

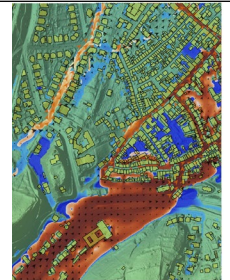
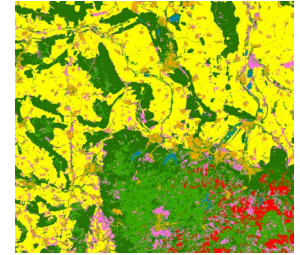


Extremwettermanagement mit digitalen Multiskalen- Methoden: Das EXDIMUM-Projekt

Markus Gerke , Pedro M. Achanccaray Diaz, Sándor P. Fekete , Michael Figge , Nicola Fohrer ,
Simon Giutronich , Phillip Keldenich, Sebastian Lutz , Michael Perk, Andreas Reinhardt , Christoph Richter, Christian
Rieck, Björn Riedel, Tim Riedemann, Fatemeh Saba, Konstantin Schrader,
Anne Schröter, Daniel Szafranski, Aida Taghavi, Paul Wagner

Gliederung

- Motivation
- Das Projekt Exdimum und seine Komponenten
- Datenquellen und -methodik
 - Fernerkundung
 - Bodensensorik und Sensornetzwerk
- Modellierung
 - SWAT+
 - Hochauflösende, dynamische Ablaufmodellierung
- Visualisierung und Maßnahmen
- Status und Ausblick



EXDIMUM

GEFÖRDERT VOM

Motivation

Beispiel Okertalsperre im Harz – ein Sinnbild für extreme Wassereignisse

2023



Blick auf die Staumauer der vollen Okertalsperre

Thomas Schulz/dpa



“Dezember-Hochwasser“ 2023 mit Auswirkungen im weiteren Verlauf der Oker (hier Braunschweig)

Motivation



EXDIMUM

Beispiel Okertalsperre im Harz – ein Sinnbild für extreme Wassereignisse

2022

2019

Folge der Trockenheit

+ Trinkwasser im Harz wird knapp: Okertalsperre nur zu 19 Prozent gefüllt



Sorgenvoller Blick auf die Zahlen: Marie Kleine, Leiterin der Unternehmenskommunikation, und Maik Uhlen, Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft bei den Harzwasserwerken, blicken auf die Statistik mit den Niederschlagsmengen der vergangenen Jahre.

Quelle: Elisabeth Woldt



Quelle: HAZ

Juni 2024 – Hamburger Forum für Geomatik | Ma

Motivation

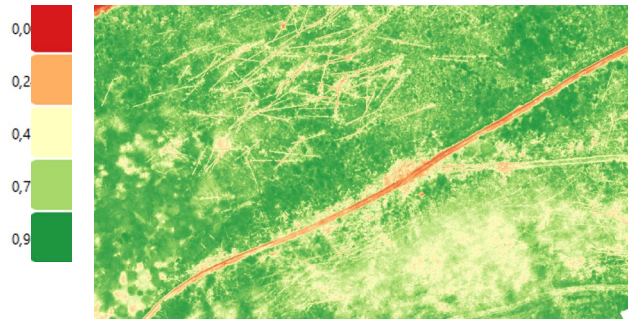
Borkenkäferbefall im Oberharz – großflächiger Verlust von Fichtenbeständen

