



# Smarte und resiliente Landwirtschaft mit Edge AI

Ein Projekt zur intelligenten Nahrungsmittelüberwachung durch KI-Kamerasysteme – lokal, unabhängig und zukunftsfähig.

## Hintergrund & Motivation

### ⌚ Ausgangszustand

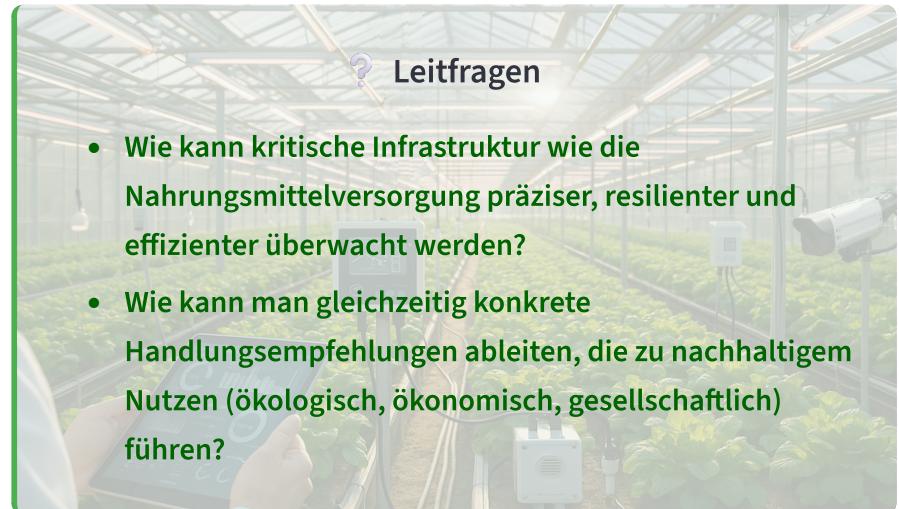
Die Landwirtschaft steht zunehmend unter Druck – ausgelöst durch:

- Klimawandel
- Ressourcenknappheit (z. B. Wasser)
- Preisvolatilitäten und Marktschwankungen
- Geopolitische Spannungen
- Störungen in Lieferketten
- Stromausfälle und Energieengpässe
- Unterbrechungen in der Kommunikationsinfrastruktur (Internet/Mobilfunk)
- Zunehmende Bedrohung durch Cyberangriffe

Gleichzeitig steigt die weltweite Nachfrage nach Nahrungsmitteln – bei wachsendem Anspruch an Nachhaltigkeit und Umweltschutz.

### ❓ Leitfragen

- Wie kann kritische Infrastruktur wie die Nahrungsmittelversorgung präziser, resilenter und effizienter überwacht werden?
- Wie kann man gleichzeitig konkrete Handlungsempfehlungen ableiten, die zu nachhaltigem Nutzen (ökologisch, ökonomisch, gesellschaftlich) führen?



## Ein Lösungsansatz

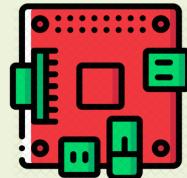
❖ Technologie    ⚙ Ablauf

Lokales Netzwerk mit Edge AI & LoRaWAN/WiFi - optional mit Internetanbindung und energieautark

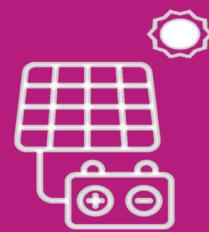
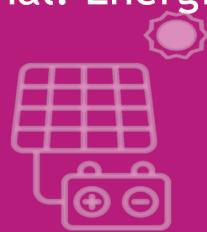
Optional: Internet



Lokales Netz



Optional: Energieautarkie



Beispielhafter technischer Aufbau

# Ein Lösungsansatz

 Technologie  Ablauf

## Ablaufplan

1. **AI-Kamera** beobachtet Pflanzen in definierten Zeitabständen
2. **TinyML-Modell** erkennt Fruchtzahl und Pflanzenzustand (z. B. Reifegrad) direkt und lokal auf dem Edge-Gerät
3. **Datenübertragung** erfolgt zu definierten Zeitpunkten an das lokale Gateway-/Serversystem
4. **Gateway/Server** empfängt, speichert und visualisiert die Daten lokal
5. **Zugriff** auf die Visualisierung erfolgt per Smartphone, Tablet oder Laptop über das lokale WLAN (bzw. optional über LTE)
6. **Handlungsempfehlungen** können direkt vor Ort abgeleitet werden (z. B. Bewässern, Toppen, Ausdünnen, Auslichten, Ernten).



