

# Imaging und intelligente Sensorsysteme

## Schlüsseltechnologien innovativer Landtechnik

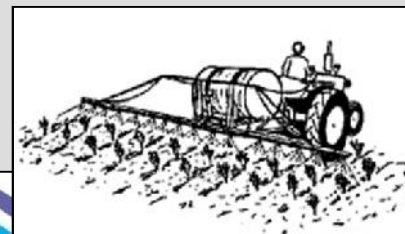
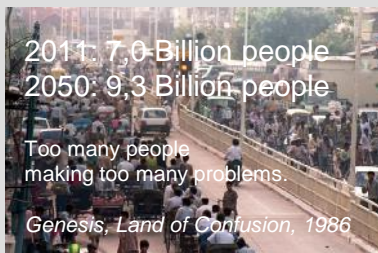
**Arno Ruckelshausen**

**Hochschule Osnabrück / Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik**

**COALA - Competence in Applied Agricultural Engineering**



# Landwirtschaft 2015+



## Globale Relevanz:

- Ernährung
- Energie
- Ressourcen
- Landschaftspflege



## Herausforderungen:

- Steigerung der Produktion
- **Umwelt**  
**Unterstützung durch**  
**Technologie und**  
**Interdisziplinarität**
- Verteilung von Ressourcen
- Sozialverträglichkeit

Quellen: UN World Population Prospects, May 2011; : <http://www.aces.edu/pubs/> systemsview.wordpress.com , MSClipArt (2011)

# Übersicht

---

## Von Pflanzen und Sensoren draußen auf dem Feld

*Kann doch alles nicht so schwer sein ... !?*

## Schlüsseltechnologien: Sensorik – Simulation - Feldrobotik

*xxs Agriculture – die wollen doch nur spielen ?*

## Blick in die Zukunft – Schlüsseltechnologien treffen Prozesse

*Einzelpflanzenlandwirtschaft , Remote Farming , ... ?*

# Übersicht

---

## Von Pflanzen und Sensoren draußen auf dem Feld

*Kann doch alles nicht so schwer sein ... !?*

## Schlüsseltechnologien: Sensorik – Simulation - Feldrobotik

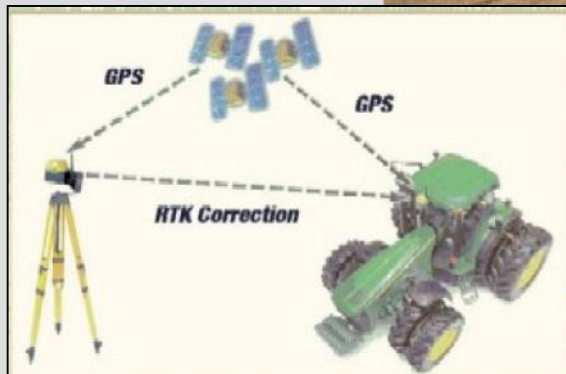
*xxs Agriculture – die wollen doch nur spielen ?*

## Blick in die Zukunft – Schlüsseltechnologien treffen Prozesse

*Einzelpflanzenlandwirtschaft , Remote Farming , ... ?*



# Noch immer *der* Sensor in der Landwirtschaft: GPS



Beispiel: AutoTrac/StarFire RTK (John Deere)

Quelle: John Deere, Bruchsal

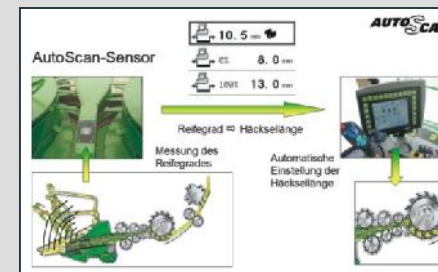
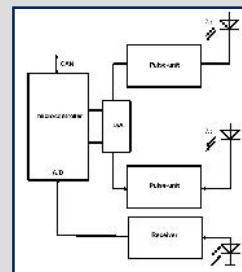
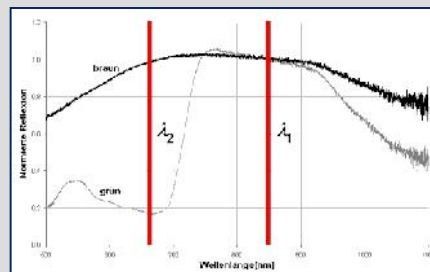
# Sensoren für Erntegut (Beispiele)



NIR / Feuchte



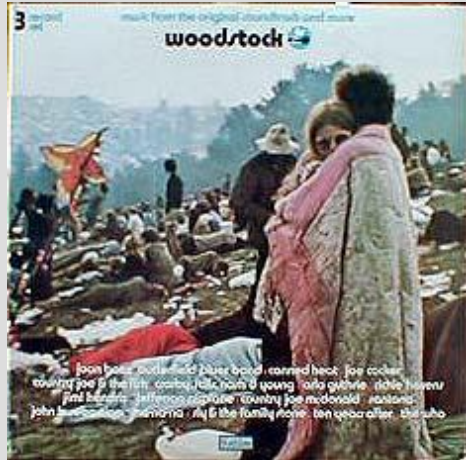
NIR-VIS / Reifegrad



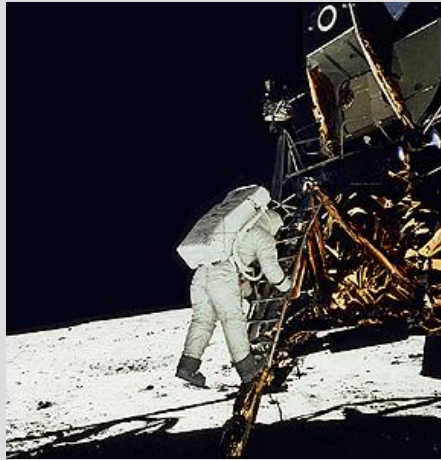
Quelle: Autoscan (2008) und NIR-Moisture Sensor (2013/2014) ; Maschinenfabrik Bernard Krone, Hochschule Osnabrück

# Innovationstreiber: Imaging

## 1969



Woodstock



Mondlandung



Entwicklung des CCD-Sensors

*Top-Technologie „Optoelektronische Systeme“ - (Anwendungsorientierte ;- ) Nobelpreise in Physik:*

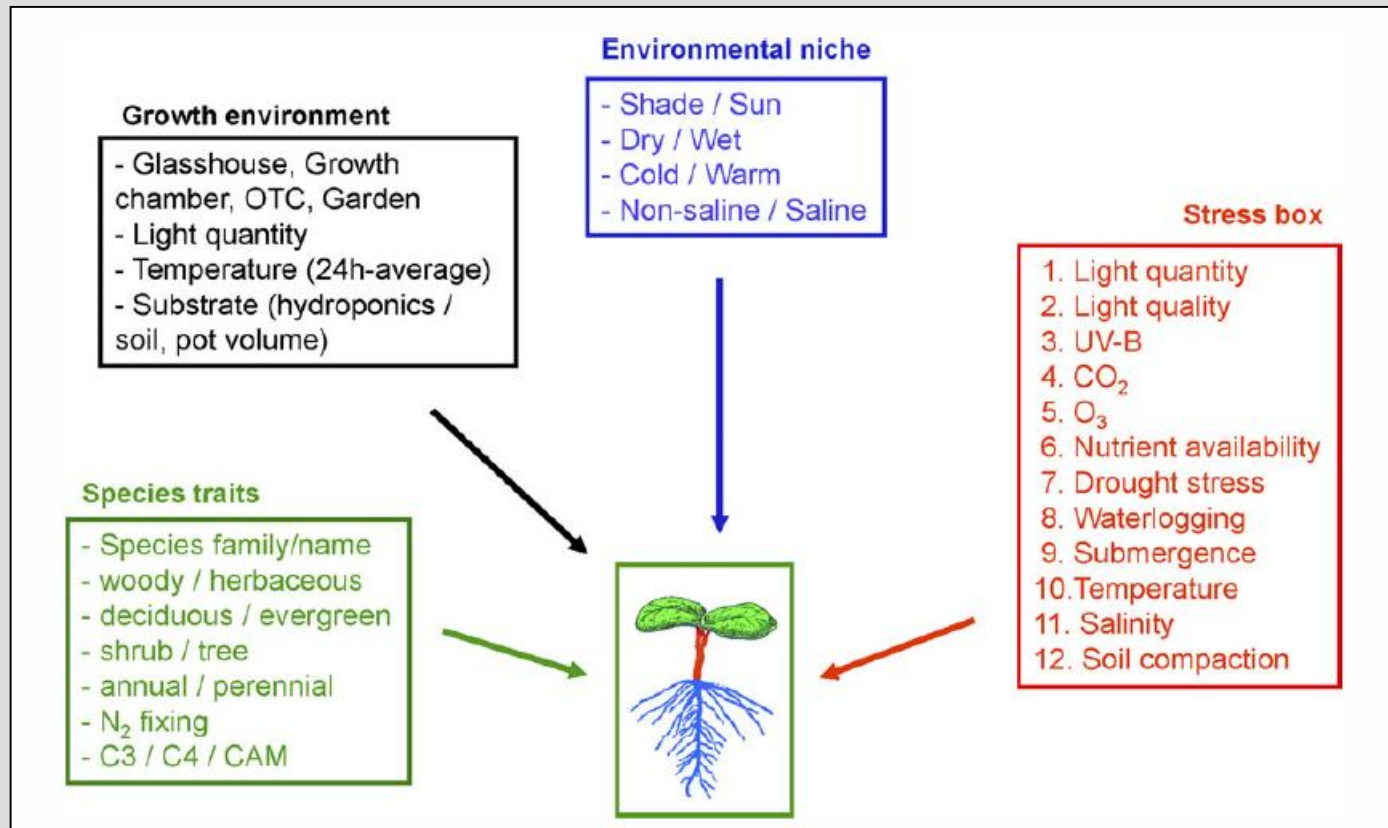
*CCD-Bildsensor (2009), blaue LED (2014)*

*Dennoch sind wir erst in der “Steinzeit“ der Bildverarbeitung ...*



# Pflanzenbau

Frage: Wie wächst eine Pflanze ?



Antwort: Es kommt drauf an ...

Source: H.Poorter et al. , Journal of Expoerimental Botany, Vol. 61, No.8, pp.2043-2055, 2010

# Technology meets nature



Sources: HS Osnabrück, agrarheute.com, H.Poorter et al. , Journal of Experimental Botany, Vol. 61, No.8, pp.2043-2055, 2010



## Draußen auf dem Feld ...

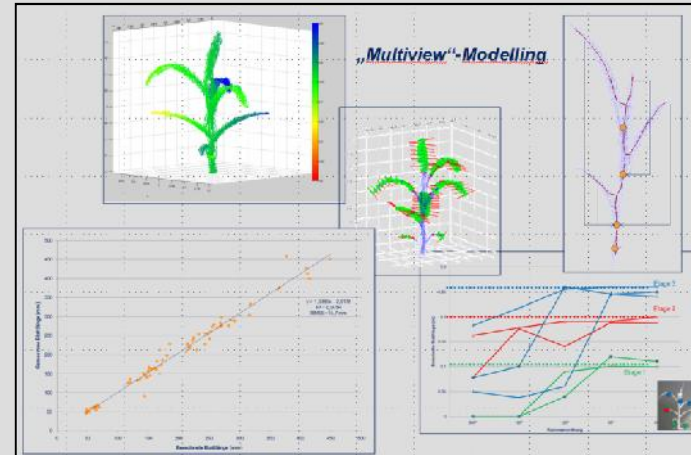
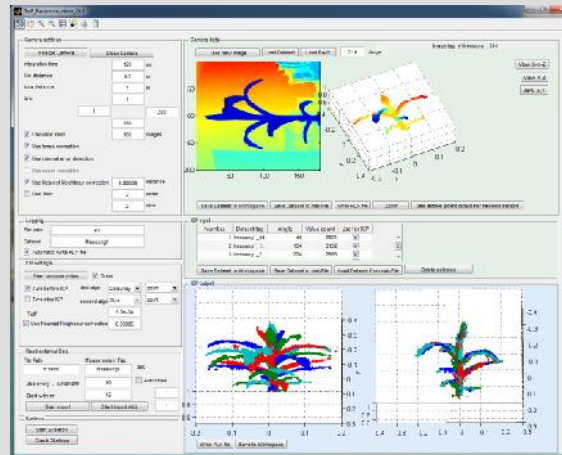
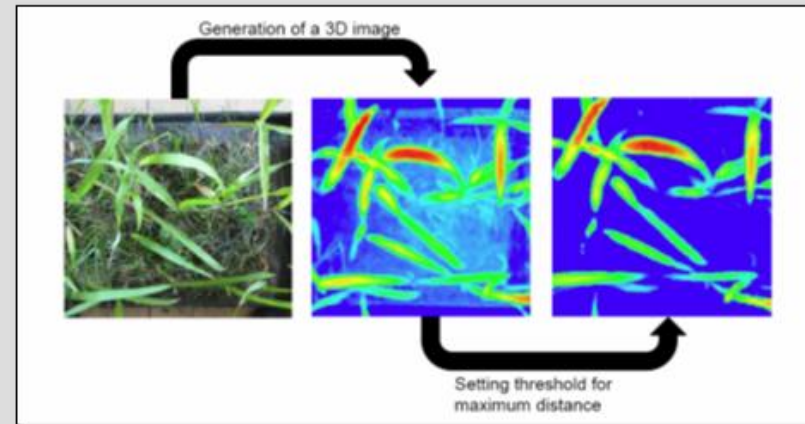
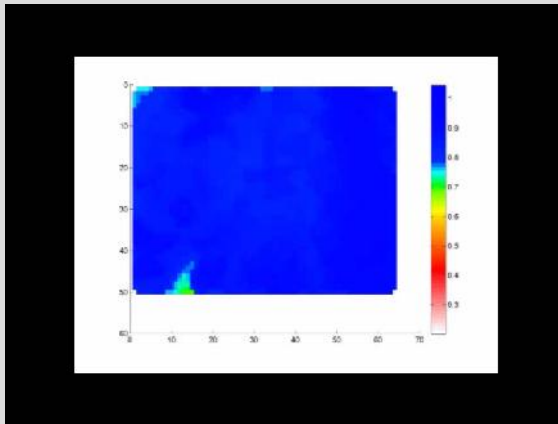


# Draußen auf dem Feld ...





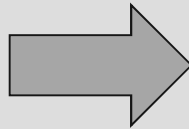
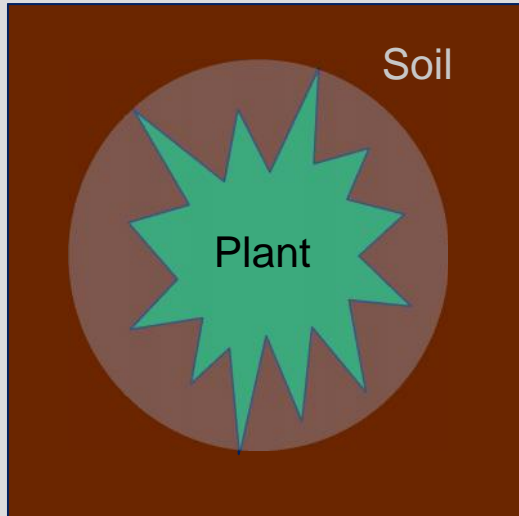
# Crop sensing example (1): 3D Time-of-flight Imaging