Nationalpark Harz: Mehr als 3000 Hektar von Borkenkäfer befallen

07.06.2020, 10:25 Uhr • Lesedauer: 2 Minuten



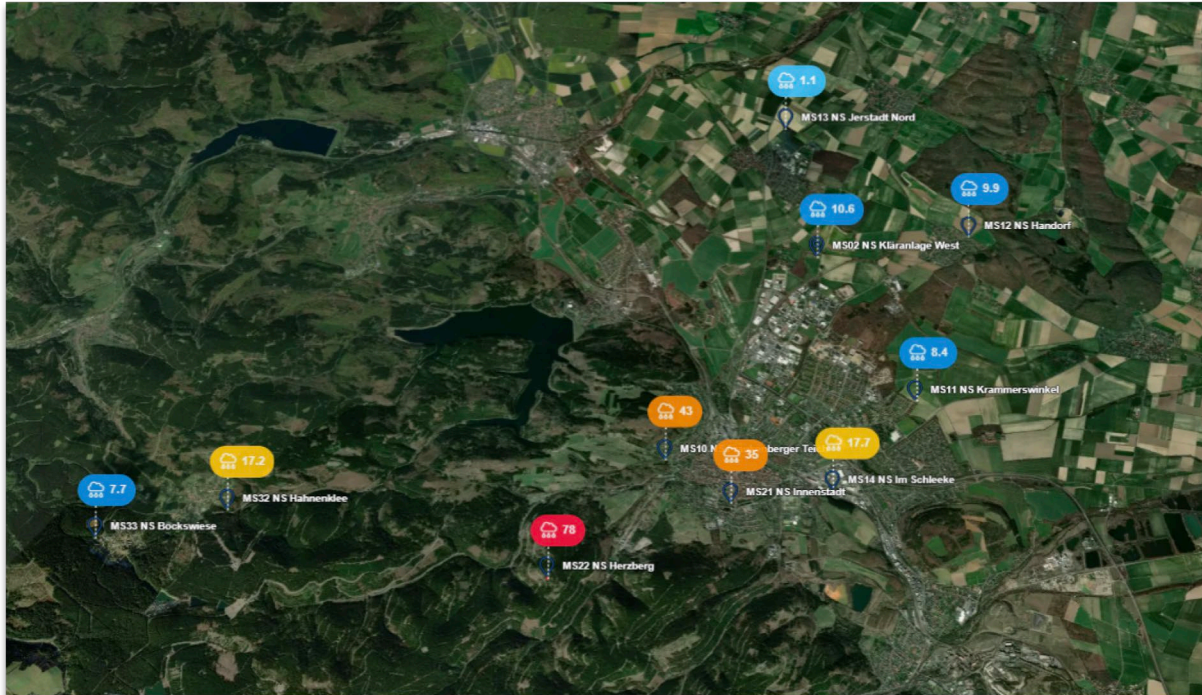
Quelle:
Harzkurier,
07.06.2020



- Beschleunigung des Befalls durch lange Dürreperioden
- Stellenweise Wiederaufforstung hat begonnen (Mischwälder)
- Drohnenbefliegung April 2024 mit RGB und Multispektral-Kamera (unten: NDVI)

Motivation

Starkregenereignisse im Harz: lokal variierend, Beispiel 22.05.2023



Motivation



EXDIMUM

Der fortschreitende Klimawandel führt zu Wetterextremen, die häufiger aufeinander folgen und die Auswirkungen verstärken können

Beispiel Harz:

- Lange Dürreperioden seit 2018 schwächen bestimmte Baumbestände, beschleunigt Zerstörung durch Borkenkäfer
 - Beeinflusst auch die Hydrologie in dem Bereich
 - Wie kann Landbedeckung/-nutzung mittelfristig optimiert werden?
- Extreme Niederschläge erfolgen zunehmend, und sind lokal stark variierend
 - Sofortmaßnahmen müssen koordiniert und
 - Infrastruktur mittel- und langfristig lokal angepasst werden

Motivation



EXDIMUM

Schutzmaßnahmen müssen für *kurzfristige* Extremereignisse optimiert werden für *relativ kleine Bereiche*

Resilienz sollte *langfristig* über *großflächige Änderungen*, z.B. über Anpassung der Landbedeckung, optimiert werden

Hier setzt Exdimum an:

Beobachtung und Modellierung der wichtigen Parameter sowohl im *gesamten Einzugsgebiet*, wie auch *lokal*. Fokus auf *langfristige Modellierung* aber auch Abflußmodellierung in *hochaufgelösten kleinen Gebieten* und *Reaktionsfähigkeit* im Hochwasserfall.

Projektgebiet: Harz, Schwerpunktregion Goslar

Laufzeit: Februar 2022 bis Januar 2025 (TUBS IGP (FE) seit Juni 2023)

