Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research

Leibniz Centre for
Agricultural
Landscape Research

Entwicklung von Landnutzungssystemen – Vergangenheit, Heute und Zukunft

Prof. Dr. Sonoko Bellingrath-Kimura

Datum: 16.6.2026

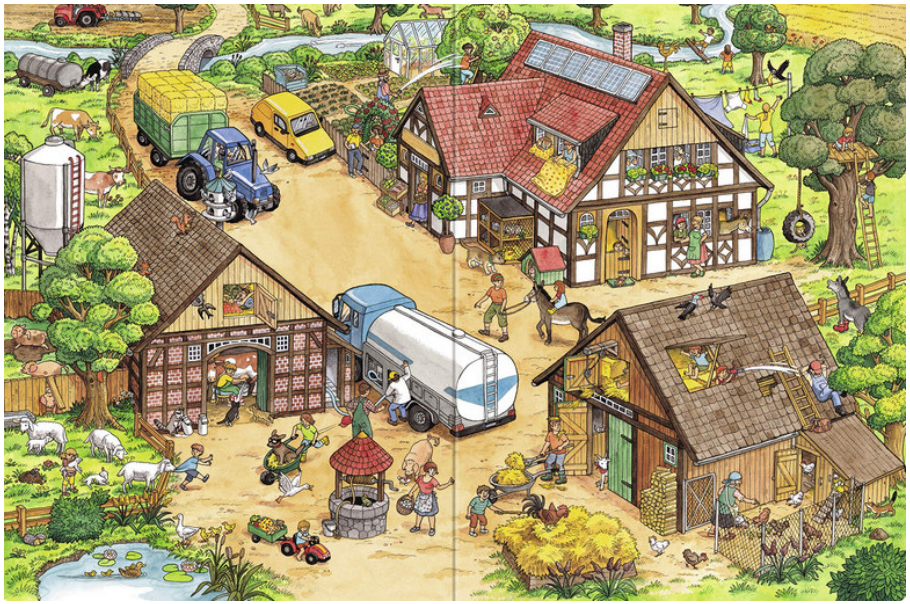
Humboldt University of Berlin

Content

1. Entwicklung von Landnutzungssystemen
2. Transformation von Agrarsystemen
3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung
4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools

1. Entwicklung von Landnutzungssystemen

Image of Agriculture

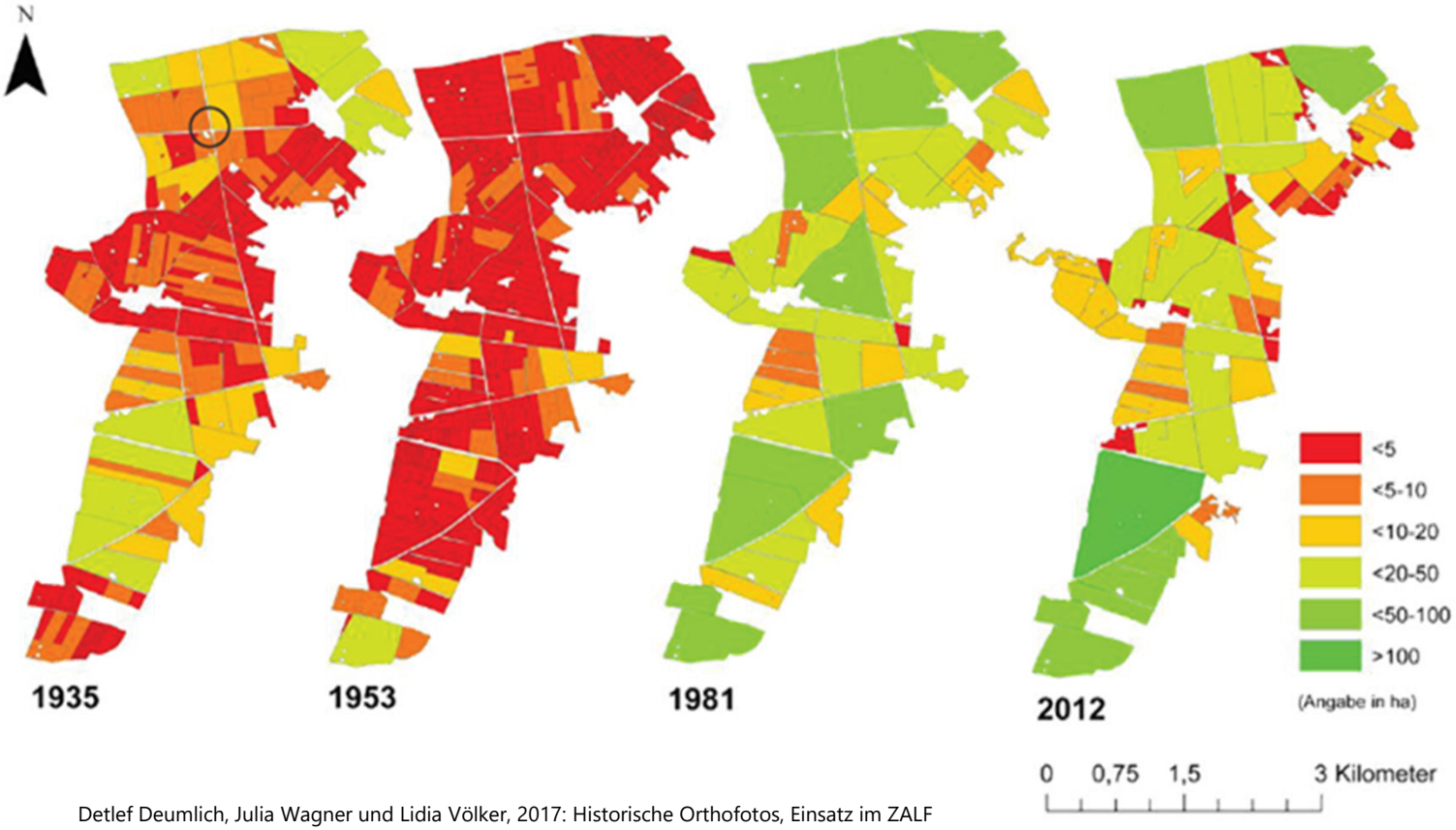


„Mein Bauernhof“ Pappbilderbuch

Modern Agriculture

https://www.hof-schmidt-geel.de/

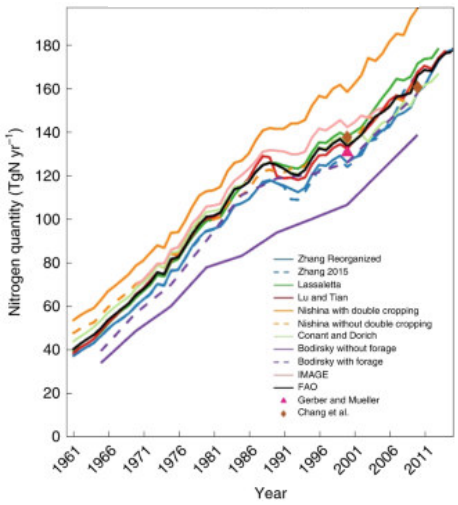
1. Entwicklung von Landnutzungssystemen



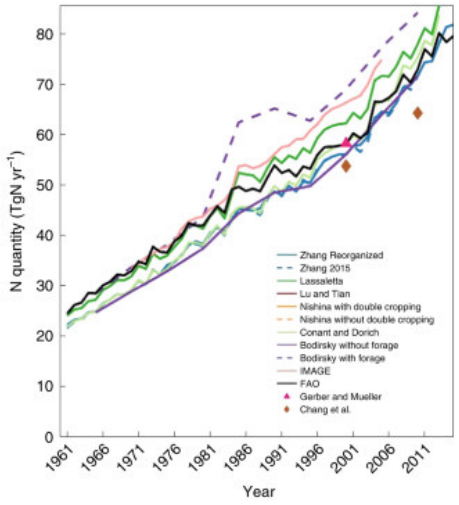
Detlef Deumlich, Julia Wagner und Lidia Völker, 2017: Historische Orthofotos, Einsatz im ZALF

1. Entwicklung von Landnutzungssystemen

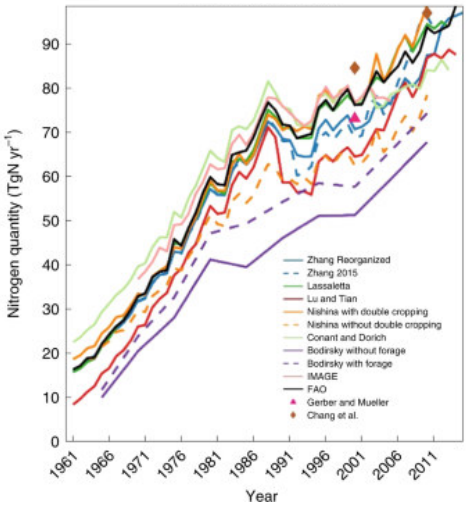
Global nitrogen Input



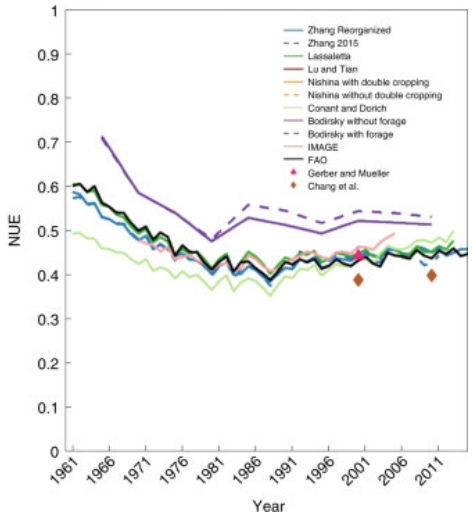
Global harvested crop product



Global nitrogen surplus

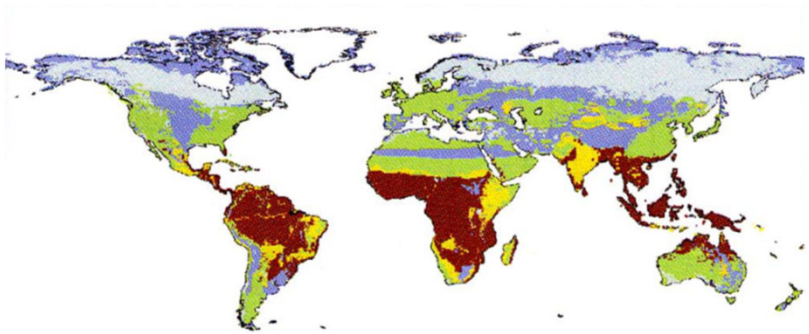


Global nitrogen use efficiency



(Zhang et al. 2021 Nature Food : https://www.nature.com/articles/s43016-021-00318-5)

