

Moderne Informationstechnologien für eine nachhaltige Landnutzung - Digitale Zwillinge der Landwirtschaft

Wolfram Mauser, Tobias Hank, Elisabeth Probst, Christine Werner

Department für Geographie

Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Moderne Informationstechnologien für eine nachhaltige Landnutzung - Digitale Zwillinge der Landwirtschaft

Wolfram Mauser, Tobias Hank, Elisabeth Probst, Christine Werner,
Heike Bach, Philipp Klug, Silke Migdall

Department für Geographie

Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Vista GmbH, Munich



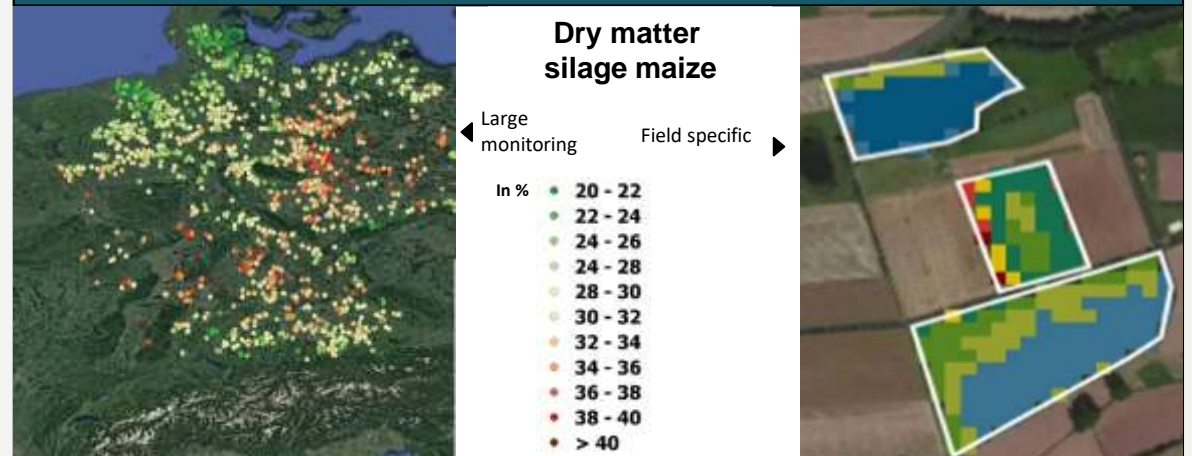


Smart Farming Services: Talking Fields

Irrigation



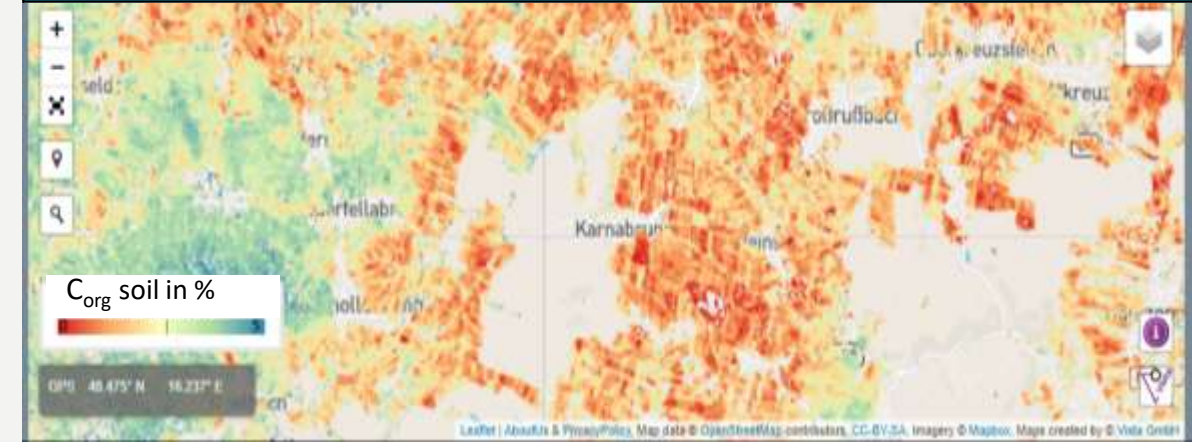
Crop Monitoring and Risk Management



Yield Prediction and Harvest Progress: Ypsilon



Sustainability Services: EO4CarbonFarming



Die Produktion von Nahrungsmitteln – Eine Illusionen über die Natur!



Wir hängen der Illusion nach, dass
unberührte Natur noch existiert!



Und so sieht das dann konkret aus! Idyll.....



Und so sieht das dann konkret aus!
...und Technik direkt nebeneinander!





Die gegenwärtige Landwirtschaft ist mit Abstand die größte menschliche Aktivität unter freiem Himmel:

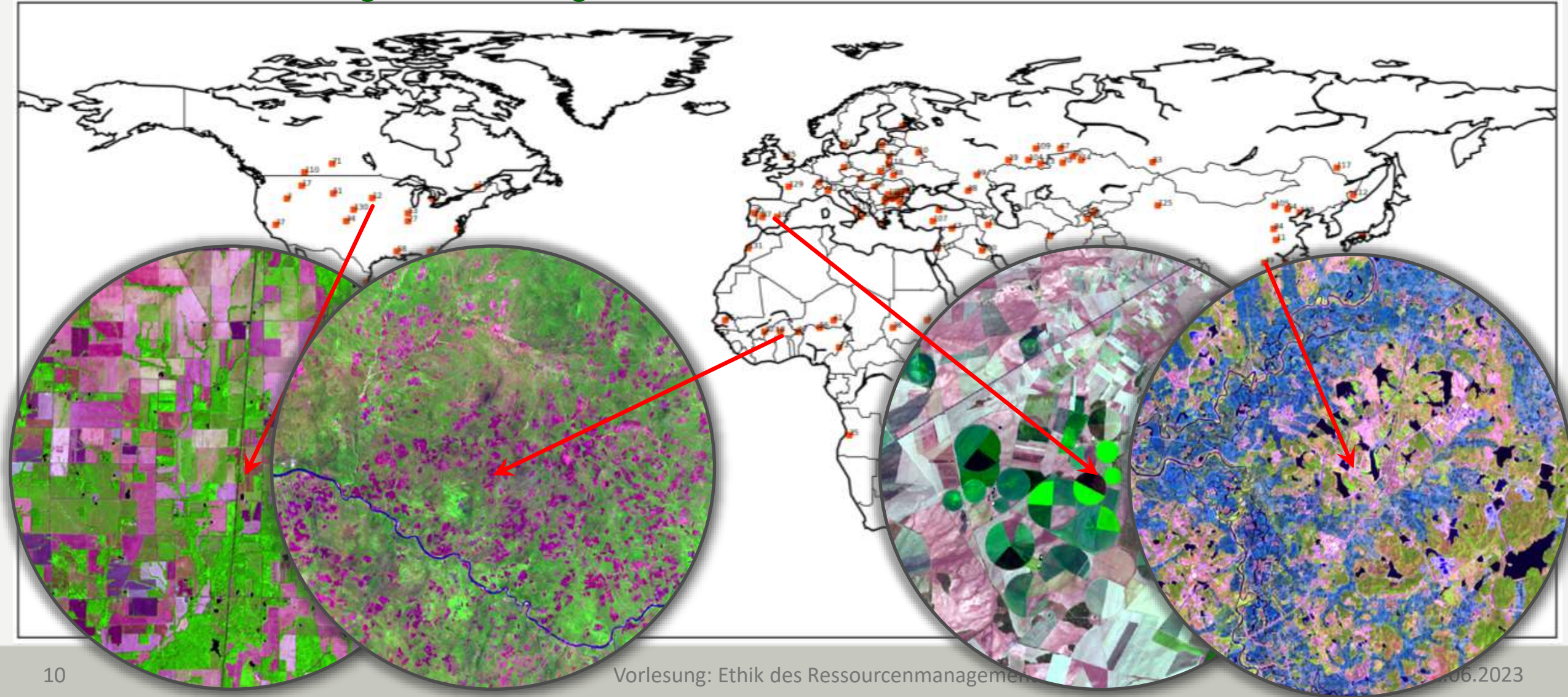
1. 13 % der Landoberfläche und ca. 80% der für die Landwirtschaft nutzbaren Flächen werden für die Ernährung von z.Zt. 8.5 Milliarden Menschen und zig Milliarden Tieren genutzt.
2. Landoberfläche nutzen heißt Landoberfläche umgestalten und oft auch zerstört hinterlassen:
 - Entwaldung, - Öffnung der Böden, - Entwässerung, - Freisetzung von CO₂ und andere Treibhausgase in die Atmosphäre, - Erosion und Bodendegradation
3. Landwirtschaft ist weltweit der größte Nutzer von Chemie- und Bioprodukten:
 - Stickstoffdünger, - Pflanzenzüchtungen
 - Pflanzenschutz, - Tierzüchtungen
 - Treibstoffe - biologicals
4. Landwirtschaft ist weltweit der größte Subventionsempfänger hinter der Rüstung:
 - Ineffizienz und Verschwendung werden gefördert
 - der ganze betriebene Aufwand rechnet sich nicht marktwirtschaftlich

Landwirtschaft heute zerstört die Umwelt, ist teuer, ineffizient und nicht nachhaltig!

Landwirtschaft ist heterogen und divers:



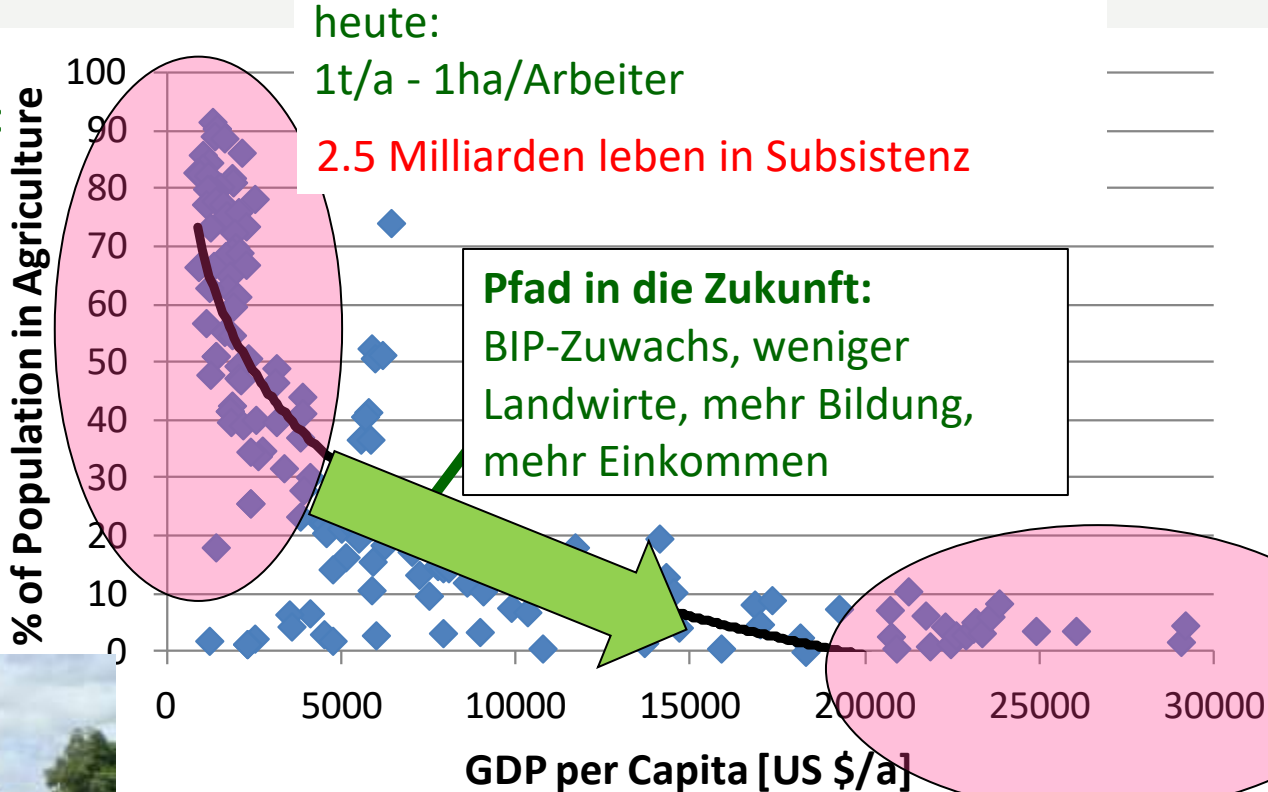
Sentinel-2: Fernerkundung erfasst Heterogenität und Diversität der Globalen Landwirtschaft



Landwirtschaft ist Quelle großer Ungleichheit



800 Millionen Subsistenz-
landwirte und ihre Familien:
Armut, fehlende Bildung
und fehlende Technologie,
Umweltzerstörung



12 Mio. High-Tech Landwirte
mit Familien: reich, hohe
Bildung, subventioniert,
hoher Ressouceneinsatz,
Umweltzerstörung



heute:
2000t/a - 150ha/Arbeiter

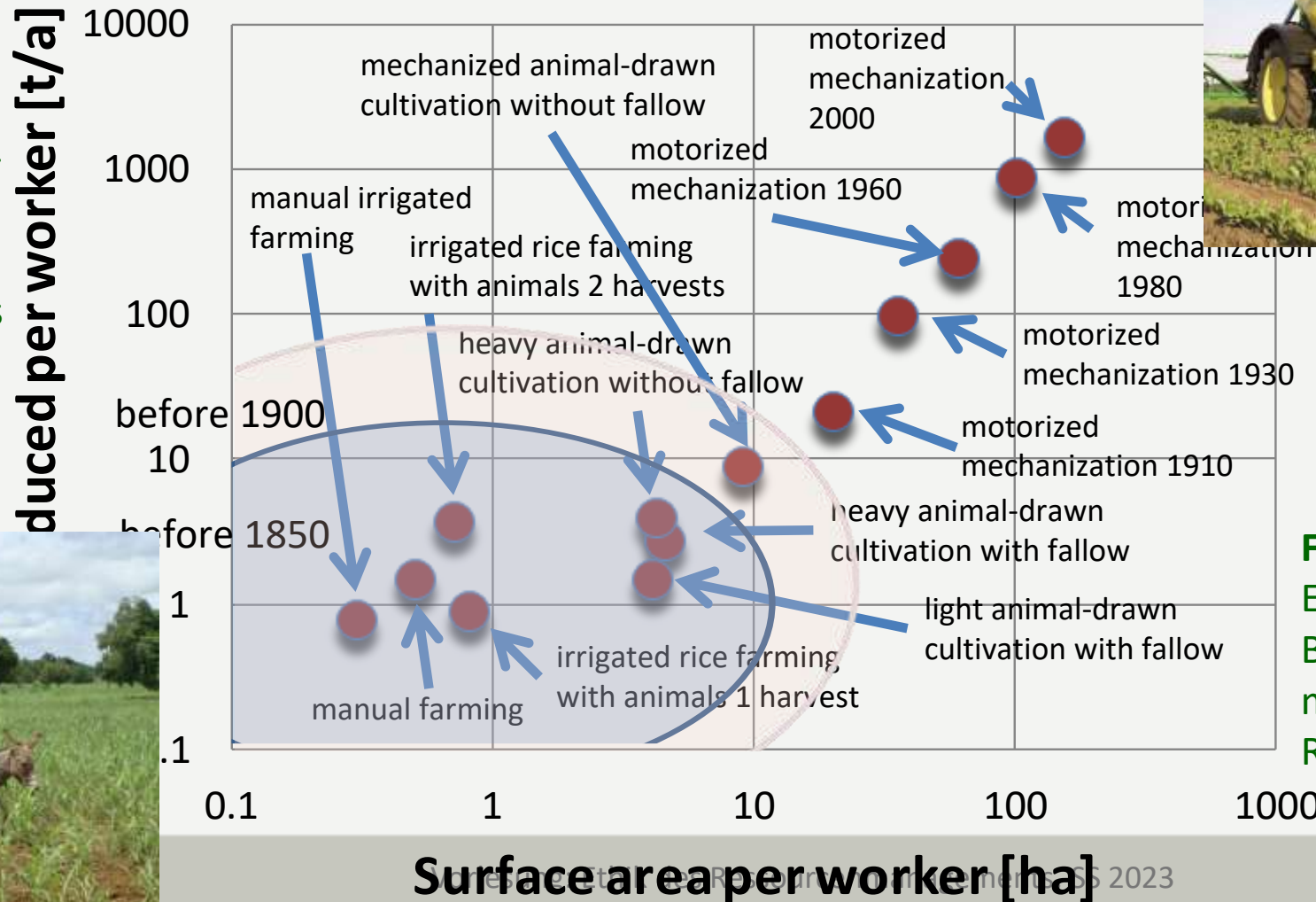
<250 Millionen leben direkt von High-Tech Landwirtschaft



Verhältnis von landw. Fläche und Getreide-Produktion Arbeiter für unterschiedliche landwirtschaftliche Systeme



800 Millionen Subsistenzlandwirte und ihre Familien erwirtschaften ca. 1 t/ha Ertrag. Das bedeutet Armut, Krankheit und niedrige Bildungsaussichten. Vor 1850 das Normal auf der ganzen Welt!