Räumliche Skala
Gebietsgröße
 km^2

Fernerkundung

Hydrologie

Umweltanalytik

Maßnahmen

250^2

100^2

10^2

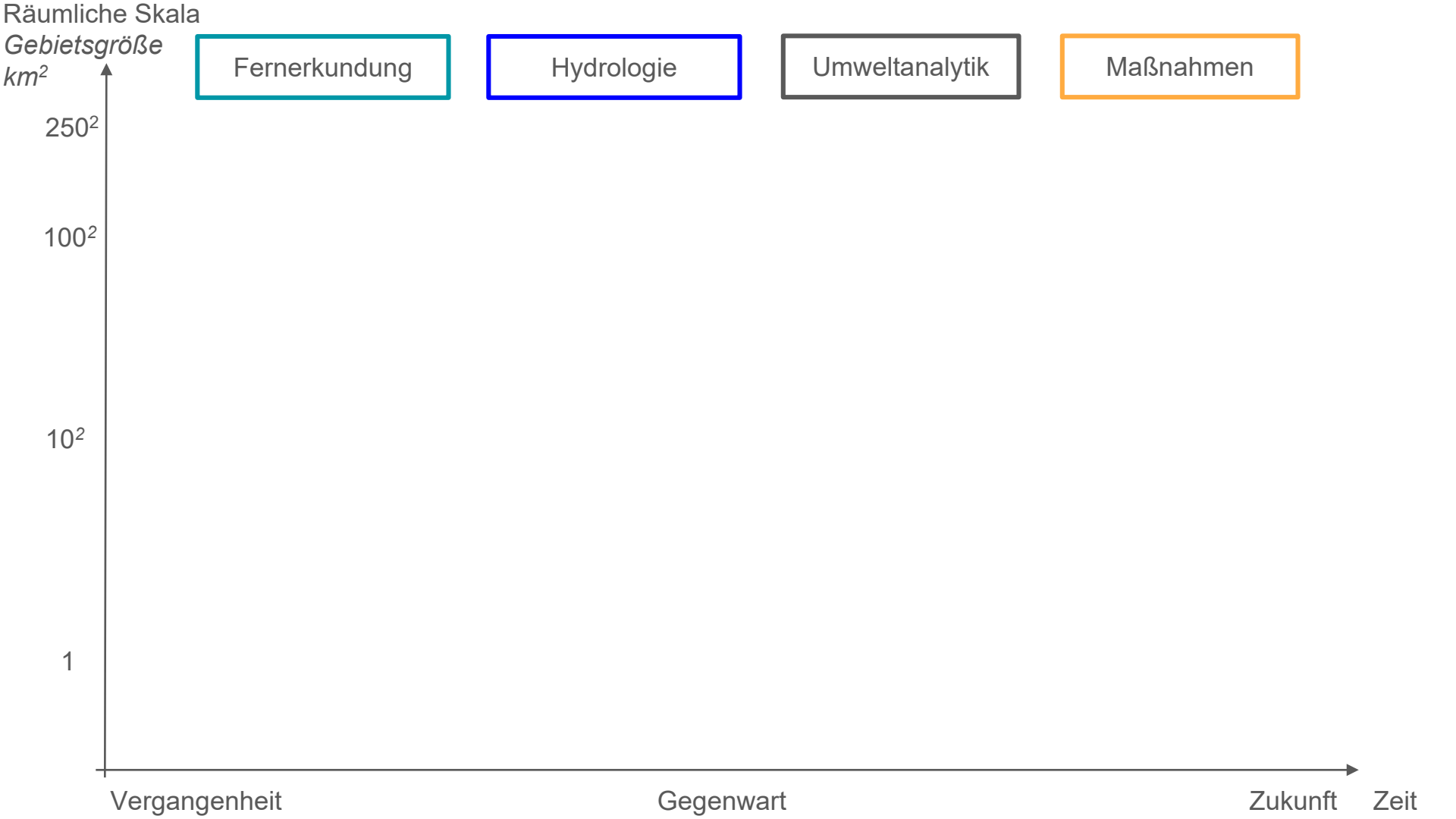
1

Vergangenheit

Gegenwart

Zukunft

Zeit



Räumliche Skala
Gebietsgröße
km²

Fernerkundung

Hydrologie

Umweltanalytik

Maßnahmen

250²

100²

10²

1

Klimaresilienz durch angepasste
Landbedeckung und -nutzung

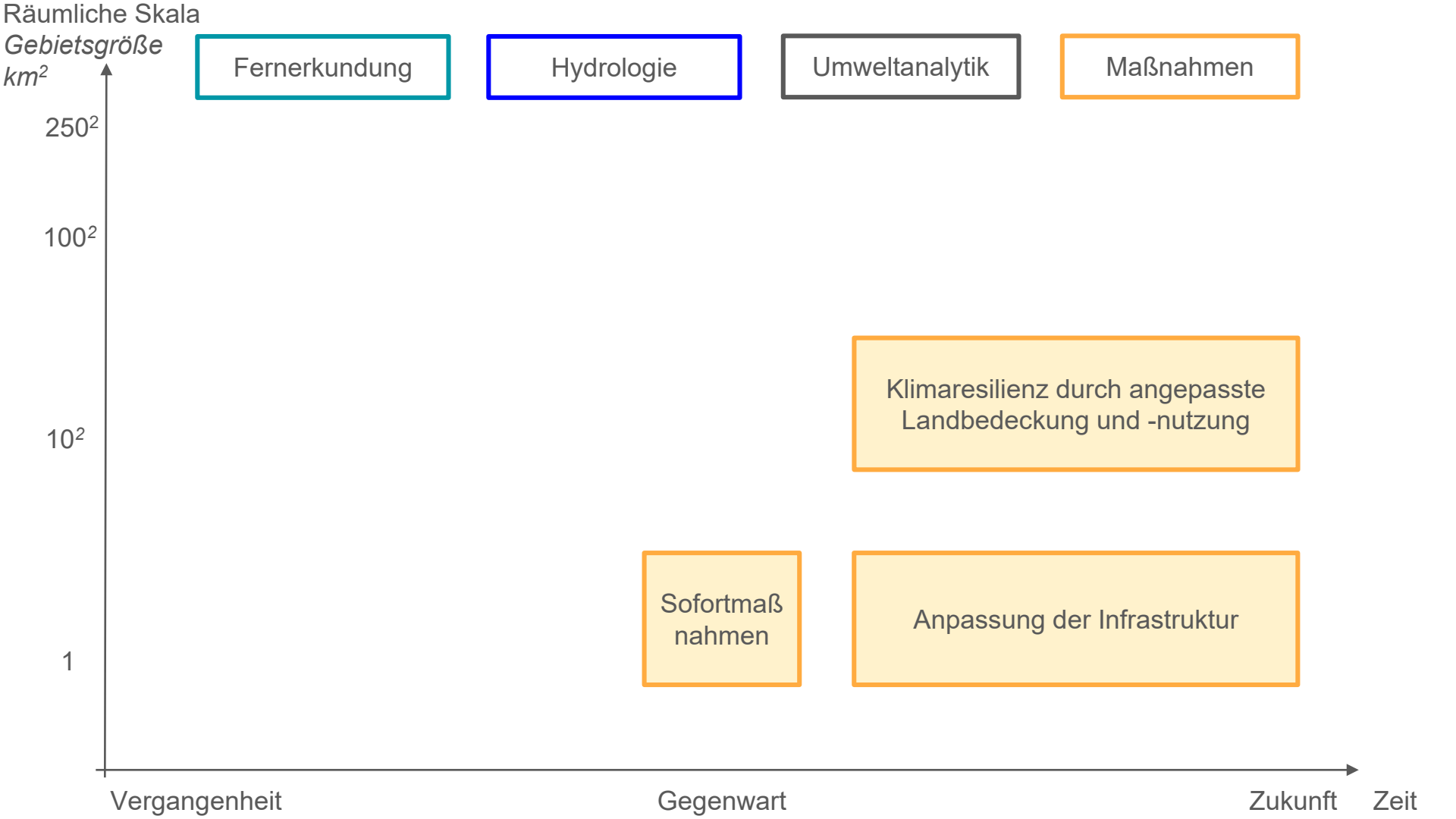
Sofortmaß
nahmen

Anpassung der Infrastruktur

Vergangenheit

Gegenwart

Zukunft Zeit



Räumliche Skala
Gebietsgröße
km²

Fernerkundung

Hydrologie

Umweltanalytik