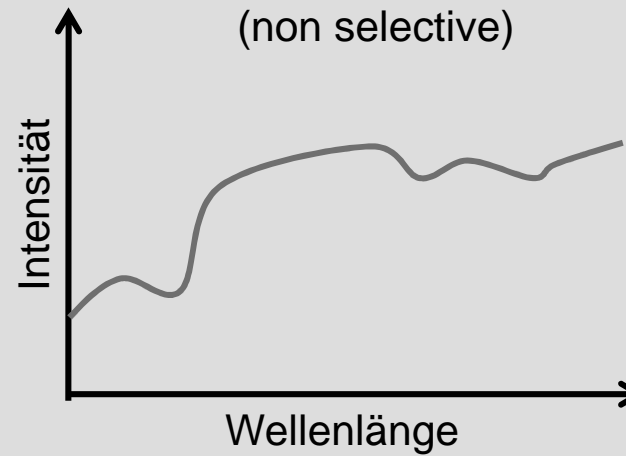
Source: Ralph Klose, Hochschule Osnabrück, PhD (in preparation Universität Hannover)

# Crop sensing example (2) : Spectral Imaging

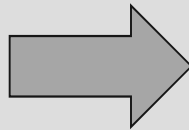
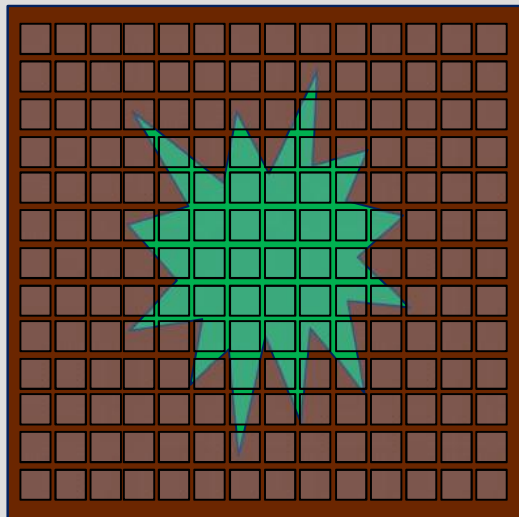
Miniature spectrometer



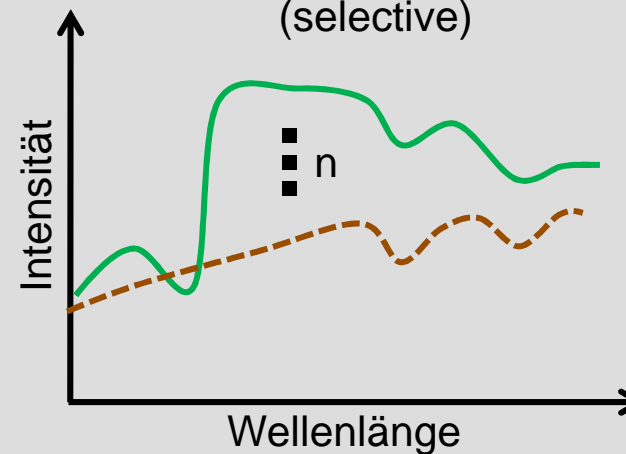
1 pixel  
(non selective)



Spectral Imaging



n pixel  
(selective)



# Crop sensing example (2) : Spectral Imaging

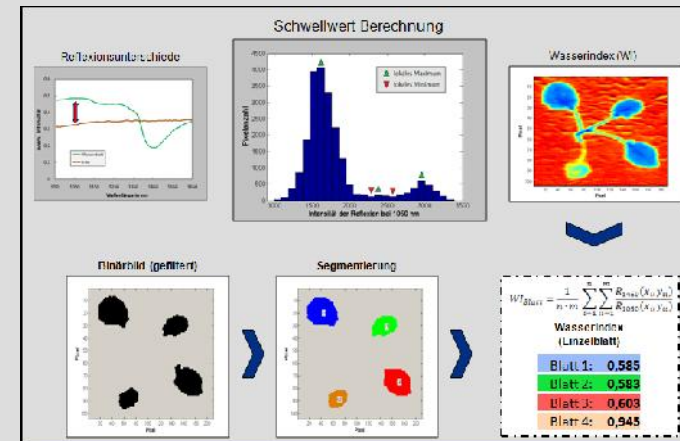
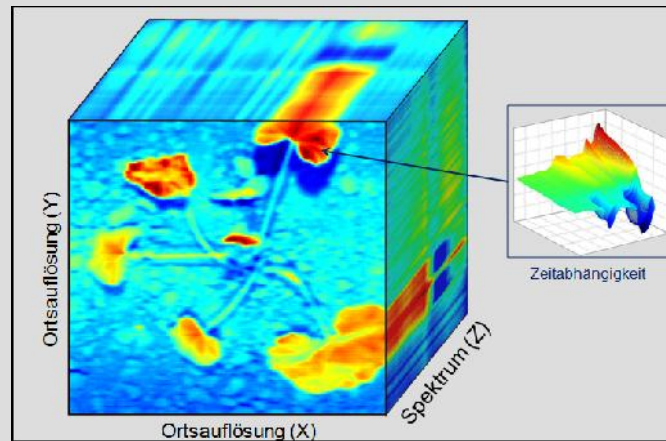
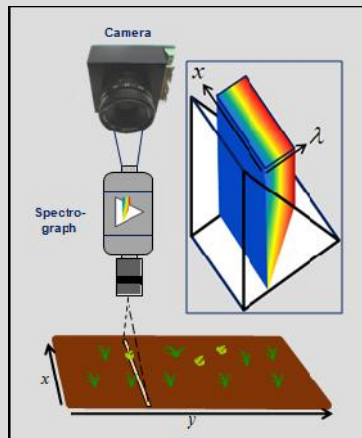
Spectral Imaging  
(Technology)



Spectral Cube  
(Data)

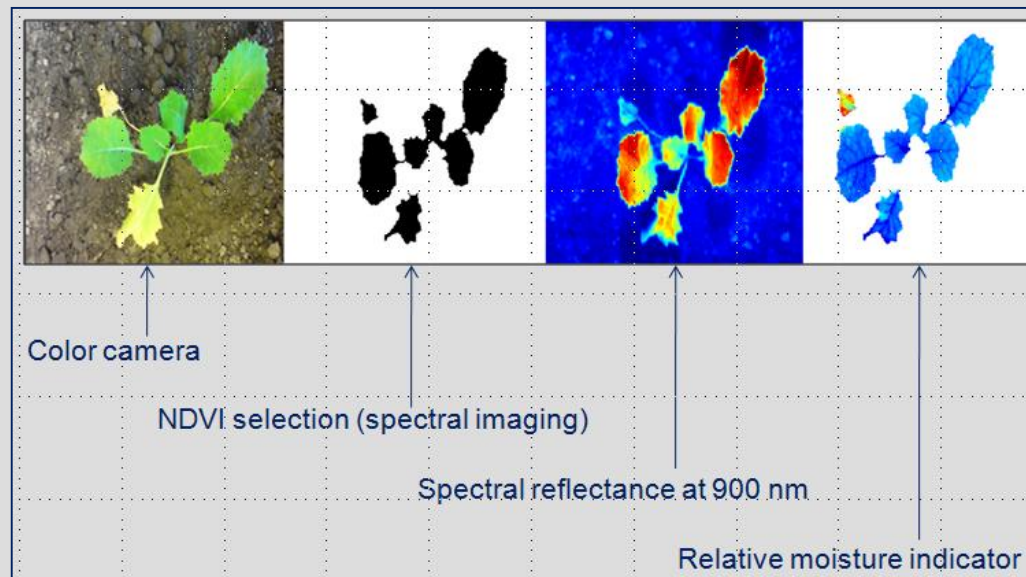
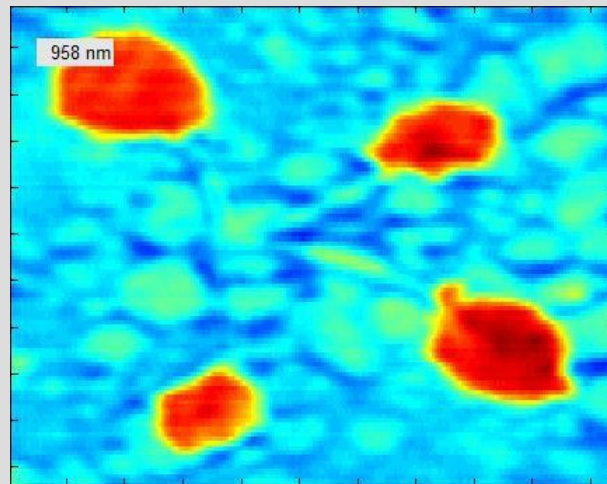


Moisture parameter  
(Algorithms)



Source: Marius Thiel, Hochschule Osnabrück, PhD (in preparation, University Hanover)

## Crop sensing example (2) : (Hyper-)Spectral Imaging

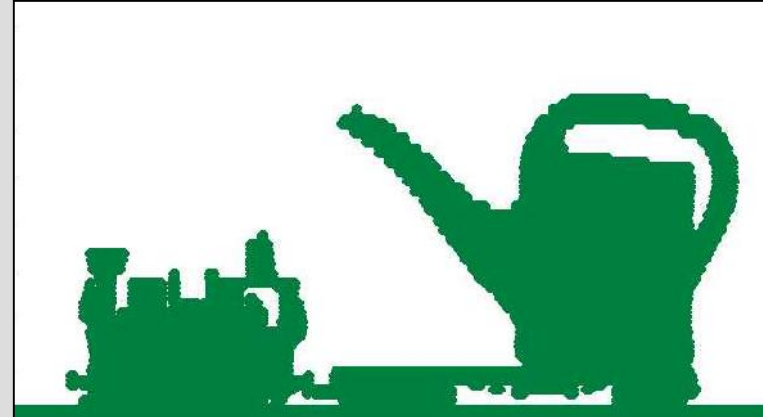




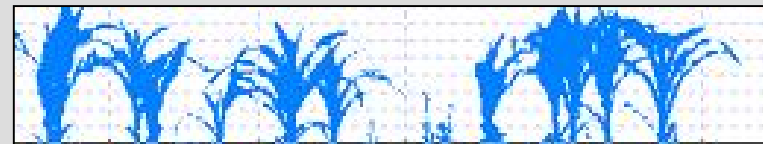
# Crop sensing example (3) : „Shadow Sensors“ (light barrier)