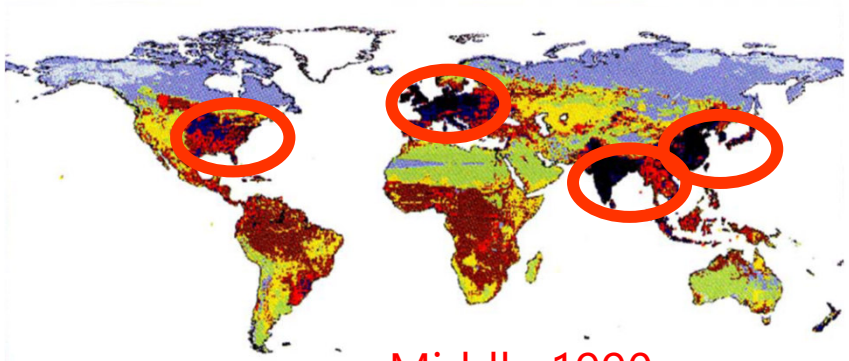
1. Entwicklung von Landnutzungssystemen



Before Industrial Revolution

Reactive N (kgN ha^{-1})

- <2
- 2- 5
- 5-10
- 10-15
- 15-20
- 20-30
- 30-50
- >50
- No data

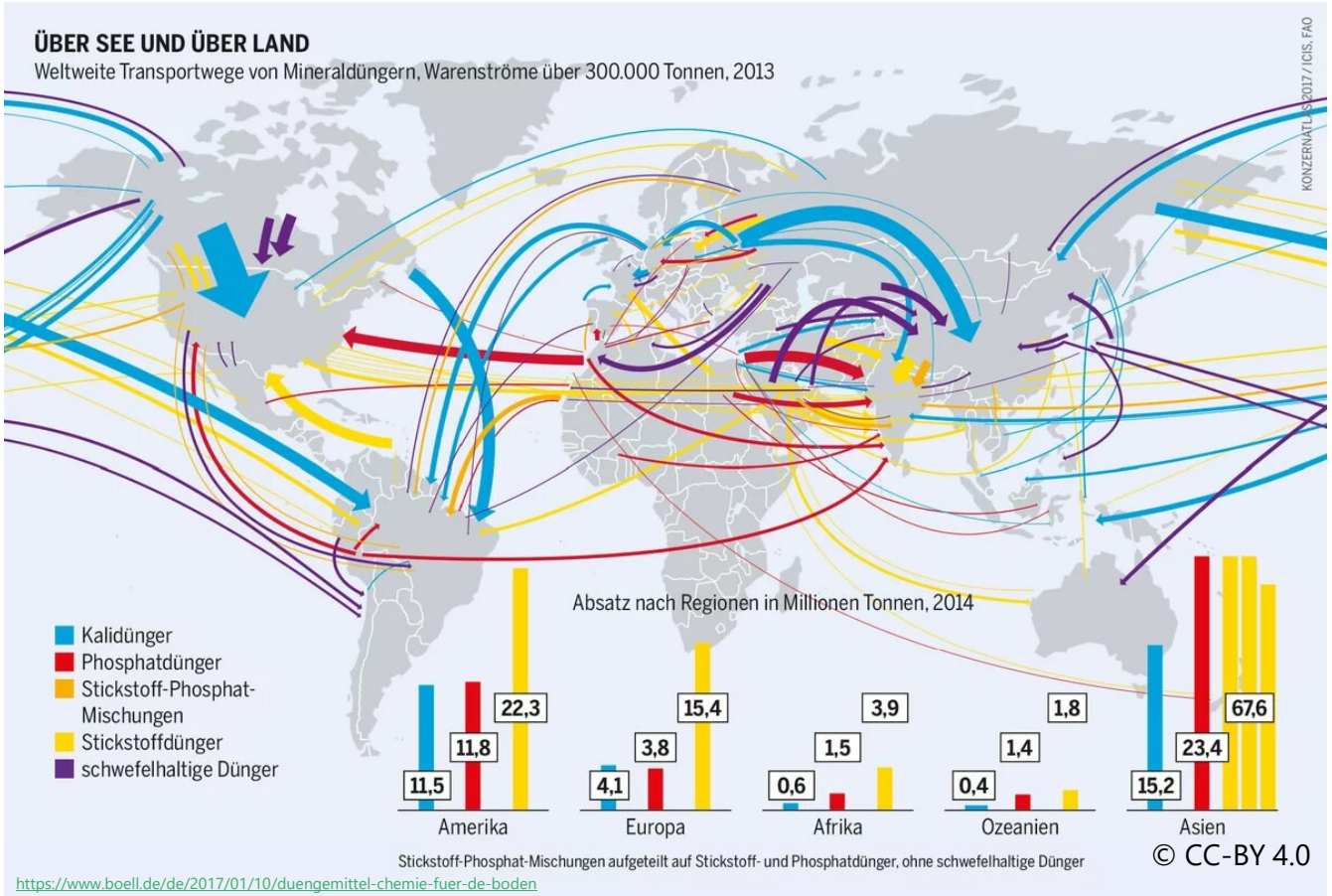


Middle 1990

Reactive N: Biological, Chemical and Physical reaction

(Green et al. 2004)

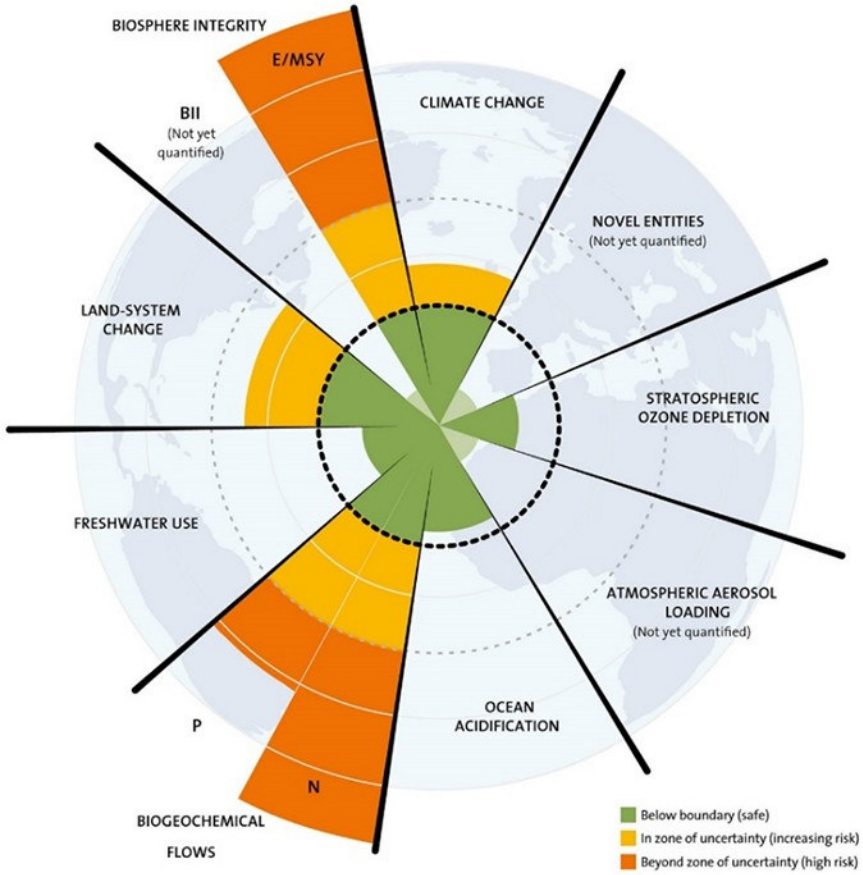
1. Entwicklung von Landnutzungssystemen



© CC-BY 4.0

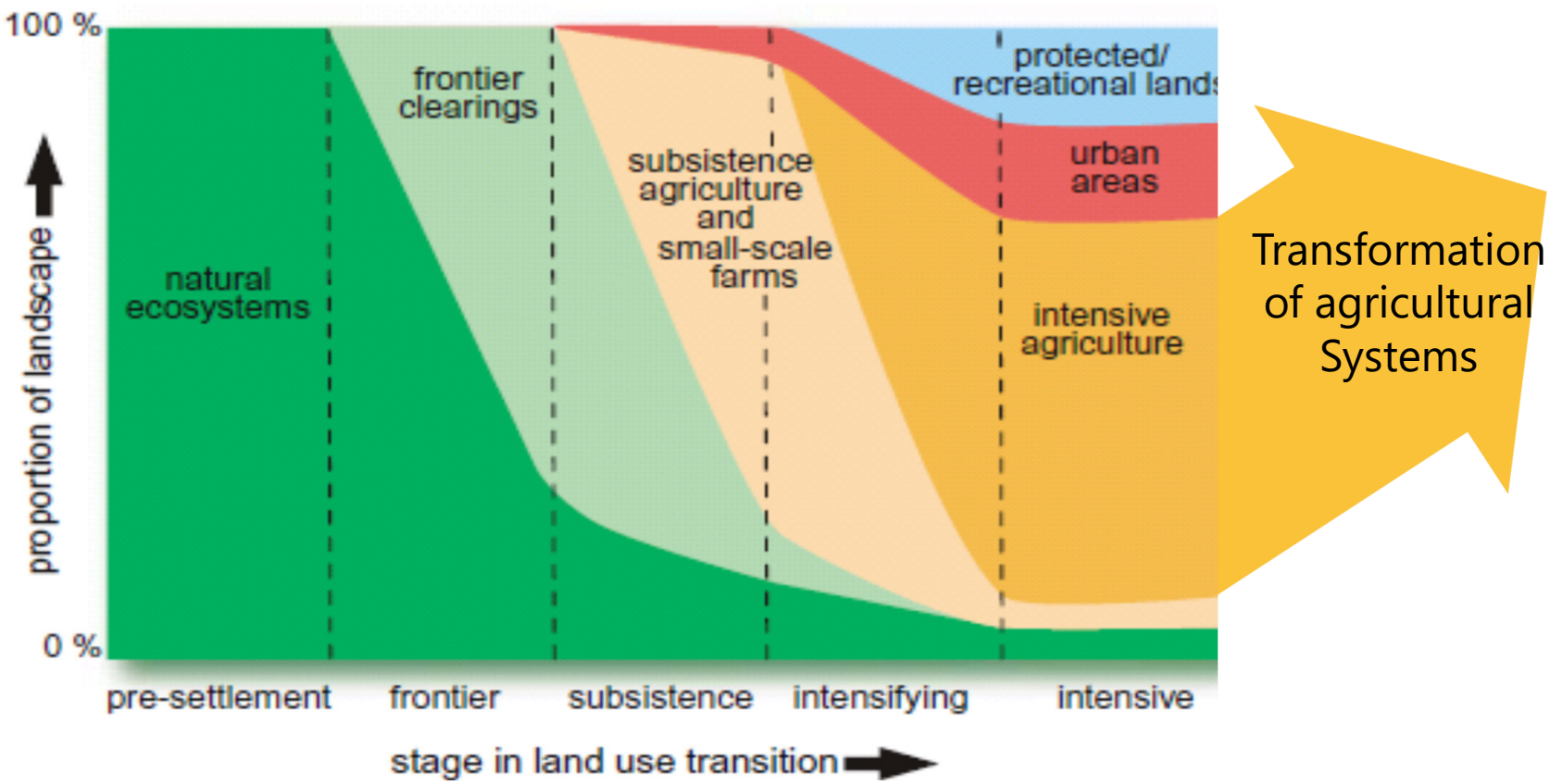
https://www.boell.de/de/2017/01/10/duengemittel-chemie-fuer-de-boden

1. Entwicklung von Landnutzungssystemen



(Whitmee et al. 2015, Lancet)

1. Entwicklung von Landnutzungssystemen



Transformation of agricultural Systems

(Foyer et al. 2009)

