung der Maschinen
- Geringe Abgrenzbarkeit einer landwirtschaftlichen Fläche zur Umgebung

### Anforderungen

- Entfallen einer Schutzwirkung für **Personen** und **autonome Maschinen**
- Erweitern der **Sicherheitssysteme** einer autonomen Maschine
- Soll das **Erfüllen** der Schutzziele Personenschutz und betriebliche Zuverlässigkeit **nachweisbar** machen (deterministische Entscheidungen, Softwareentwicklungsprozess)
- Geringer Aufwand in der praktischen Umsetzung

### Lösungsidee

- Schaffen einer **Struktur** und eines **Regelwerkes** für den Einsatz eines Schwarms autonomer Maschinen
- **Zeitliche** und **räumliche** Trennung von Bereichen mit einem autonomen Betrieb und Anwesenheitsbedarf von Betriebspersonal
- Integration der Struktur und des Regelwerkes sowohl in die **Planung** als auch in den **Betriebseinsatz**

### Lösungsansatz

- Entwickeln eines **Zonenkonzeptes** und eines Regelwerkes
- Einrichten von Zonen mit vordefinierten Eigenschaften und **Wirkungen** auf autonome Maschinen
- Definieren von ortsfesten Zonen und maschinenfesten Zonen
- **Selbsttätiges Anlegen** von Zonen und Pfaden mit Kontrollpunkten im Planungsprozess
- Zonenkonzept wirkt im „**Hintergrund**“ – geringe Interaktionen mit einem Anwender

# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Automatisierungszone

- Abgrenzung gegen Umgebung
- Autonomer Betrieb innerhalb des umlaufenden virtuellen Zauns
- Maschinen in autonomem Betrieb müssen innerhalb der Automatisierungszone sein

### Bearbeitungszone

- Unterteilen der Fläche in kleinere Parzellen
- Wechseln der Zonenart in Wartungszone und zurück in Bearbeitungszone
- Personen nicht zulässig

### Wartungszone

- Autonomer Betrieb nicht zulässig
- Personen zulässig
- Wechseln der Zonenart in Kontrollzone und zurück in Wartungszone

### Kontrollzone

- Personen nicht zulässig
- Autonome Maschinen in manuellem oder autonomem Betrieb zulässig
- Wechseln der Zonenart in Wartungszone und zurück in Kontrollzone

### Betriebsschutzzone

- Maschinen feste Zone
- Verlangsamen der Geschwindigkeit

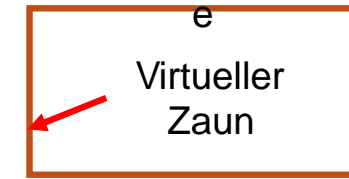
### Sicherheitszone

- Maschinen feste Zone
- Stoppen der Maschine

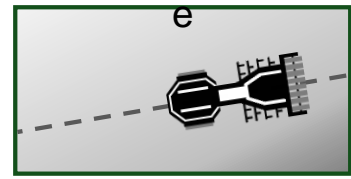
### Personenschutzzone

- Identifizieren von Personen
- Stoppen einer autonomen Maschine und (idealerweise) Stoppen einer manuell gesteuerten Maschine

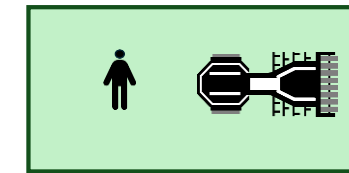
Automatisierungszone



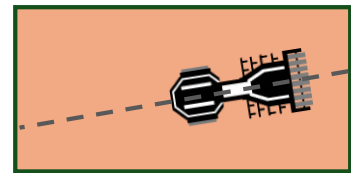
Bearbeitungszone



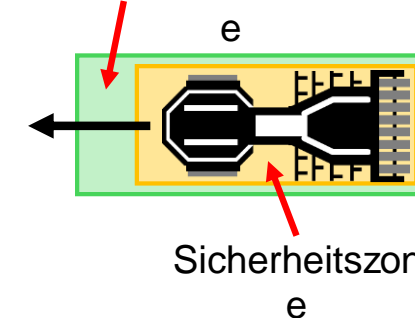
Wartungszone



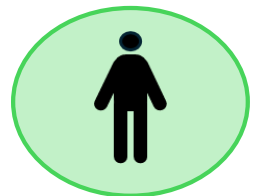
Kontrollzone



Betriebsschutzzone



Personenschutzzone



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Automatisierungszone

- Angrenzend sind
  - Straßen
  - Ein Feld
  - Grundstücke mit Wohnhäusern
- Virtueller Zaun mittels GNSS