## Sensorsystem

- AI-Kamera mit integriertem LoRa-Transceiver oder integriertem WiFi
- Lokale KI-Verarbeitung (Edge AI) auf der Kamera mittels integrierter Tools wie TensorFlow Lite Micro oder PyTorch
- Datenübertragung zu definierten Zeiten über energieeffizientes LoRaWAN (bis 10 km Reichweite) oder WiFi (hohe Bandbreite)
- Zusätzliche Erprobung des Einsatzes von verteiltem KI-Training (Federated Learning) zur kontinuierlichen Verbesserung der Modelle möglich
- Stromversorgung via Batterie (LoRaWAN-basierte Kamera) oder via Netzstrom (WiFi-basierte Kamera)

- Optional: Solarbetrieb bei WiFi-Kameras für Energieautarkie\*

\* Solarbetrieb ist bei LoRaWAN-basierten Kameras nicht nötig.

\*\* Hierzu ist eine separate SIM-Karte nötig.



## Gateway & Server

- Ein einzelnes Gerät auf Basis des Raspberry Pi, das sowohl als Gateway als auch als zentraler Server dient.
- Gateway beinhaltet LoRa-Transceiver, WLAN-Modul, LTE-Modul und SSD-Speicher
- Vorinstalliertes Linux mit Docker ermöglicht einfache Konfiguration und Containerisierung
- Software: ChirpStack (Network Server für LoRaWAN), MQTT Broker (Datenvermittlung), PostgreSQL/TimescaleDB (Datenbank), Grafana (Visualisierung)
- Stromversorgung via Netzstrom/Power over Ethernet (PoE)

- Optional: Internetanbindung über integriertes LTE-Modul\*\* oder über mobilen LTE-Stick\*\*

- Optional: Solarbetrieb des Gateways/Servers für Energieautarkie



## Zugriff & Nutzung

- Lokales WLAN vom Gateway/Server bereitgestellt
- Gateway/Server fungiert als zentraler Zugangspunkt
  - Bei Netzstrombetrieb: Permanenter Zugriff auf Gateway/Server über das lokale WLAN per Smartphone, Tablet oder Laptop
  - Bei Solarbetrieb: Aktivierung des Gateways/Servers (Sleepy Server) bei Bedarf über Wake-on-WLAN per Smartphone, Tablet oder Laptop
- Bereitstellung einer Datenvisualisierung (Dashboard), welche Pflanzenzustände nach Art, Ort und im Zeitverlauf anzeigt
- Benachrichtigungen und Alarne möglich
- Keine Cloud- oder Internetverbindung erforderlich

- Optional: Fernzugriff per Smartphone, Tablet oder Laptop mittels Internet (z.B. via lokalem WLAN-Router oder LTE-Modul\*\*)

# Abwägungen im Überblick

## Nutzenpotenziale

-  **Wirtschaftlichkeit:** Senkung der Betriebskosten, Steigerung der Produktivität und Erträge
-  **Nachhaltigkeit:** Umweltschonend & verbesserter Ressourceneinsatz
-  **Autarkiegrad und Resilienz:** offline-fähig & anbieterunabhängig & potenziell stromnetzunabhängig & einsetzbar in abgelegenen Regionen
-  **Kosteneffizienz und Energiesparsamkeit:** geringe Initialkosten & niedrige laufende Kosten & geringer Stromverbrauch der LoRaWAN-basierten Kameras
-  **Schnelligkeit:** zeitnahe Daten 24/7 und Entscheidungen möglich
-  **Datenhoheit:** lokale KI (Edge AI) & lokale Datenspeicherung
-  **Skalier- und Erweiterbarkeit:** modularer Aufbau & ergänzende Sensoren (z. B. Multisensor für Bodendaten) möglich & für kleine und große Betriebe geeignet
-  **Lebensmittelsicherheit:** sicherere Lebensmittel durch genaues, nachvollziehbares Monitoring
-  **Nachvollziehbarkeit:** Datengetriebene, transparente Entscheidungen möglich
-  **Planbarkeit:** frühere und genauere Erntevorhersage sowie Einkaufbedarfs- und Umsatzprognosen
-  **Reproduzierbarkeit:** verfügbare, marktzugängliche Hardware & Open Source

## Herausforderungen

-  **Hardware:** Integration & Kommunikation der Komponenten (Sensorik, Gateway/Server, Zugriffsgeräte)
-  **KI-Modellgüte und -Kalibrierung:** Bilder und ML-Modelle müssen für geringe Rechenkapazität komprimiert werden & Modellanpassungen für unterschiedl. Anwendungsfälle (z. B. Früchte, Installationsorte) nötig
-  **Datenqualität:** Störungen oder Ausfälle können zu Datenlücken führen
-  **Echtzeitfähigkeit:** Pflanzenbeobachtung nur zu definierten Zeiten, um Energieverbrauch zu minimieren
-  **Wartung:** Batteriewechsel und ggf. Updates vor Ort nötig
-  **Akzeptanz:** Einweisung für Visualisierungen erforderlich & Annahme der Technik in Arbeitsprozesse
-  **Opt. Energieautarkie:** Energieverbrauch, Konfiguration von Sleepy Server, Solarmodulinstallation