2. Transformation??

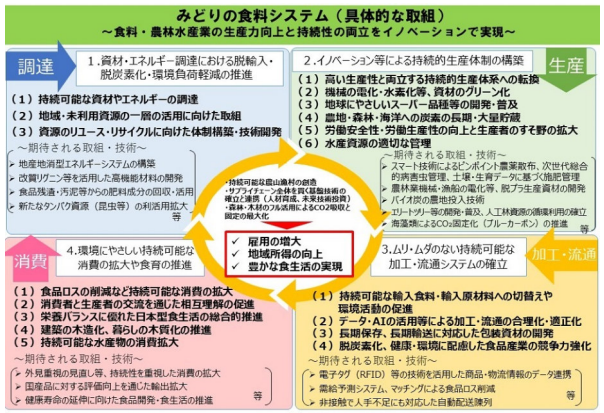
©Paramount/Courtesy Everett Collection / Everett Collection

2. Transformation??

Clear Goal & Fundamentally Different

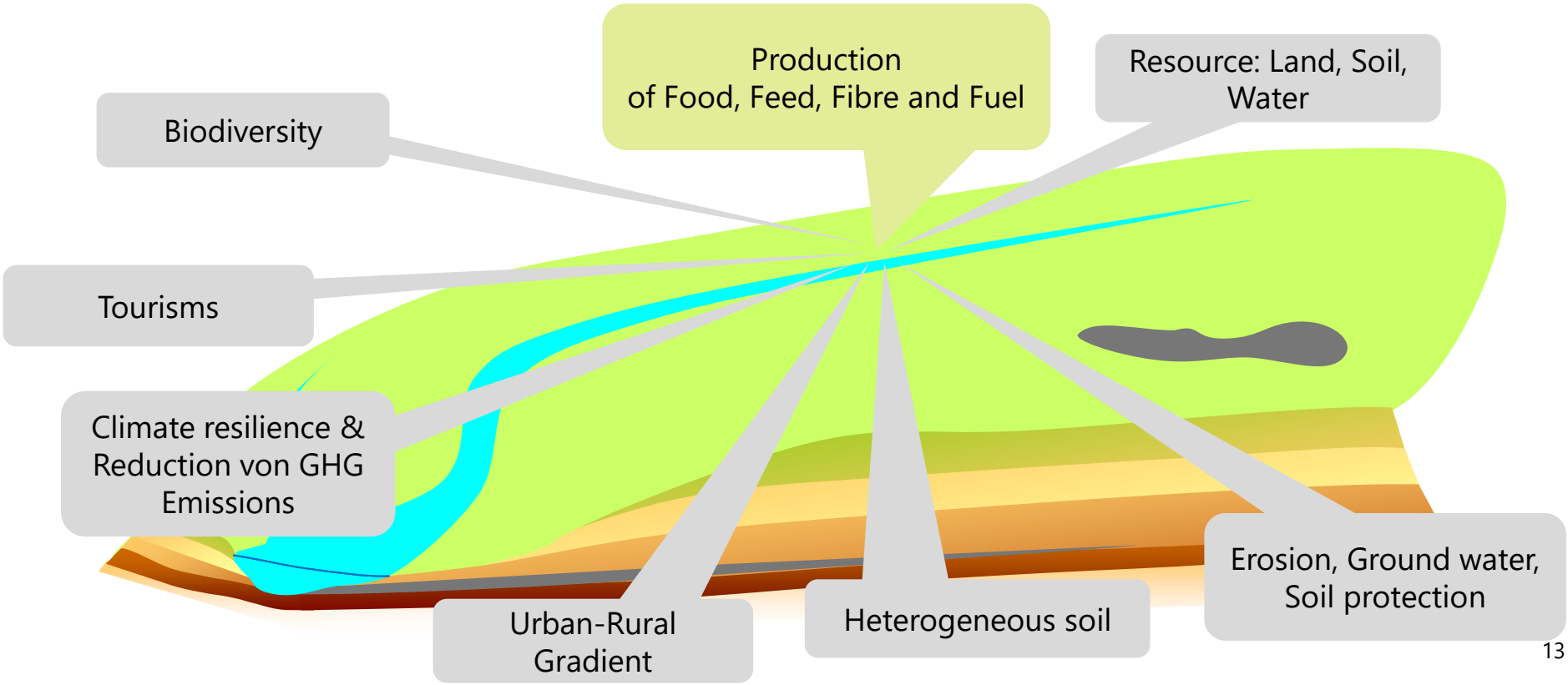
2. Transformation von Agrarsystemen

BMBF Zukunftsstrategie Forschung und Innovation

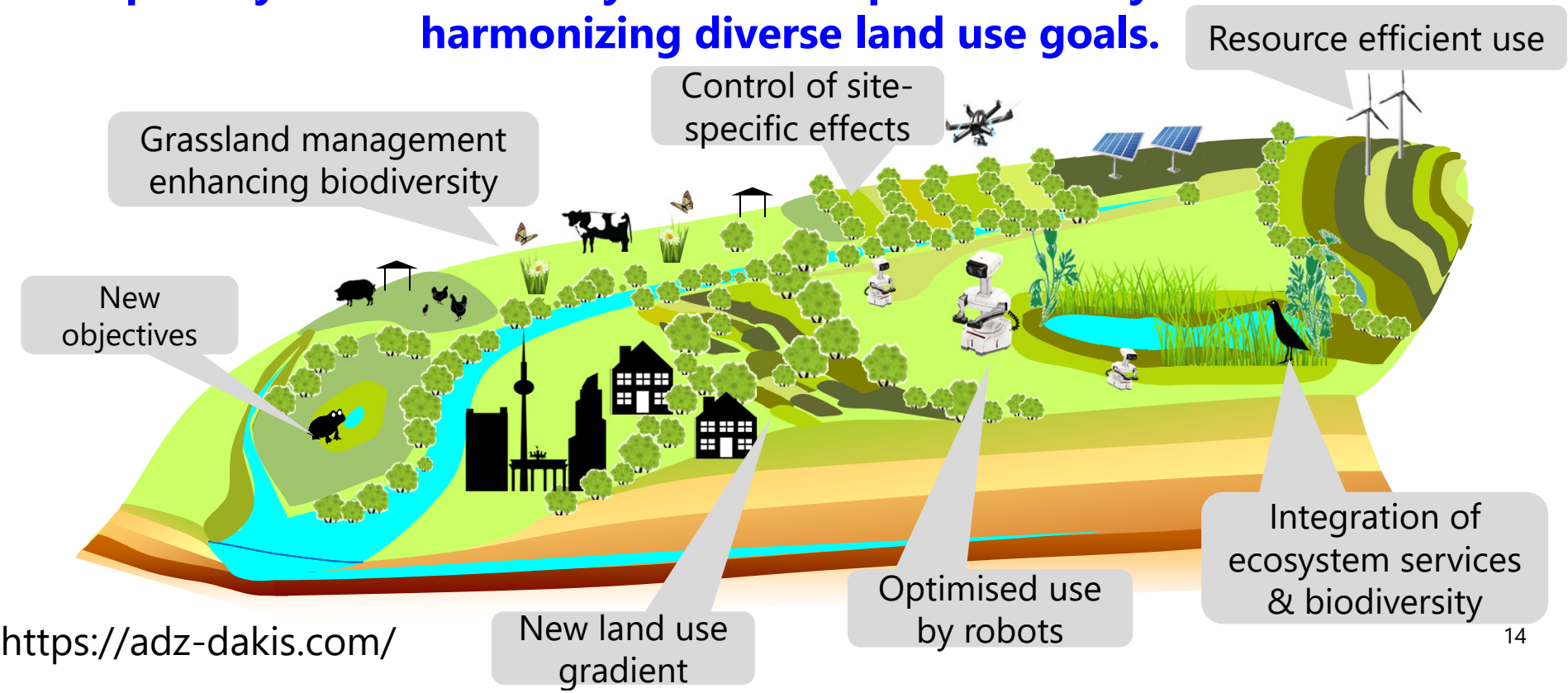


MAFF. Green food system strategy

2. Transformation von Agrarsystemen



Spatially and functionally diversified production systems will allow harmonizing diverse land use goals.



https://adz-dakis.com/

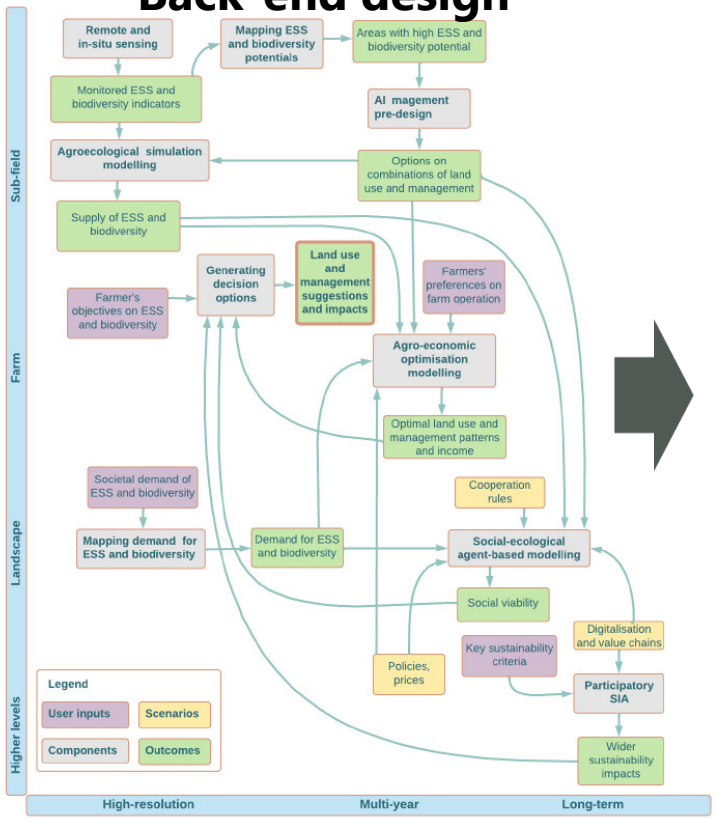
2. Transformation von Agrarsystemen

https://agrarsysteme-der-zukunft.de/

3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung

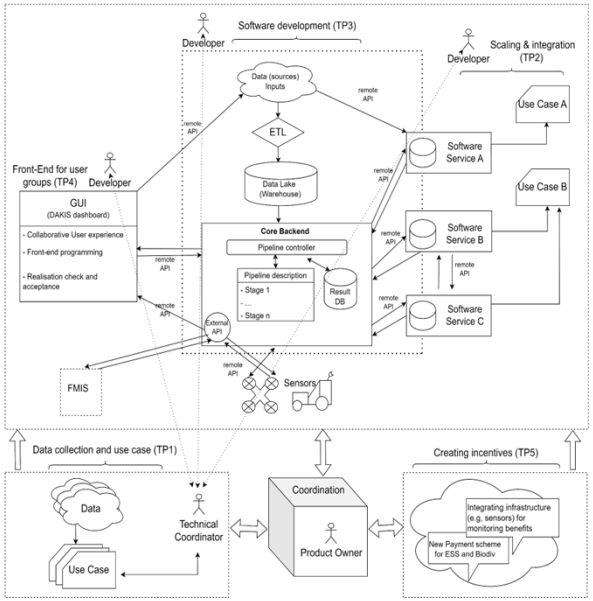
Concept phase : 9.2017- 2.2018
DAKIS : 5.2019-12.2024
DAKIS 2.0 : 1.2025- 12.2028

Back-end design



(Mouratiadou et al. 2023, Environ. Sci. & Ecotech.)