Light curtains or laser line sensors  $\rightarrow$  „1-bit-imaging“

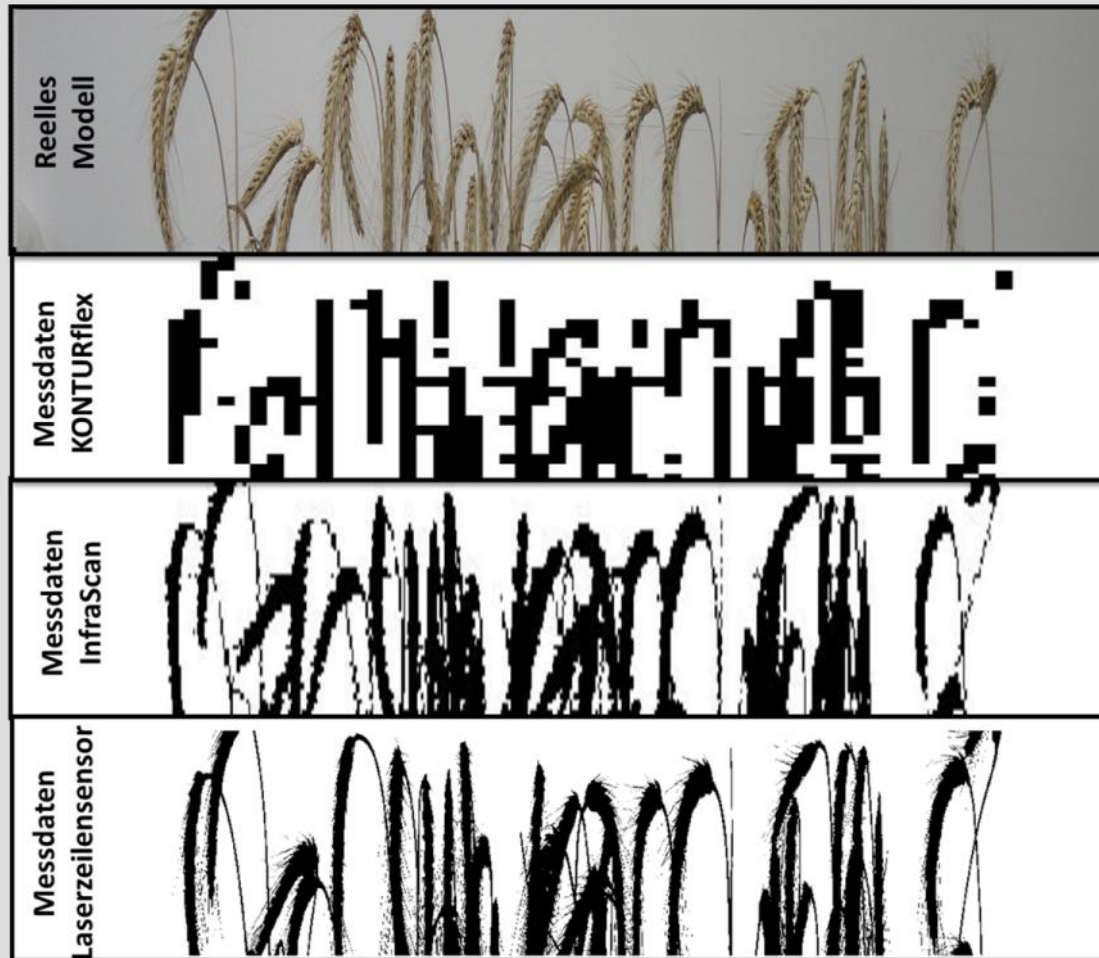
Laboratory



Field



## Crop sensing example (3) : „Shadow Sensors“ (light barrier)



Reelles  
Modell

Messdaten  
KONTURflex

Messdaten  
InfraScan

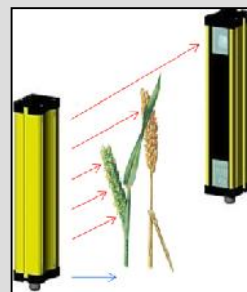
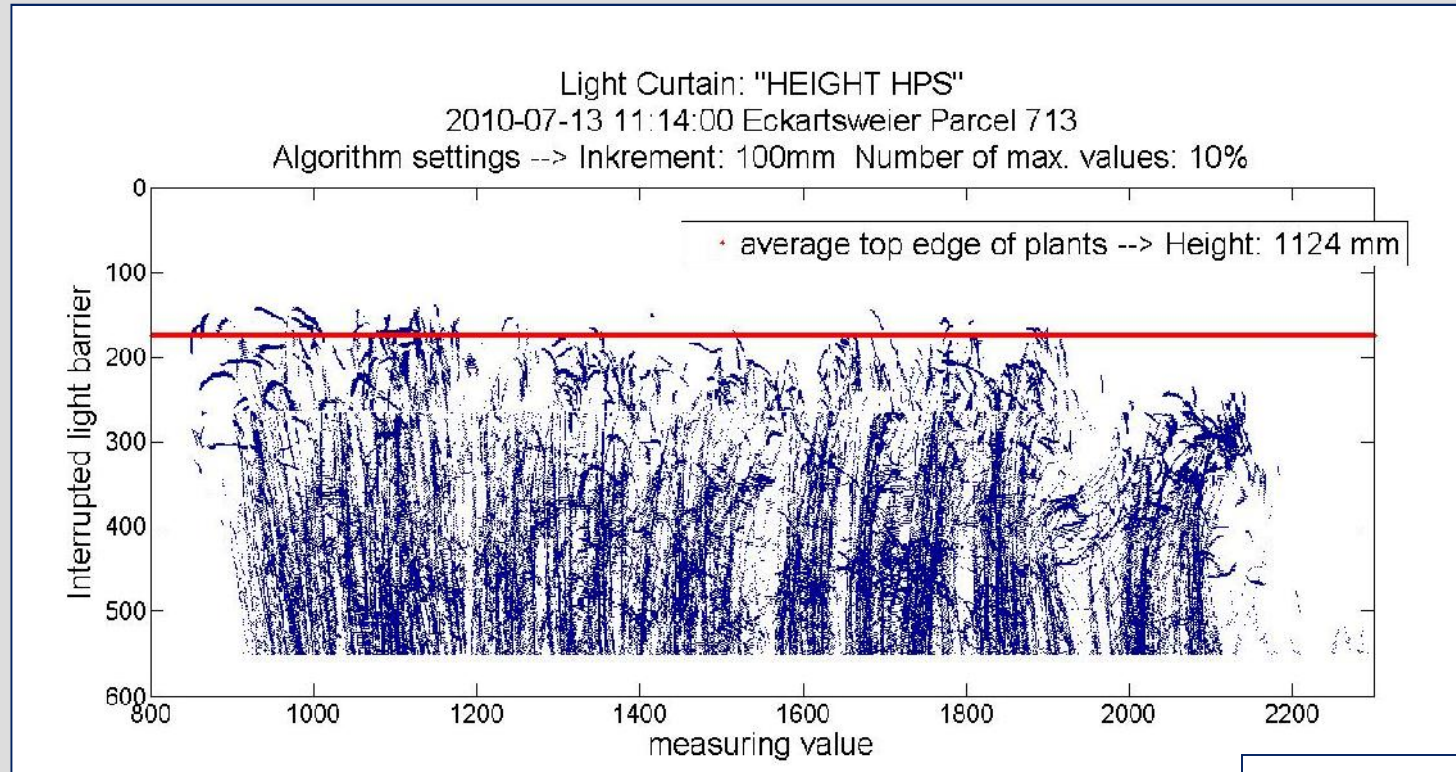
Messdaten  
Laserzeilensensor

Rough shape information  
(low resolution light curtain)

Stalk and ears of corn  
(high resolution light curtain)

Stalk, ears and awns  
(ultra-high resolution laser line sensor)

# Crop sensing example (3) : „Shadow Sensors“ (light barrier)



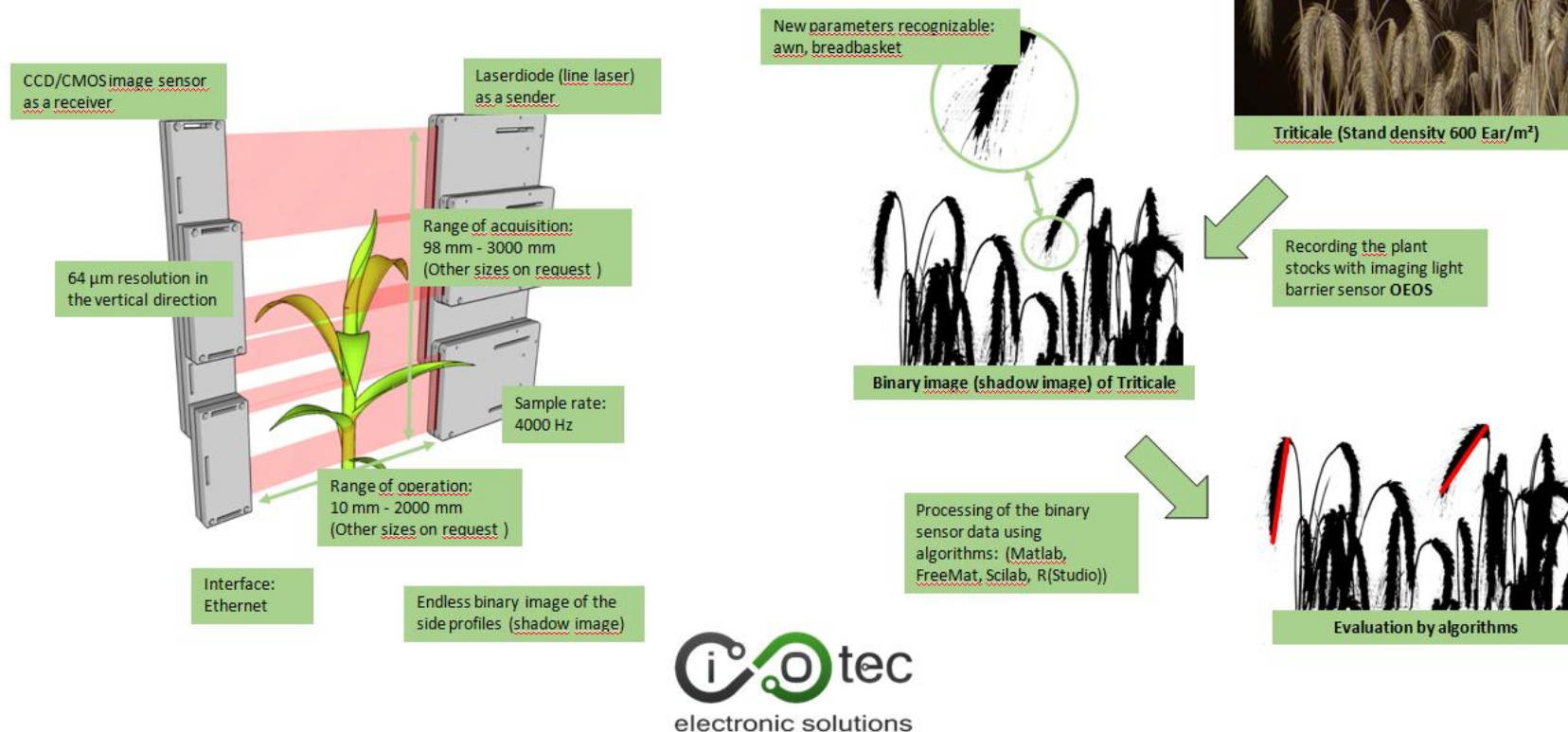
1	0	0	1	1	1	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	0





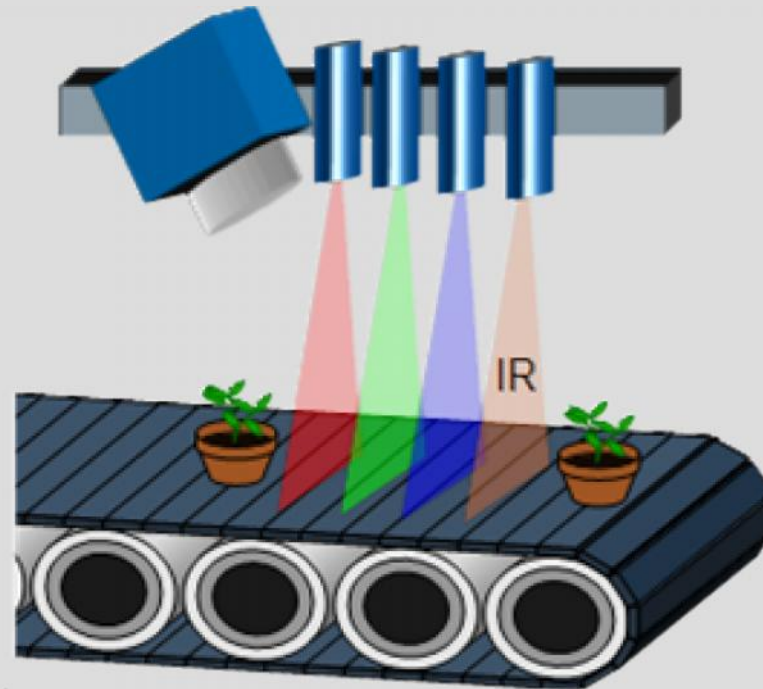
# Crop sensing example (3) : „Shadow Sensors“ (light barrier)

## Cascadable imaging light barrier sensors OEOS (OptoElectronic ObjectScanner)



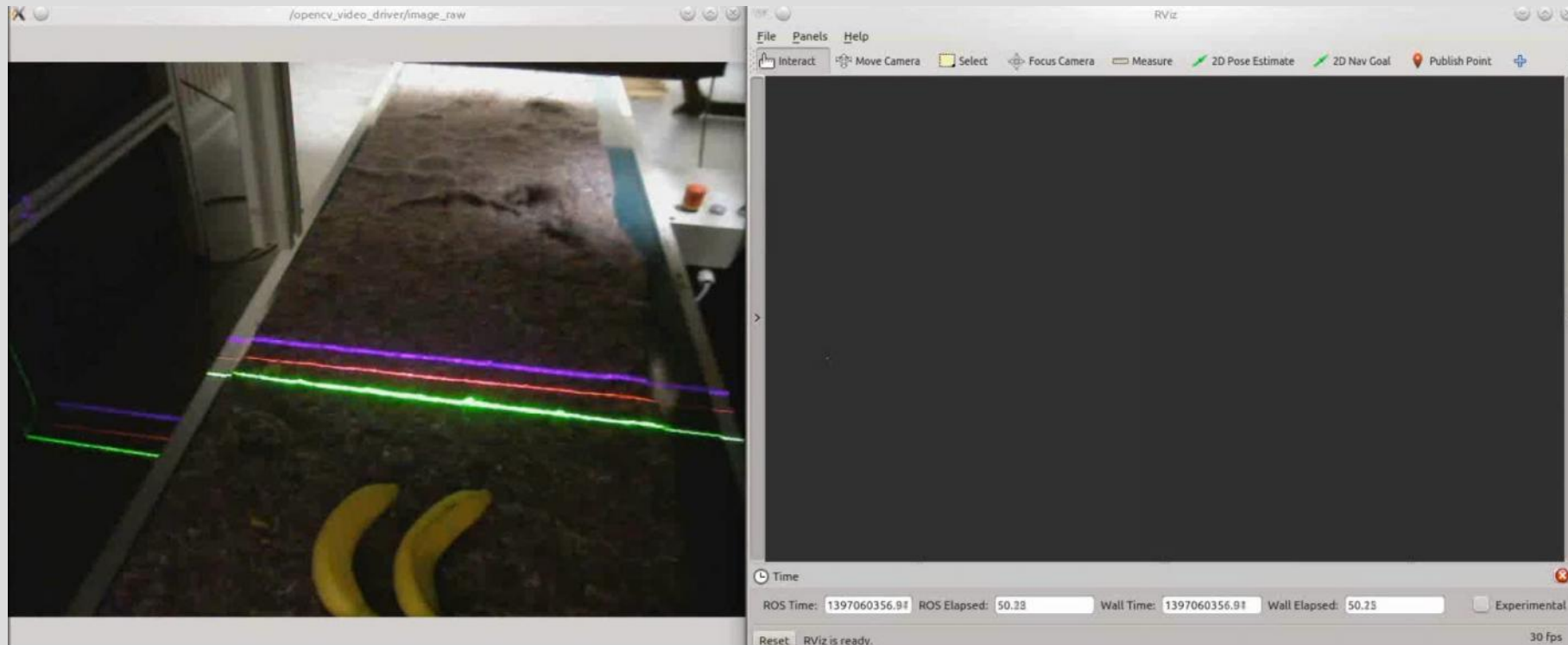


# Crop sensing example (4): „Multiwavelength Laser Line Profile Sensing“



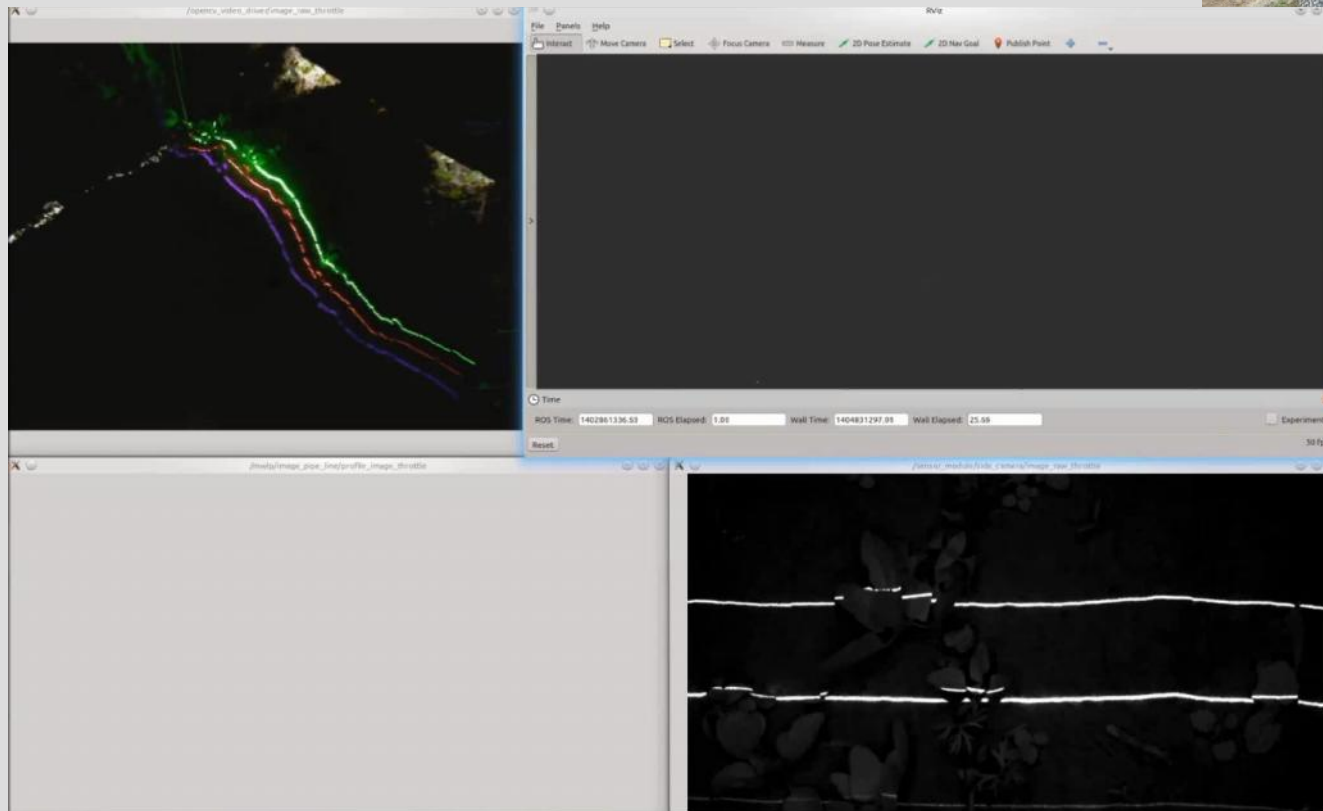
Source: Wolfram Strothmann ; Arno Ruckelshausen and Joachim Hertzberg: "Multiwavelength laser line profile sensing for agricultural crop characterization ",  
Proc. SPIE 9141, Optical Sensing and Detection, 2014, <http://dx.doi.org/10.1117/12.2052009>