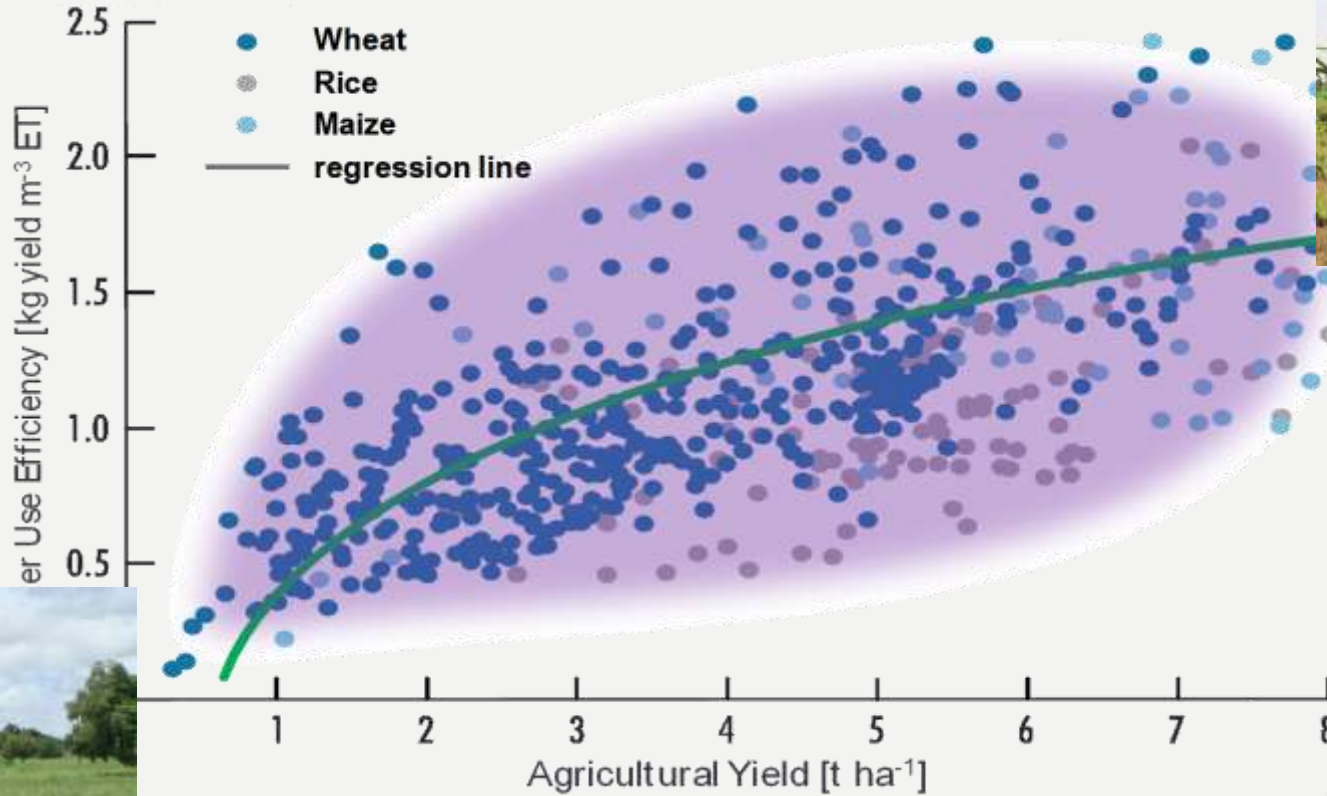


Fossile Motorisierung
 Effizienzsteigerung: 1:2000!!
 Beeindruckend, aber bezahlt mit nicht-nachhaltiger Ressourcennutzung



Das Intensitäts-Effizienz Paradox:

800 Millionen Subsistenzlandwirte und ihre Familien machen aus 500 m³ Wasser 1 Tonne Mais, Reis, Weize pro Hektar.



12 Mio. High-Tech Landwirte machen aus 1500 m³ Wasser 8 t Mais, Reis, Weizen pro ha!!

„It is environmentally expensive to be poor!“

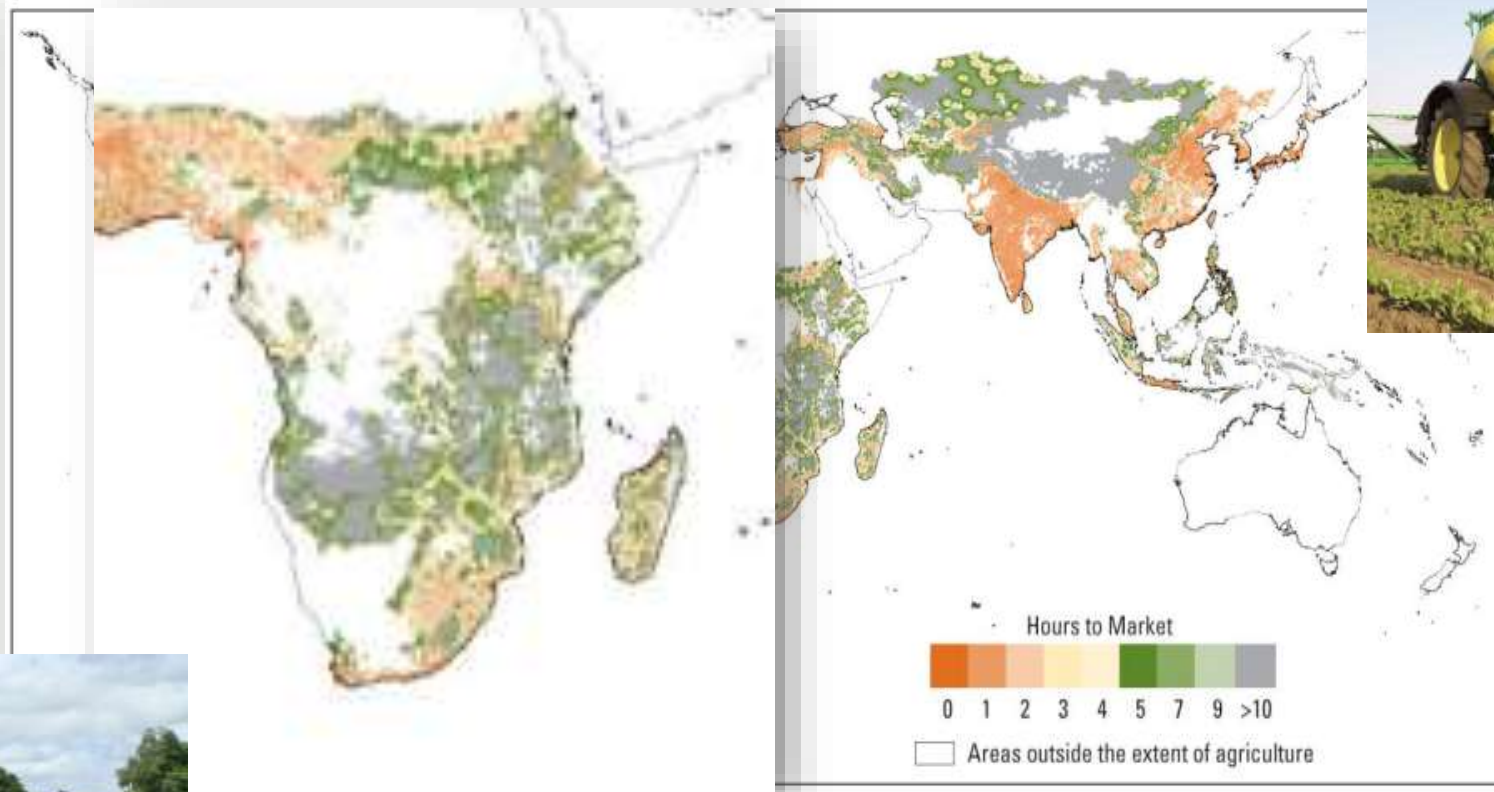


Landwirtschaft ändert Landnutzung, ökonomisiert, schafft Infrastruktur und verändert ländl. Kultur



Stunden zum nächsten Markt

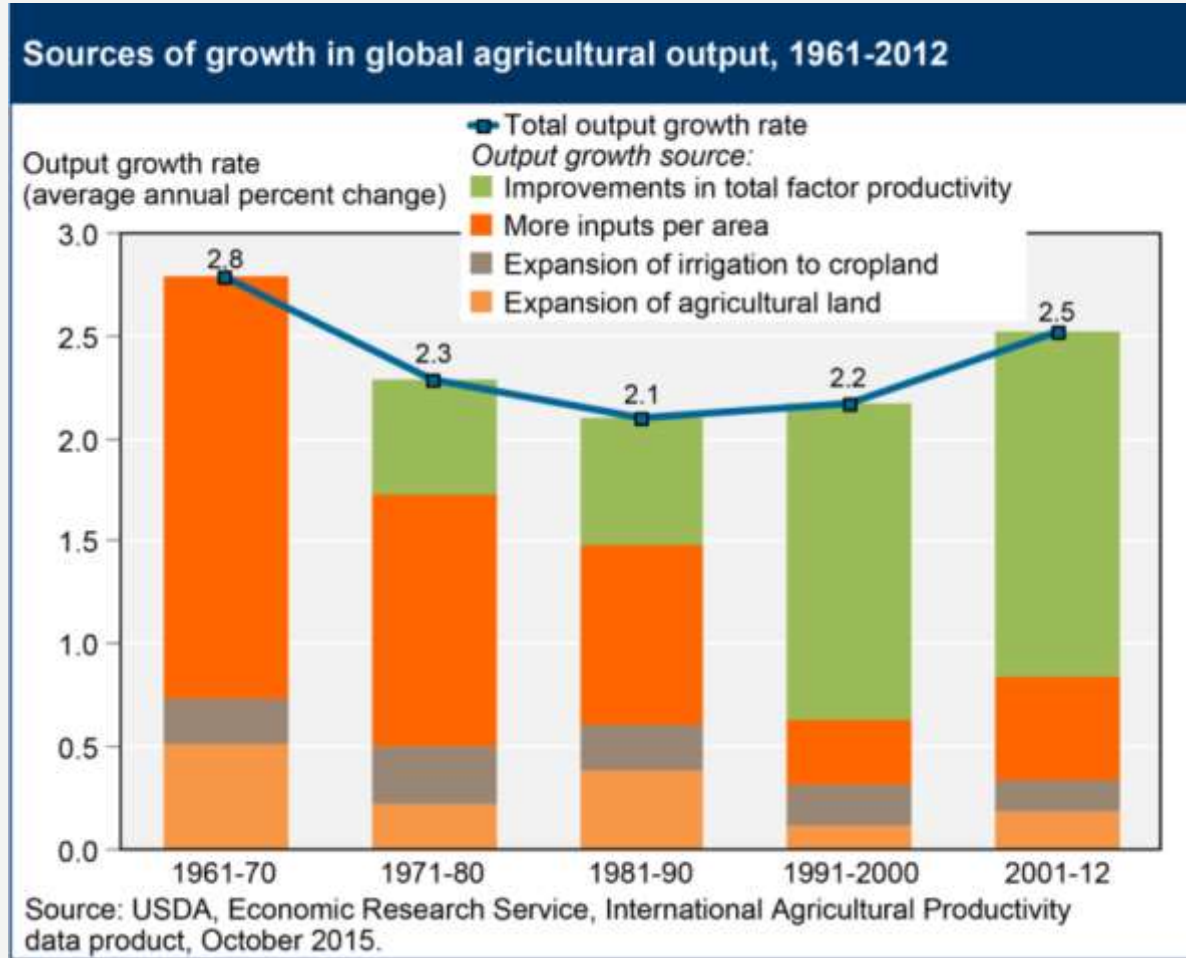
800 Millionen Subsistenzlandwirte und ihre Familien haben kaum Marktzugang.



12 Mio. High-Tech Landwirte haben Zugang zum Weltmarkt und zu Transportinfrastruktur.

Quelle: Sebastian 2007

Produktion von Nahrungsmitteln – Von Inputs zu Effizienz!



Fazit: Effizienzzuwächse verdrängen zunehmend Input-Zuwächse. Ende der „Grünen Revolution“
Effizienzzuwächse nur durch Wissen und Information!

Was läuft falsch in der gegenwärtigen Landwirtschaft?



Die gegenwärtige Landwirtschaft ist trotz aller Effizienzgewinne immer noch eine gewaltige, nicht nachhaltige Verschwendung von fossilen und regenerativen Naturressourcen:

1. > 90 % des globalen Wasserverbrauchs gehen z.B. auf Kosten der Produktion von Nahrungsmitteln und Energie in der Landwirtschaft (water-food-energy nexus).
2. Nachhaltige Nutzung von begrenzten Naturressourcen, wie Wasser und Boden, heißt maximale nachhaltige Effizienz!!!
3. Dilemma:
Subsistenzlandwirte (Ertrag ~ 1 t/ha) verschwenden Wasser (und Land) weil sie Boden und Regen nicht bestmöglich nutzen können.
Intensivlandwirte (Ertrag > 7 t/ha) über-intensivieren die Produktion mit großem Ressourceninput und zerstören damit die Umwelt



Nachhaltige Intensivierung ist die Lösung! Nur wie?

Europa's Green Deal und die EU-Taxonomie schafft ein radikal verändertes Umfeld für die Landwirtschaft in der EU:

1. Ziel ist die Nachhaltigkeit und die Klima-Neutralität
Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft heißt nicht, die Natur (Land, Boden, Wasser, Luft) nicht zu nutzen!!
Nachhaltigkeit heißt, die Kreisläufe der Natur möglichst effizient und suffizient zu nutzen!
2. Green Deal: Mitigation von Emissionen
3. EU-Taxonomie:
Kopplung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen an die Konditionen bei der Kreditvergaben
je nachhaltiger desto geringer der Zinssatz bei Krediten!!
mächtiges Instrument der Transformation der Landwirtschaft zur Nachhaltigkeit.