### Sicherheitswirkung einer Automatisierungszone

- **Risikobewertung** durchführen!
- Autonome Maschinen dürfen einen **virtuellen Zaun** nicht überwinden
- **Kennzeichen** einer Automatisierungszone (Schilder, Zaun)
- Bei **hohem Risiko** für betriebsfremde Personen
  - Wirksame Abgrenzung schaffen oder
  - Erkennungssysteme für Personen verwenden



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Bearbeitungszonen

- Festlegen der Anzahl der Parzellen
  - Nach Feldgröße
  - Nach Eigenschaften der Maschinen und Arbeitswerkzeuge
  - Nach Anzahl der Maschinen
  - Anderes
- Bearbeitungszonen überlappen sich nicht

### Sicherheitswirkung einer Bearbeitungszone

- Nur eine autonome Maschine je Bearbeitungszone
- Nutzen von Pfaden zum Führen einer Maschine



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Bearbeitungszonen

- Weitere Unterteilung möglich
  - Nach Ablauf der Bearbeitung
  - Agronomische Bedingungen z. B. Vorgewende



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

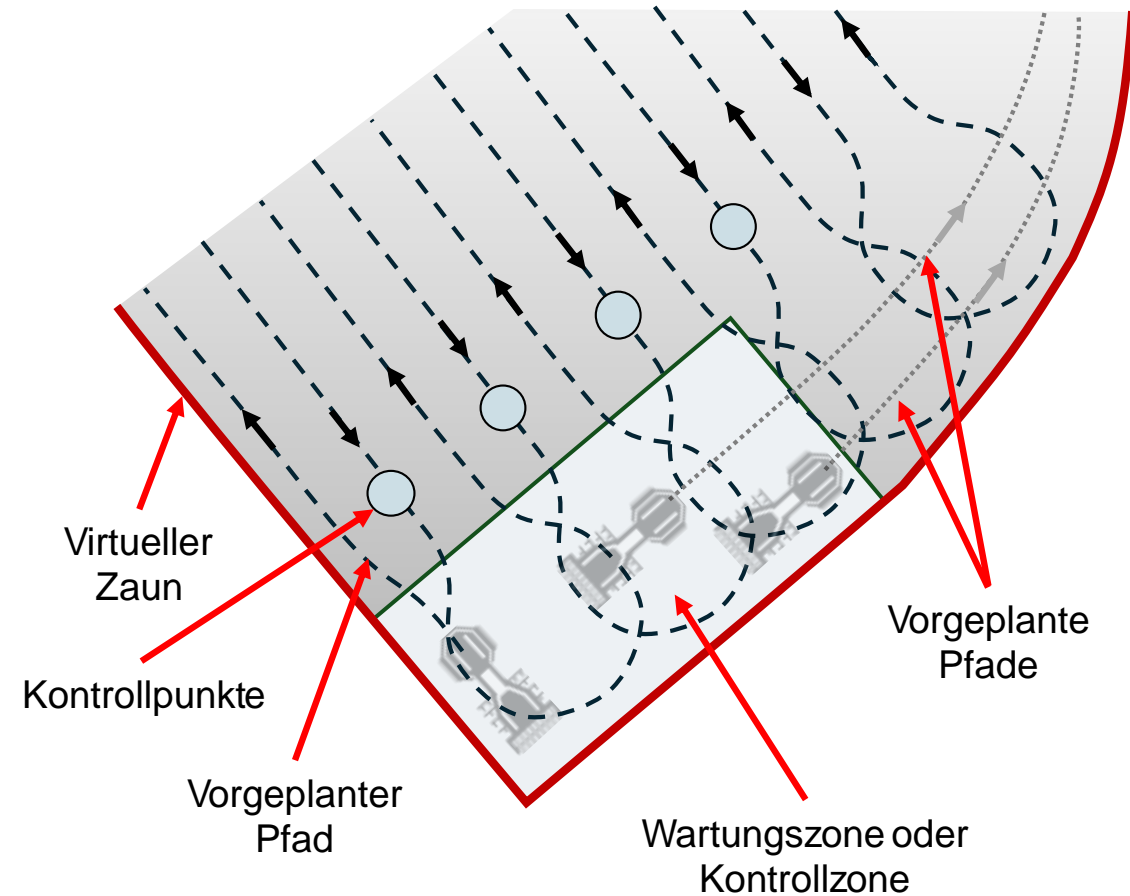
## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Pfadplanung und Kontrollpunkte