# Crop sensing example (4): „Multiwavelength Laser Line Profile Sensing“



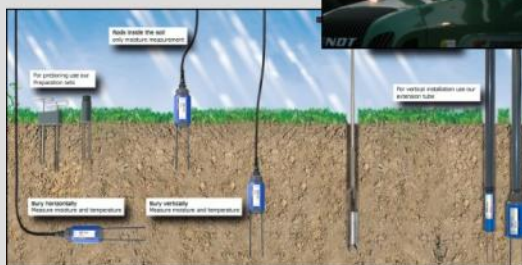
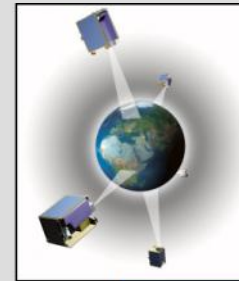
Quelle: Wolfram Strothmann ; Dissertation, in Vorbereitung

# Crop sensing example (4): „Multiwavelength Laser Line Profile Sensing“



Quelle: Wolfram Strothmann ; Dissertation, in Vorbereitung

# Anwendungsbeispiel: „Phänotypisierung“ (Plattformen/Outdoor)



Sources: Schmidhalter/TU München, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Lemnatec, N-Tester/landwirt.com, Sengis/Uni Hohenheim, Imko, AgriCon, satimagingcorp, HS Osnabrück



# Sensor- und Datenfusion

---

Das **Auge** sagte eines Tages: „ Ich sehe hinter diesen Tälern im blauen Dunst einen Berg. Ist er nicht wunderschön ?“

Das **Ohr** lauschte und sagte nach einer Weile: „ Wo ist ein Berg, ich höre keinen.“

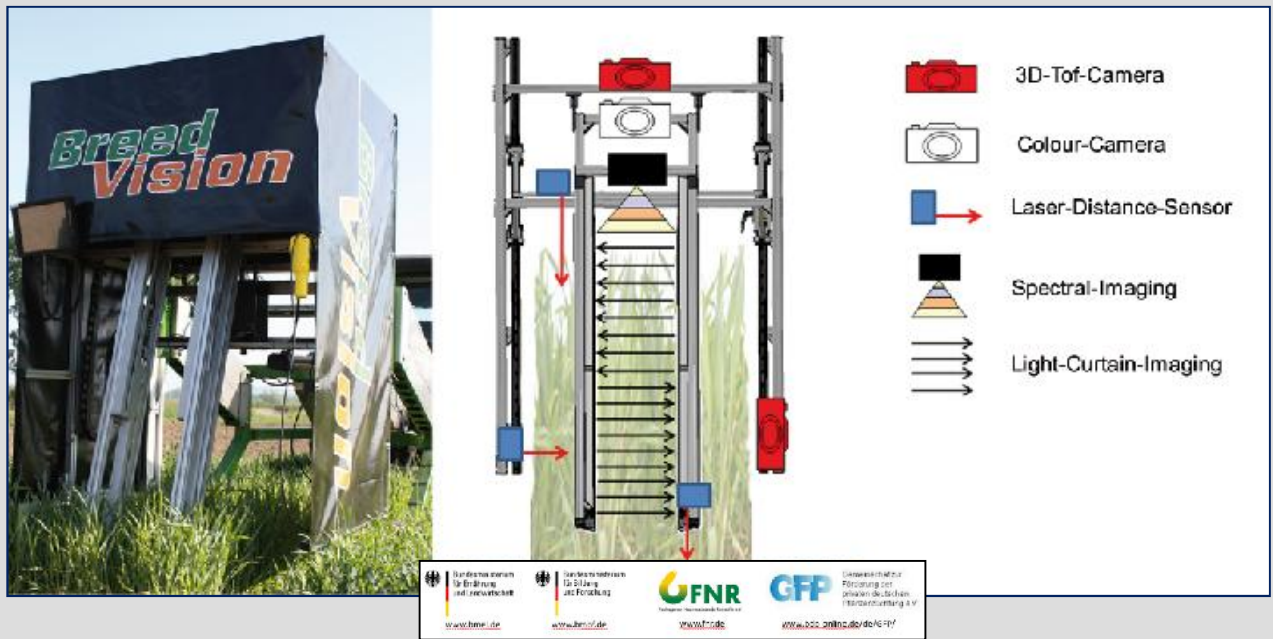
Darauf sagte die **Hand**: „Ich versuche vergeblich ihn zu greifen. Ich finde keinen Berg.“

Die **Nase** sagte: „ Ich rieche nichts. Da ist kein Berg.“

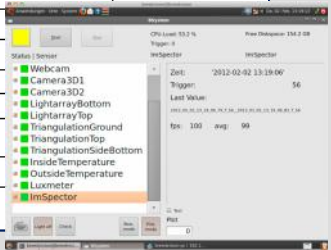
Da wandte sich das Auge in eine andere Richtung. Die anderen diskutierten weiter über dies merkwürdige Täuschung und kamen zu dem Schluss: „Mit dem Auge stimmt etwas nicht.“

Khalil Gibran: „The Madman“ (1918)

# Sensor-Fusion / Phänotypisierung



Lichtgitter	3D Kamera	Triangulationssensor	Spectral Im.	CMUcam	GPS	Drehgeber
Relative Position						
					Absolute Position (NMEA)	
Position (Stengel + Start, Stop)						
	Stengelbreite					
Abstand	Höhe					
Breite						
Fläche (Seite)						
Anzahl	Fläche (Oben)		Fläche (Oben)			
	Bedeckungsgrad		Bedeckungsgrad			
	Blätter					
			Feuchtigkeitsbild			



Projects: BreedVision, predbreed, BoniRob (BMEL, BLE, BMBF)

# Konzept „BreedVision“

## Technische Daten

# BreedVision

### Trägerfahrzeug Zürn Z550GT

- Dimensionen (in m)
  - B x L x H (min – max)
    - 1,5 x 5,0 x 2,0 – 2,5 x 5,0 x 3,0???
  - Spurbreite (min - max)
    - 1,3 – 2,5???
  - Durchfahrtschöhe (min - max)
    - 1,3 – 2,1
- Eigenschaften
  - Leistung: 50kw???
  - Antrieb: hydraulisch
  - Geschwindigkeit (min – max)
    - 1 - 20 km/h
  - Leergewicht: 4,2t
  - Zuladung (max): 1000kg

### Sensorik

- Plattform
  - GPS
  - Rotationsencoder
  - Gyrosensor
  - RGB Kamera
  - Multireflexions-Ultraschall
- Sensormodul
  - Lichtgitter
  - Spectral-Imaging System
  - Multireflexions-Ultraschall
  - 3D Kamera
  - 2 Lichtfeldkameras (RGB+NIR)
  - 3 Triangulationssensoren
  - ...modular erweiterbar

### Kulturarten

- Referenziert
  - Triticale
  - Weizen
  - Roggen
- geplant
  - Gerste
  - Hafer
  - Mais

### Nicht invasive

#### Pflanzenparameterbestimmung

- Wuchshöhe
- Feuchtbiomasse
- Trockenbiomasse
- Ähreigenschaften

### Durchsatz

- ca. 2000 Testparzellen/Tag

### Flexibilität, Modularität und Wartung

- Modularer Hardwareaufbau mit Industriestandardkomponenten der Firma Beckhoff
- Datenbank-Infrastruktur
- Hochaufgelöste Zeit- und Ortsstempel zur Sensor- und Datenfusion
- 10 am Fahrzeug verteilte Use Cases bieten Schnittstellen zum Anschluss weiterer Sensoren
- Software Fernwartung und Support über LTE und VPN



Beteiligte Einrichtungen und Unternehmen im Projekt „predbreed“



Hochschule Osnabrück  
University of Applied Sciences



GFP  
Gemeinschaft zur Förderung  
der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V.





# Konzept „BreedVision“

## Sensorik

# BreedVision



### Lichtgitter

Rapidoscan, Die Entwickler  
 Auflösung: 2,5mm  
 Länge: 1800mm  
 Datenrate: 300Hz



### 3D Kamera

IFM O3D201  
 Auflösung: 64 x 80 Pixel  
 Framerate: 10Hz



### 2 Lichtfeldkameras

Raytrix R5 (RGB und NIR)  
 Auflösung: 5 Megapixel  
 Framerate: 10 bzw. 20Hz



### 3 Triangulationssensoren

Baumer OADM20U  
Baumer OADM13U  
Baumer OADM20S  
 Datenrate: 1kHz



### Spectral-Imaging System

EVK Helios NIR G2-320 Core  
 Auflösung: 320 Pixel  
 Wellenlänge: 900-1700nm  
 Framerate: 100Hz



### 2 Multireflexions-Ultraschallsensoren

Fa. iotec  
 Datenrate: max. 120kHz



### Digitale Spiegelreflex

Canon EOS 1100D  
 Auflösung: 12 Megapixel  
 Objektiv: 17-85mm/4,0-5,6  
 Framerate: max. 1Hz



### 2 Rotationsencoder

Baumer HDmag Flex  
 Auflösung: ???  
 Datenrate: 1kHz



### GPS

Navilock 62447  
 Datenrate: 1Hz



### Gyro-Sensor

Sparkfun Razor IMU  
 9 Degrees of Freedom  
 Datenrate: 25Hz

## Geplant

### Hochauflösendes Lichtgitter

iotec OEOS – Opto Electronic  
Object Scanner  
 Auflösung: 64µm  
 Länge: 100cm  
 Framerate: max. 4kHz



### Multispektralkamera

Condor Quest<sup>3</sup>  
 3 CCD Sensoren  
 (RGB 400-700nm, 700-830nm,  
 830-1000nm)  
 Auflösung: je 1360x1024 Pixel  
 Framerate: 15Hz