Handlungsdruck entsteht heute auf die Landwirtschaft!

Was tun um nachhaltiger zu werden?



Warum Digitale Zwillinge der Landwirtschaft?



- Landwirte brauchen dringend Lösungen für die nachhaltige Intensivierung ihrer Felder. Sie haben in ihrer Karriere nur ~35 Versuche um herauszufinden, was die beste nachhaltige Lösung ist!! Sie müssen deshalb auf einen viel größeren Erfahrungspool als ihrem eigenen zurückgreifen können.
- Die reale Welt ist viel zu kostbar für landwirtschaftliches trial-and-error. Lösungen, die natürliche Ressourcen mit maximaler nachhaltiger Effizienz nutzen, müssen deshalb in der digitalen Welt identifiziert und dann in der realen Welt umgesetzt werden.

-> **Digitale Zwillinge der Landwirtschaft:**

Landwirtschaftliche Prozesse (heterogen, unvorhersehbare Eingaben, komplexe Wechselwirkungen von Pflanzen, Boden, Wetter, Menschen, etc.) werden in ein digitales Replikat überführt und auf abstrakte Weise auf der Basis von Prozessverständnis und Daten dargestellt.

Wozu?

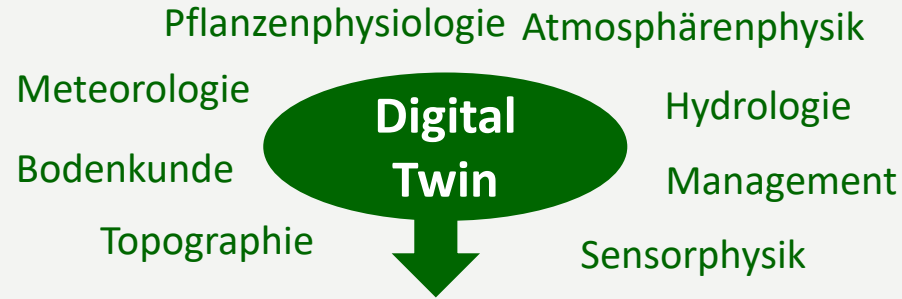
- What-if Szenarien werden untersucht zur Identifikation der besten Lösung ohne negative Folgen für die reale Welt!!!



Verstehen wir,
was wir sehen?

Wir rekonstruieren Zeitserien von Satellitenbildern mit unabhängigen Daten (Ackerfrucht, Boden, Gelände,..) und unserem Simulationsmodell PROMET, um zu prüfen, ob wir die Prozesse und Landwirte verstehen.

PROMET:



simuliert

12.10.

gemessen



Die EU mit ihrer Sentinel-Satellitenflotte ist ein Game Changer



- Erstes wirklich operationelles Erdbeobachtungssystem für die globale Umwelt und Landwirtschaft:
- Gesichert bis 2035.
Alle Daten kostenlos und im offenen Zugriff.
- EU-Copernicus ist eine digitale Infrastruktur
- Der business case ist die Datenveredlung und nicht die Erzeugung von Umweltdaten, bisher ca. 100 000 neue Jobs in der EU.

Sentinel-2:

- *Wiederholrate:* 2.5 Tage (keine Wolken)
- *Überwachte Agrarfläche :* >100 Mio. ha pro Tag
- *Tägliches Datenvolumen:* 2.3 TByte
- *Kosten Sensor:* 120 Mio. €
- *Gesamtkosten pro Satellit:* 320 Mio. €

Im Kern: die Sentinels bilden das Rückgrat für unsere Digitalen Zwillinge in der Landwirtschaft



Ein Jahr Pflanzenentwicklung beobachtet mit ESA's Sentinel-2 Copernicus Satelliten:

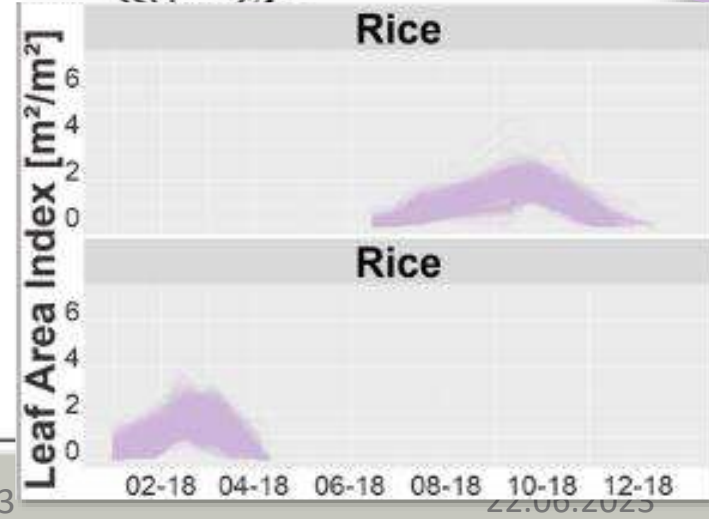
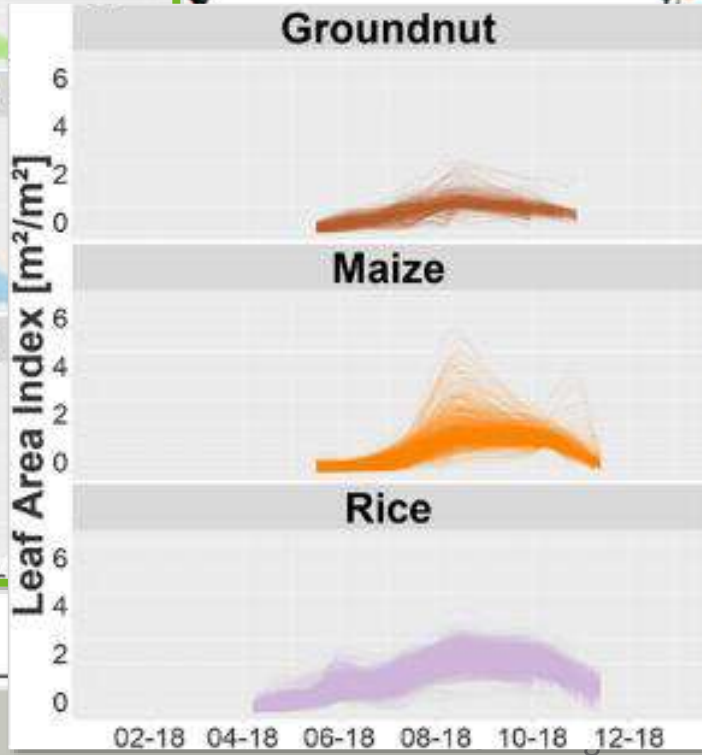
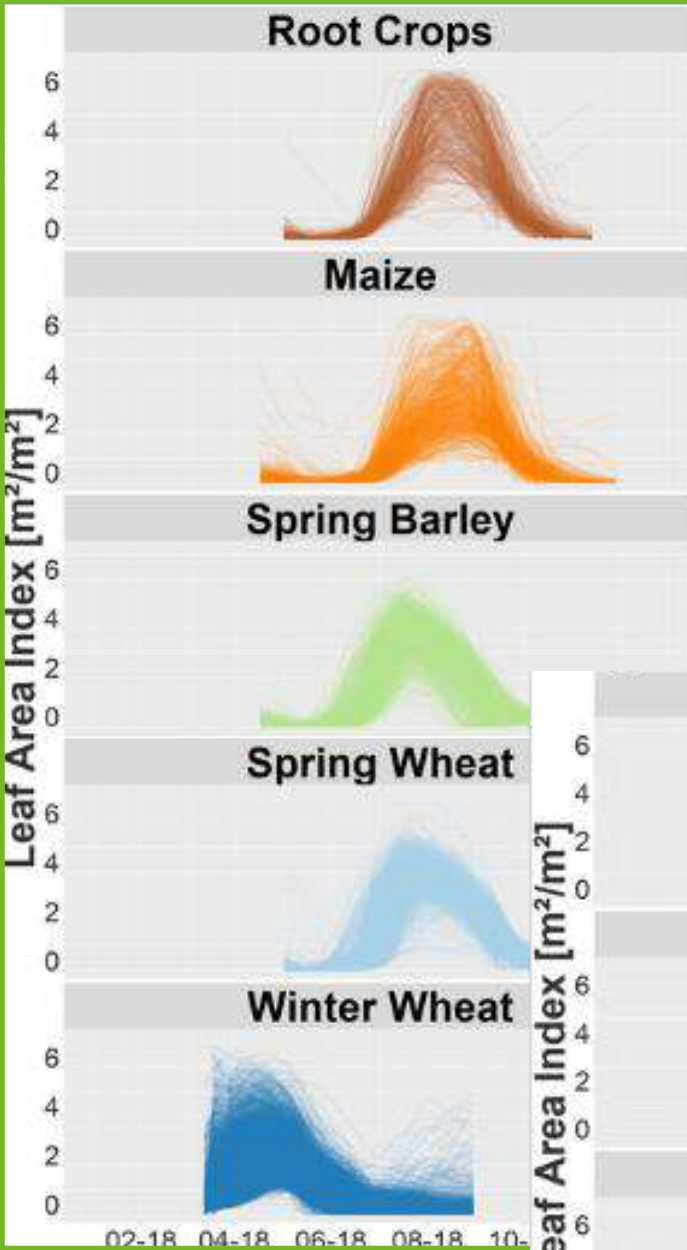
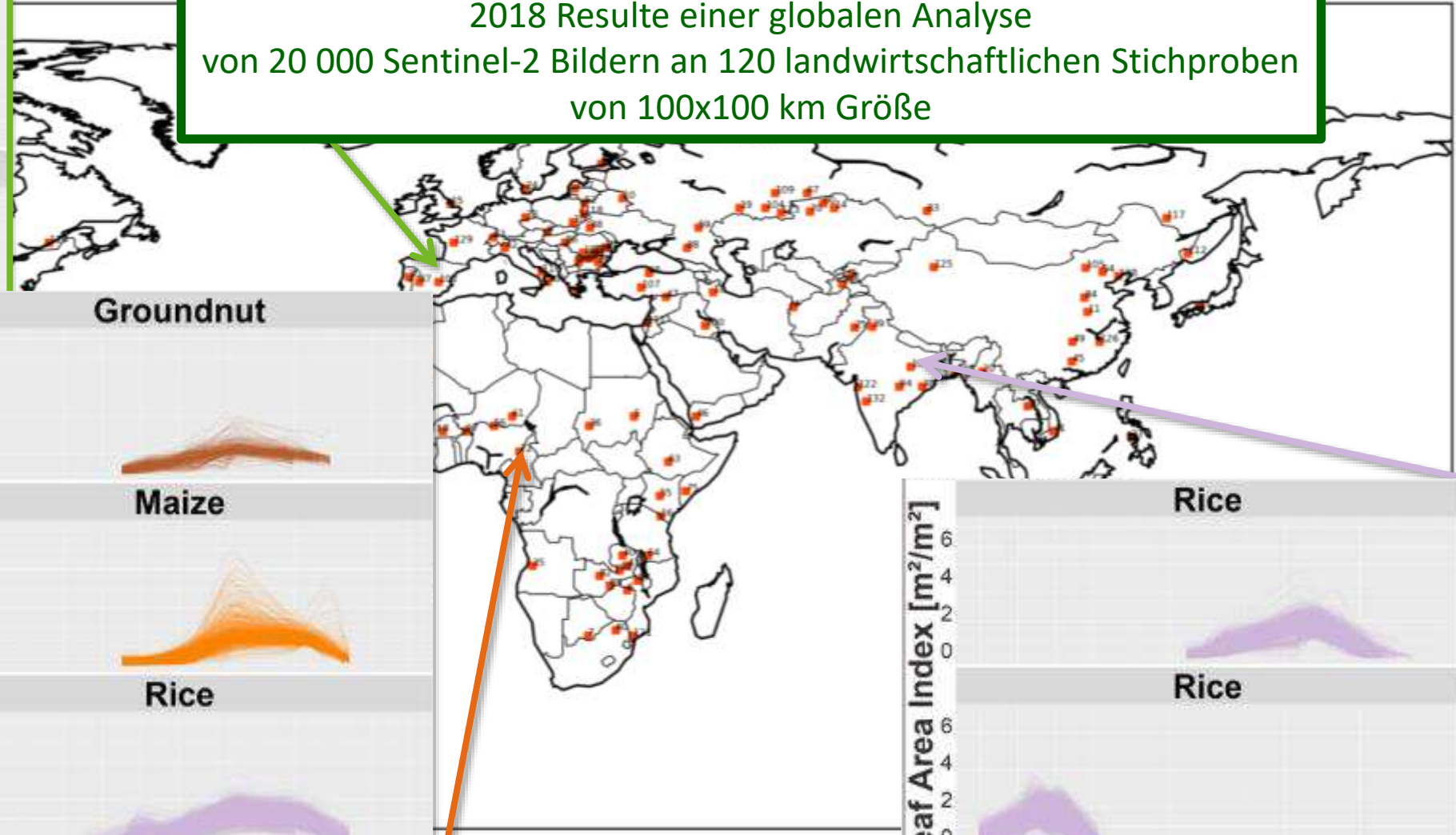
- Sentinel Erdbeobachtung ist inzwischen der größte globale Datenstrom im Internet
- 4 PByte Rohdaten pro Jahr
- 100 Mio. Hektar Landwirtschaft pro Tag beobachtet
- Wissenschaft: aus Daten Informationen machen durch Verstehen was man sieht.