- Anlegen von Kontrollpunkten vor einer Wartungszone oder einer Kontrollzone
- Ausgeben von Steuerbefehlen an Kontrollpunkten
- Freigeben oder Stoppen der Weiterfahrt einer autonomen Maschine

### Sicherheitswirkung der Kontrollpunkte

- **Sichere Planung** eines Betriebseinsatzes
- **Vermeiden** kritischer Situationen – in der Planung und im Betriebseinsatz
- **Schützen** von Personen und Maschinen – Sicherheit und Verfügbarkeit



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

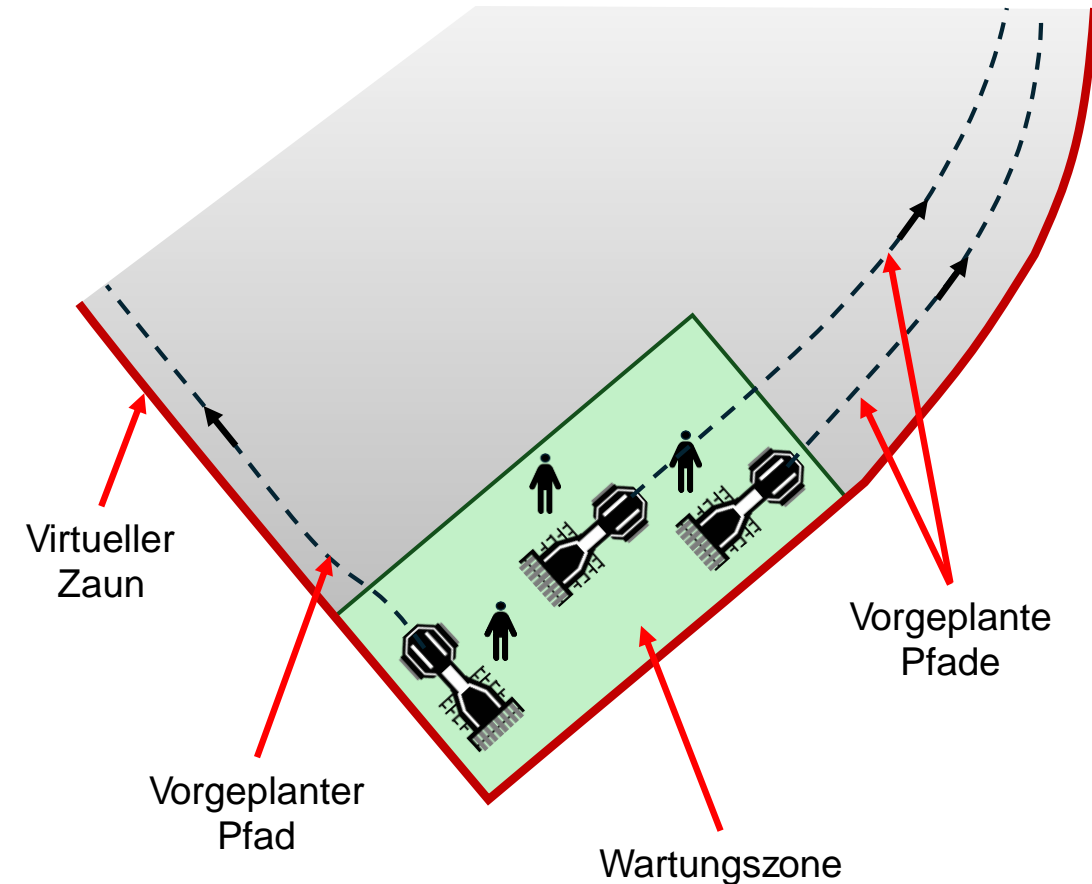
## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Wartungszone