### RTK-GPS

z.B. Trimble,  
Topcon  
 Datenrate ca. 20Hz



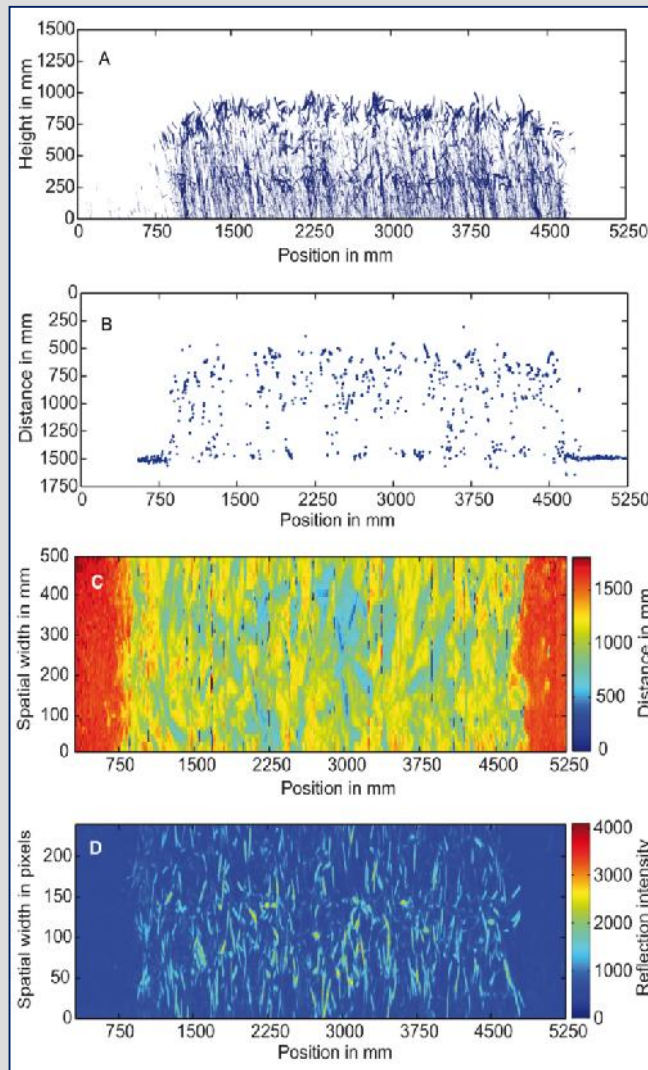


# „BreedVision“

Juni 2015



# Sensor- and data fusion (field measurements)



Light curtain

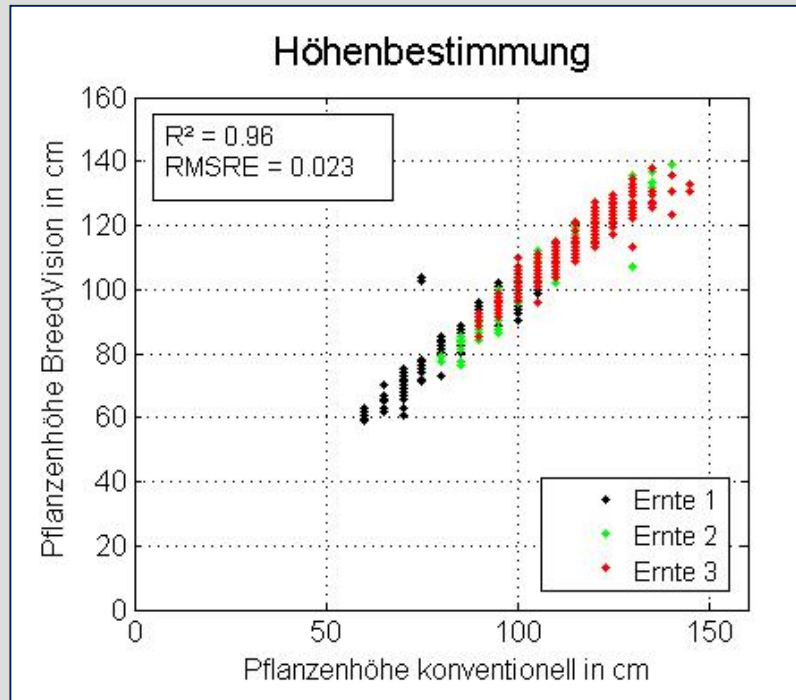
Laser distance

3D-camera

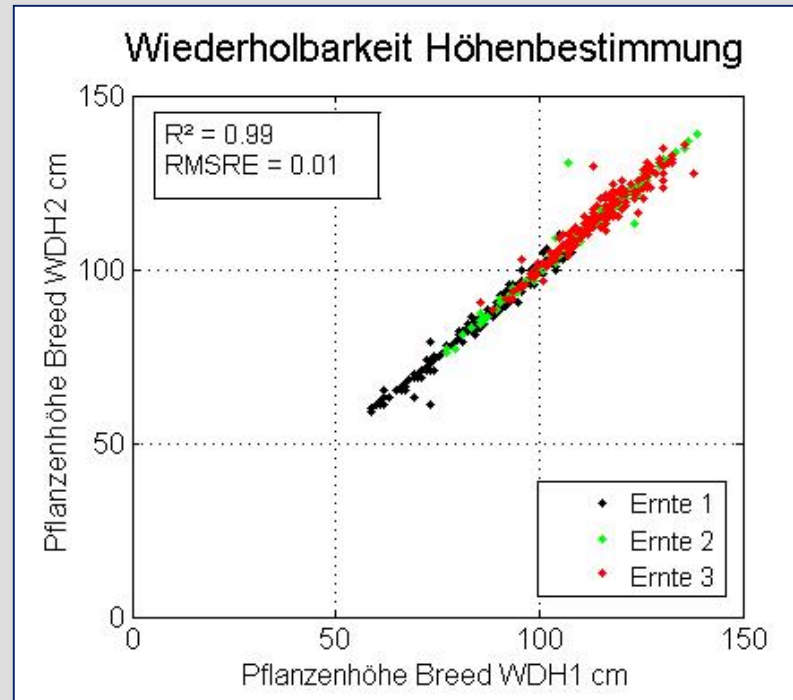
Spectral imaging

# Technische Wiederholbarkeit in Feldmessungen

## Lichtgitter versus Mensch (Feldmessung)



## Technische Wiederholbarkeit

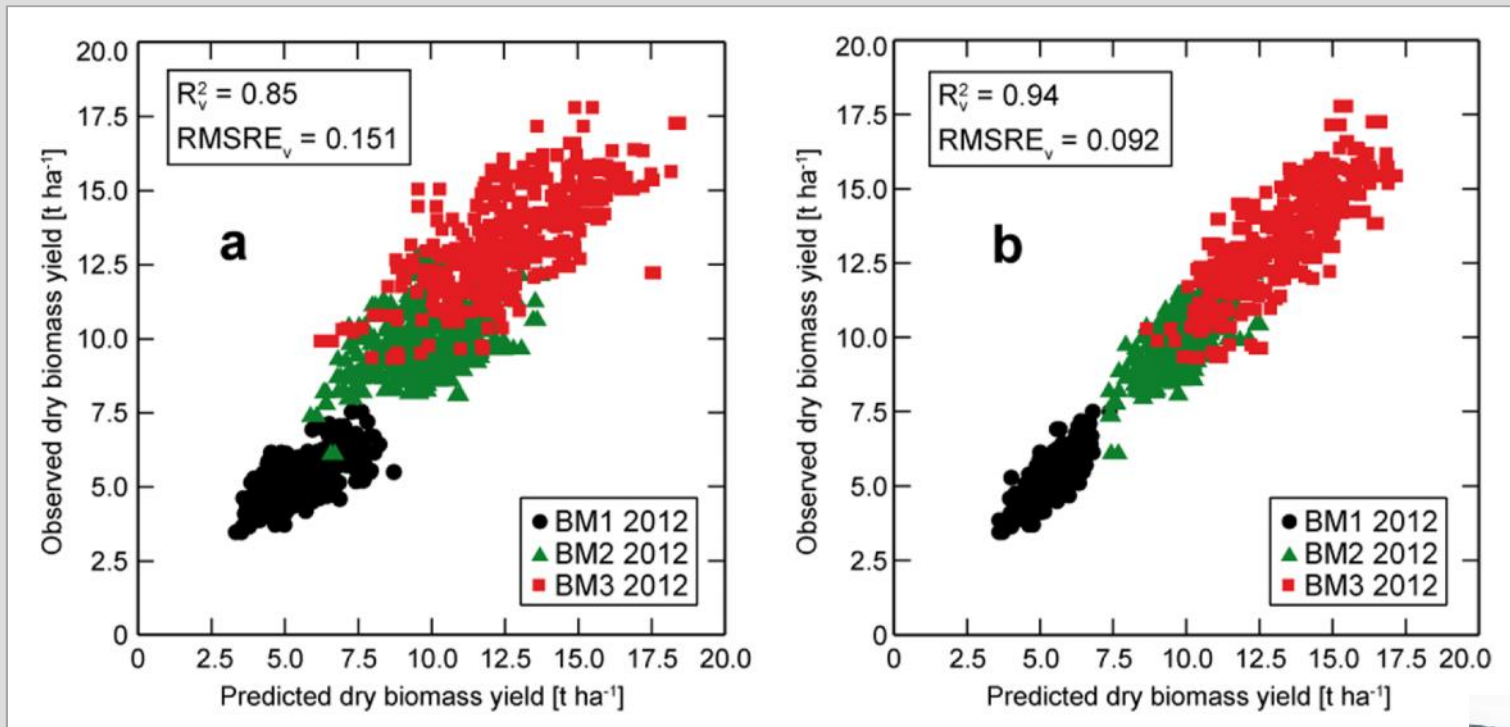




# Biomass detection (field trials): Sensor fusion

Ignore water content

Take into account water content  
(+Spectral Imaging)



Busemeyer et al., BreedVision – A MultiSensor Platform for Non-Destructive Field-Based Phenotyping in Plant Breeding, Sensors, 2013, Vol. 13, pp. 2830-284.

Busemeyer, Lucas, PhD Thesis, 2013 (University Stuttgart-Hohenheim / University of Applied Sciences Osnabrück)

Busemeyer et al., Precision phenotyping of biomass accumulation in triticale reveals temporal genetic patterns of regulations, Nature Scientific Reports 3, Article Number 3442, 2013.



# Übersicht

---

## Von Pflanzen und Sensoren draußen auf dem Feld

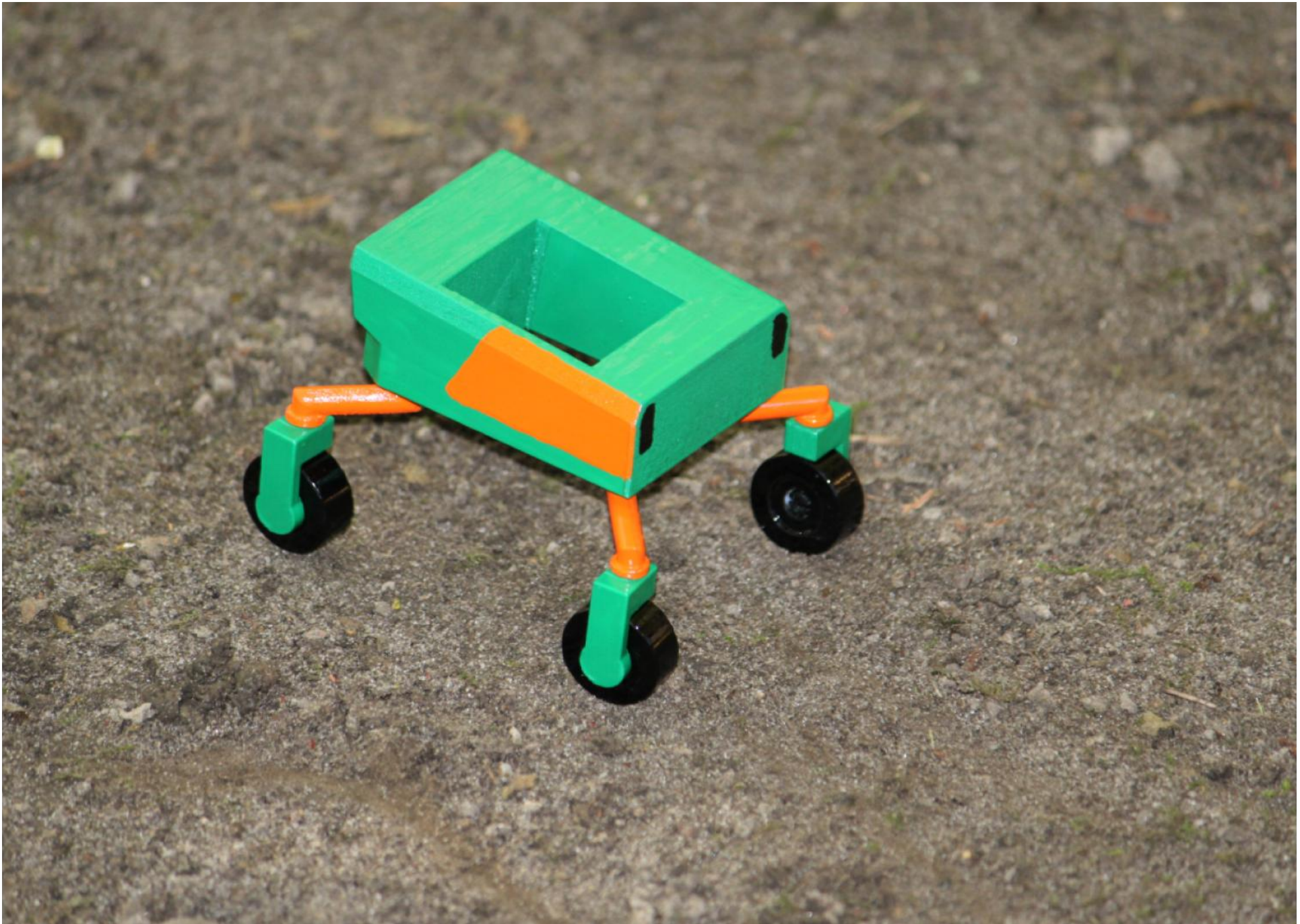
*Kann doch alles nicht so schwer sein ... !?*

## Schlüsseltechnologien: Sensorik – Simulation - Feldrobotik

*xxs Agriculture – die wollen doch nur spielen ?*

## Blick in die Zukunft – Schlüsseltechnologien treffen Prozesse

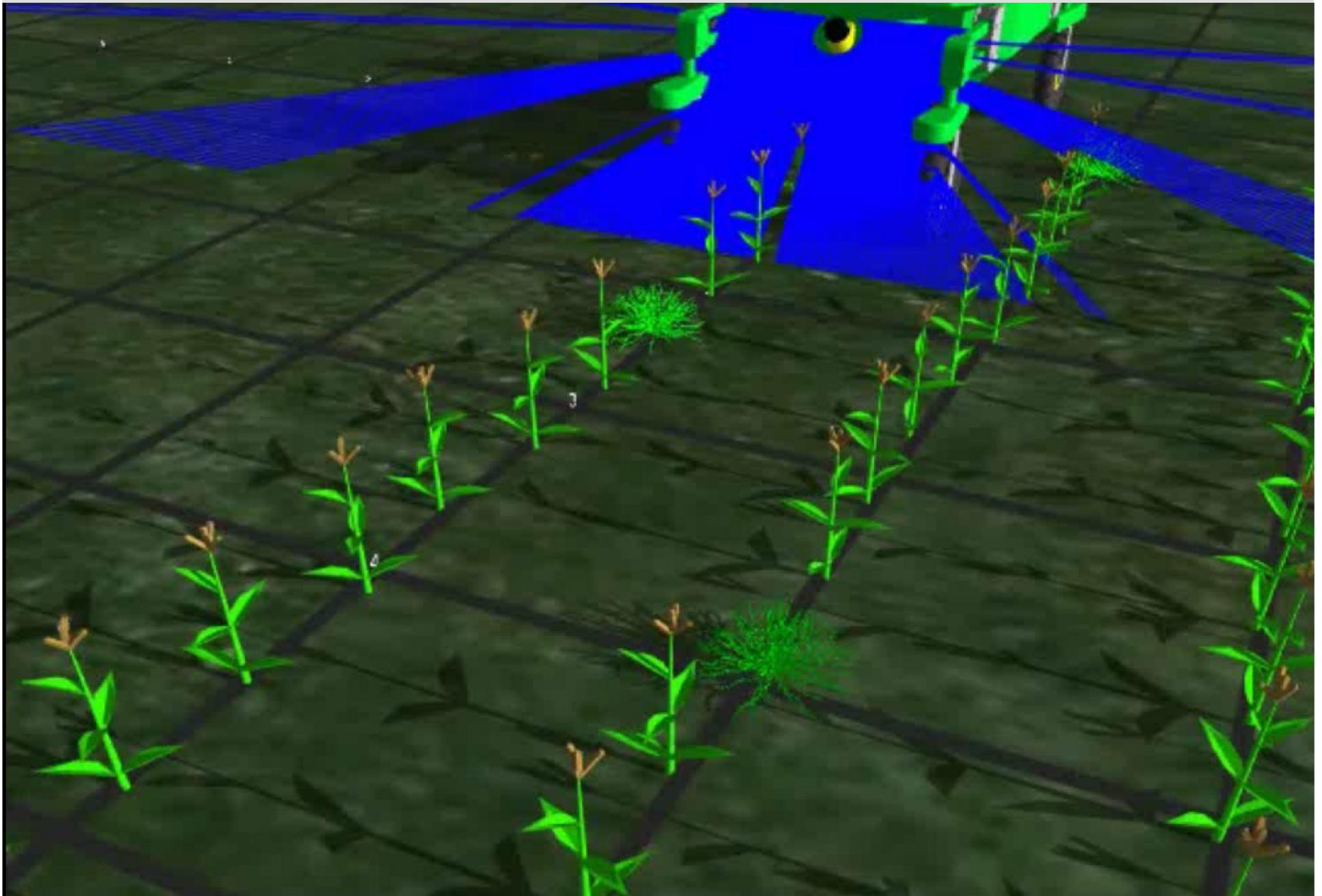
*Einzelpflanzenlandwirtschaft , Remote Farming , ... ?*