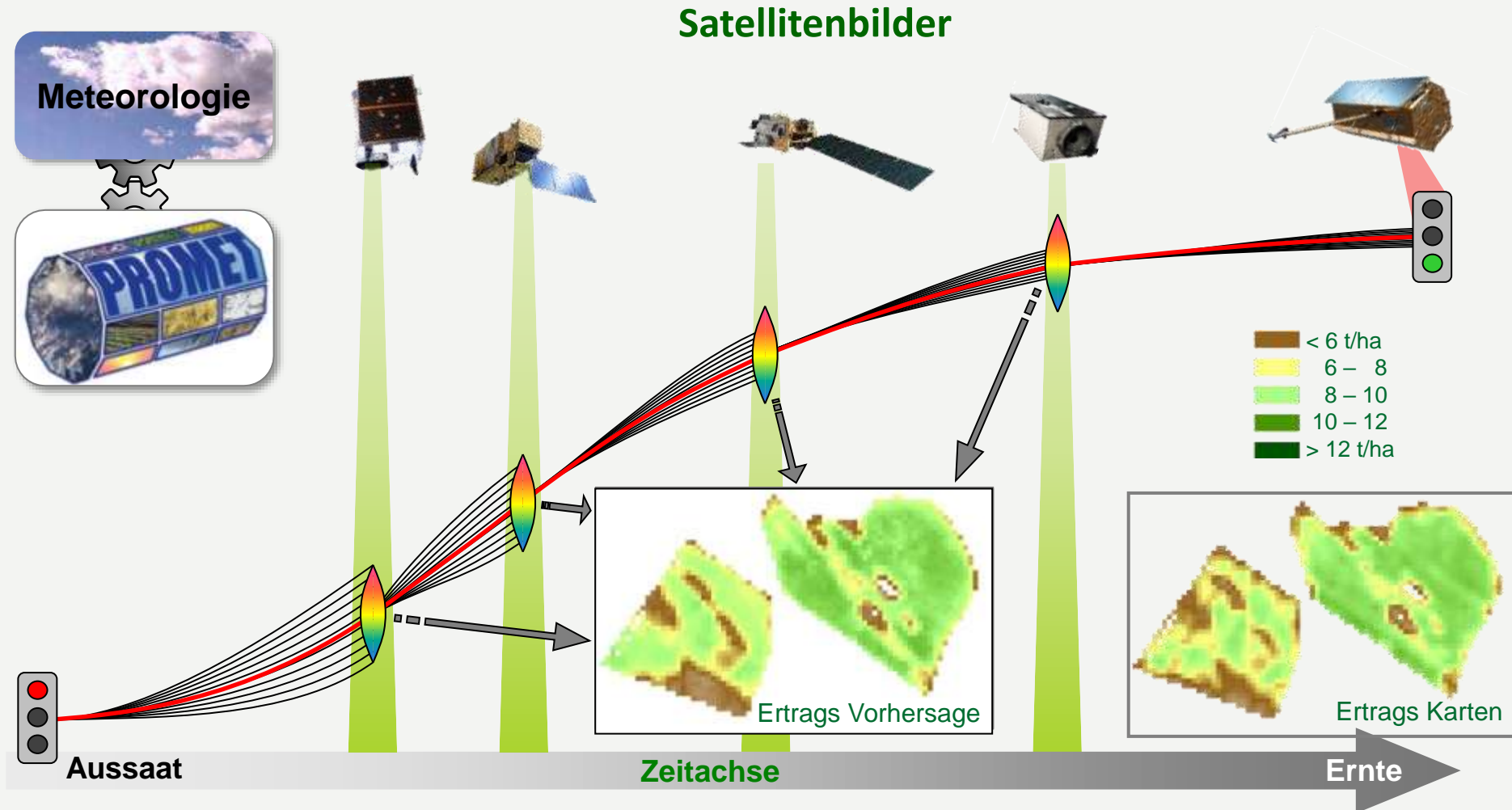


Zwillinge der Landwirtschaft beobachtung

Ein erstes globales Bild der Nutzpflanzenentwicklung
2018 Resulte einer globalen Analyse
von 20 000 Sentinel-2 Bildern an 120 landwirtschaftlichen Stichproben
von 100x100 km Größe



Digitaler Zwilling Synthese von Beobachtung und Simulation



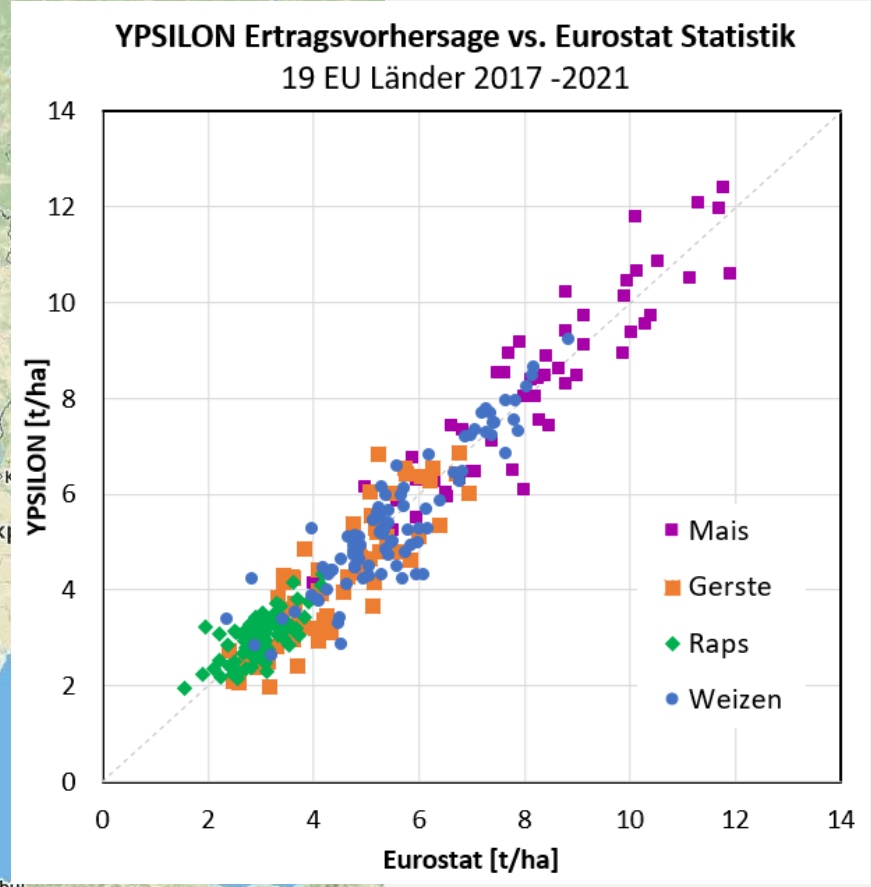
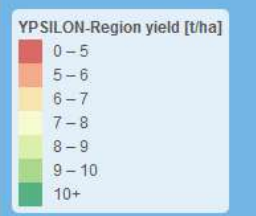
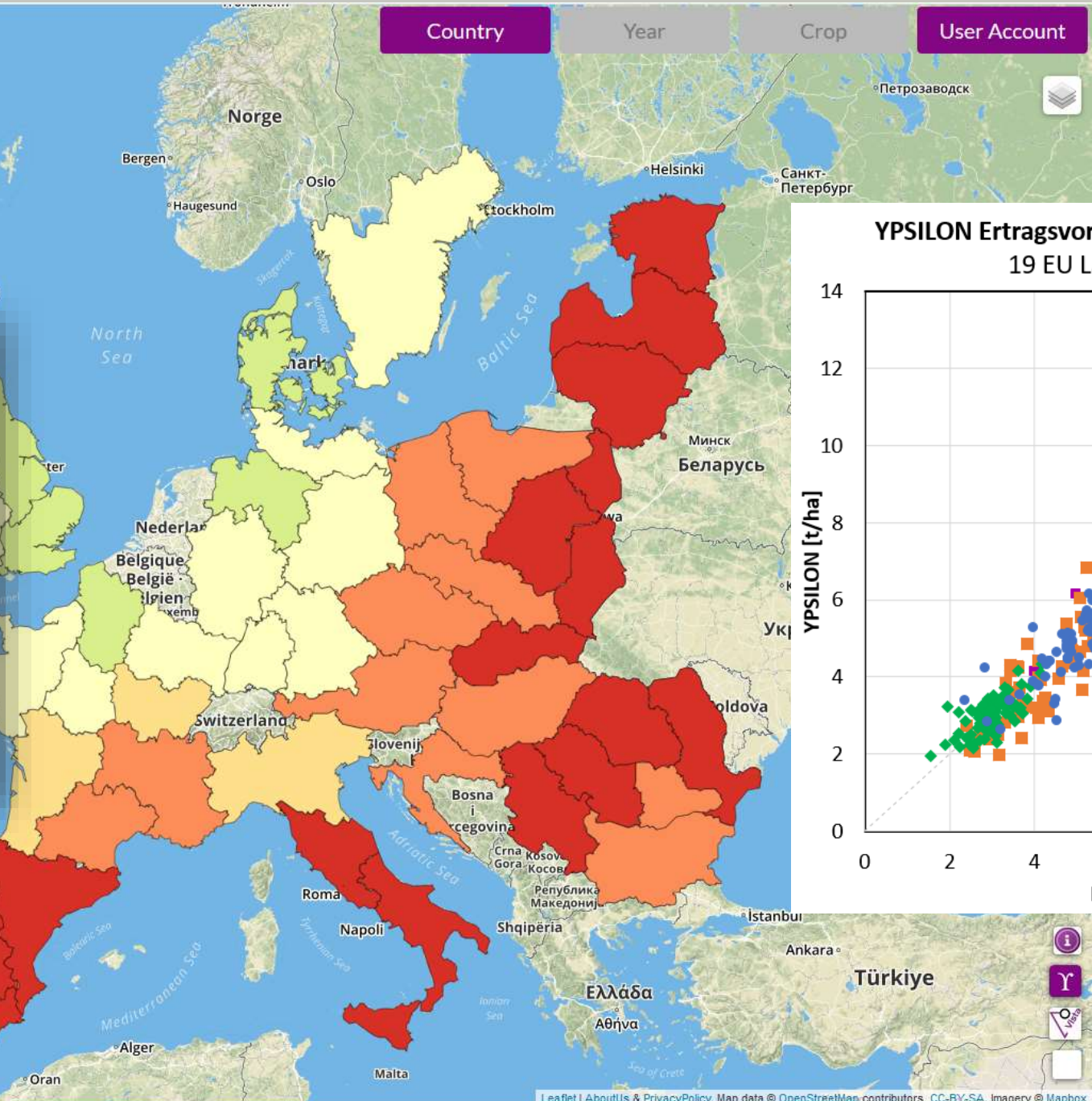
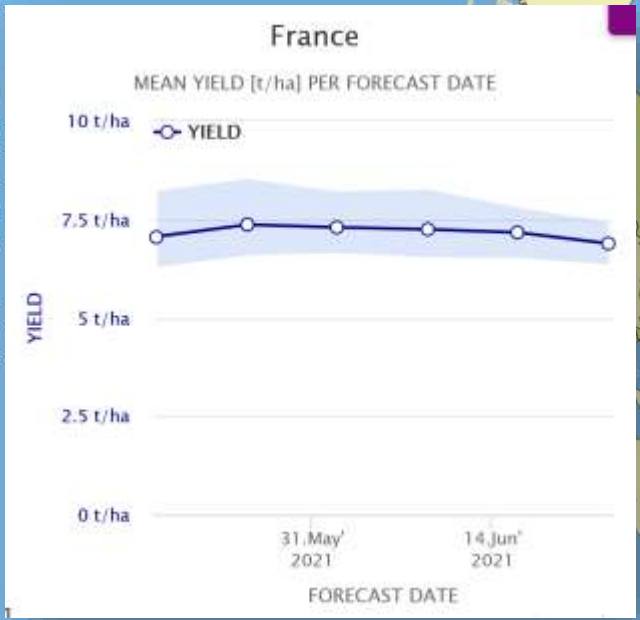


Country

Year

Crop

User Account



GPS 35.138° N 35.244° E

Leaflet | AboutUs & PrivacyPolicy, Map data © OpenStreetMap-contributors, CC-BY-SA, Imagery © Mapbox



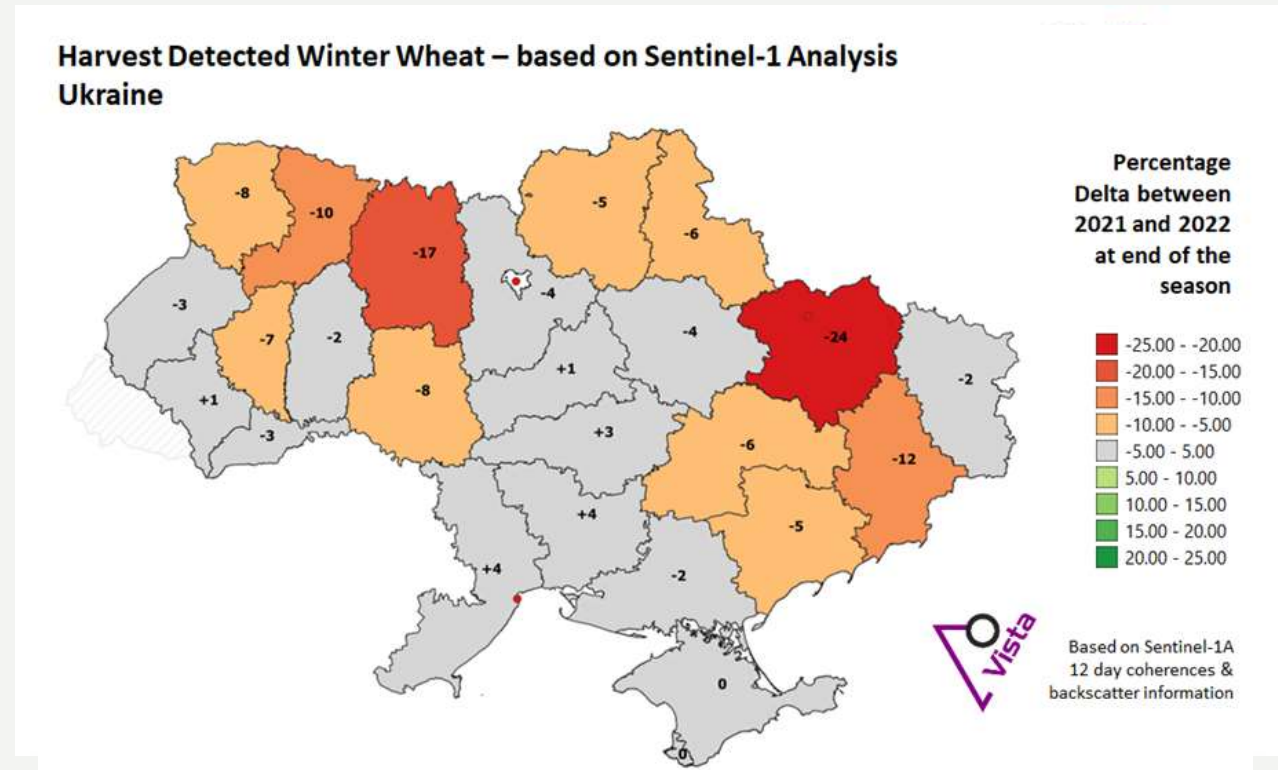
<https://ypsilon.services>

Ertragsvorhersage Ukraine 2022

- Vorhergesagte Erträge über das ganze Land waren **17% niedriger** als der Durchschnitt der letzten 4 Jahre
- **Anteil der Produktion** in besetzten Gebieten der Ukraine in 2022:
Winterweizen **24%** | Wintergerste **21%** | Winterraps **13%**
(Besetzte Gebiete = 13.7% des Ukrainischen Staatsgebiets)



Ertragsfortschritt Ukraine: wieviele Felder konnten geerntet werden?