Pipeline approach in DAKIS 2.0

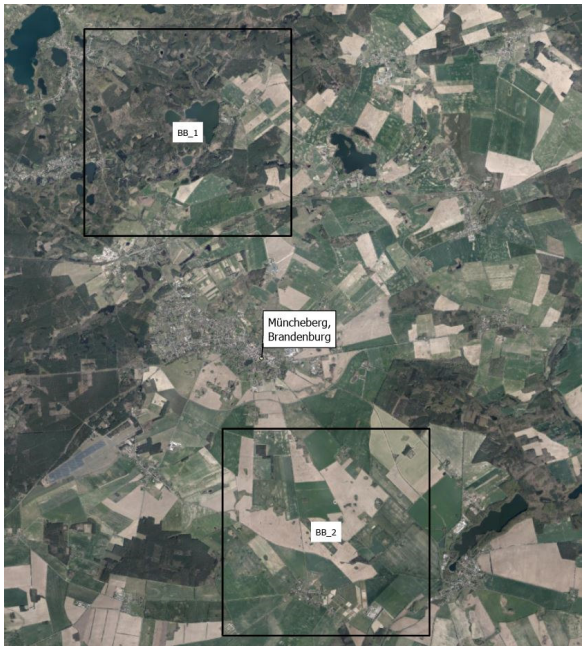


Simple Front End

Decision support for agricultural landscape (multiple criteria)

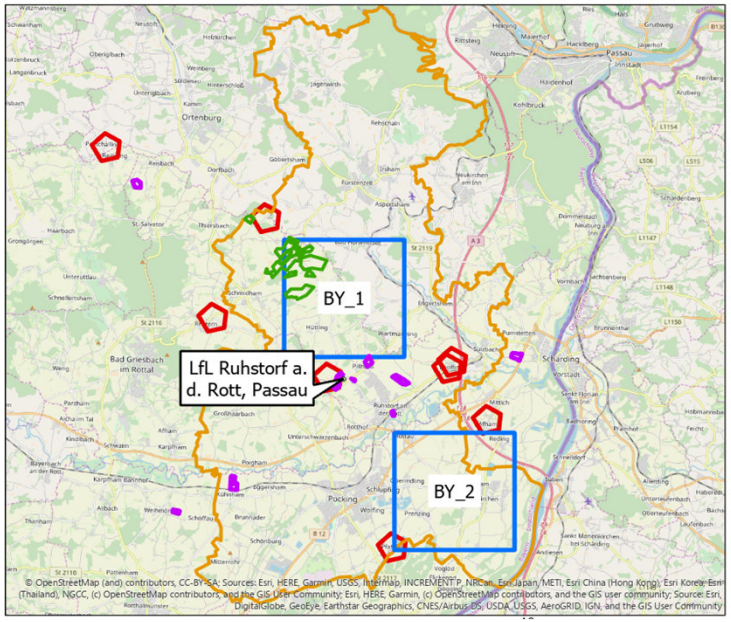
For
- Farmers
- Advisors
- Policymakers

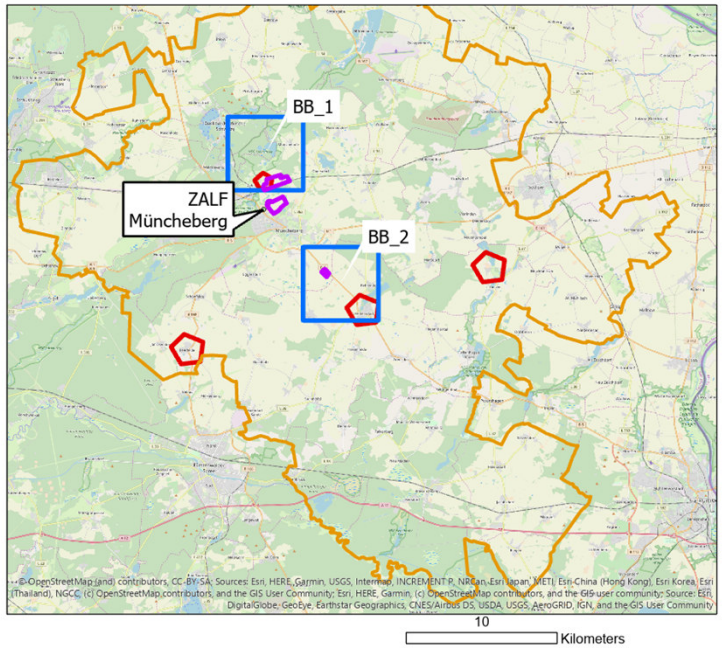
3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Nested Landscape Windows



Landscape windows (5x5 km) in Bayern und Brandenburg.

3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Nested Landscape Windows





Nested approach Brandenburg:

Stakeholder analysis, ESS analysis, field trials, cooperative farmers

- Field trials
- Landscape windows
- Cooperative farmers
- Stakeholder_BB

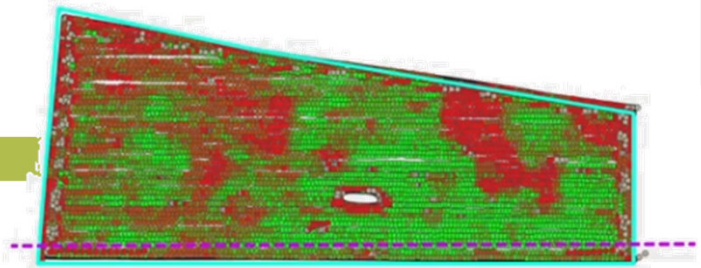
Bayern

Brandenburg

3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Analysis of heterogeneity

Heterogeneity: sensing

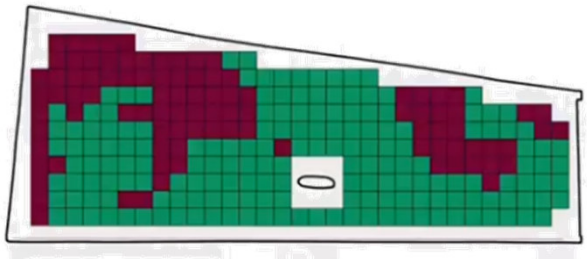
Heterogeneity: yield (harvester)



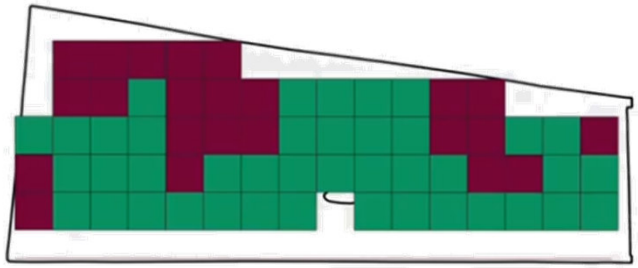
(Donat et al. 2022
Computers & Electr. Agri.
Vol.197. 106894)

Create patches based on the working width

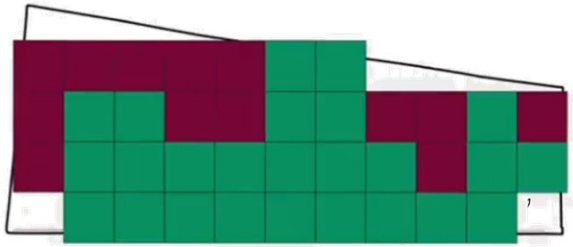
36m x 36m



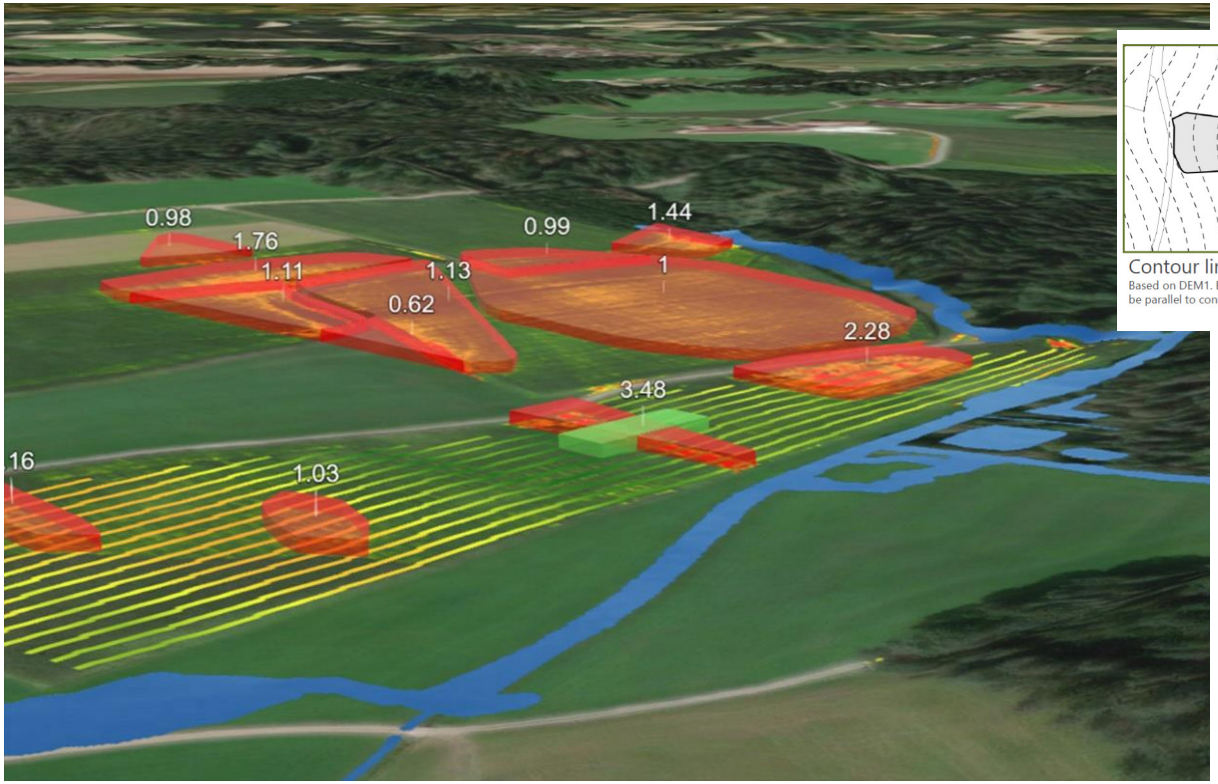
72m x 72m



108m x 108m



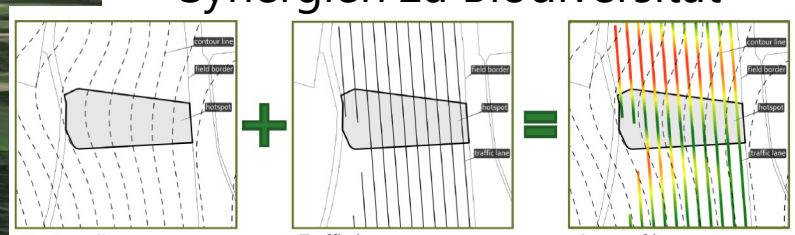
3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Erosion-Vermeidung



EROSPOT 3D: https://www.arcgis.com/apps/instant/3dviewer/index.html?appid=f5addb0af8bb4d2dbcbb9373b3398690

(Meltzer et al. 2025, Biol. Conserv.)