# Simulation

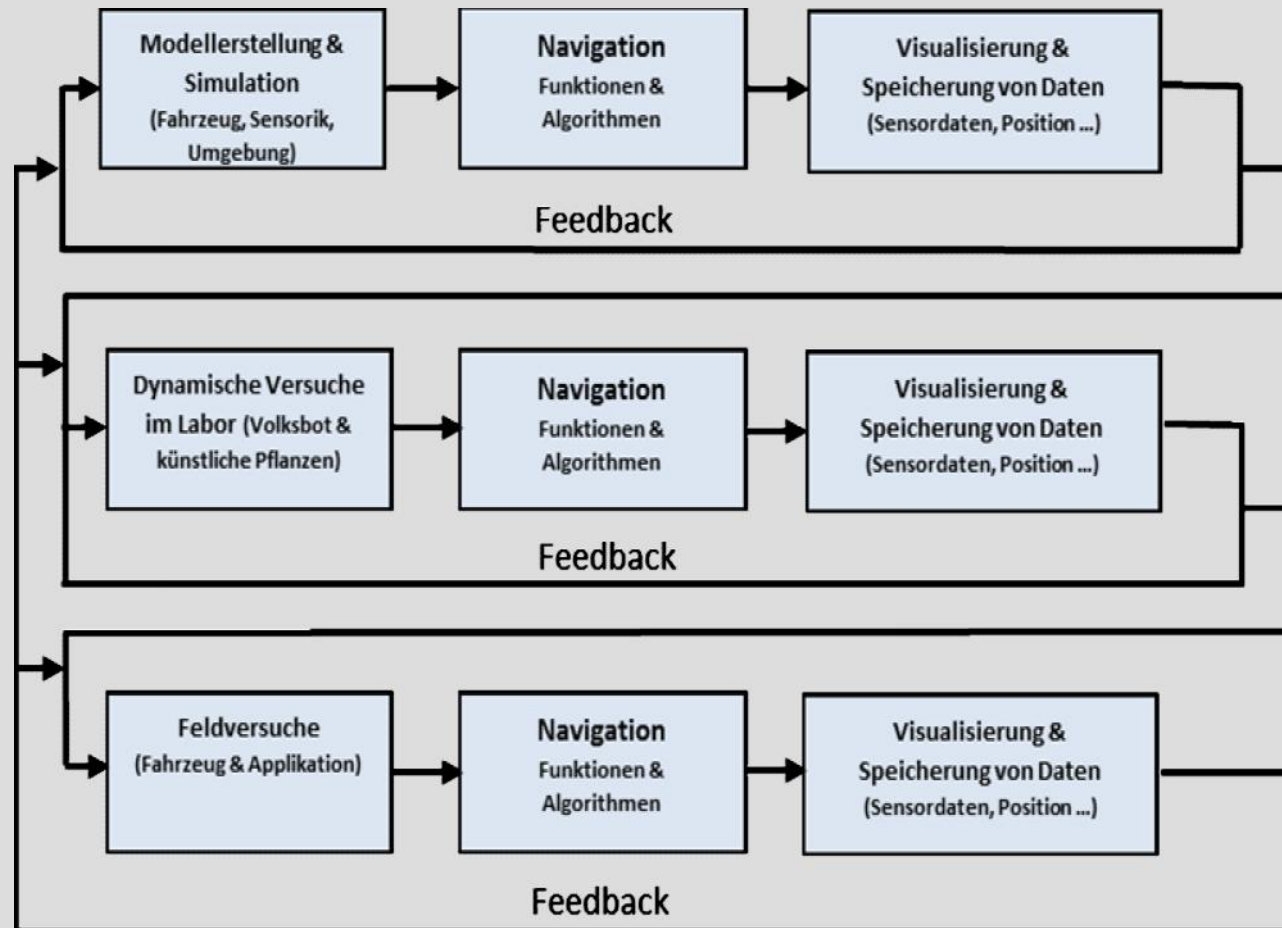




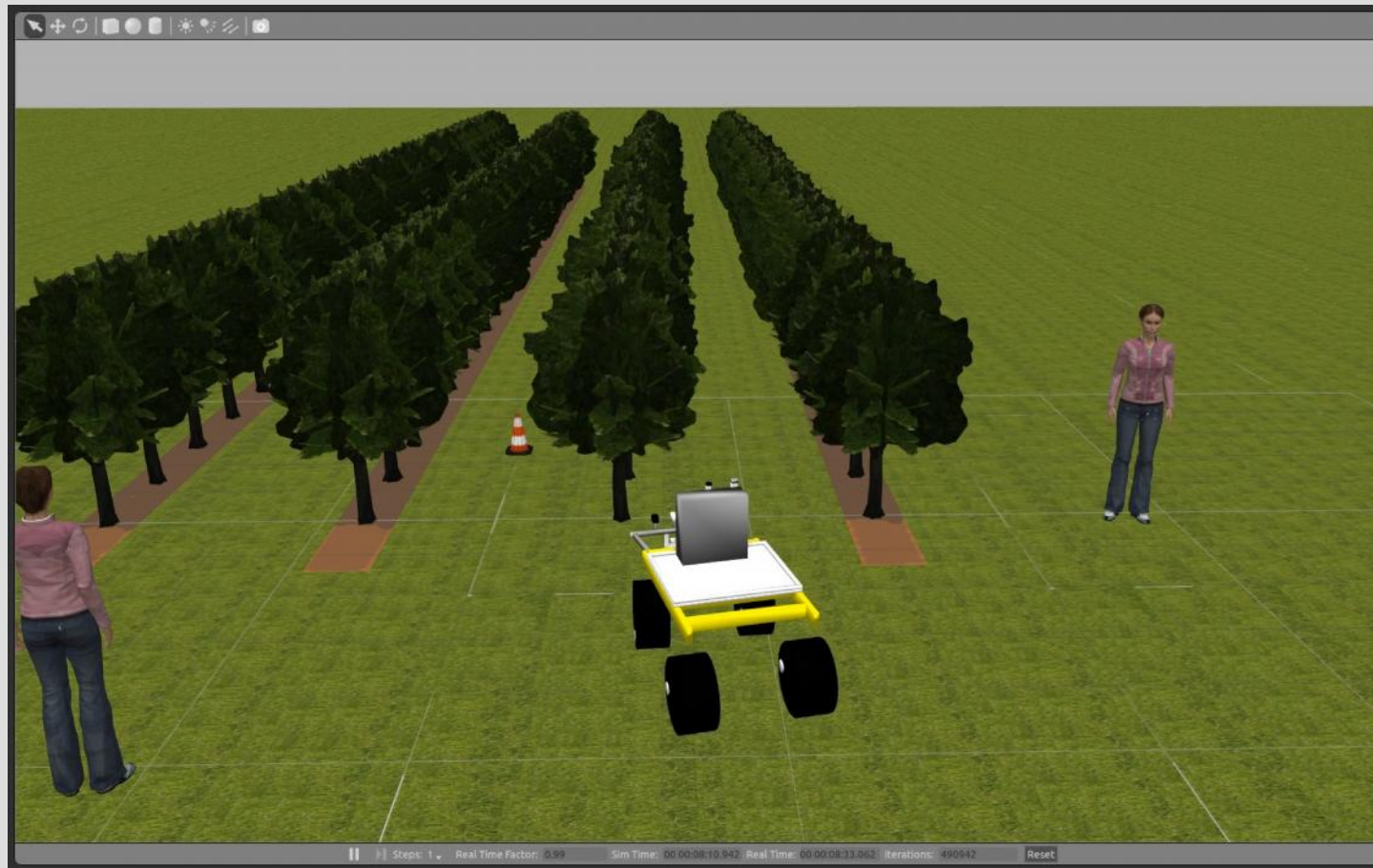
# Teststände



# Nature in the loop ...



# Simulation



Projekt: eIWObot/BMEL-BLE; Andreas Linz/HS Os





# Simulation „ist“ Realität

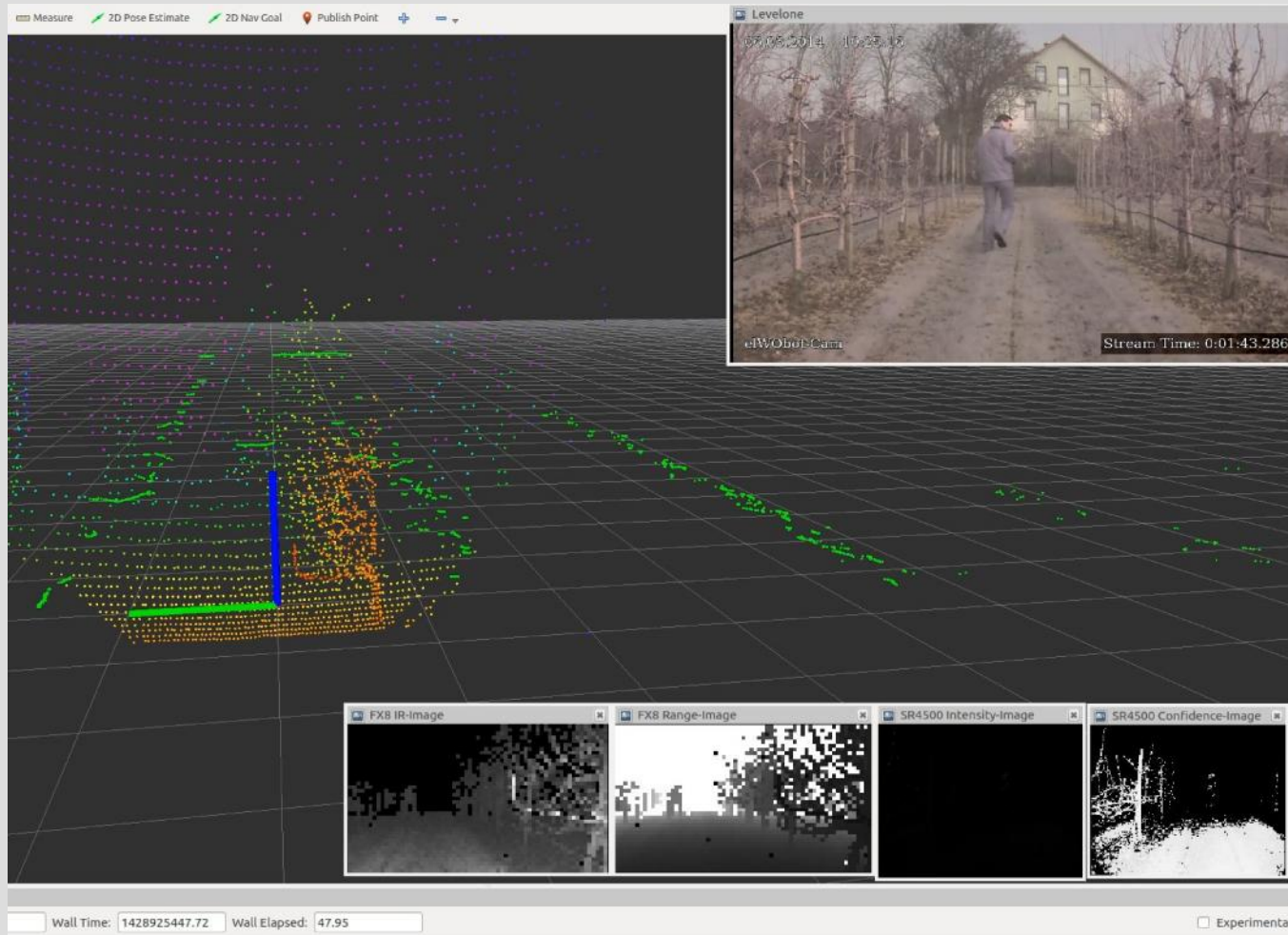


Autonomer Feldroboter Cäsar (Raussendorf, Projekt eIWObot)





# Realität für die Simulation



# Übersicht

---

## Von Pflanzen und Sensoren draußen auf dem Feld

*Kann doch alles nicht so schwer sein ... !?*

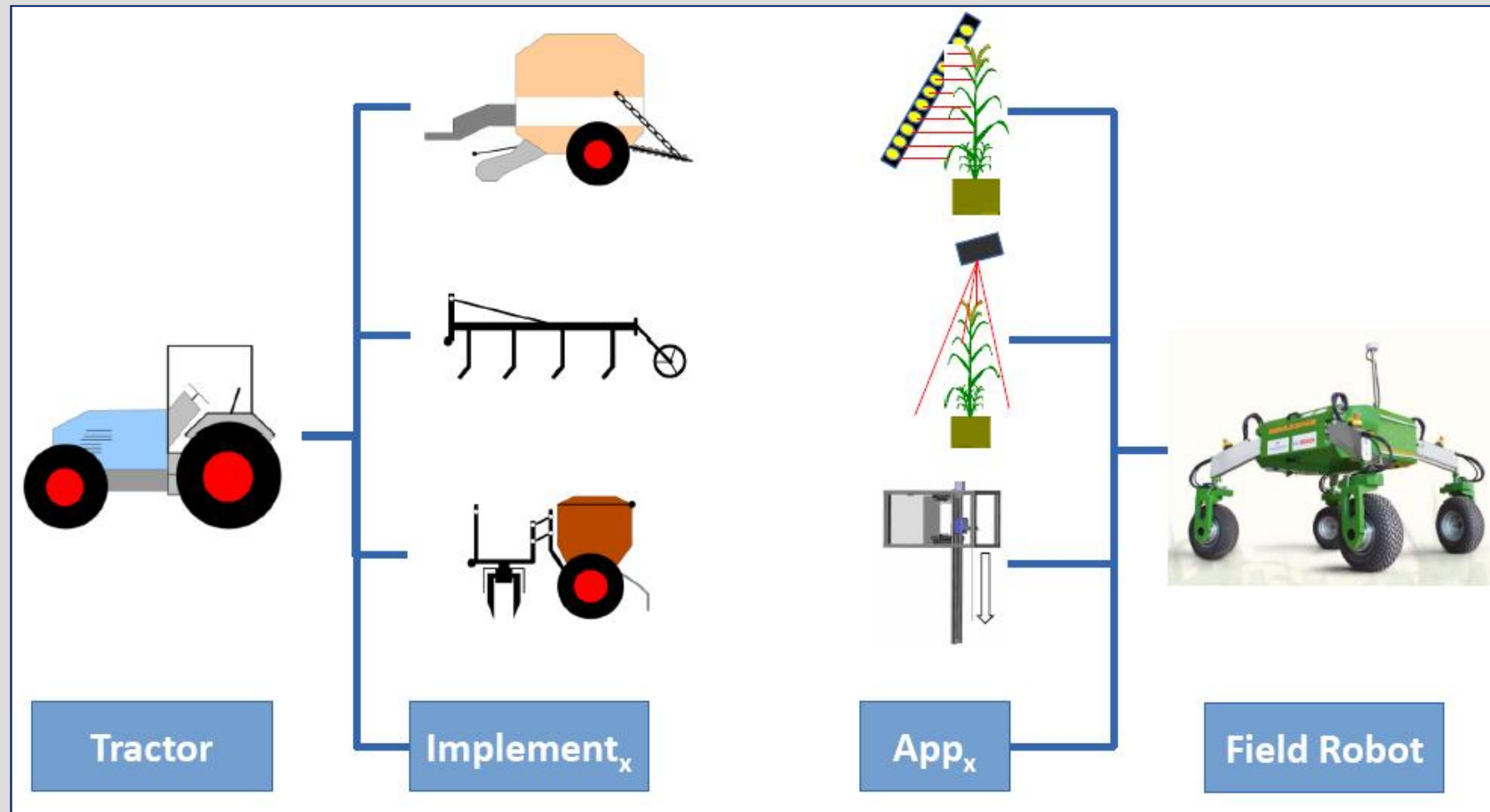
## Schlüsseltechnologien: Sensorik – Simulation - Feldrobotik

*xxs Agriculture – die wollen doch nur spielen ?*

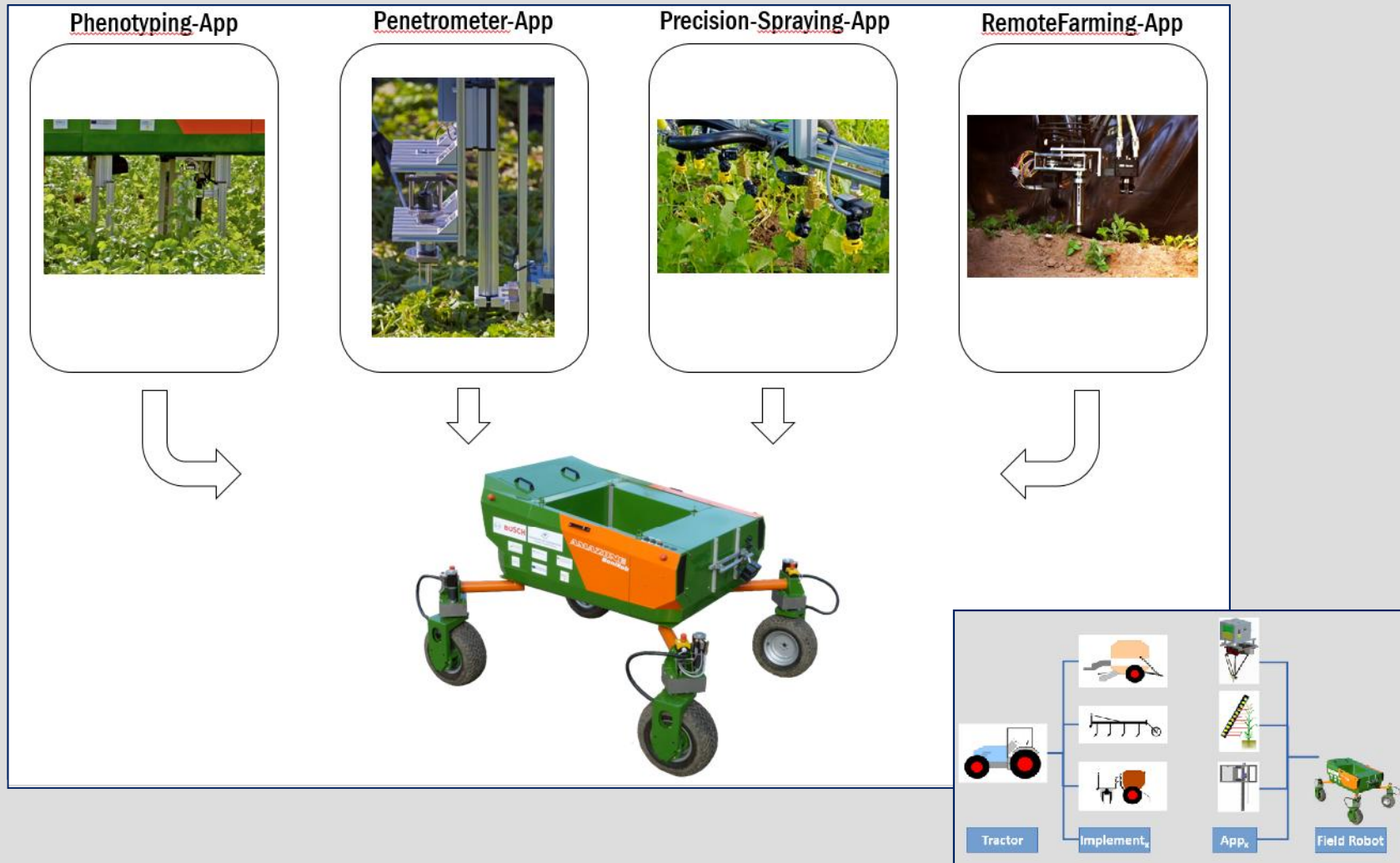
## Blick in die Zukunft – Schlüsseltechnologien treffen Prozesse