- Vorzugsweise an Zufahrten anlegen
- Fläche zum Anliefern der Maschinen
- Vorbereiten der Maschinen auf einen Betriebseinsatz
- Aufstellen der Maschinen idealerweise an den Anfangspunkten der Pfade
- Nachbereiten der Maschinen nach einem Betriebseinsatz

### Sicherheitswirkung einer Wartungszone

- **Schützen** von Personen vor Gefahren, die von Maschinen in einem autonomen Betrieb ausgehen
- **Stoppen** autonomer Maschinen in einem autonomen Betrieb **an der Grenze** einer Wartungszone und **innerhalb** einer Wartungszone
- Sofortiges Stoppen eines autonomen Betriebs einer autonomen Maschine beim Aktivieren einer Wartungszone oder beim Wechsel einer Zonenart



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

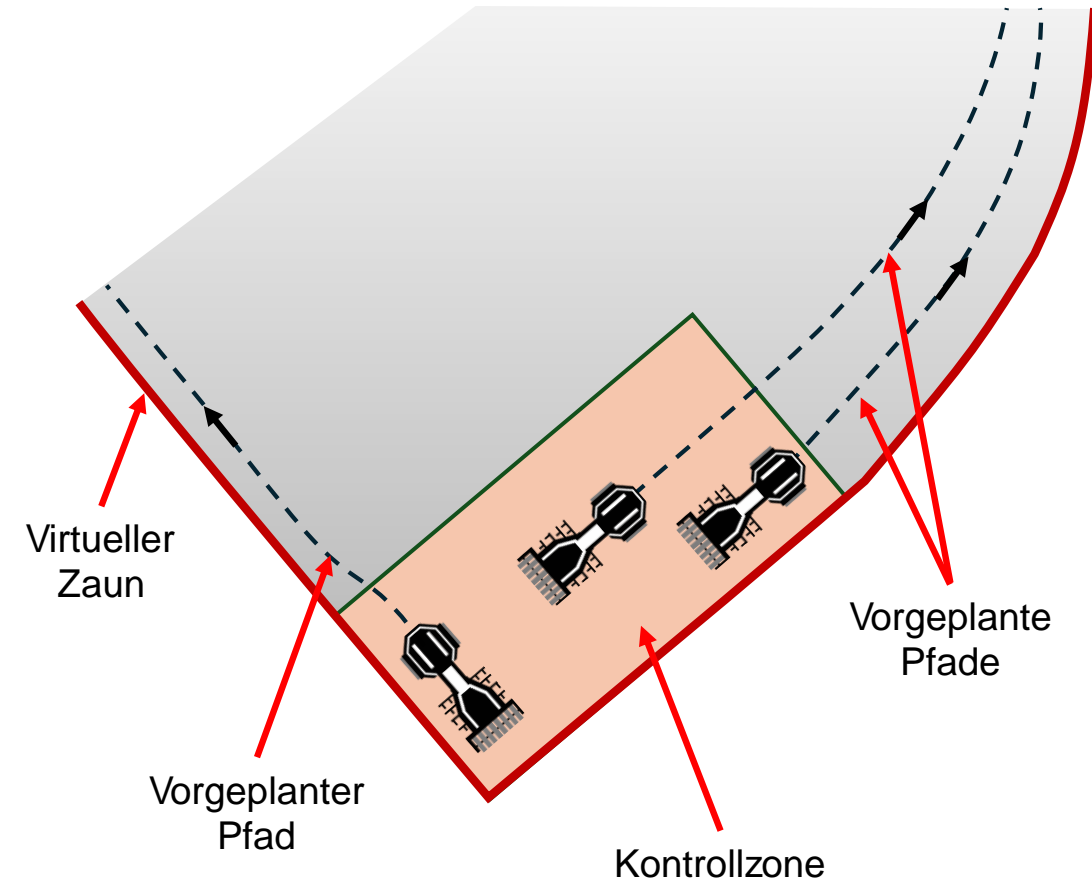
## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Kontrollzone

- Starten und beenden des autonomen Betriebs
- Regeln beim Einfahren in eine Zone