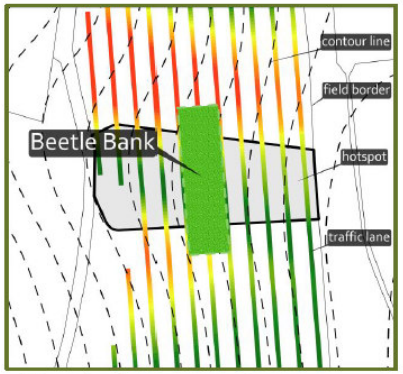
Synergien zu Biodiversität



Contour lines:
Based on DEM1. Beetle Banks need to be parallel to contour lines

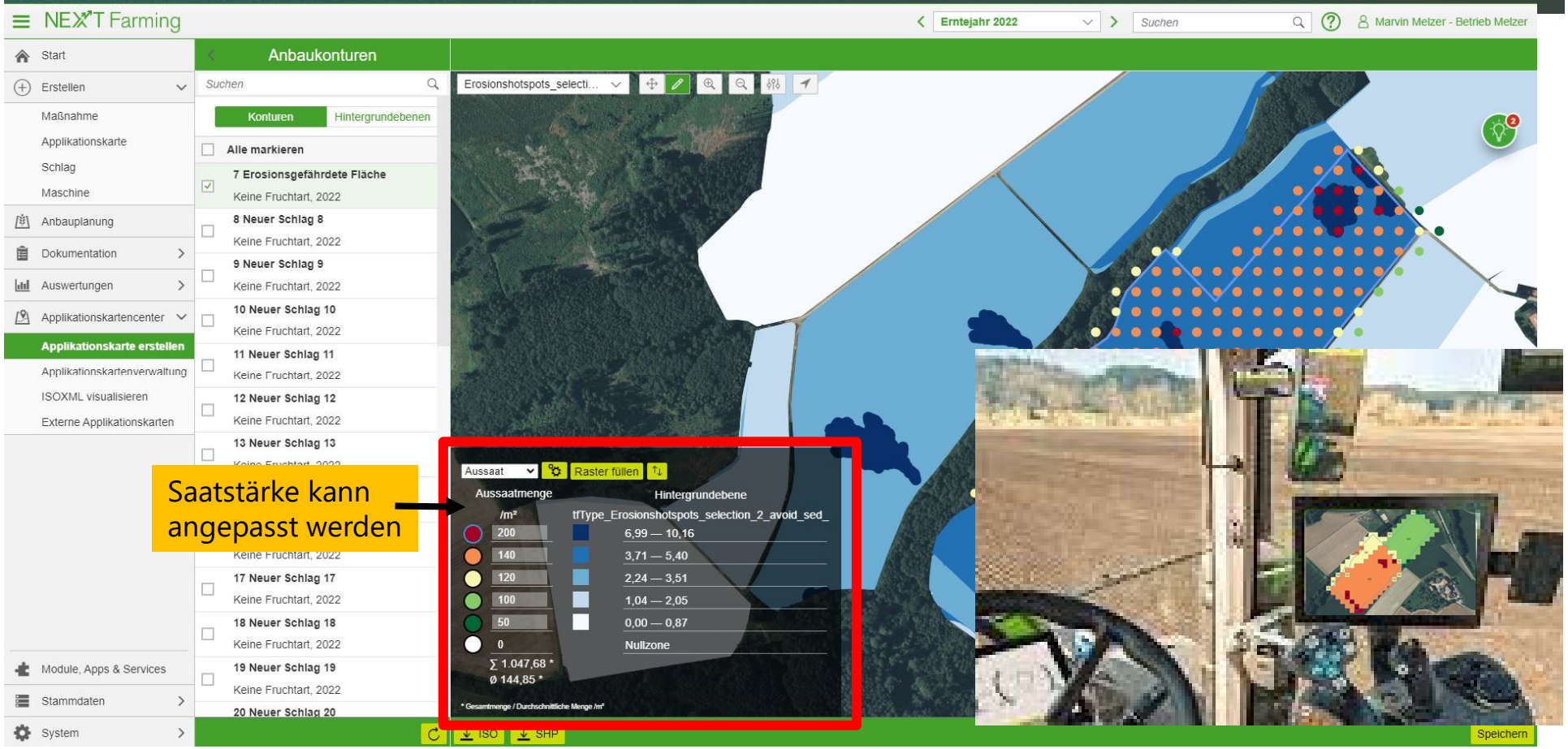
Traffic lanes:
Based on field geometry[4] & DEM1. Best choice has reduced turning maneuvers & is parallel to contour lines

Areas of interest:
Green segments are suitable locations to set Beetle Banks across the slope



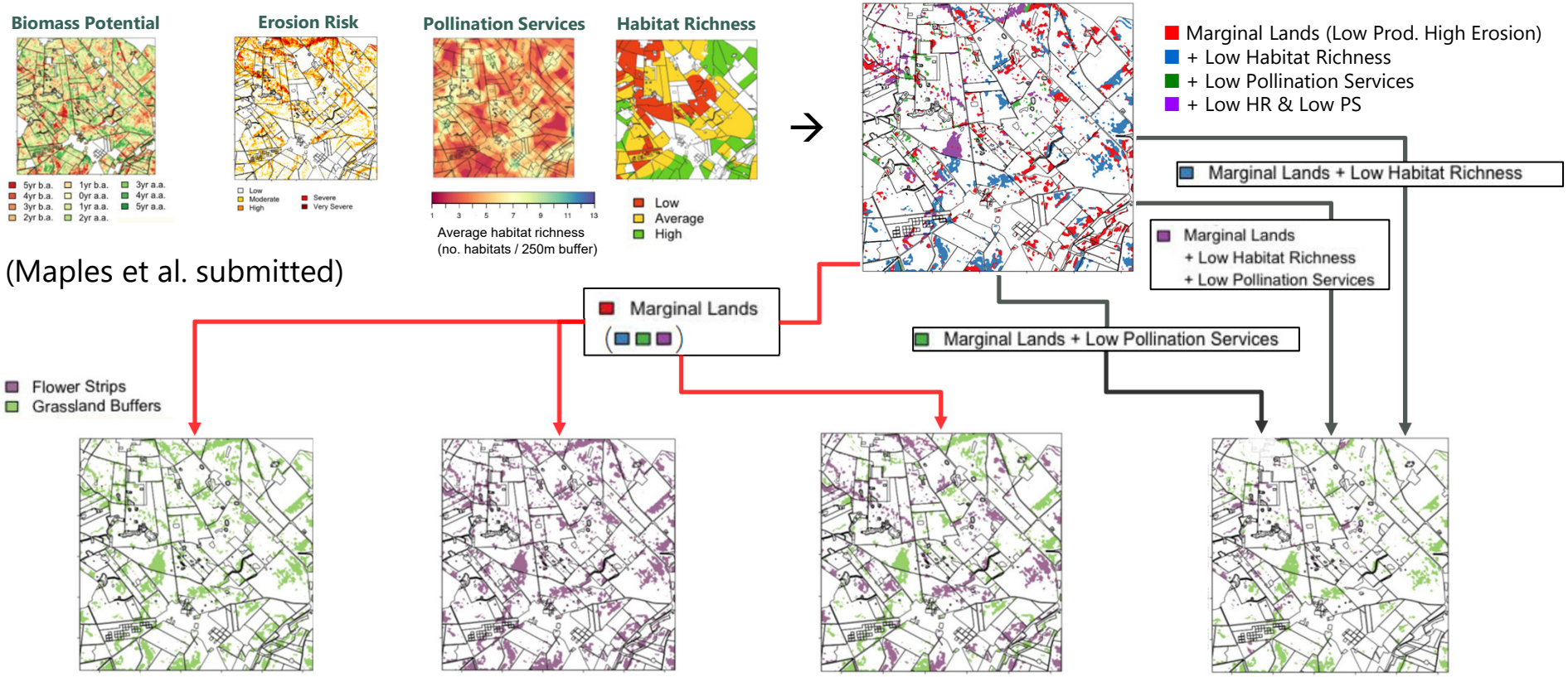
Final placement:
Based on machinery width and subsidy rules[5], Beetle Banks are placed in line with green lane segments intersecting hotspots

3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Erosion-Vermeidung



Saatstärke kann angepasst werden

3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Szenario Analyse



(Maples et al. submitted)

Scenario 1:
Erosion protection

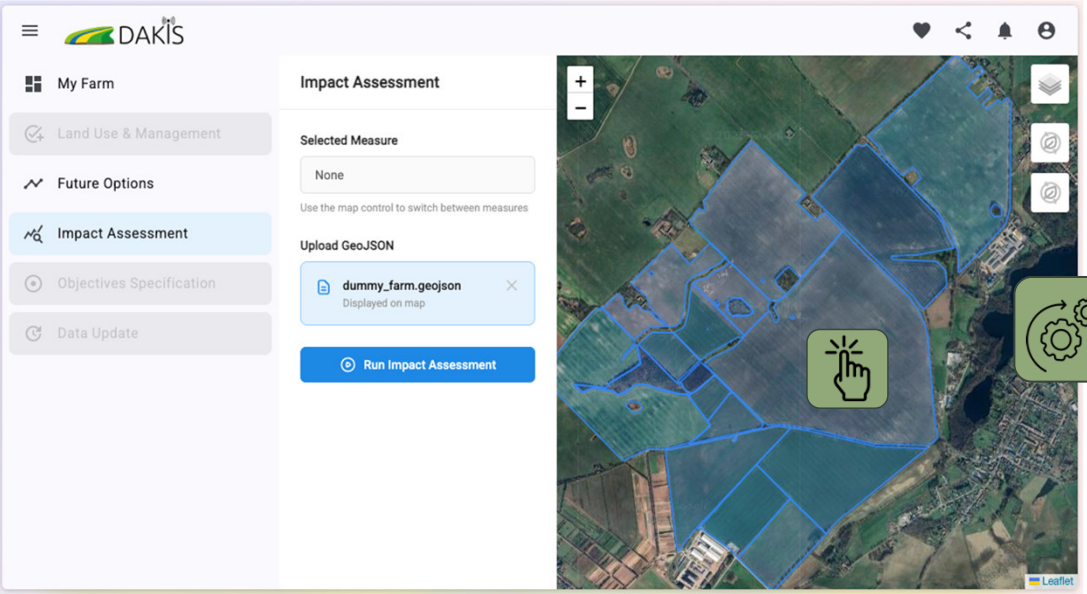
Scenario 2:
Pollination services

Scenario 3:
Habitat Richness

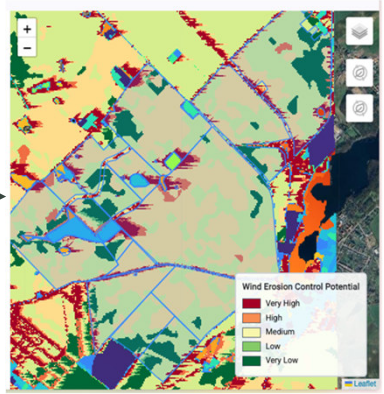
Scenario 4:
Balanced Ecosystem services

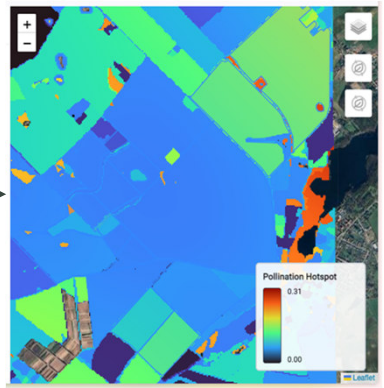
3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Nutzeroberfläche