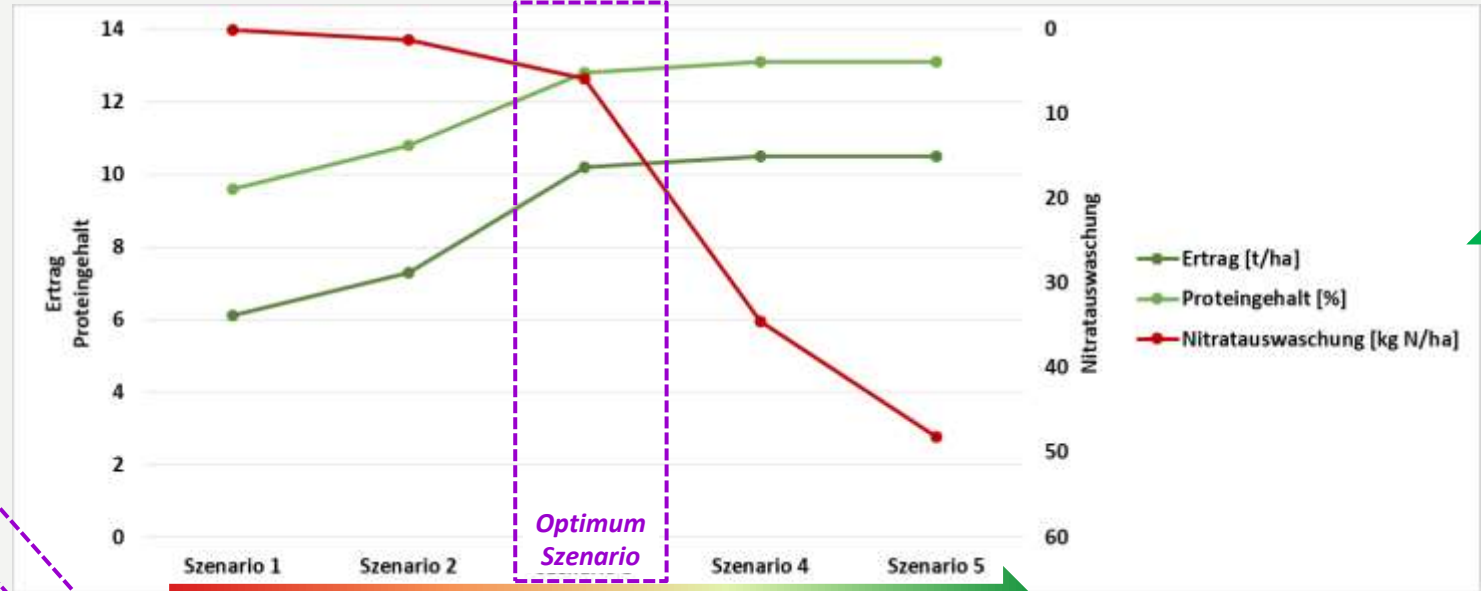
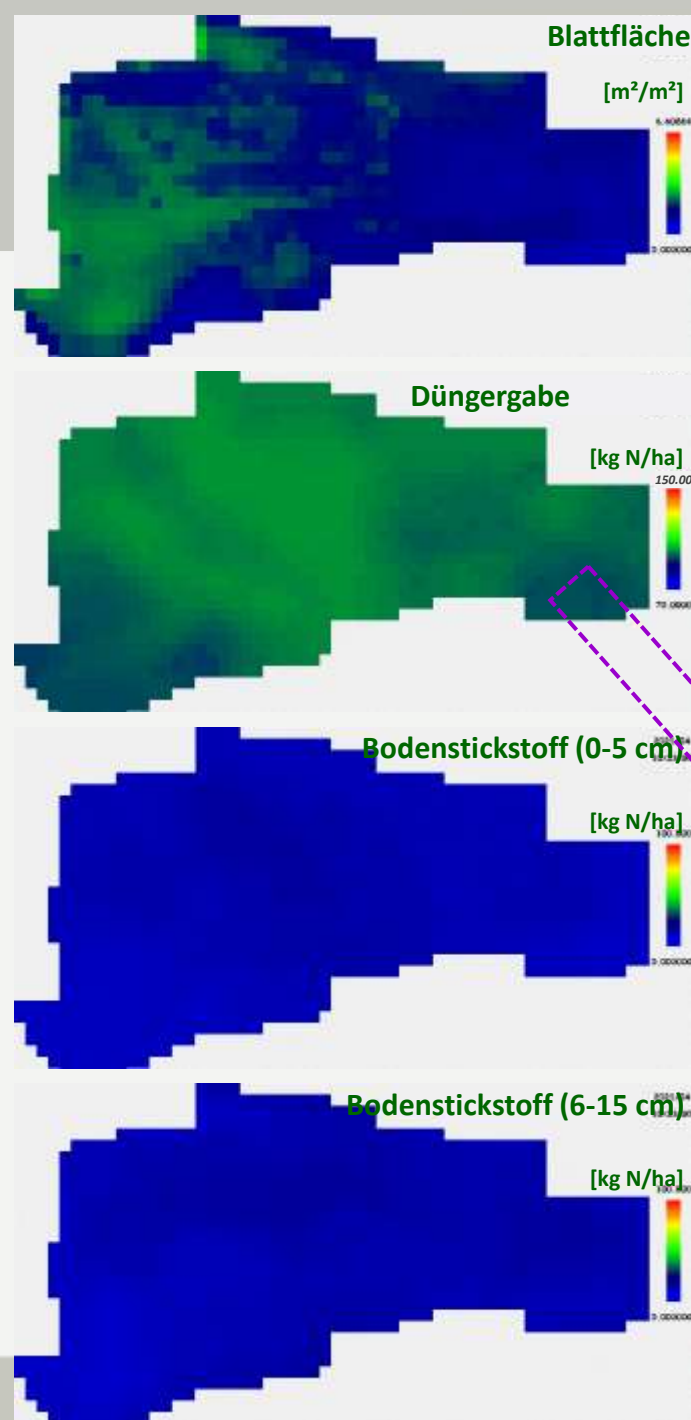




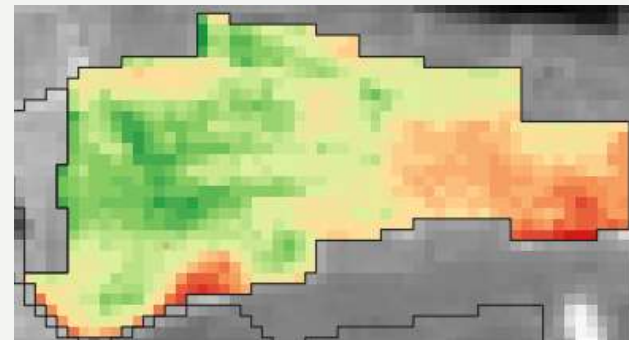
Digitale Zwillinge der Landwirtschaft

Nachhaltige Düngung

Punktgenaue Simulation von Düng-Szenarien ermöglichen die Optimierung der Düngegabe für jedes pixel (10 x 10 m)



Menge an Stickstoff-Dünger - +

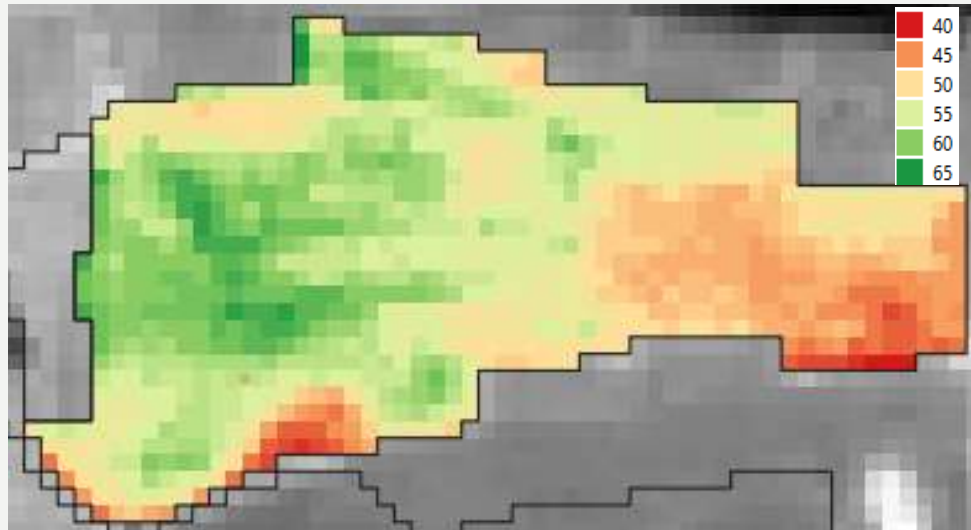


Punktgenaue Stickstoff Düngempfehlung [kg/ha]

- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65



Punktgenaue Stickstoff-Dünge-Empfehlung [kg/ha]



Räumlich optimierte Stickstoffdüngung wird für jeden Punkt im Feld direkt vom Digitalen Zwilling auf den realen Traktor hochgeladen und steuert damit die Düngemaschinen.



Synthese aus Erdbeobachtung und Simulationen reduziert Stickstoff-Verbrauch um 25%, senkt Grundwasserbelastung auf ~ 0 und erhält gleichzeitig die hohen Erträge.

Mubuyu Farms, Zambia: Reservoirfüllung nach Regenzeit

25. Mai 2018 = 3.6 Mio m³

25. Mai 2017 = 5.3 Mio m³

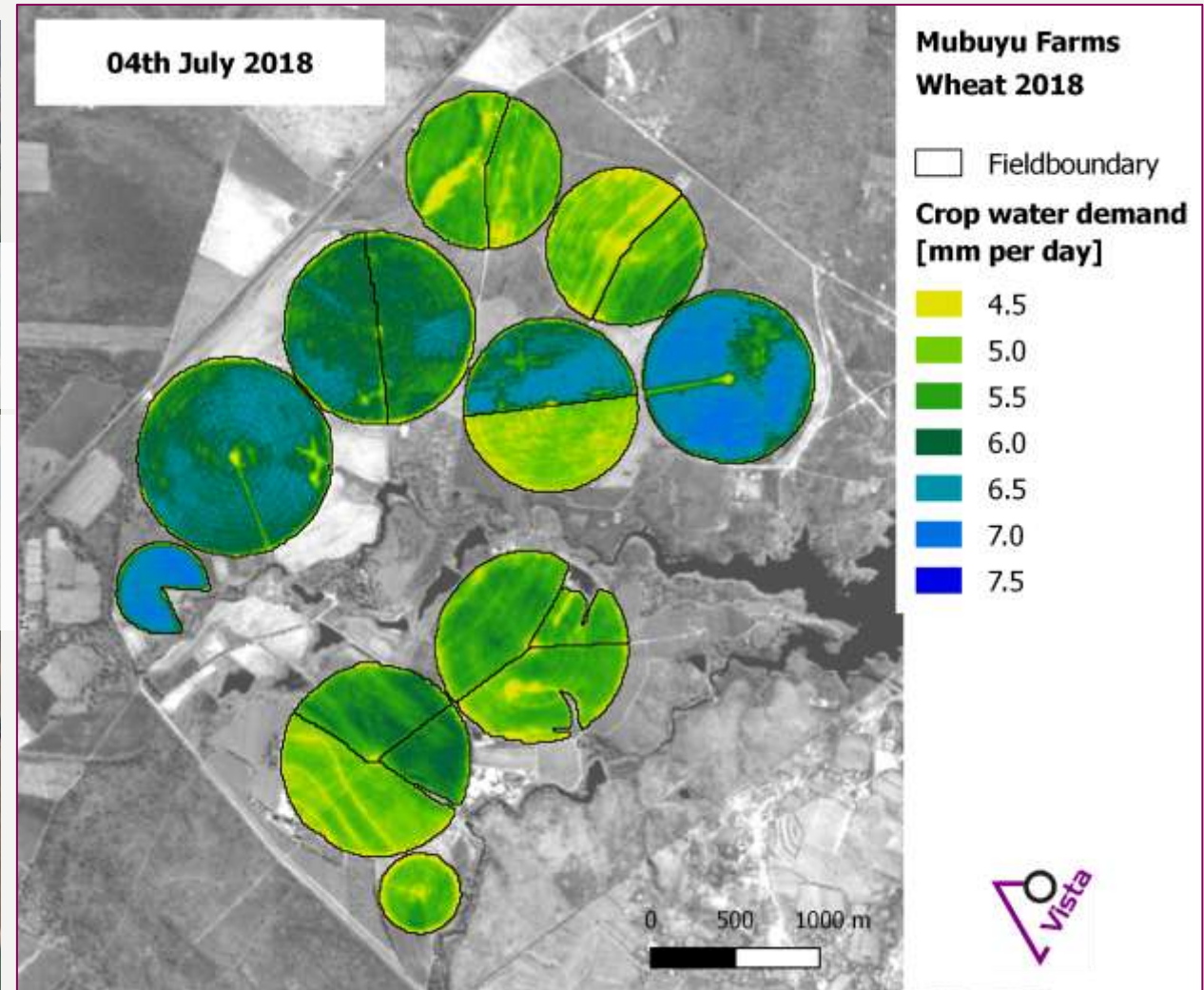
30. Mai 2016 = 5.5 Mio m³

Situation:

Ist es möglich, soviel Bewässerungswasser zu sparen, dass der Damminhalt der Farm im Trockenjahr 2018 zur Bewässerung reicht?

Lösung:

Stündliche Simulation des Wasserbedarfs basierend auf der aktuellen Entwicklung der Pflanzen



Mubuyu Farms, Zambia: Reservoirfüllung nach Regenzeit

25. Mai 2018 = 3.6 Mio m³

25. Mai 2017 = 5.3 Mio m³

30. Mai 2016 = 5.5 Mio m³

Situation:

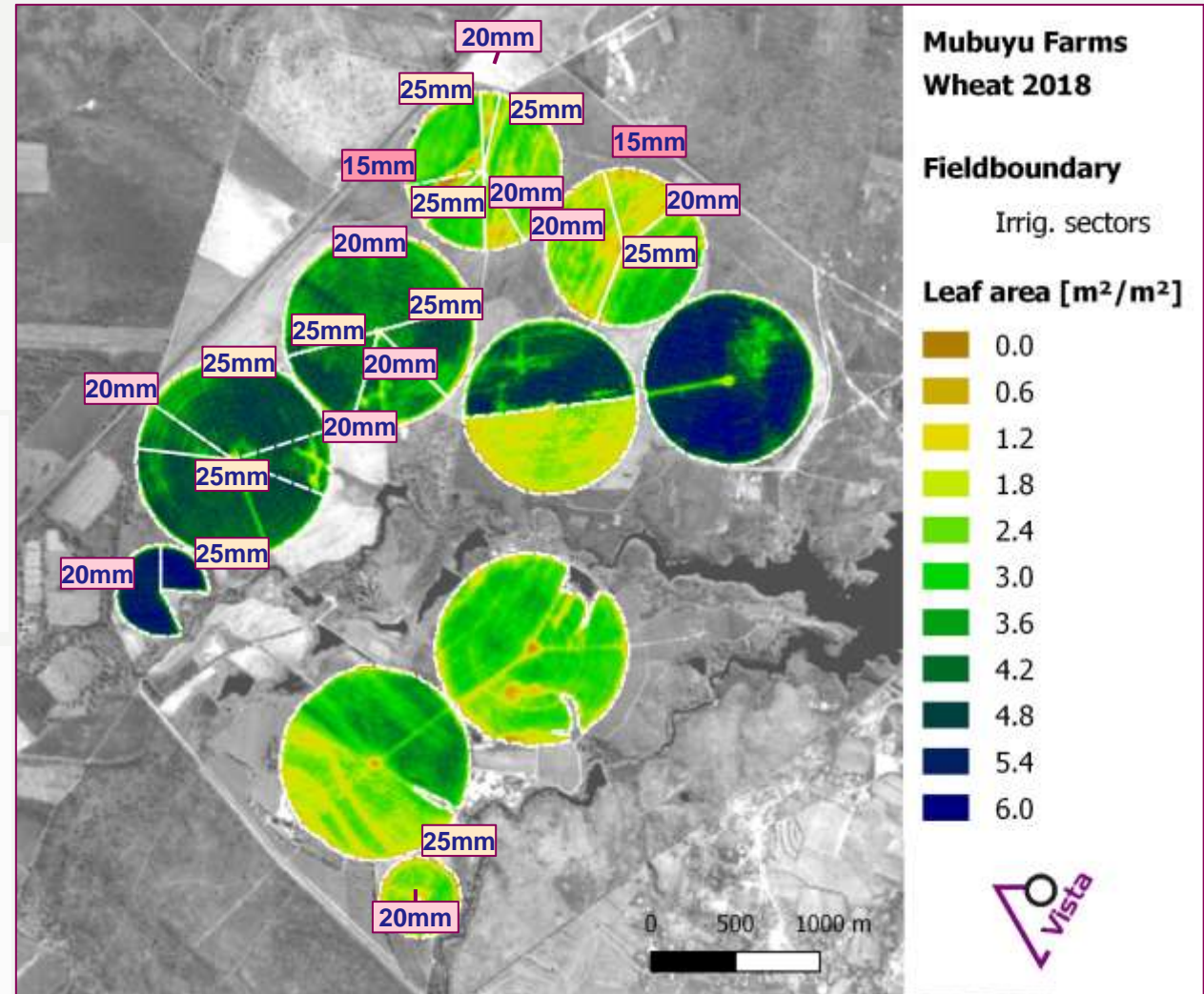
Ist es möglich, soviel Bewässerungswasser zu sparen, dass der Damminhalt der Farm im Trockenjahr 2018 zur Bewässerung reicht?