Maßnahmen

250²

100²

10²

1

SWAT+ Modellierung

Klimaresilienz durch angepasste
Landbedeckung und -nutzung

hochauflösende, dynamische Abflussmodellierung

Sofortmaß
nahmen

Anpassung der Infrastruktur

In-situ Sensorik

Vergangenheit

Gegenwart

Zukunft Zeit

Räumliche Skala
Gebietsgröße
 km^2

Fernerkundung

Hydrologie

Umweltanalytik

Maßnahmen

250²

100²

10²

1

LULC-Monitoring / Bodenfeuchte / Wasserflächen

SWAT+ Modellierung

Klimaresilienz durch angepasste
Landbedeckung und -nutzung

hochauflösende, dynamische Abflussmodellierung

Sofortmaß
nahmen

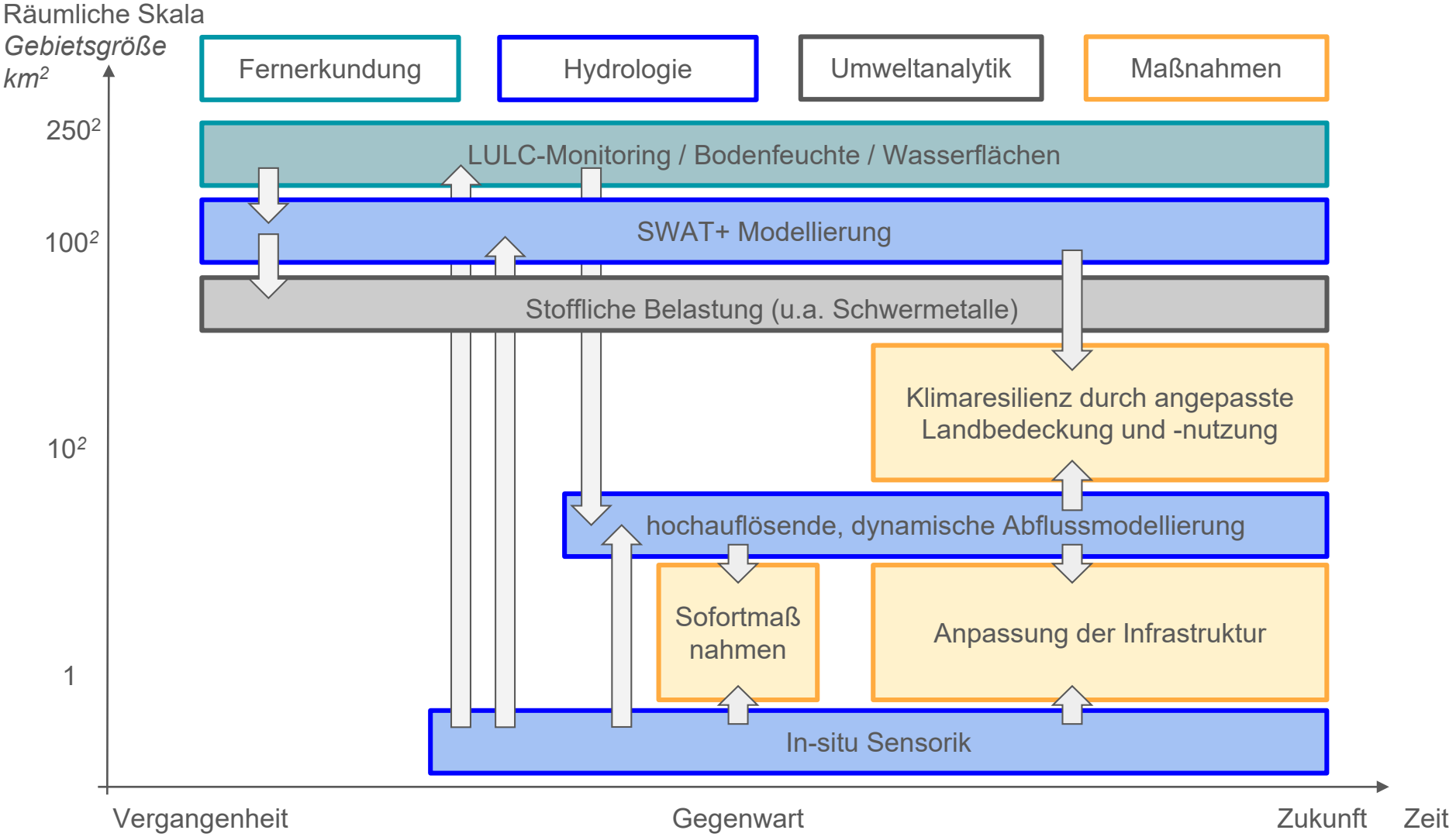
Anpassung der Infrastruktur

In-situ Sensorik

Vergangenheit

Gegenwart

Zukunft Zeit



Räumliche Skala
Gebietsgröße
km²

Fernerkundung Hydrologie Umweltanalytik Maßnahmen

250²
100²
10²
1

LULC-Monitoring / Bodenfeuchte / Wasserflächen



SWAT+ Modellierung



Stoffliche Belastung (u.a. Schwermetalle)



Klimaresilienz durch angepasste
Landbedeckung und -nutzung

hochauflösende, dynamische Abflussmodell



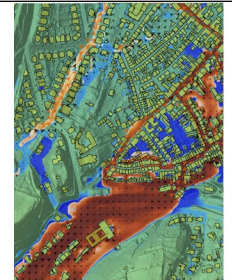
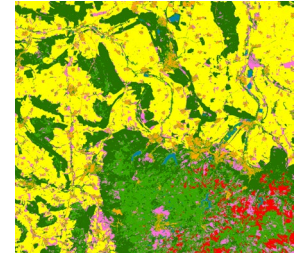
EURAWASSER
Sofortmaßnahmen
Anpassung der Infrastruktur