Choose a field



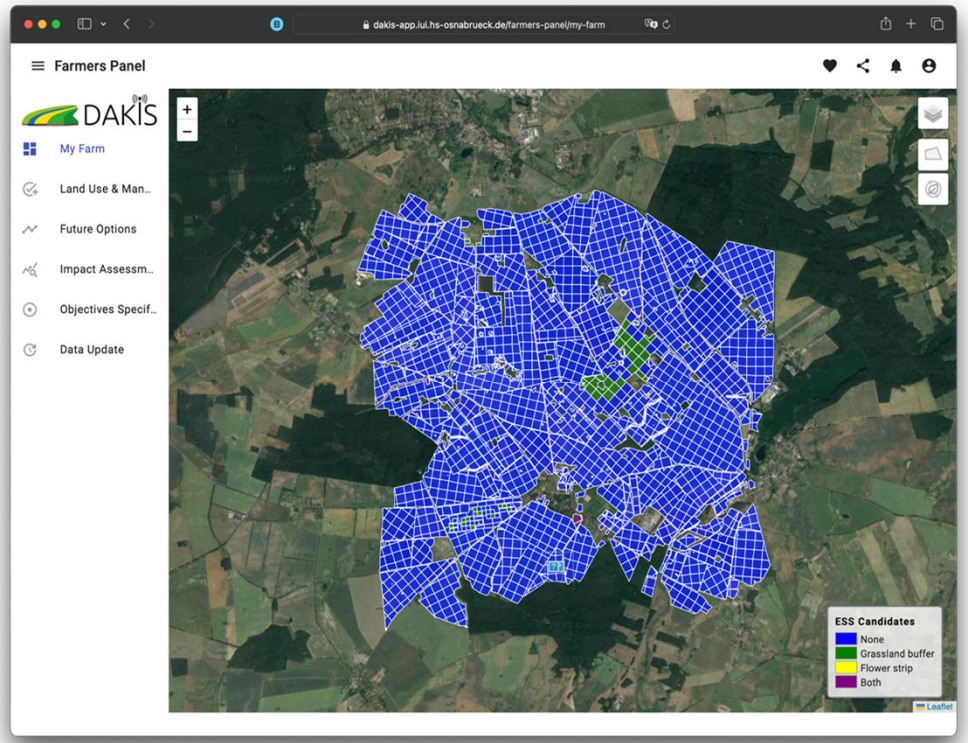
Evaluation of the area





3. Entscheidungsunterstützungssystem für optimierte Landnutzung: Ökonomische Berechnung

DAKIS Prototype

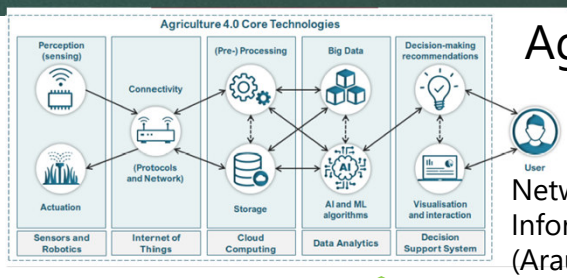


MODAM © Zander

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Agriculture 4.0

4

Cyber-Physical Systems



Agriculture 4.0/5.0

Network of Information (Araújo et al. 2021)

(Fountas et al. 2024)

3

Intelligent machines
(e.g. precision farming, plant factors)

2

Bigger machines, expansion of farmland area, greenhouses

1

Use of machines, increase in farmland area

0

Manual & Livestock power

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Existierende Technologien (Überblick 2023)

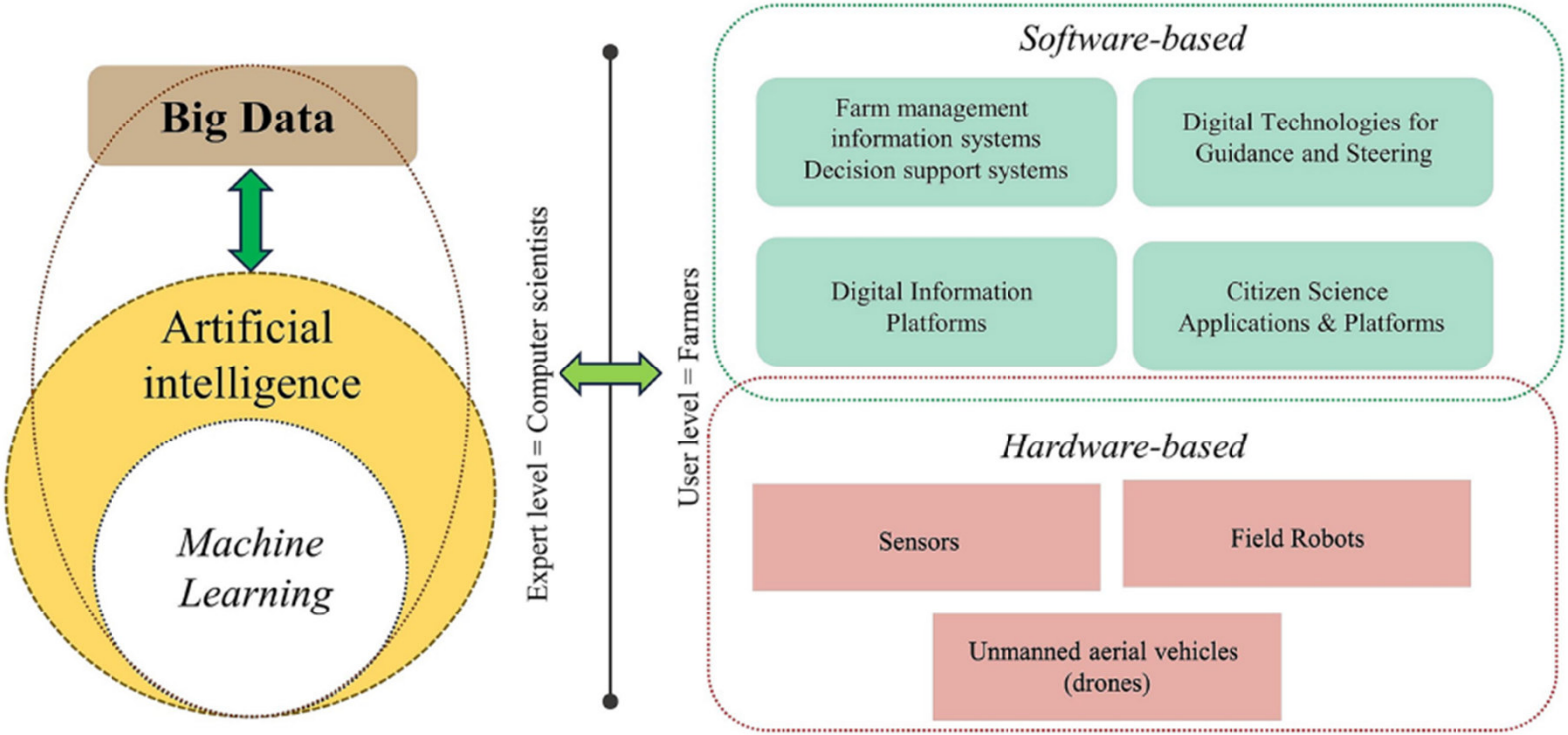


FIGURE 2
Relationships between Big Data (BD), artificial intelligence (AI), and machine learning (ML) in the context of software- und hardware-based digital technologies.

(Krachunova et al. 2025)

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Existierende Technologien (Überblick 2023)

Farm management information systems/ Decision Support Systems

Digital technologies for guidance and steering

Digital information platforms

Citizen Science Applications and Platforms

FMIS DSS

- 365FarmNet Platform
- AGRAVIS NetFarming
- Amazone 4.0
- DELOS
- Greenspin mofato (Croptify)
- MyFarm24 HELM Software
- NEXT Farming pro
- NEXT Farming live
- ProFlura
- sigAgroasesor
- TAP Topcon VarioDoc Pro/Fendt Task Doc
- agriDOC
- AGROCOM NET
- CLAAS Connect
- CLAAS TELEMATICS
- Climate FieldView™
- CropSAT
- EcoPay
- EOS Data Analytics
- FAIRshare
- Isaria Connect
- Magic Scout
- MyDataPlant
- MyEasyFarm
- NEXT Farming Office
- SatAgro
- TalkingFields Maps
- Xarvio® FIELD MANAGER
- Xarvio ® HEALTHY FIELDS
- Xarvio® SCOUTING

DTGS

- AES-35
- AFS AccuGuide™
- AFS AccuTurn Pro/HMC II
- AFS Connect ™
- (agri) EASE Tool
- Autopilot ™
- CEMOS Advisor CLAAS
- CLOUD farmunited
- CoGIS
- Easy on board CLAAS
- EZ-Pilot ™
- Fahrspurplanung geoTRAX
- farmpilot-app
- Field Navigator app
- FieldBee app
- IntelliSteer™
- Reichhardt PSR SLIDE
- RTK-Netzwerk AgCelNet
- SMARTPILOT farmunited
- Sprayer calibrator app
- TopNET Global
- Trimble Center Point RX
- Trimble RangePoint ®
- TrueGuide

DIP

- Agricultural Industry Electronics Foundation Einfache Feldgefügeansprache für
- den Praktiker
- Eip-agri Agriculture & Innovation
- Farm21 Plattform
- Global Open Data for Agriculture and Nutrition
- NatApp
- SAI-Platform Spotlight
- Smart Farming Platform (Smart AKIS)

CSAP

- 3000 Pflanzen bestimmen
- Agoranatura
- ArtenFinder
- Bäume und Sträucher bestimmen
- Baumführer 2 PRO & Lite
- BirdNET
- Deutschlandflora app
- Eh-da-Flächen
- Feldbotanik
- Flora capture
- Flora incognita
- Frösche, Kröten, Unken bestimmen
- Früchte sammeln & bestimmen 2 PRO & Lite
- Gartenvögel
- Heuschrecken bestimmen
- iFlora
- Igel, Hase, Fuchs bestimmen
- iNaturalist
- Map of Life
- Mollusken Deutschlands
- NABU Zeit der Schmetterlinge
- NABU Insektensommer
- NABU Vogelwelt
- Naturblick
- Naturgucker.de
- Naturblick
- Neuropteren Deutschlands
- Nützlinge im Garten
- Pilzführer 2 PRO & Lite
- Pl@ntnet
- Praxisapp Naturgucker
- Reptilien bestimmen
- Rote Liste Zentrum
- Schmetterlinge Deutschlands
- Spinnen bestimmen
- Tagaktive Schmetterlinge
- DLG Schädlinge
- Vogelführer 2 PRO &Lite
- Wilde Beeren und Kräuter 2 PRO and Lite
- DLG Unkräuter
- Wilde Tiere & Spuren
- 2 PRO & Lite