Lösung:

Stündliche Simulation des Wasserbedarfs basierend auf der aktuellen Entwicklung der Pflanzen **und wöchentliche Bewässerungsempfehlungen**

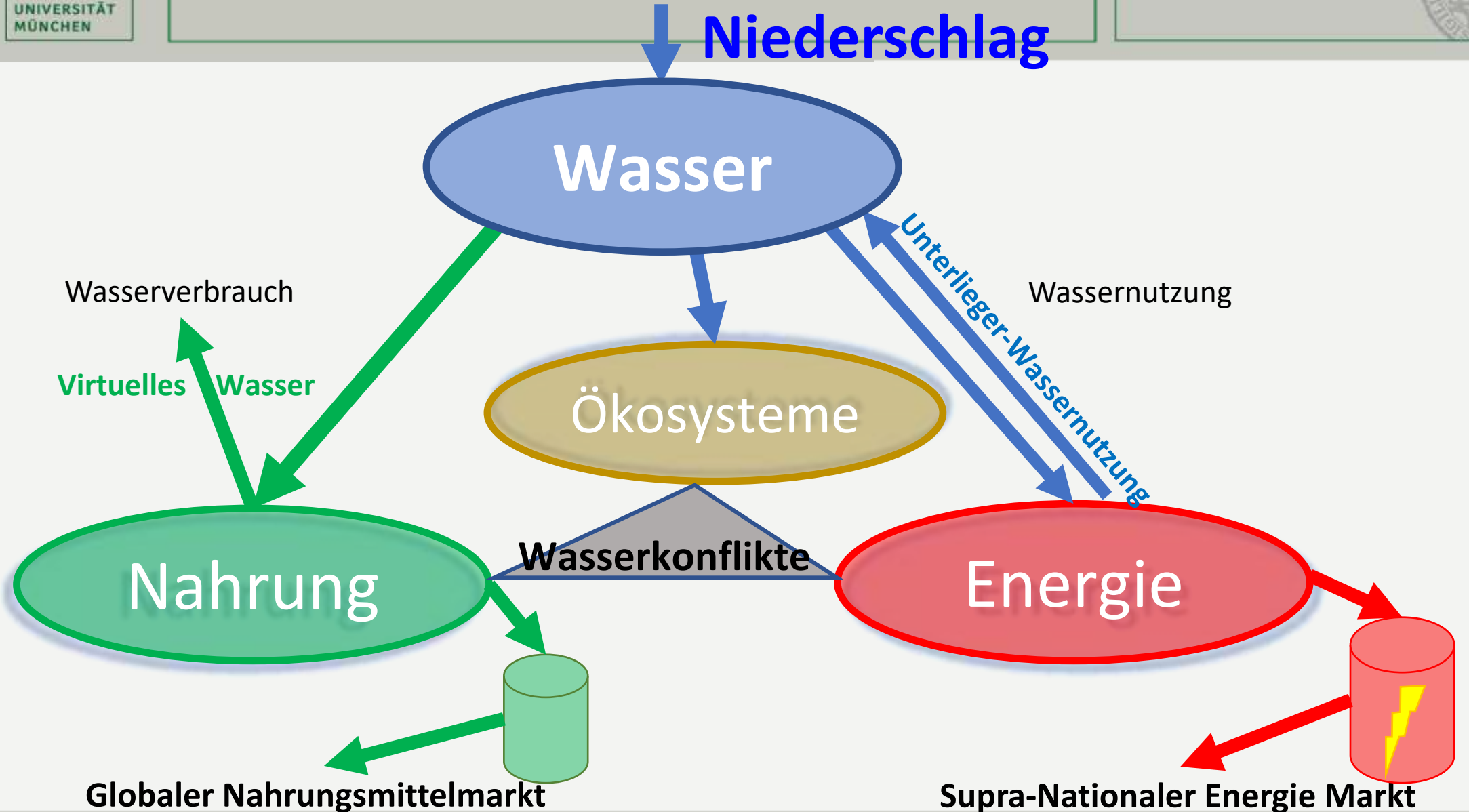
Ergkenntnis:

- Reduzierung des Bewässerungswassers **um 30%** reicht immer noch aus für die ausreichende Versorgung der Pflanzen, wenn man zur richtigen Zeit die richtige Menge gibt!
- Erhöhung des Ertrags um 25% gegenüber 2017 von 7.3 auf 9.1 t/ha
- Unterstützung der umliegenden Subsistenzbauern mit Restwasser

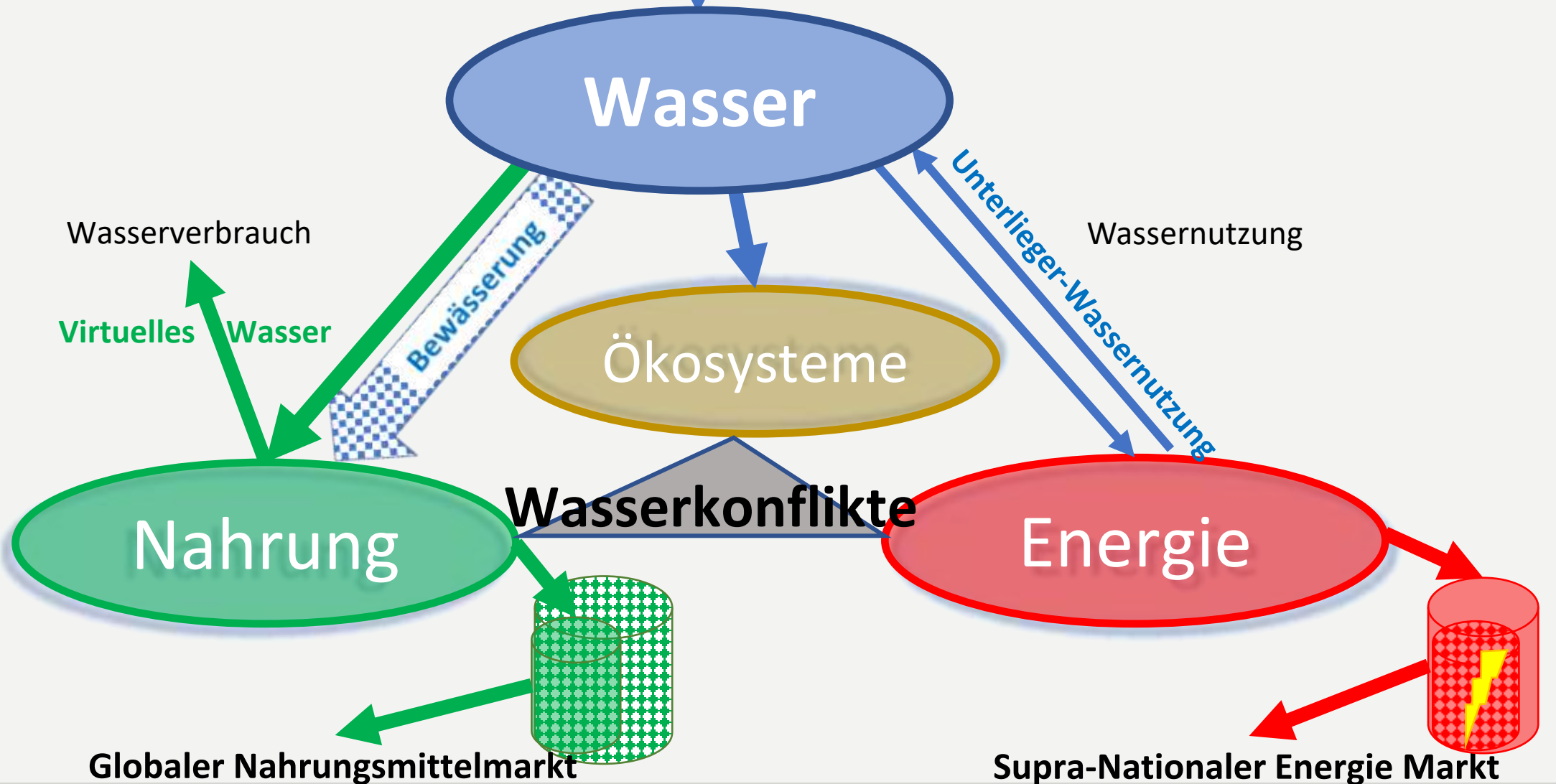


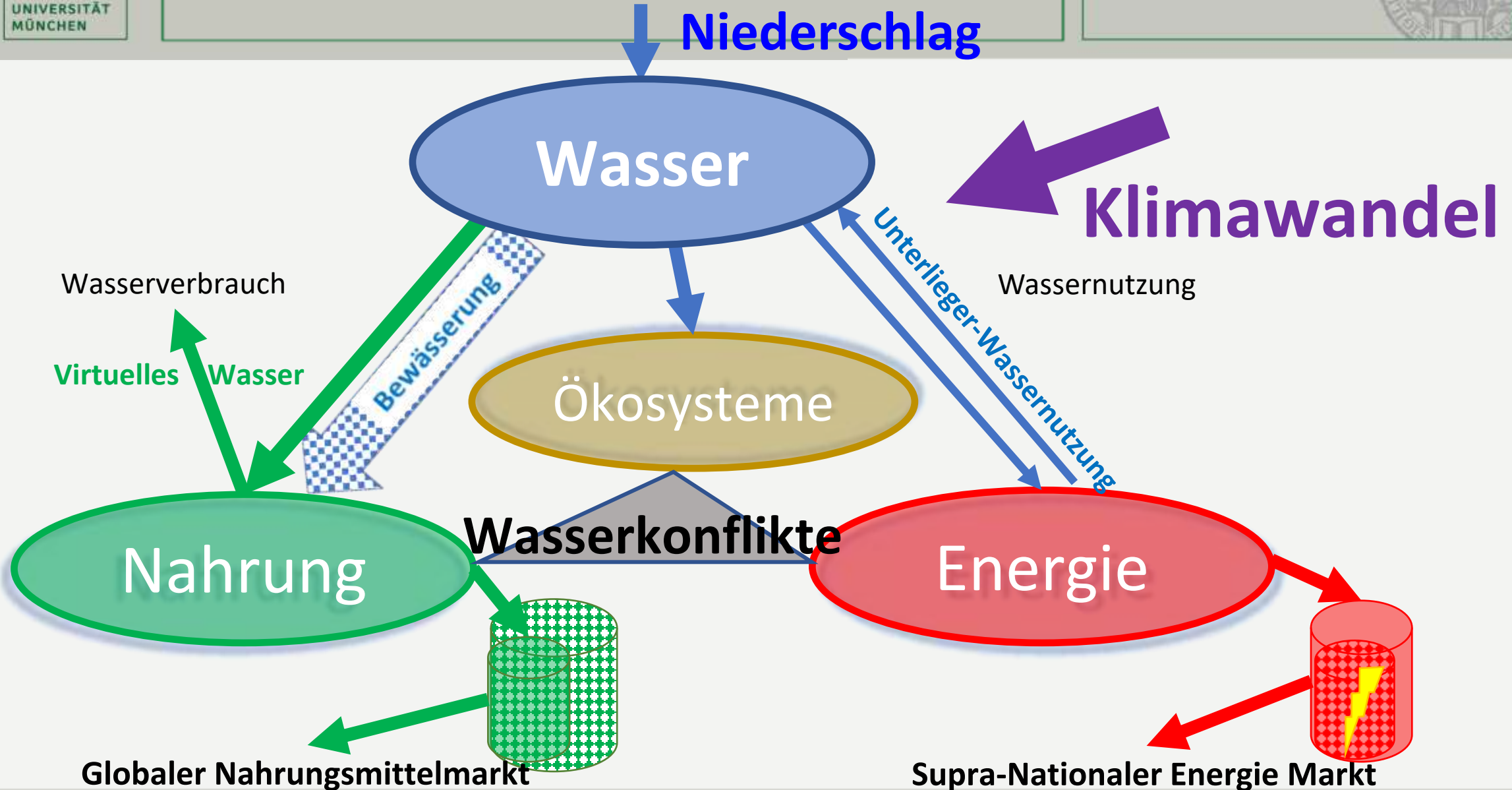


Niederschlag



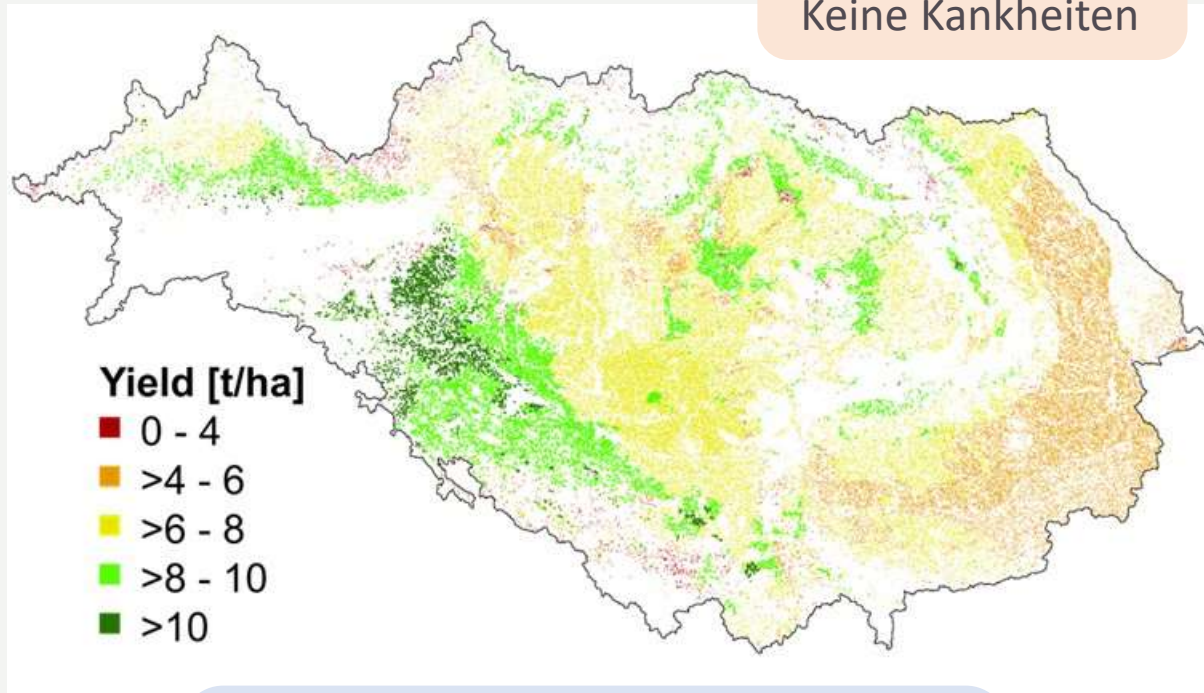
Niederschlag





Heutiger Ertrag (2015-2018)