DSI Aerospace Technology REMONDIS® AMENO TU Clausthal

Vergangenheit Gegenwart Zukunft Zeit

Gliederung

- Motivation
- Das Projekt Exdimum und seine Komponenten
- Datenquellen und -methodik
 - Fernerkundung
 - Bodensensorik und Sensornetzwerk
- Modellierung
 - SWAT+
 - Hochauflösende, dynamische Ablaufmodellierung
- Visualisierung und Maßnahmen
- Status und Ausblick



Datenquellen und –methodik: Fernerkundung



EXDIMUM

Aufgaben und Ziele:

1. Generierung von Landbedeckung und -nutzungsklassen für den Zeitraum 2010 bis heute: Ackerland, Grünland, bebaute Flächen, Wasserflächen, Laubwald, Nadelwald (inkl. Status: Totholz)

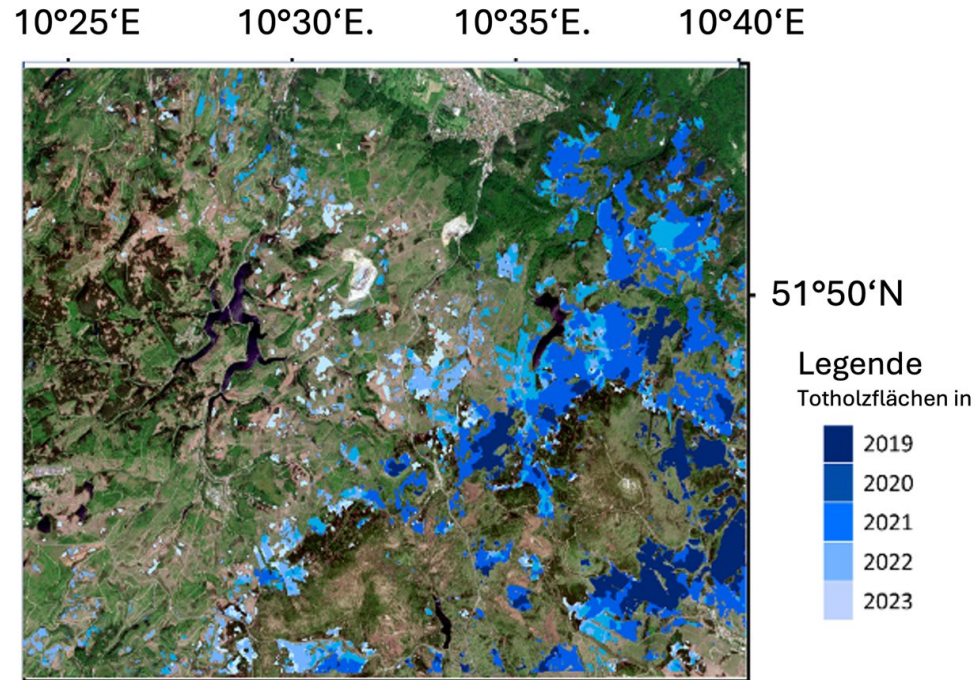
- aus optischen FE-Daten: Sentinel-1/-2, Landsat, RapidEye, Planet
- als Eingabegrößen in hydrologische Modellierung
- Herausforderung: Referenzdaten sind nur für einige Jahre vorhanden, tlw. heterogen. Totholz muss manuell erfasst werden (→ auch UAV)

2. Monitoring der Bodenfeuchte

- aus optischen und aktiven Radardaten: Sentinel-1 und -2
- als Eingabegröße in hydrologische Modellierung und zur aktuellen Lageeinschätzung (Dashboard)

Datenquellen und –methodik: Fernerkundung

Beispielhafte Ergebnisse: Totholzentwicklung



Datenquellen und –methodik: Bodensensorik



EXDIMUM

Aufgaben und Ziele:

1. Ausbringen von Sensoren im Untersuchungsgebiet: Füllstand von Retentionsanlagen, Flusspegel, Durchfluss, Bodenfeuchte, Niederschlag, Temperatur (Remondis)
2. Vernetzen der Sensoren: Sicherstellung von drahtloser Kommunikation auch bei schlechten Wetterbedingungen (TU Clausthal)
3. Entwicklung eines autarken Sensors mit Kamera und Schnittstellen, LoRa-Übertragung (DSI)
4. Bereinigen der Sensordaten (Ameno)