Sensors

- 3D-Smart-Sensor O3M151 (ifm)
- 3D/2D-sensor O3M251,O3M261(ifm)
- Accupar LP-80
- AudioMoth v1.0
- Baumer © sensors
- CLAAS © Isaria
- ecomatController CR721S
- e-obs digital tags and collars
- FS21 Sensor
- GEM-2
- GPR-2
- GPR
- Grasshoper ®
- IRT Infrared Themometer
- Isaria Pro Active Spray
- Isaria Pro Compact
- K.U.L.T. iVision PV
- ME-Blockage
- Moenit Sensor Network
- NEXT Weather Station
- OEM-Sensors
- Opto-sensor Müller® Elektronik
- OptRX Plant sensor
- PAR-sensor apogee
- Phytos 31 apogee
- PLANTirium Csensor Müller® Elektronik
- PYR Sensor METER ®
- OStarz GPS sensors
- Robocrop Side Shift System
- RumiWatchSystem
- SC-1-Leaf Porometer apogee METER ®
- SN-500 Net Radiation Sensor METER ®
- SU-221 Ultraviolet Sensor METER ®
- Terahertz-Systems TOPTICA
- TEROS sensors METER ®
- TSM Geoprospectors
- RU100U sensor Hans Turck
- Vence ®
- WeedSeeker 2 Trimble®
- WILDRETTER ISA
- Winkelsensor QR20 Hans Turck
- Yara N-Sensor

FR

Field robots

- AgBot T2, W3,W4 AgXeed
- Autonome Feldspritze John Deere
- AVO Weed robot
- BoniRob
- Carré ANATIS
- CLAWS
- Dahlia 4.3
- ETAROB
- FarmDroid FD20
- Farming GT
- Greenbot CR12/CR18
- JoWeeding/Multipurpose Robot Naio
- KRIBL
- MARS
- Naio Dino
- NEXT GreenSeeker
- OMNiDRIVE™
- OMNiPOWER ™ 3200
- Orio Robot Naio
- Oz Multipurpose Robot Naio
- Robocrop Guided Hoes Garford
- Robocrop InRow Weeder & Spot Sprayer Garford
- Robotti Agro Intelligence
- Robotti 150D Agro Intelligence
- Robotti LR Agro Intelligence
- Robovator Mechanical F. Poulsen
- See&Spray ™ Blue River Technology
- Ted Weeding Robot Naio
- Uckerbot/Field friend Zauberzeug
- Vitirover SAS ©
- Warthog/ Husky/ Jackal Clearpath ™

UAV

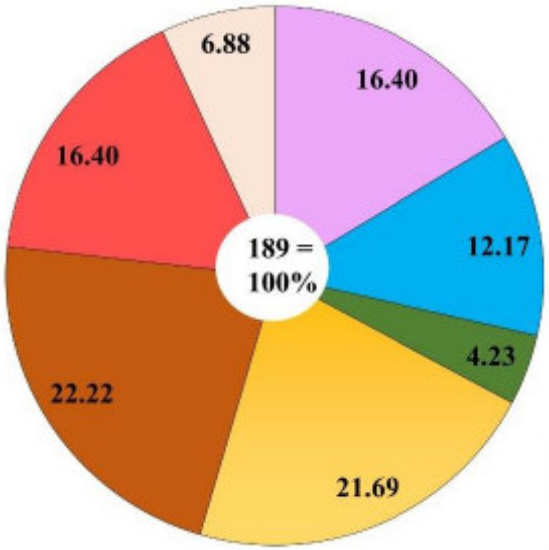
- Agronator® e-Duster, e-Seeder®
- Autonome Feldspritz-Drohe John Deere
- DJI Agras T30/T10
- DJI Cameras and Drones
- DJI Matrice 30 Series
- DJI Matrice 200 Series V2
- DJI P4P V2.0
- eBee X, Ag and Geo drones (AG Eagle)
- MultiKopter MK-U25
- MC8-Octocopter
- Quanfeng Agricultural Spraying Drones
- Scout System American Robotics
- VoloDrone (Volocopter)

N=189

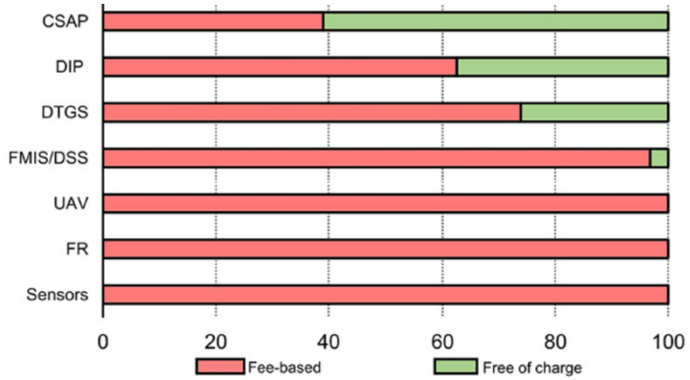
(Krachunova et al. 2025)

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Existierende Technologien (Überblick 2023)

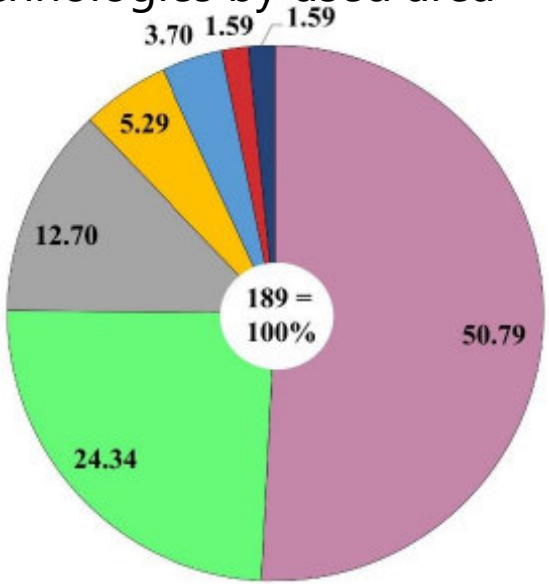
A. Share (%) of digital technologies by categories



B. Availability



C. Share (%) of digital technologies by used area



Software-based technologies
- FMIS/DSS
- DTGS
- DIP
- CSAP

Hardware-based technologies
- Sensors
- FR
- UAV/UAS

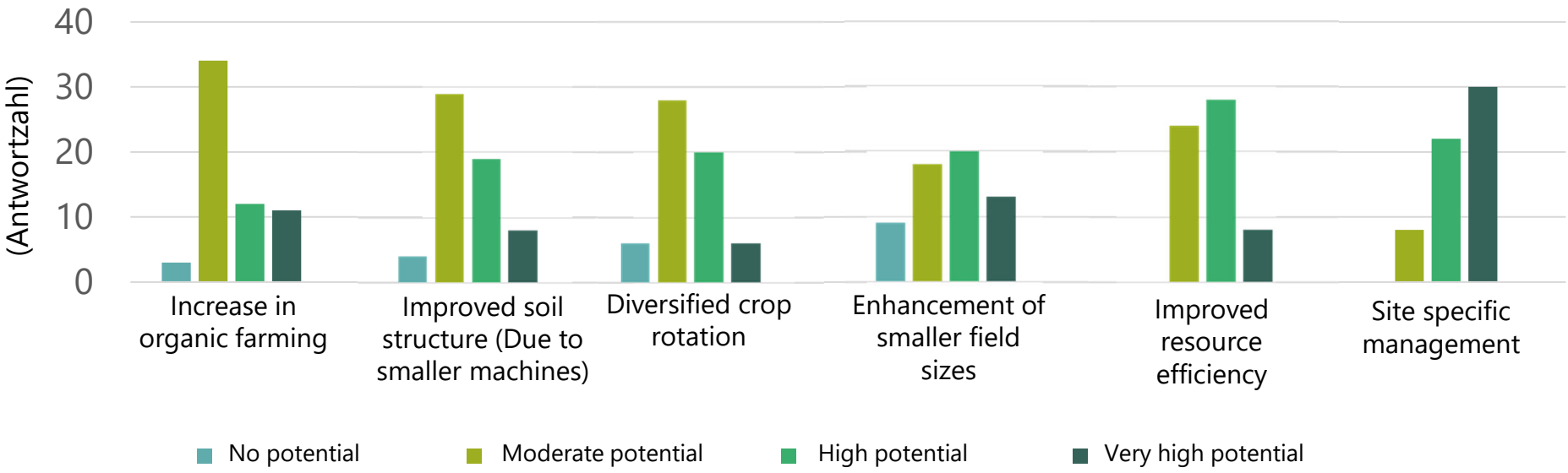
- Crop cultivation
- Nature conservation
- Crop cultivation & administration matters
- Crop cultivation & grassland management
- Crop cultivation & nature conservation
- Crop cultivation & livestock
- Livestock (virtual fencing)

N=189

(Krachunova et al. 2025)

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Einschätzung der Nutzer

How is the potential of digital tools to contribute to sustainability in the next 10 years?

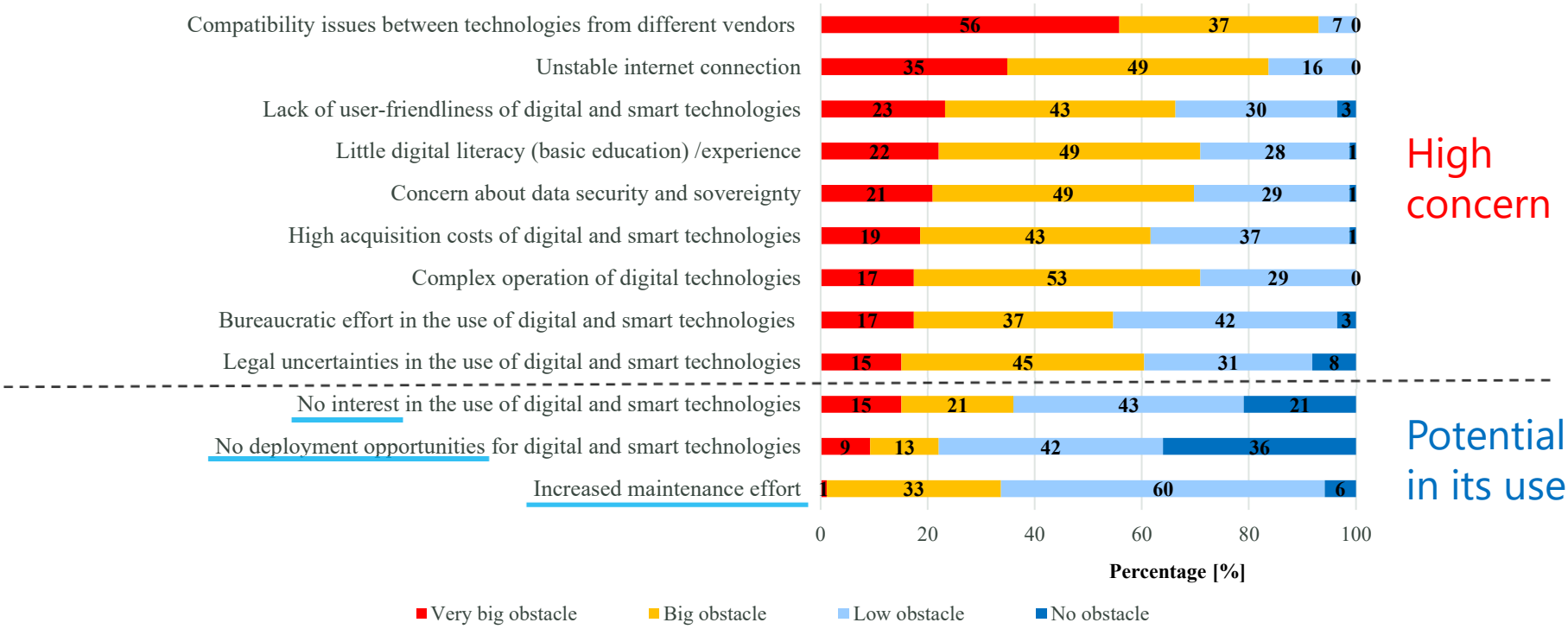


(Stakeholder n=142, farmers (34%), researchers (25%), other industry (18%), politics/governmental (11%), associations/NGOs (7%), others (5%)

(Geppert et al. 2024, Environ. Sus Indicators)

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Einschätzung der Nutzer

In your view, what factors impede or prevent the use of digital and smart technologies in agriculture?