*Einzelpflanzenlandwirtschaft , Remote Farming , ... ?*

# Traktor-Anbaugerät - Field Robot-App



# „App-Konzept“ zur Feldrobotik





# BoniRob - autonomous field robot platform



# Historie – Agritechnica (Beispiel: BoniRob)



2007

2009

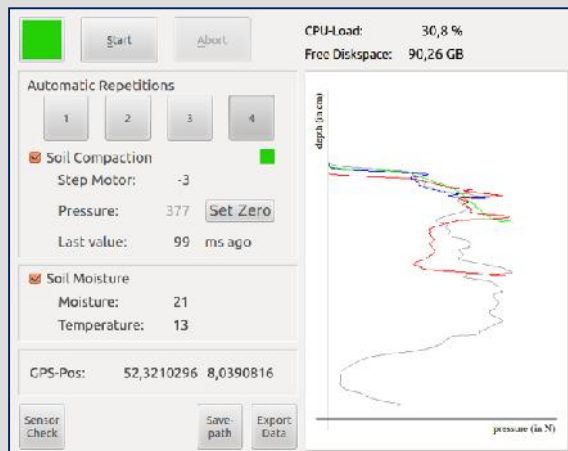
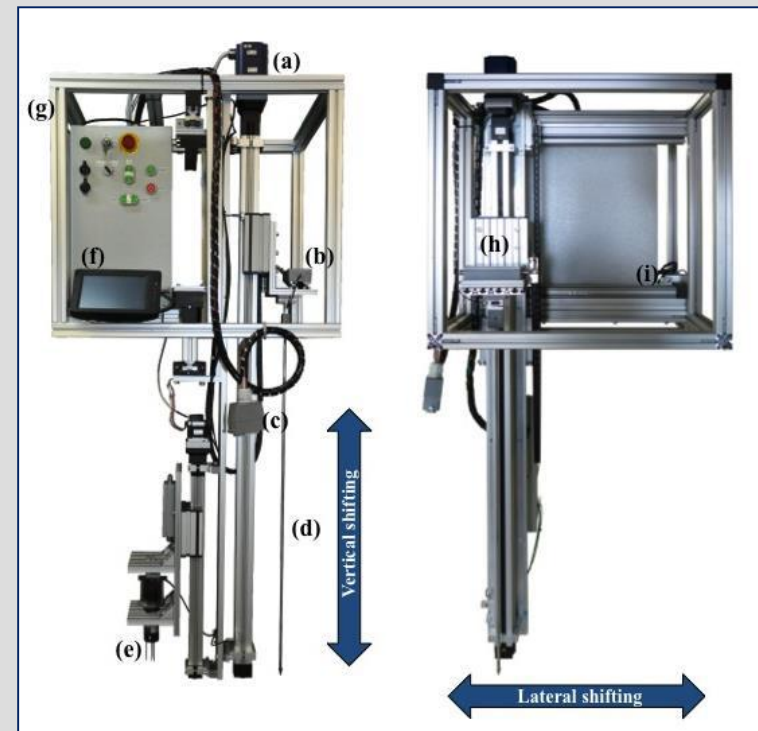
2011

2013

2015



# Applikation: "Soil Scout"

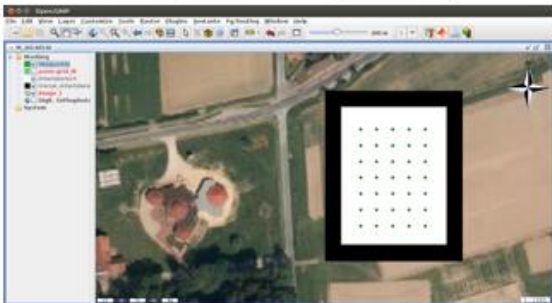


# Applikation: "Soil Scout"

1. Choice part of the field for measurement

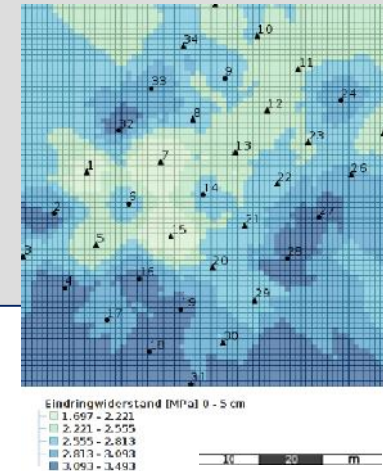


2. Field planning in OpenJump



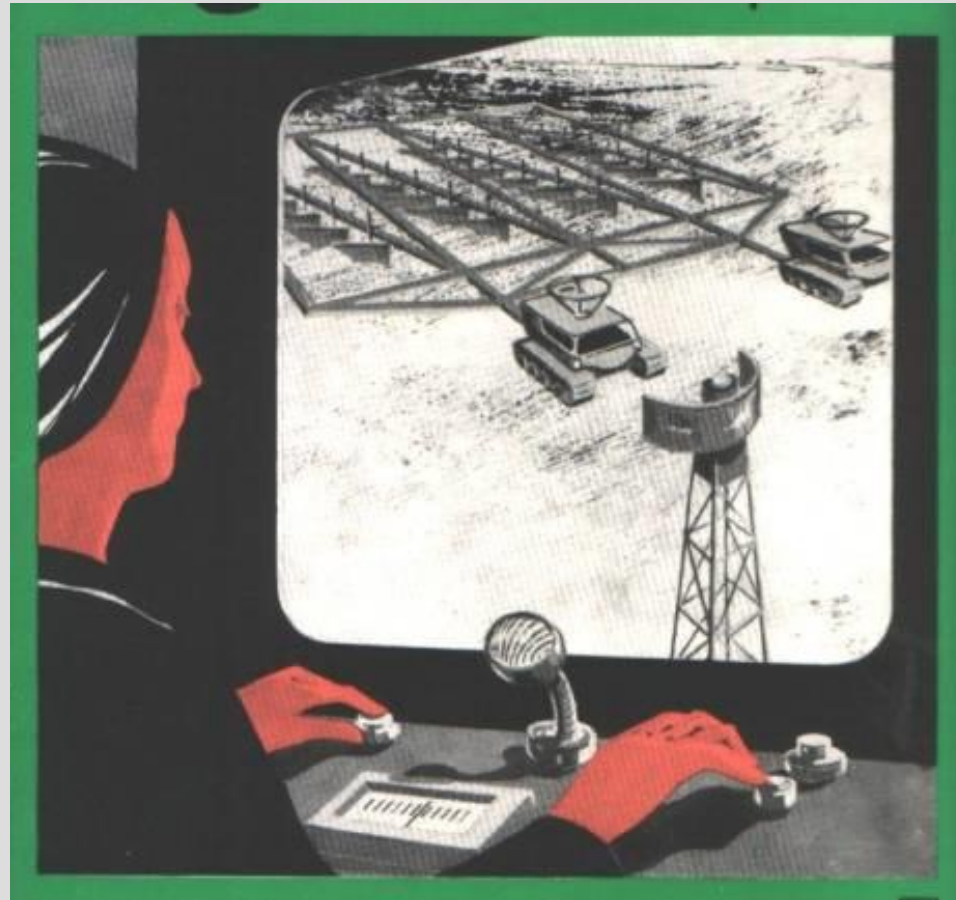
3. Transfer map to BoniRob

4. Analysis of the data





# “Remote Farming“



Quelle: Gerhard Holzapfel /1975 (Dank@Oliver Hensel )

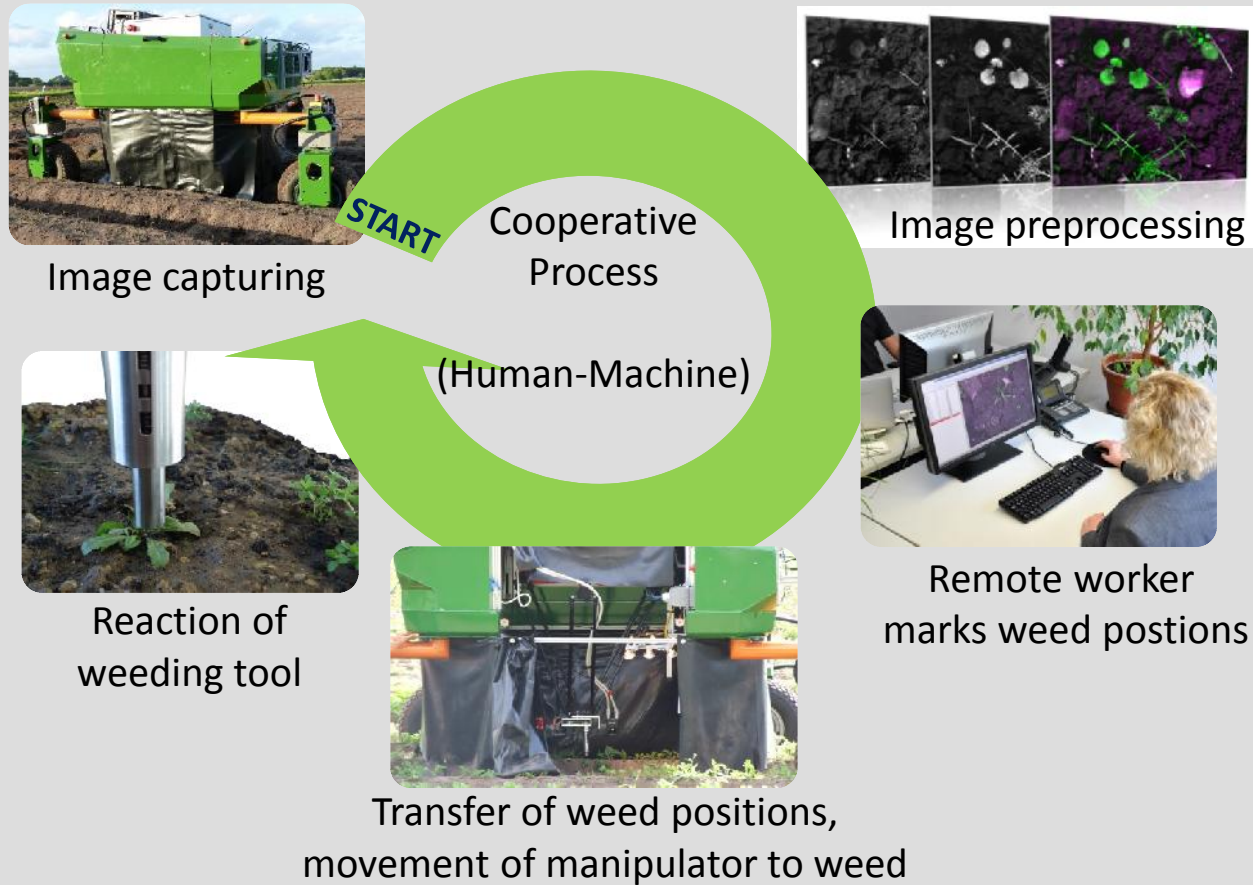
# Stand der Technik – Mechanische Beikrautregulierung Möhren



(ca. 100-400 h/ha)

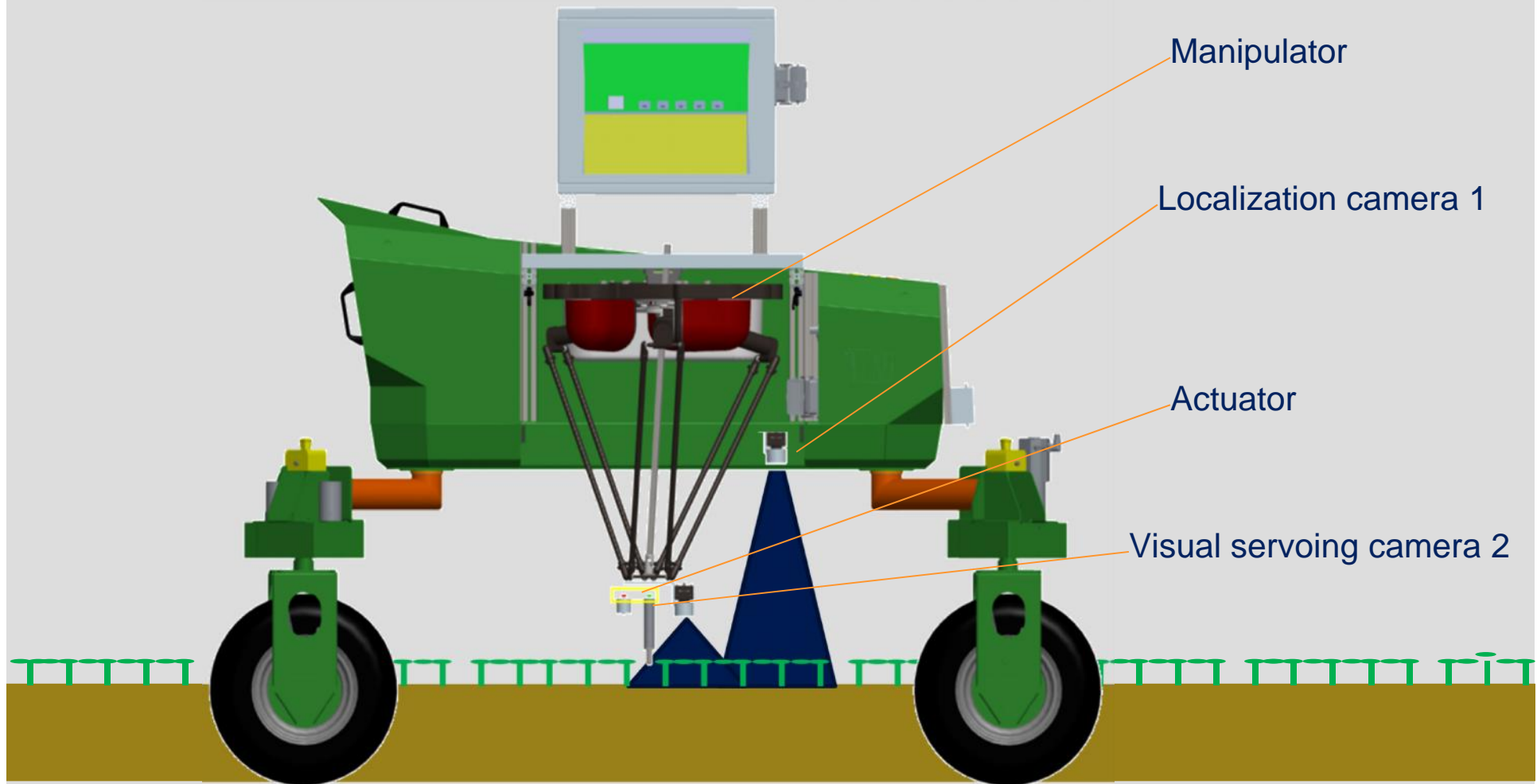


# Prozessablauf: RemoteFarming.1





# Systemintegration: Manipulator (Roboterarm) mit Aktor



# Remote Farming.1

Web-based interactive crop farming at the example of robotic weed control in vegetables





A photograph of a cornfield with young green plants growing in sandy soil. A speech bubble is overlaid on the image, and a name tag is placed near one of the plants.