### Sicherheitswirkung einer Kontrollzone

- Keine Schutzwirkung für Personen – Aufenthalt **nicht** zulässig!
- Schutzwirkung für **Verfügbarkeit** (betriebliche Sicherheit) von Maschinen
- Verhindern von Kollisionen
- Verhindern von kritischen Situationen





# Sicherheit im Schwarmbetrieb

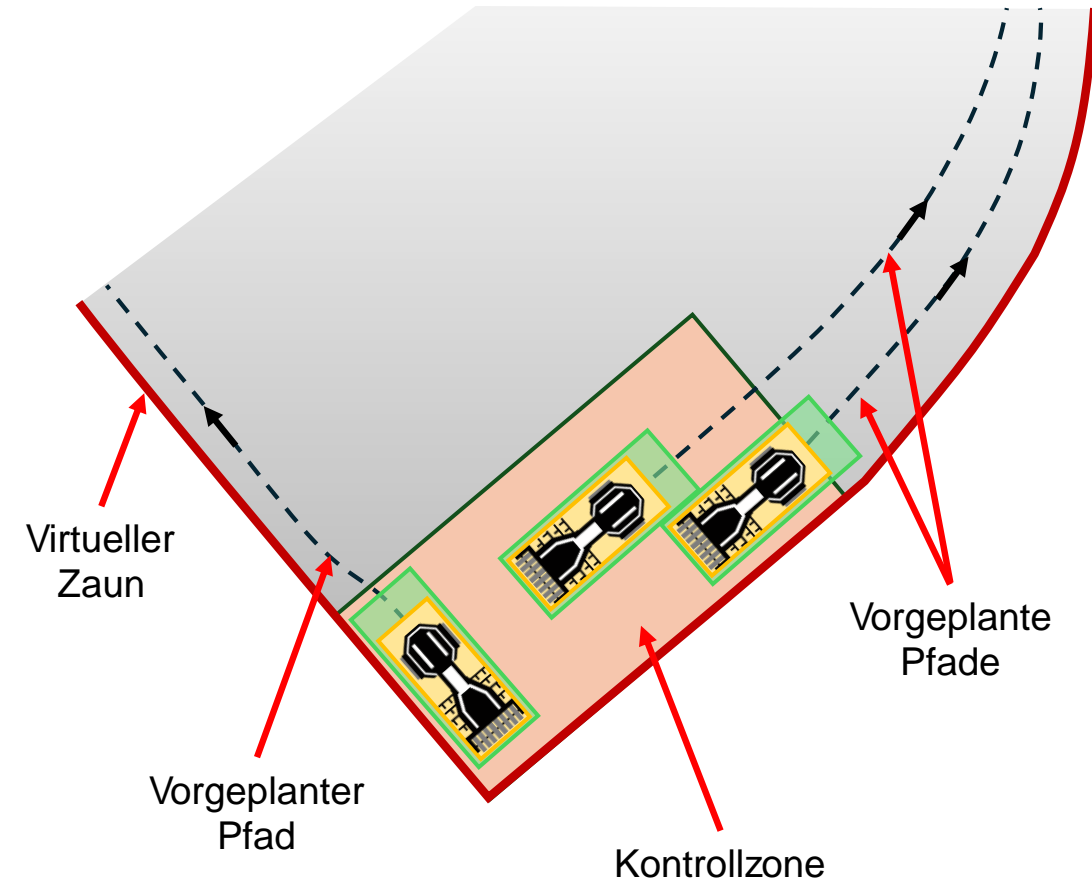
## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Anwendungsbeispiel

- Starten des autonomen Betriebs
- Aktivieren der Sicherheitszone und Betriebsschutzzonen der Maschinen

### Risiken

- Keine Risiken für Personen bei Einhaltung der Regeln (keine Personen in Kontrollzonen zulässig)