(Geppert et al. 2024, Environ. Sus Indicators)

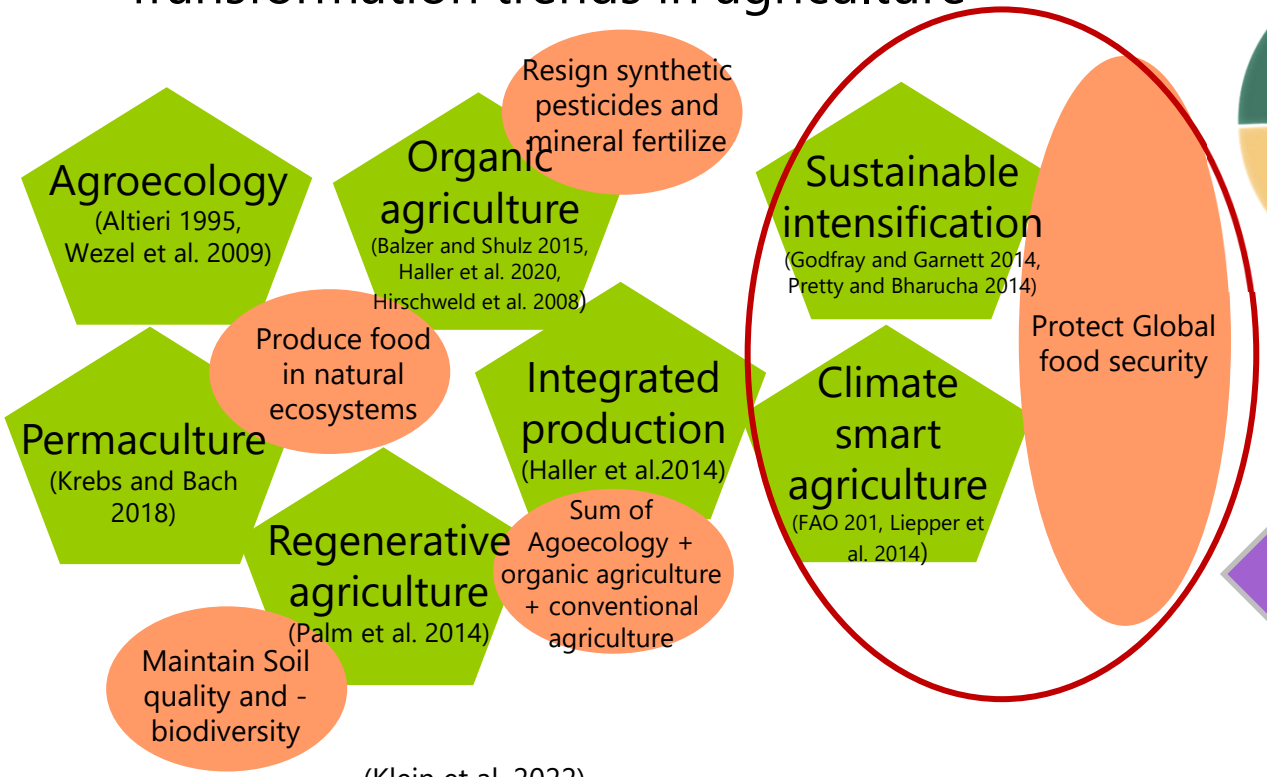
4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools
Chancen und Risiken

https://www.zalf.de/de/forschung_lehre/projekte/AttachmentsFoPro/IOEW%20Schriftenreihe%20222%20-%20Digitalisierung%20der%20Landwirtschaft_1450.pdf

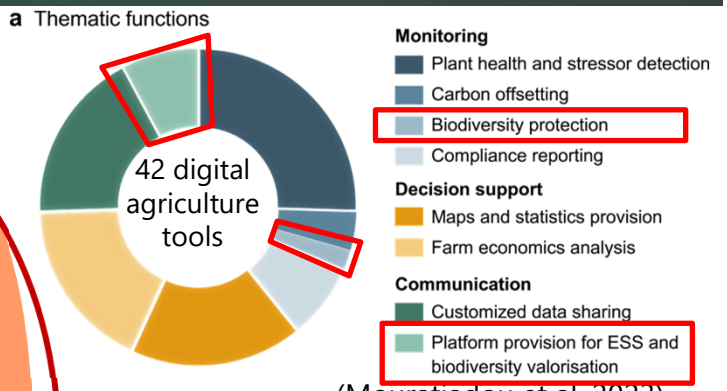
- Intensivierung der Landwirtschaft
- Bodenverdichtung
- Homogenisierung der Anbausysteme
- Auswirkungen der genetischen Vielfalt
- Intensivierung und Ausweitung der Tierhaltung
  - → klare Definition/Indikatoren für "Nachhaltigkeit"
  - → ökonomnische Inwertsetzung von ÖSL und Biodiversität
- Sozio-ökonomische Bedingungen (Betriebsgrößen, Struktur)
  - → Stärkung von IT-Kompetenz
- Material- und Energieverbrauch digitaler Geräte & Anwendungen (Recycled wird nur 1/3 (Eurostat, 2020)
- Risiko von Datenmanagement
- Monopolisierung (Konzentrierung von Information & Technology)
- Datan sovereignty
  - → Impact assessment & management of technology
  - → Governance

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools

Transformation trends in agriculture



(Klein et al. 2022)



(Mouratiadou et al. 2023)

Digitalisierung der LaWi fokussiert sich hauptsächlich auf einen Teil der möglichen Transformationspfade

4. Kritische Reflektion von Digitalen Tools

Policy Brief
Juni 2022

Lea Kliem, Steffen Lange, Luisa Keßler, Tsvetelina Krachunova und Sonoko Bellingrath-Kimura

Die Digitalisierung der Landwirtschaft nachhaltig gestalten

Empfehlungen aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes

Zunehmende ökologische Herausforderungen, wie der rapide Verlust von Biodiversität oder der Klimawandel, stellen landwirtschaftliche Betriebe vor die Mammutaufgabe Arten- und Tierschutz-, Bodenschutz-, und Klimaschutzmaßnahmen mit Ertragsstabilität und der Erzeugung qualitativ hochwertiger Nahrung in Einklang zu bringen. Zur effektiven Bewältigung dieser Herausforderungen wird der Digitalisierung des Agrarsektors in Praxis und Wissenschaft häufig eine Schlüsselrolle beigemessen. Bereits jetzt kommen in Deutschland in einer Großzahl landwirtschaftlicher Betriebe digitale Technologien oder Anwendungen zum Einsatz. Hierzu zählen unter anderem Lenk- und Fahrerassistenzsysteme, vernetzte (Boden-) Sensoren, intelligente Datenmanagementsysteme, drohnenbasierte Bilderkennungssysteme und GPS-gesteuerte Agrarroboter (Rohleder et al., 2020). Die fortschreitende Digitalisierung der Landwirtschaft birgt dabei sowohl Potenziale als auch Risiken für den Biodiversitätsschutz. Eine gesteigerte Ressourceneffizienz kann Düngemittel und Chemieeinsatz verringern. Auch ein verbessertes Monitoring und Tracking umweltbezogener Daten

Drei Handlungsempfehlungen für den schnellen Leser

1. Digitalisierung eine Richtung geben

Natur- und Biodiversitätsschutz muss zum Leitziel der digitalen Transformation werden. Grundlage für eine sinnvolle Anwendung digitaler Technologien ist die Ausrichtung von Anbausystemen auf Vielfalt und Gemeinwohl.

2. Forschungslücken schließen

Es besteht erheblicher Forschungsbedarf, um die Auswirkungen der Digitalisierung allgemein sowie einzelner Technologien auf die Biodiversität besser abschätzen zu können.

3. Biodiversitätsschutz rentabel gestalten

Biodiversitätsschutz lohnt sich bisher nicht genügend und muss ausreichend honoriert und in-Wert gesetzt werden. Im Fokus von staatlicher Förderung müssen Technologien stehen, die einen konkreten und messbaren Mehrwert für den Natur- und Biodiversitätsschutz bieten.

i|ö|w INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

zalf Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

(Digital) Technology: Enabler
Human: Decision maker

Essence

1. Digitalisierung eine Richtung geben: Natur- und Biodiversitätsschutz als Leitziel der digitalen Transformation
2. Anreize und Förderung: Biodiversitätsschutz rentabel gestalten
3. Daten: Souveränität und Zugang sichern
4. Digitale Kompetenzen aufbauen: Beratungsangebote sowie Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen stärken
5. Forschung: Technikfolgenabschätzungen und transformative Technologien in den Mittelpunkt stellen
6. Digitale Infrastrukturschaffen: Digitalisierung im ländlichen Raum vorantreiben

Policy Brief (6.2022)
https://www.zalf.de/de/forschung_lehre/projekte/AttachmentsFoPro/IOEW%20Policy%20Brief%20Juli%202022%20-%20Digitalisierung%20der%20Landwirtschaft%20nachhaltig%20gestalten_1450.pdf

EFI Report 29.2.2024
https://www.zalf.de/en/aktuelles/Pages/PB2/nena-handlungsempfehlungen-digitalisierung-landwirtschaft.aspx

Zusammenfassung

- Transformation der Landwirtschaft
  - Hoher und dringender Bedarf
  - Visionen zur „Transformation“ setzen
- Digitale Tools (u.a. Entscheidungsunterstützungssysteme)
  - Können komplexe zusammenhänge sichtbar und handhabbar machen
  - Modulare Anwendung und Integrierung in existierende Systeme gewünscht
  - Stärkere Zielorientierung der „Digitalisierung“ notwendig (mehrere Risiken)

Thank you for your attention

Leibniz Centre for
Agricultural Landscape Research
(ZALF)

Humboldt University of Berlin

NatAPP
https://youtu.be/5xqPuT4uLvQ

Biopioniere
https://www.youtube.com/watch?v=BaUxl62Upi8

Digital for Food
https://reset.podigee.io/10-agrarwende-digitalisierung-interview

Kontakt: Sonoko.Bellingrath-Kimura@zalf.de