Hey Joe,

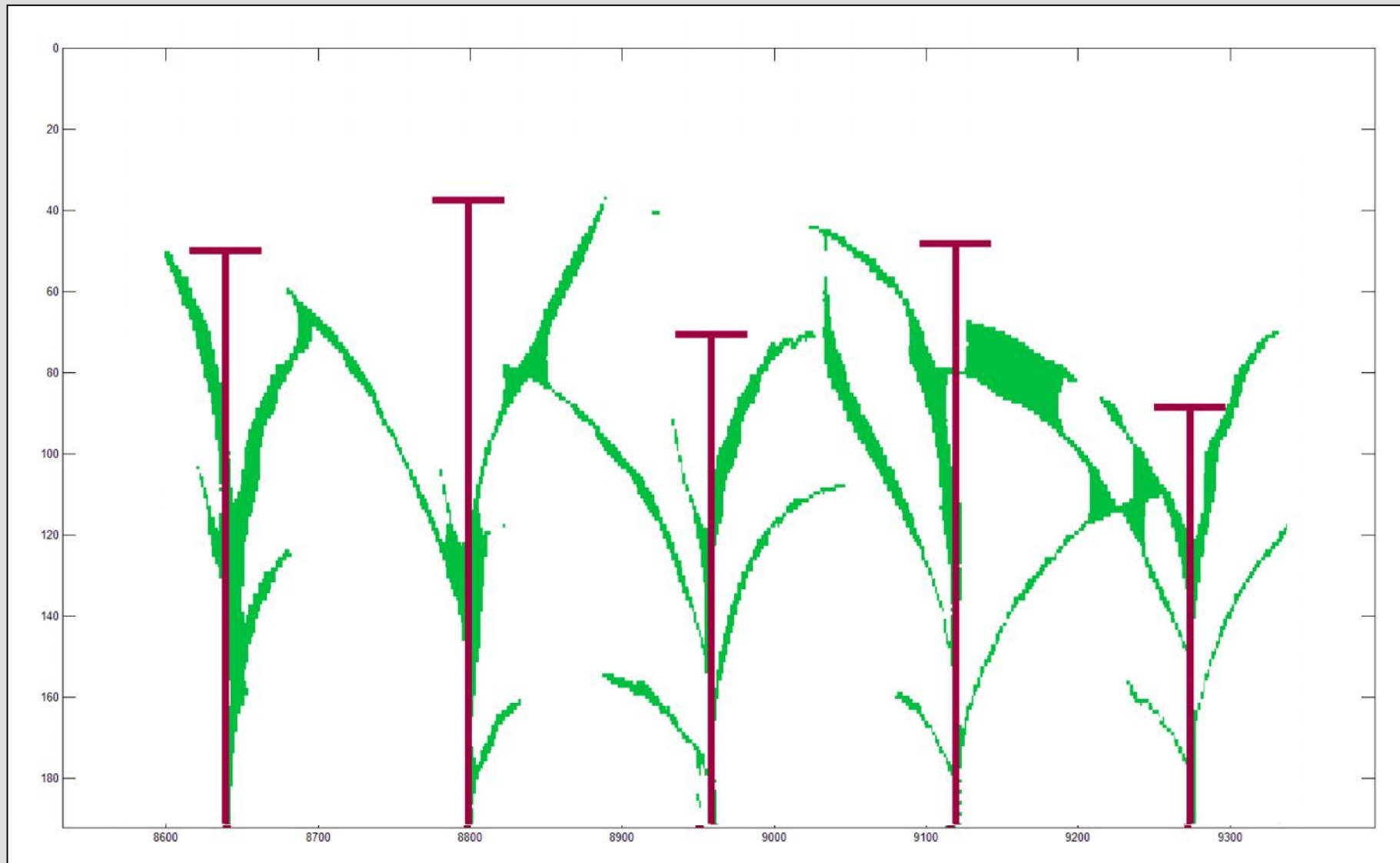
du siehst besser aus als  
letzte Woche. Auch bist du 2  
Zentimeter gewachsen.

Bis nächste Woche !

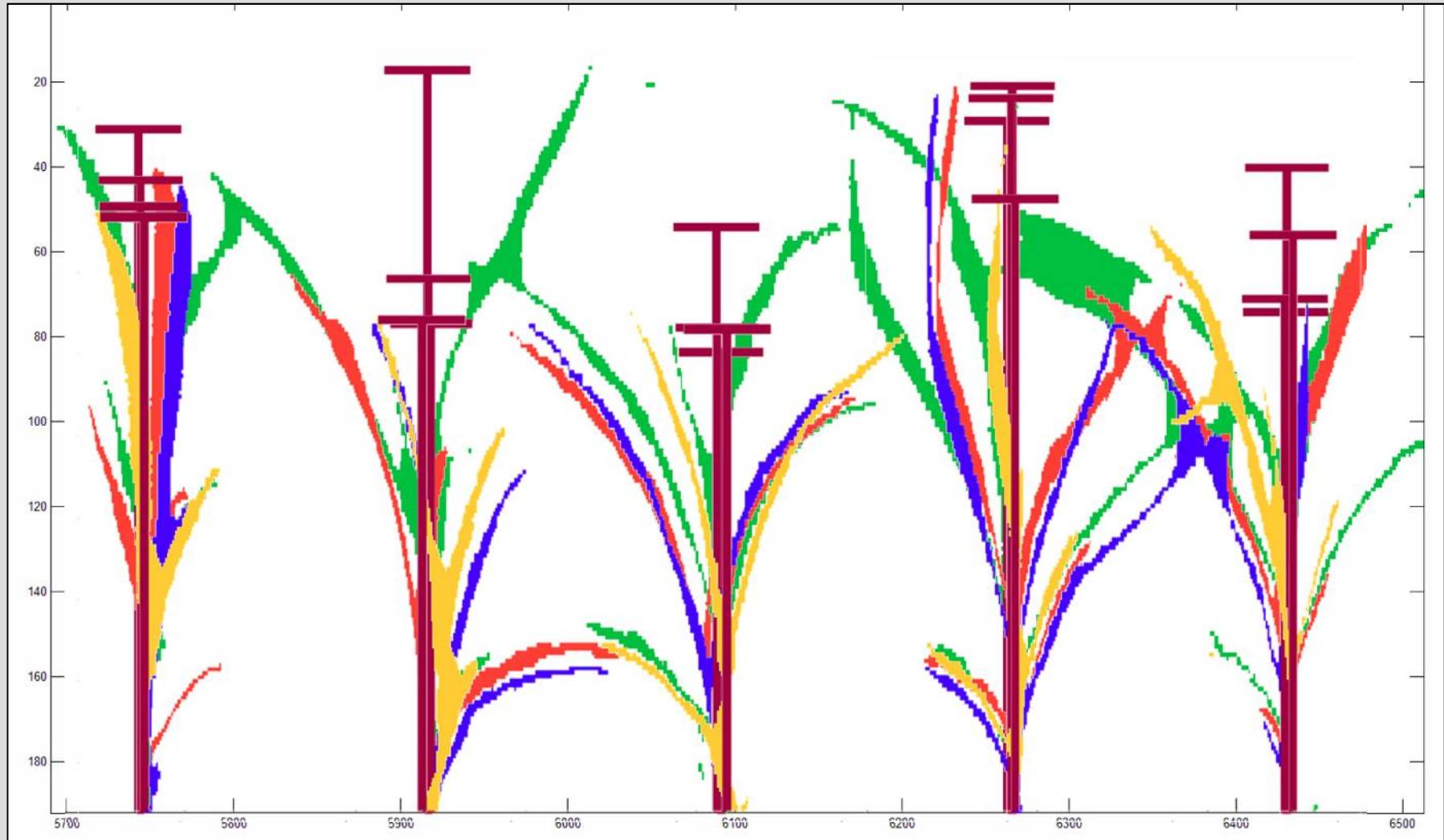
Joe



# Individual plant phenotyping



# Individual plant phenotyping



# BoniRob-Applikationsbeispiel: Feldphänotypisierung von Einzelpflanzen

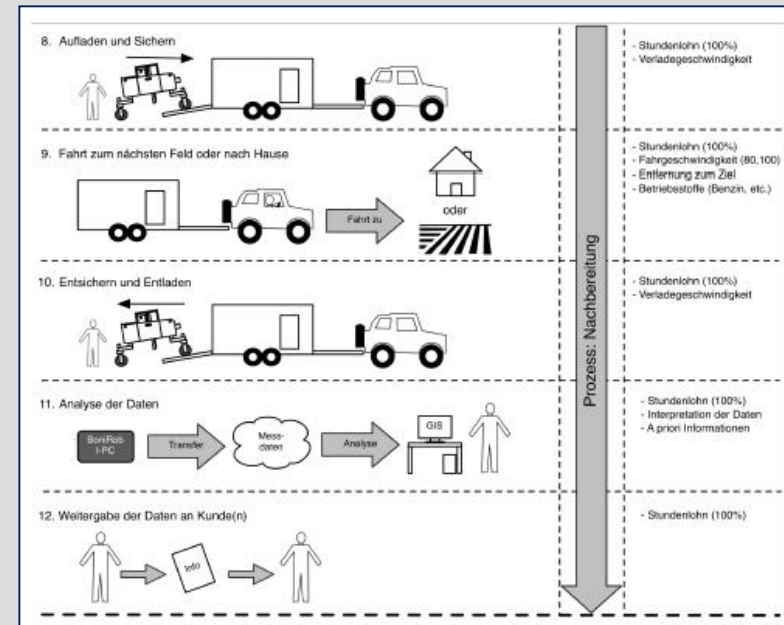
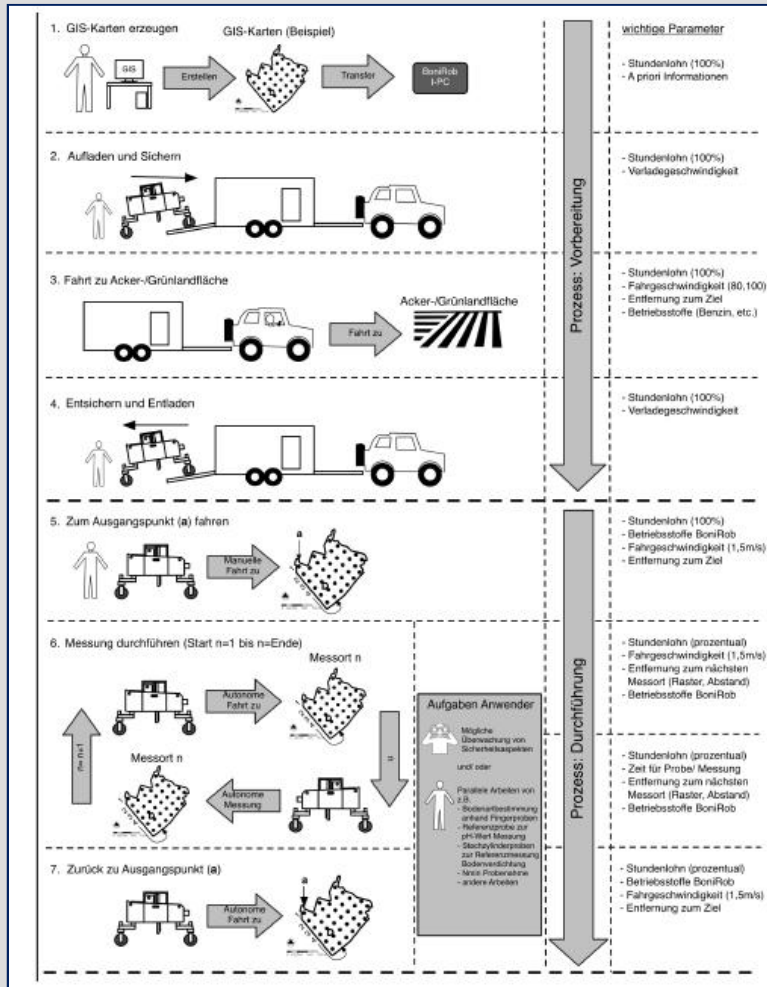
The screenshot displays the OpenJump GIS application interface for field phenotyping. The main window shows a 3D visualization of a field with plant height and moisture data. The left sidebar lists plant rows and individual plants. A histogram window shows the distribution of plant heights. A Spearman's Rho correlation table is displayed at the bottom right, showing correlations between various plant parameters.

	HOEHE	BREITE	ABSTAND	FLAECHE	STENG...	STENG...	BLAETTER	BLAET...
HOEHE	1.0	0.5453	0.008564	0.8507	0.3481	0.25	0.5003	0.4218
BREITE	0.5453	1.0	-0.0864	0.8121	0.5438	0.04394	0.5001	0.6974
ABSTAND	0.008564	-0.0864	1.0	-0.112	0.1292	0.266	0.5001	0.0698
FLAECHE	0.8507	0.8121	-0.112	1.0	0.5237	0.1136	0.5006	0.6821
FLAECHEOBER	0.3481	0.5438	0.1292	0.5237	1.0	-0.0471	0.5004	0.5205
STENGBREITE LG0.25	0.25	0.04394	0.266	0.1136	-0.0471	1.0	0.5104	-0.02563
STENGBREITE	0.5003	0.5001	0.5001	0.5006	0.5104	0.5104	1.0	0.5199
BLAETTER	0.4218	0.6974	0.0698	0.6821	0.5205	-0.02563	0.5199	1.0
BLAETTER 3D	0.5003	0.5001	0.5001	0.5006	0.5104	0.5104	0.5199	0.5199

OpenJump (GIS)



# Robots@Landtechnik: Gesamtprozess/Human-Robot-Logistik



Wirtschaftlichkeit zur Feldroboter-basierte Bodenparameter-Bestimmung (Christian Scholz, Masterarbeit HS Os, Mai 2015)

# Robots@Landtechnik: Gesamtprozess/Human-Robot-Logistik



Quelle: Deepfield Robics (Bosch Startup)