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Anwendungsbeispiel

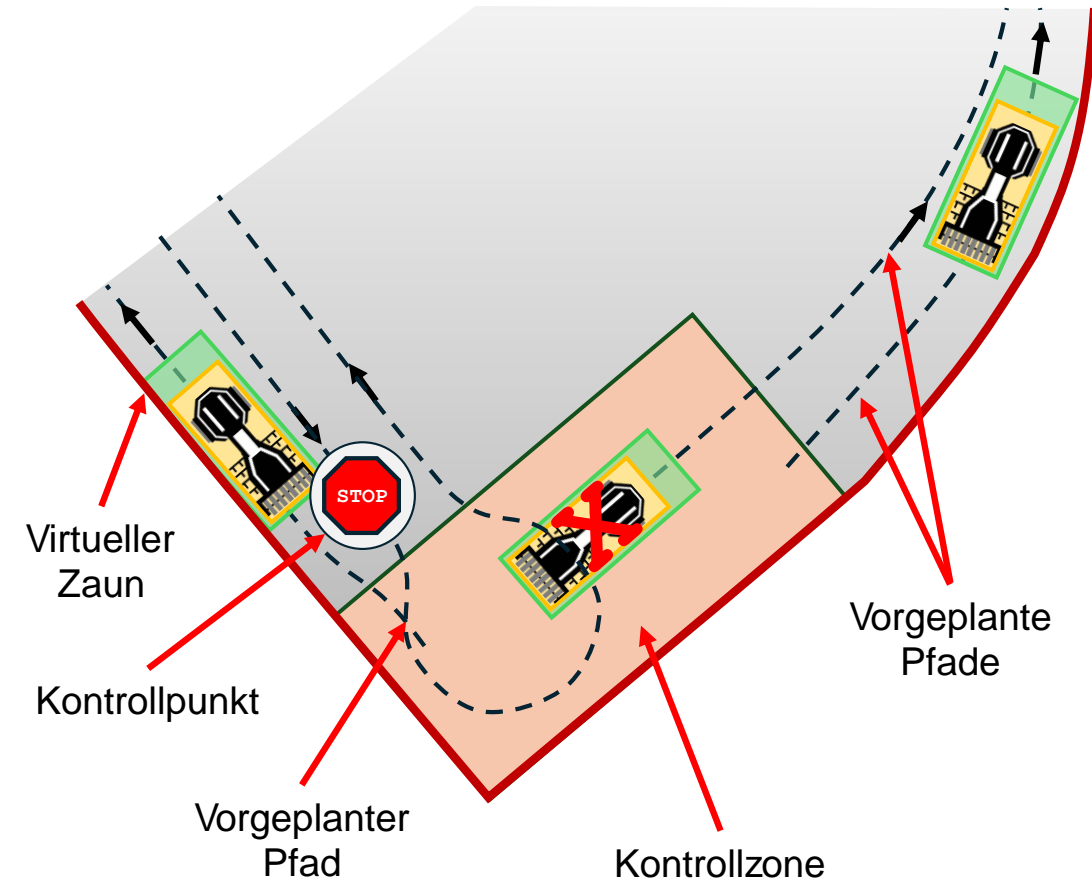
- Starten des autonomen Betriebs
- Aktivieren der Sicherheitszone und Betriebsschutzzonen der Maschinen
- Störung einer Maschine

### Risiken

- Keine Risiken für Personen bei Einhaltung der Regeln (keine Personen in Kontrollzonen zulässig)
- Kollisionsgefahr der Maschinen

### Schutzwirkung

- Kontrollzone nicht deaktiviert oder gelöscht
- Stopp-Befehl an Kontrollpunkten
- Weiterbetrieb der autonomen Maschinen – Aufrechterhalten der Verfügbarkeit