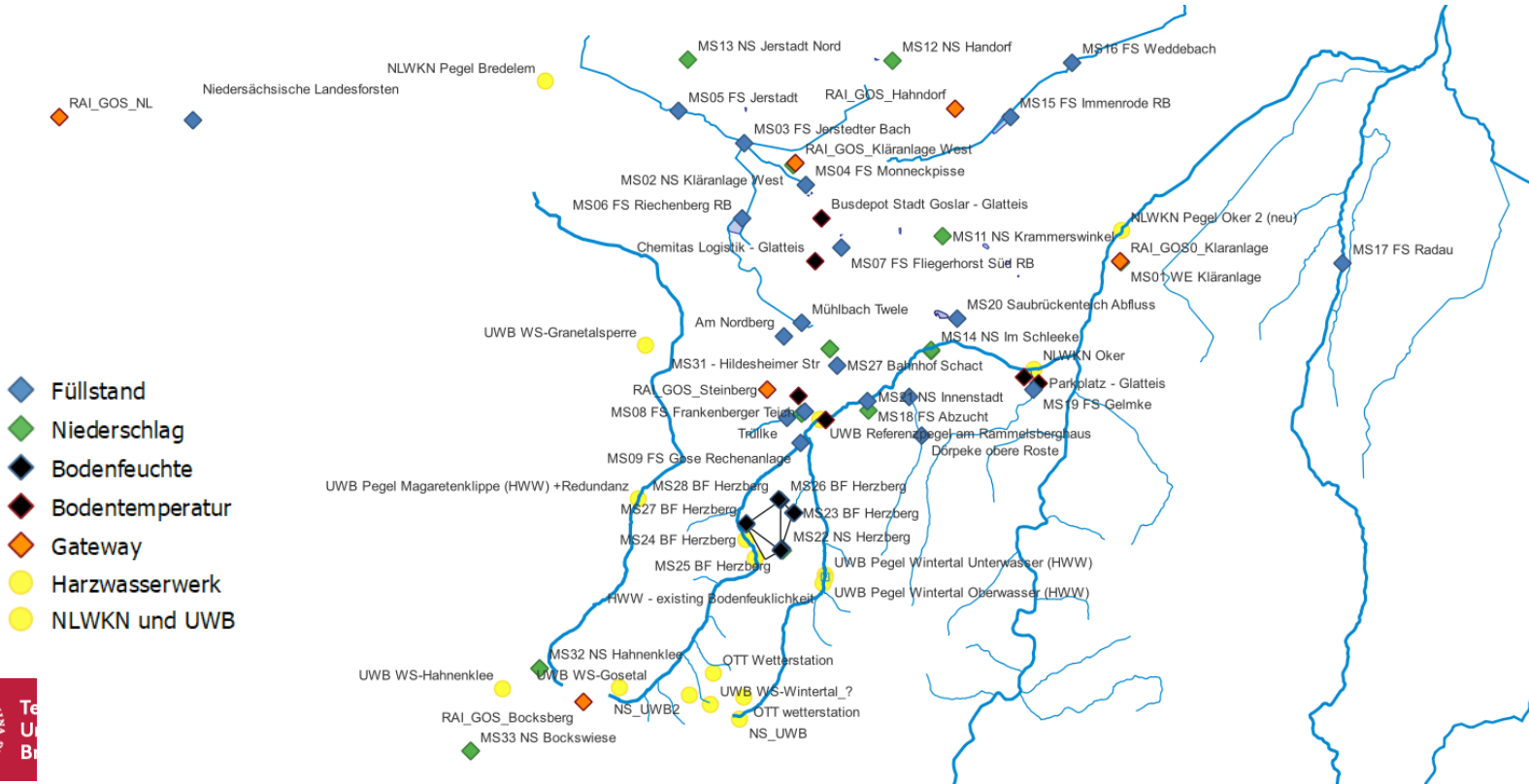
Bereitstellung für hydrologische Modellierung und zur aktuellen Lageeinschätzung (Dashboard)

Datenquellen und –methodik: Bodensensorik



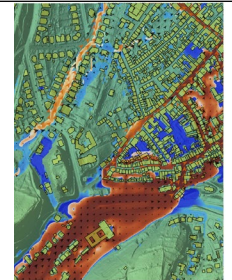
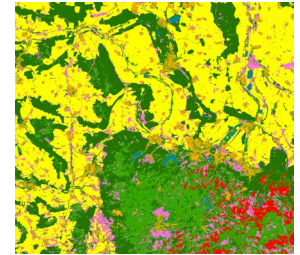
EXDIMUM