Niederschlag allein,
Standarddüngung,
Keine Krankheiten

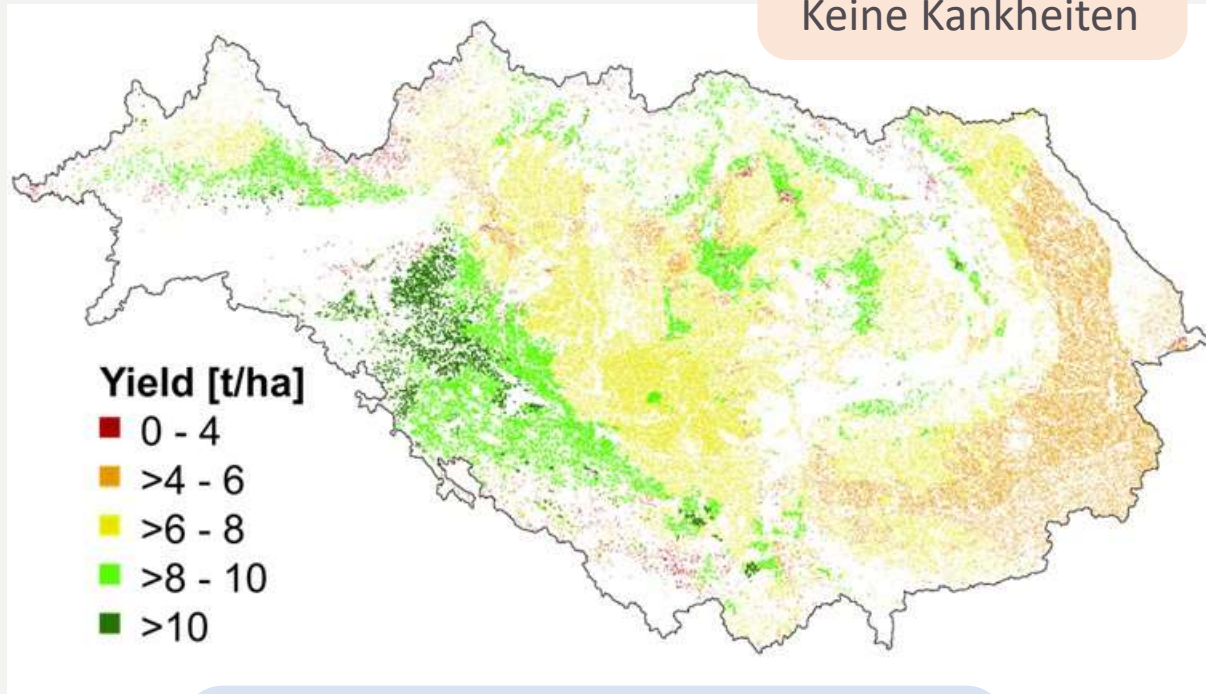


Simulierter Mais Ertrag: **6.9 t/ha**
EUROSTAT (Donauländer): **6.8 t/ha**

Gesamtproduktion Donau: **37.7 Mio. t**

Heutiger Ertrag (2015-2018)

Niederschlag allein,
Standarddüngung,
Keine Krankheiten

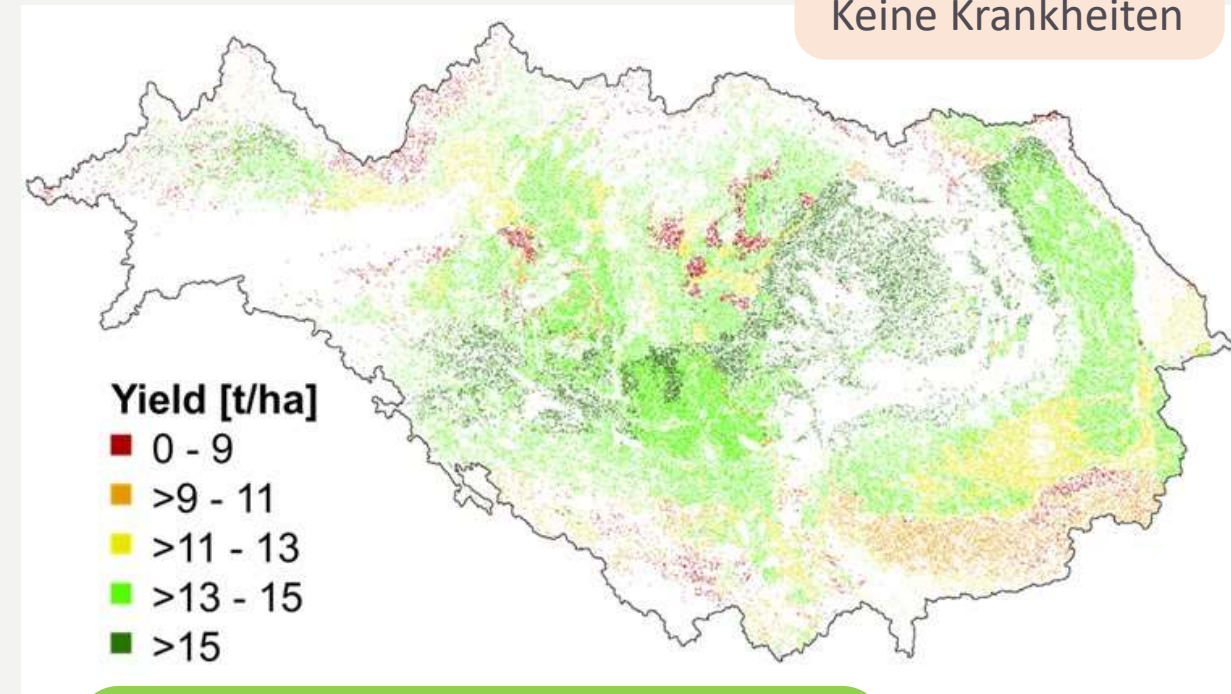


Simulierter Mais Ertrag: **6.9 t/ha**
EUROSTAT (Donauländer): **6.8 t/ha**

Gesamtproduktion Donau: **37.7 Mio. t**

Szenario: Bewässerter Ertrag (2015-2018)

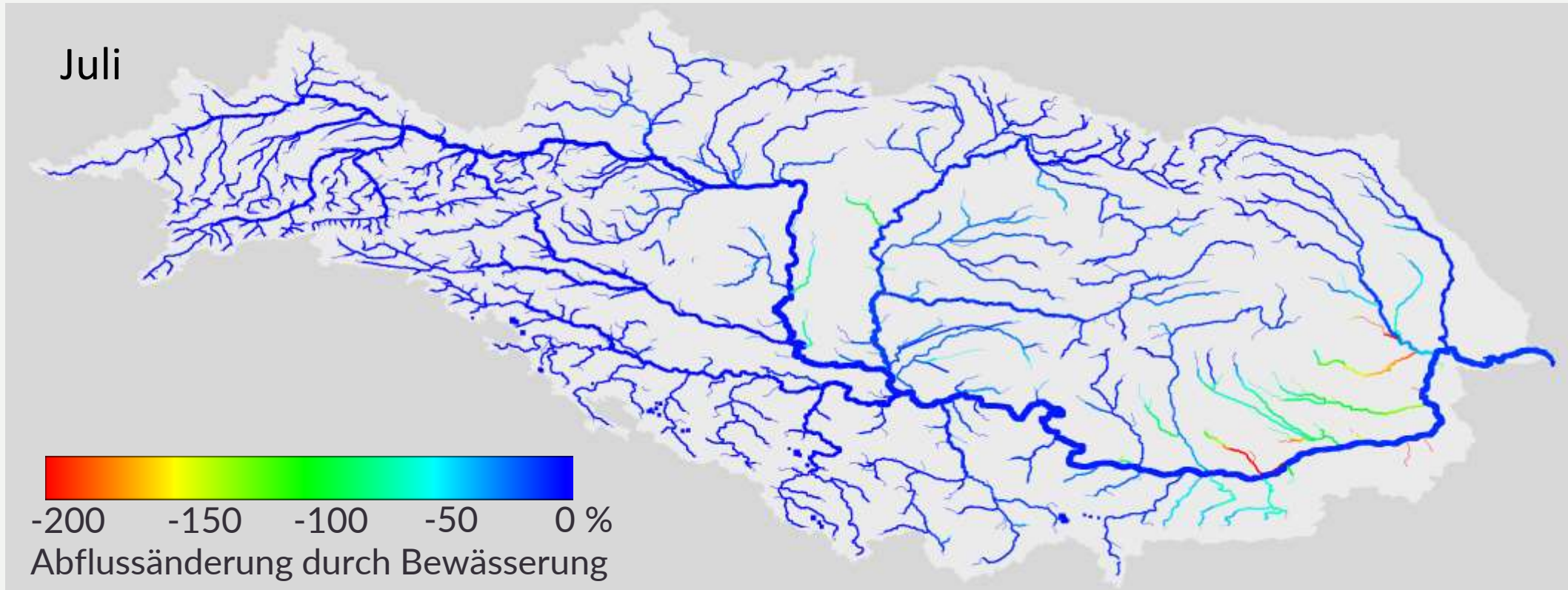
Volle Bewässerung,
Volle Düngung,
Keine Krankheiten