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Anwendungsbeispiel

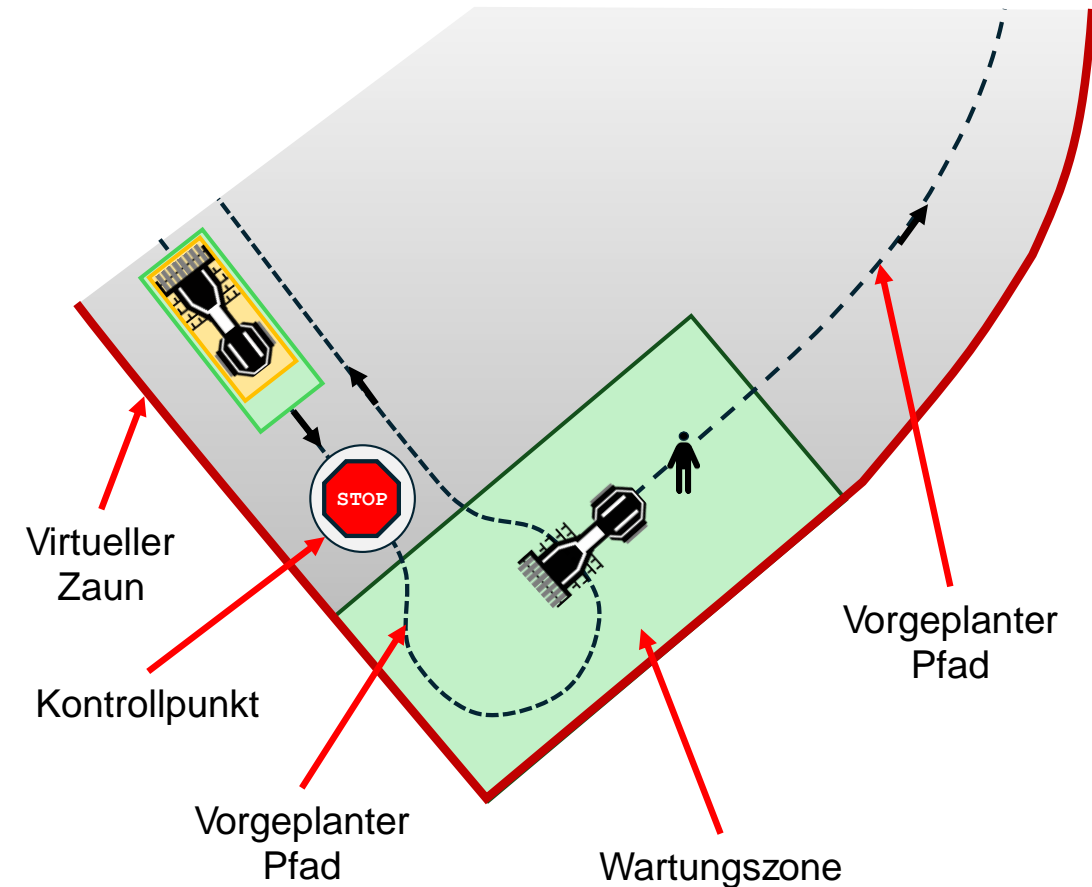
- Starten des autonomen Betriebs
- Aktivieren der Sicherheitszone und Betriebsschutzzonen der Maschinen
- Störung einer Maschine
- Wechsel der Kontrollzone in eine Wartungszone
- Beseitigen der Störung an der Maschine

### Risiken

- Autonomer Betrieb der Maschinen gestartet
- Aufenthalt von Personen in einem Gefahrenbereich
- Gefährdung von Personen

### Schutzwirkung

- Wartungszone – kein autonomer Betrieb zulässig
- Stopp-Befehl an Kontrollpunkten
- Weiterbetrieb der autonomen Maschinen – Aufrechterhalten der Verfügbarkeit



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Anwendungsbeispiel Kontrollzone

- Benachbarte Bearbeitungszone
- Parallele Pfade
- Kritische Situationen für Maschinen
  - Kollisionsgefahr
  - Gegenseitiges Blockieren
  - Vorgegebene Reihenfolgen für eine Befahrung



# Sicherheit im Schwarmbetrieb

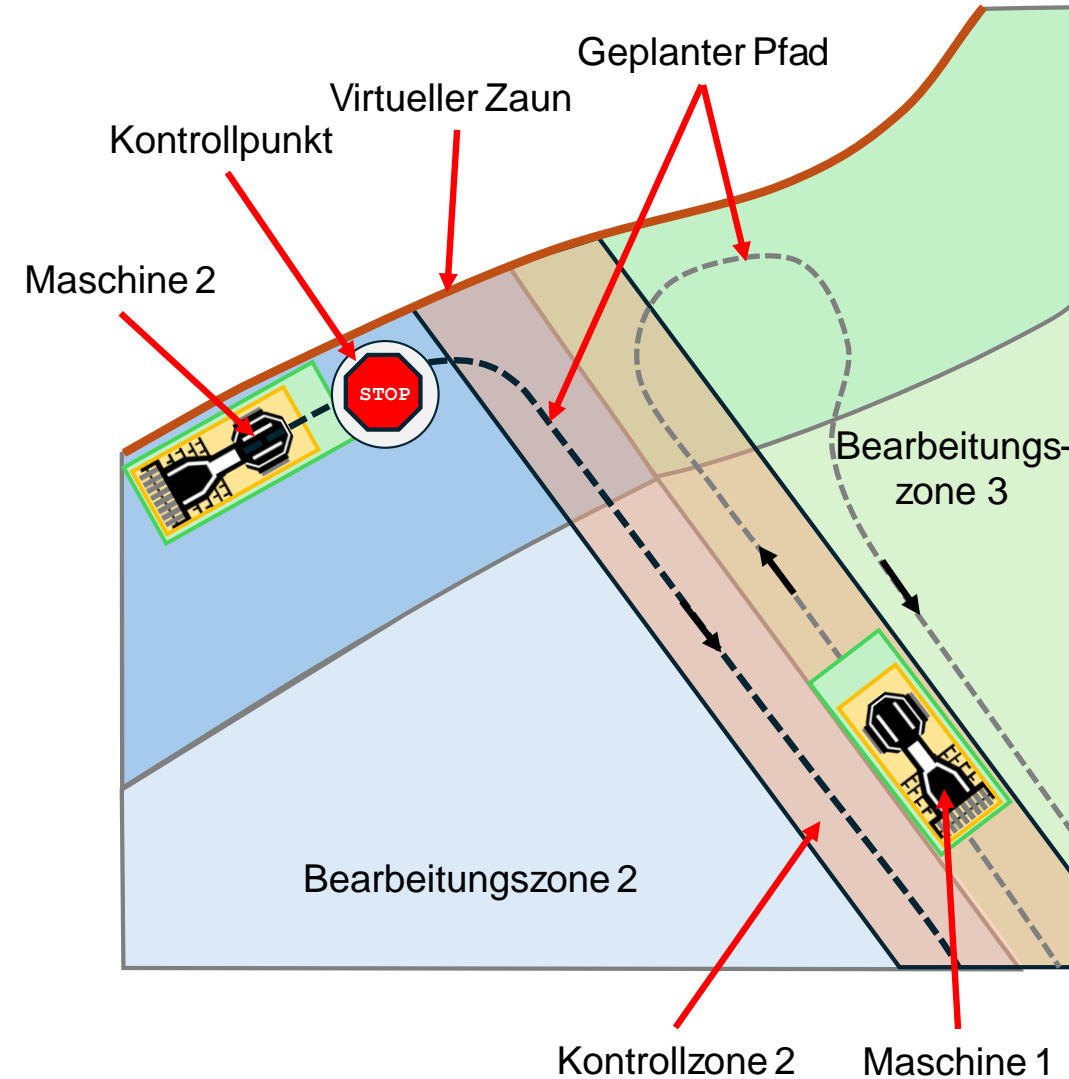
## Personenschutz und Verfügbarkeit - Zonenkonzept

### Anwendungsbeispiel Kontrollzone

- Benachbarte Bearbeitungszonen
- Parallele Pfade
- Kritische Situation für Maschinen
  - Kollisionsgefahr
  - Gegenseitiges Blockieren
  - Vorgegebene Reihenfolgen für eine Befahrung

### Schutzwirkung Kontrollzone und Kontrollpunkt

- Verhindern einer Kollision oder des Blockierens
  - Maschine 1 belegt die Kontrollzone 2
  - Maschine 2 erhält keine Freigabe für Weiterfahrt
  - Erteilen einer Freigabe nachdem die Kontrollzone 2 freigemeldet ist



# Zusammenfassung

---

## Funktionale und betriebliche Sicherheit

- Sicherheit in den Entwicklungsprozess integrieren
- keine normativen Vorgaben für Schwarmbetrieb
- Elektromechanische Deichsel zum Transport autonomer Maschinen
  - Interessenten an einer gemeinsamen Entwicklung gesucht
- Zonenkonzept als Methode zur Gewährleistung der Sicherheit – Personenschutz und Verfügbarkeit
  - Schutzrecht angemeldet

# Kontakt

---

Dr.- Ing. Holger Fichtl  
Abteilung Fahrzeugsysteme  
Tel. +49 351 4640-676  
[holger.fichtl@ivi.fraunhofer.de](mailto:holger.fichtl@ivi.fraunhofer.de)