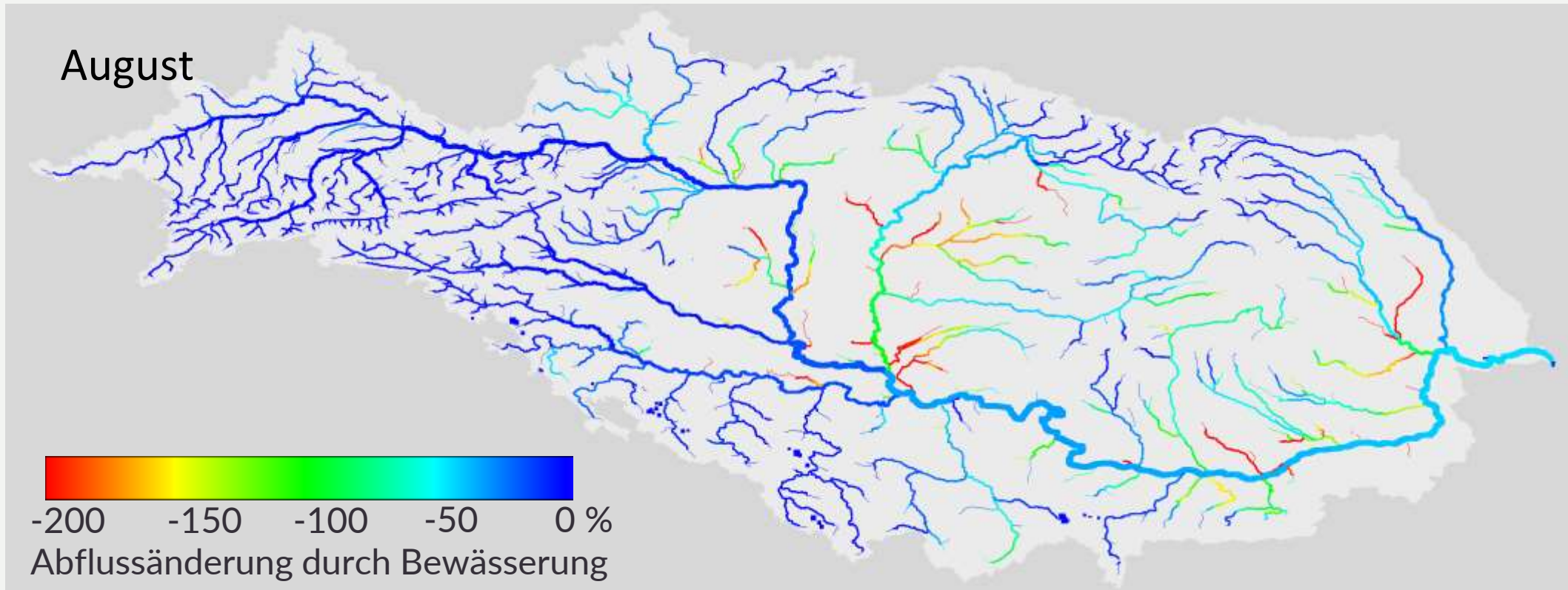


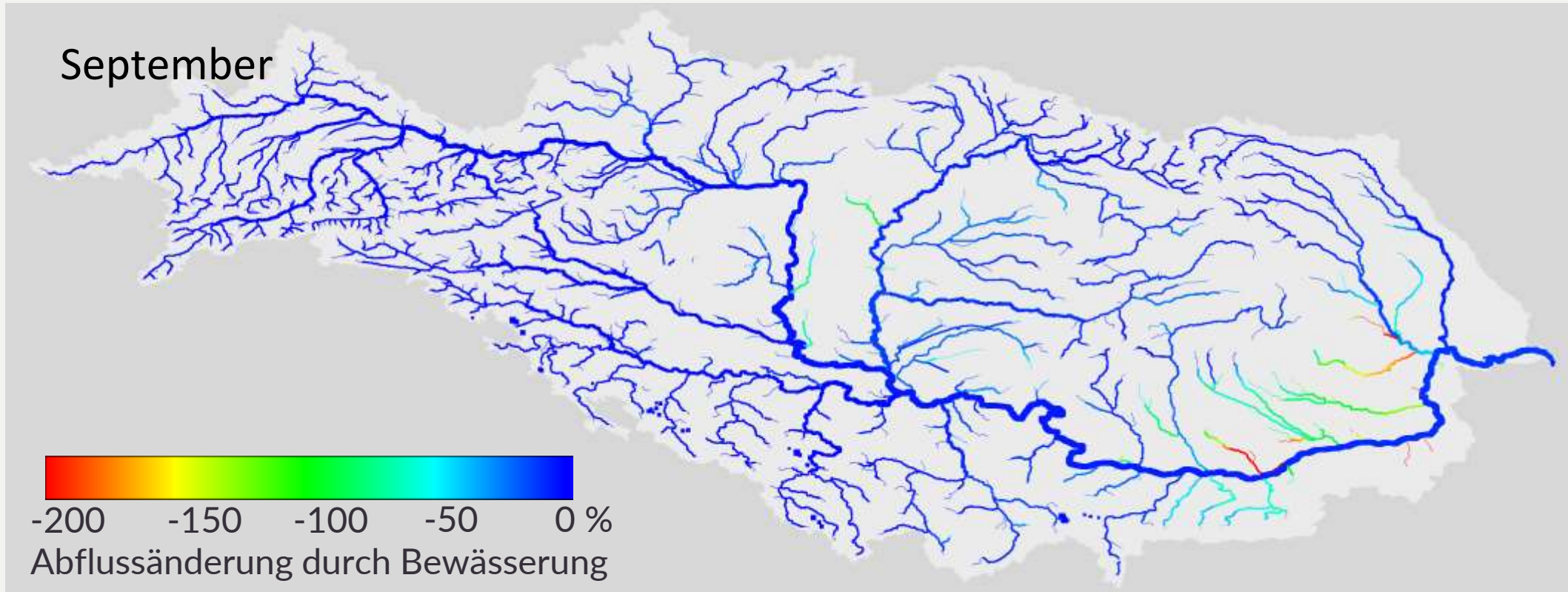
Simulierter Mais Ertrag: **13.4 t/ha**

Bewässerungswasser: **29 Milliarden m³**
Gesamtproduktion Donau: **66.8 Mio t**





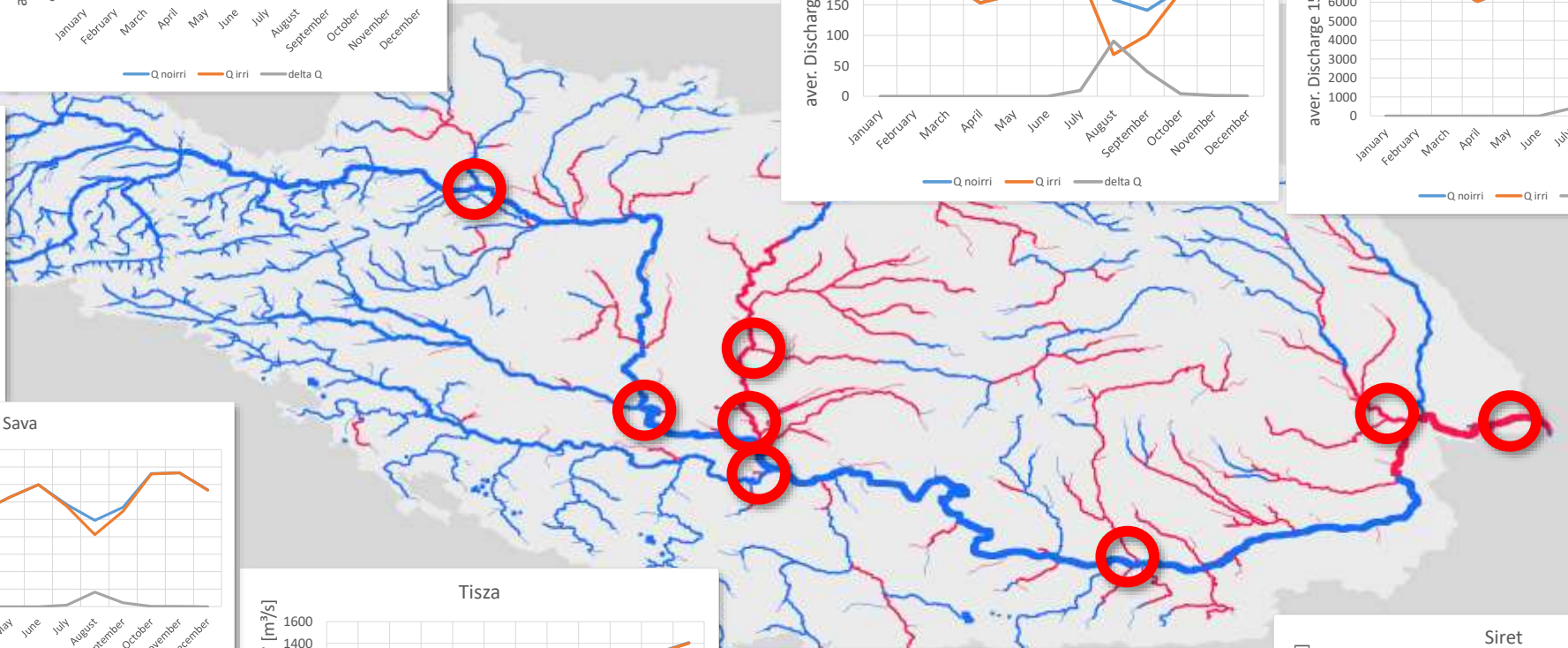
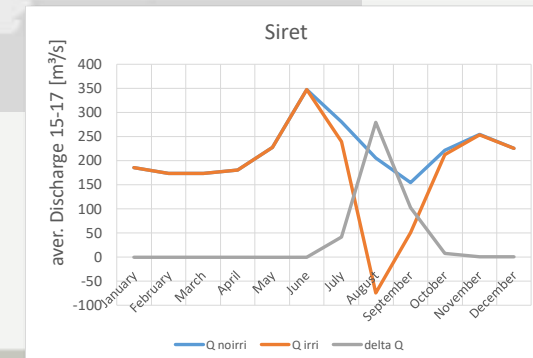
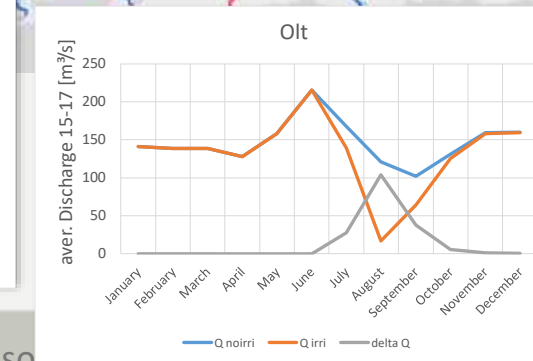
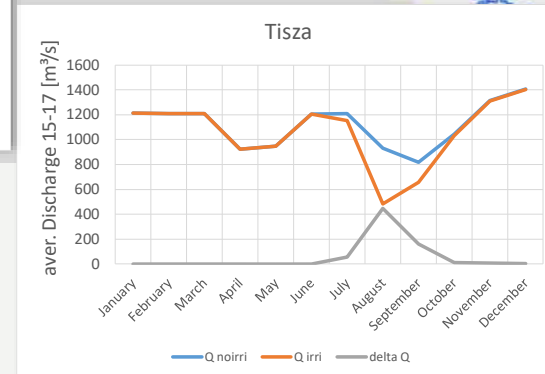
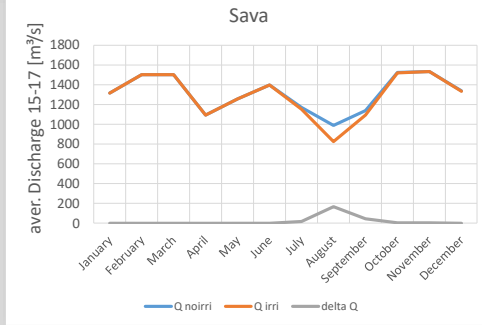
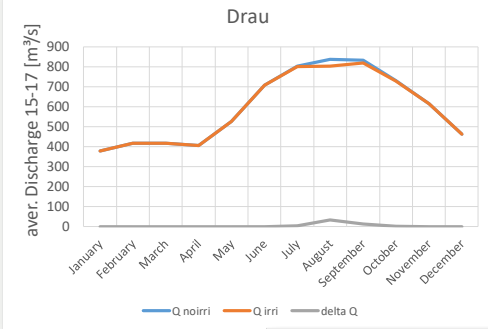
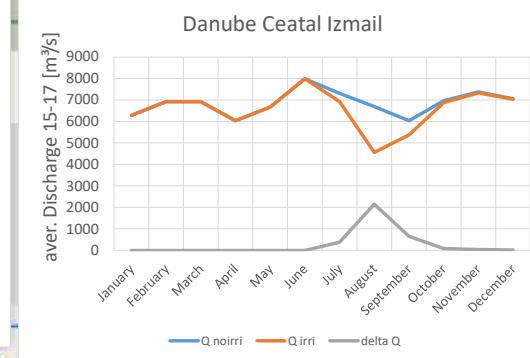
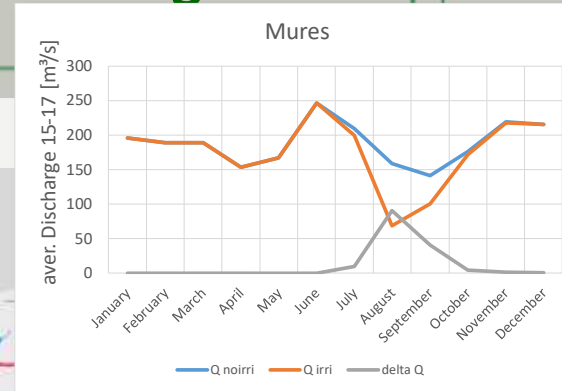
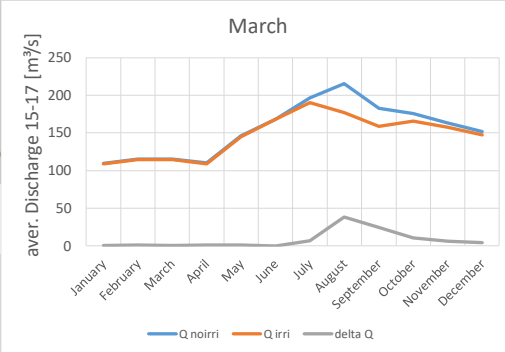




Konflikt: Bewässerung

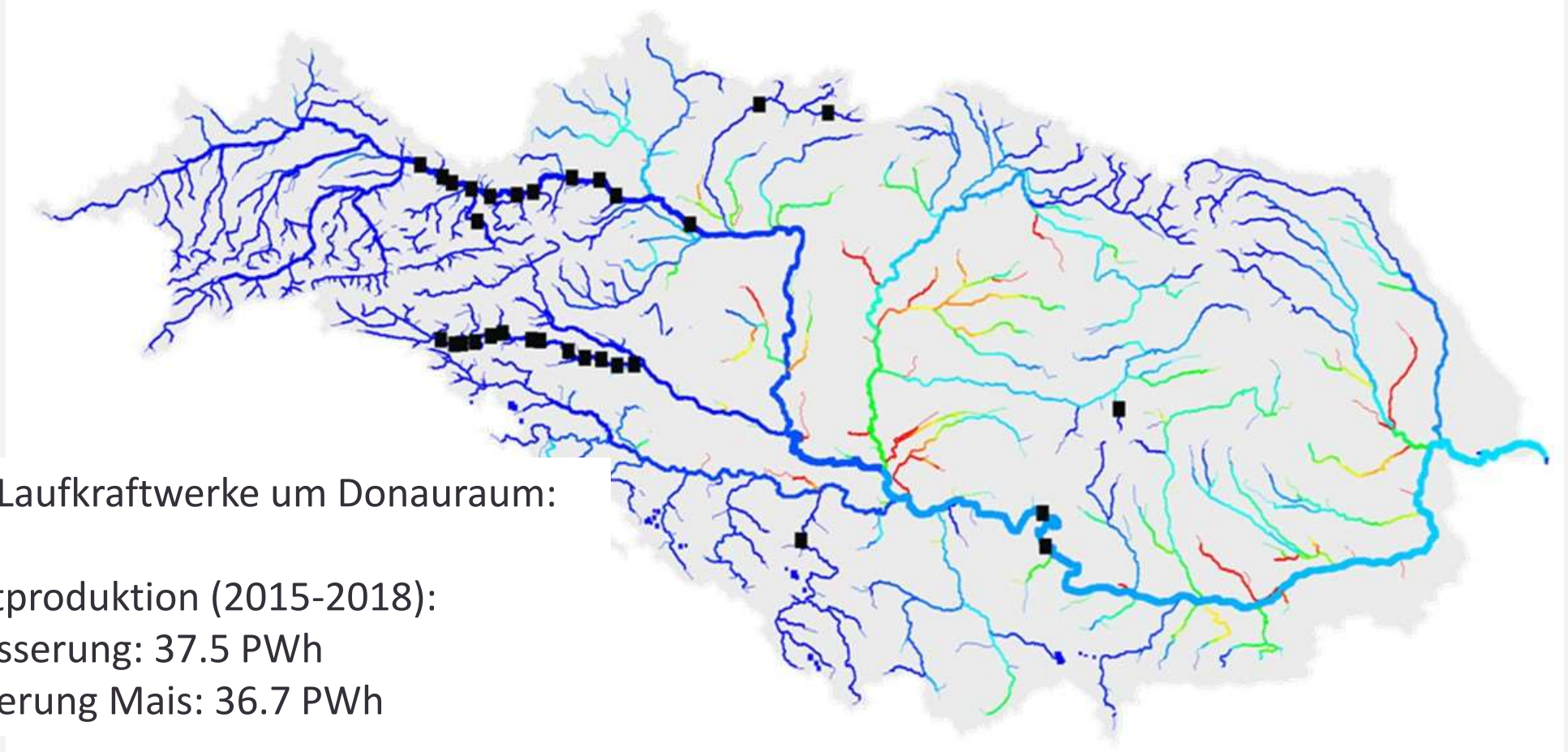


August



über min. ökol. Abfluss

unter min. ökol. Abfluss



Integrierte Bewertung:

1) Wasser:

Vollständige Bewässerung von Mais in der Donau braucht ~5 Milliarden m³ p.a.

In fast allen Flüssen in Ungarn und Rumänien würde dadurch im Juli der Abfluss unter das ökologisch vertretbare Minimum von 60% sinken (hartes Nachhaltigkeitskriterium)

2) Ernährung:

Vollständige Bewässerung würde die jetzige Maisproduktion **von 37.7 auf 66.5 Mio. t p.a.** verdoppeln

Bei 160 €/t für Mais (heute 334 €/t) bedeutet das **Mehreinnahmen von 4.6 Milliarden € p.a.**

3) Energie:

Vollständige Bewässerung von Mais würde die Wasserkrafterzeugung von 37.5 PWh/a auf 36.7 PWh/a reduzieren.

Bei einem Strompreis von 0.04 €/kWh (heute ca. 0.08 €/kWh) bedeutet dies **Mindereinnahmen von ~30 Millionen € p.a.**



Was bedeutet dieses Szenario?

- 1) Die ökologischen Konsequenzen der vollständigen Bewässerung von Mais im Donaueinzugsgebiet sind verheerend und unvertretbar für vielen Nebenflüssen der Donau. Sie stellen auch für die Untere Donau selbst eine ernsthafte Gefahr dar!
- 2) Im gezeigten Fall ist die Bewässerung allerdings wirtschaftlich um Größenordnungen attraktiver als die Wasserkrafterzeugung! Wie so oft Ökonomie gegen Ökologie?
- 3) Wie wäre folgender Gedanke:

Wenn das Ziel der Bewässerung von Mais wäre, dieselbe Menge Mais im Donaueinzugsgebiet zu erzeugen wie heute, könnten wir mit Bewässerung auf die Hälfte der Maisflächen verzichten und sie z.B. der Natur zur Erhaltung der Biodiversität zurückgeben. Wir hätten damit den Maisertrag erhalten, die Hälfte des Bewässerungswassers gespart und d!!

Wäre das ein Deal?



Ein paar Gedanken:

- In einer Welt, die sich rapide verändert...
 - ...reden wir über Disruption in der Wirtschaft, Transformation hin zur Globalen Nachhaltigkeit in der Gesellschaft und Conservation bzgl. Natur! Diese Strategien passen auf den ersten Blick gar nicht zusammen! Wie könne wir sie vereinen?
- 1) Statistische Evidenz aus der Vergangenheit verliert zunehmend an Wert:
 - Wir betreten “uncharted terrain”, keine einfache Extrapolation mehr, schwer zu akzeptieren für Politiker und Bevölkerung
 - 2) KI in der Landwirtschaft wird an ihren Hoffnungen gemessen krachend scheitern:
 - Landwirtschaft hat 1-3 Saisons pro Jahr, woher sollen die notwendigen Trainingsdaten rechtzeitig kommen (nicht erst in 50 Jahren)?
 - KI kann keine Antworten an die Zukunft geben, die nicht schon In der Vergangenheit angelegt sind!
 - 3) Kausale Zusammenhänge, Fakten und darauf (und nur darauf) basierende Modelle sind alles was wir haben zur Erschließung möglicher Zukünfte:
 - keine Kalibrierung an der Vergangenheit, leider (fast) so komplex wie die Realität, schwer zu erklären, schwer der Gesellschaft zu vermitteln!

Meine Schlussfolgerungen II



...und damit sollten wir eine Revolution anzetteln, ähnlich der Grünen Revolution der 60er Jahre, aber basierend auf Wissen und Daten, um die Welternährung auf nachhaltige Weise zu sichern. Digital Zwillinge werden dabei ein zentraler Partner sein.

Die größten Herausforderungen liegen allerdings jenseits der Technologien und Simulationen. Fragen stellen sich:

- Wem gehören die Digitalen Zwillinge, ihre Daten, Erkenntnisse und Wissen?
- Werden die Digitalen Zwillinge zukünftig über ihre realen Geschwister entscheiden?
- Werden 8 Milliarden Megacity-Menschen die Fähigkeit verlieren, die Natur und ihren Digitalen Zwilling auseinander zu halten? Was wenn?
- Wenn Digitale Zwillinge der Landwirtschaft die Natur und die Menschen komplett abbilden, kann dann ein Baum, eine Löwin, ein Primärregenwald überleben, ohne Teil der digitalen Welt zu sein?