Aktuelle Installationen



Gliederung

- Motivation
- Das Projekt Exdimum und seine Komponenten
- Datenquellen und -methodik
 - Fernerkundung
 - Bodensensorik und Sensornetzwerk
- Modellierung
 - SWAT+
 - Hochauflösende, dynamische Ablaufmodellierung
- Visualisierung und Maßnahmen
- Status und Ausblick



Modellierung– SWAT+



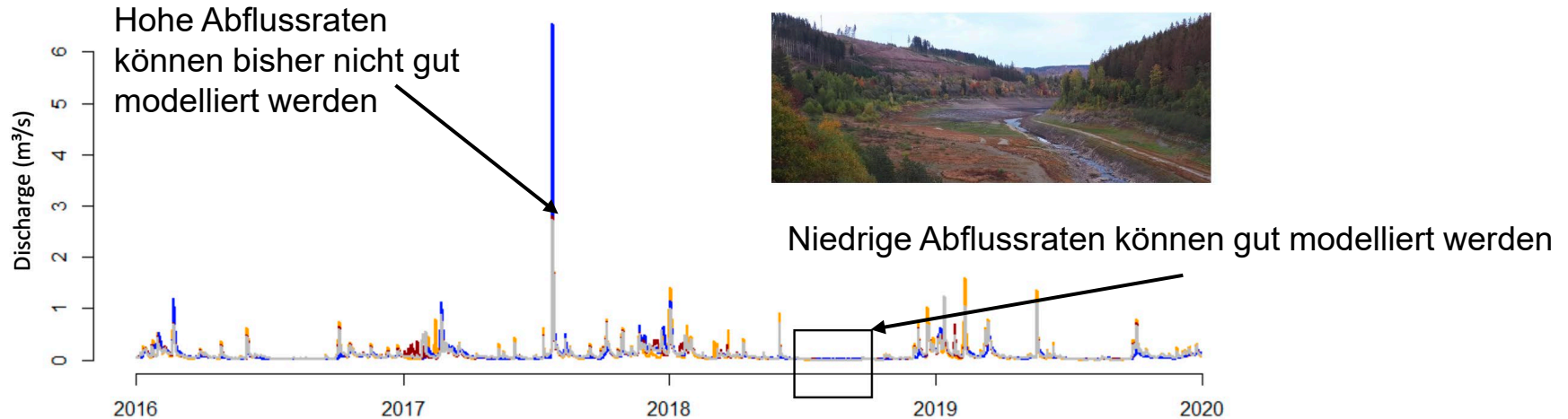
EXDIMUM

Soil and Water Assessment Tool (Partner: CAU Kiel):

- Modellierung der Abflussdynamik in großen Einzugsgebieten.
- Eingabeparameter:
 - Höhenmodell
 - (jährliche) Landnutzung
 - Bodenkarten
- Kalibrierung über Messungen von Niederschlag und Abfluss (Bodensensorik)
- *Niedrig aufgelöste Ablaufdynamik in großen Gebieten*

Modellierung– SWAT+

Soil and Water Assessment Tool (CAU Kiel):



- Einfluss der variablen Bodenbedeckung (v.a. Totholz) noch nicht modelliert

Modellierung– Hochauflösende Ablaufmodellierung



EXDIMUM

Aufgaben und Ziel (TUBS Alg):

- Eingabe: Hochaufgelöstes DGM und lokale Retentionsinfrastruktur
- Ziel: Simulation von Starkregenereignissen zur Einsatzplanung und längerfristig: Verbesserung der Retentionsinfrastruktur
- *Hochaufgelöste Ablaufdynamik in kleineren Gebieten*

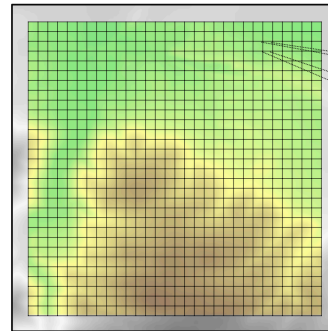
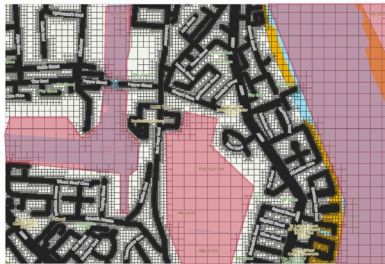
Modellierung– Hochauflösende Ablaufmodellierung



EXDIMUM

Aufgaben und Ziel (TUBS Alg):

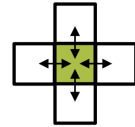
- Iterative Strömungssimulation basierend auf Wasserstand und –geschwindigkeit pro Zeitschritt pro Zelle
- Optimierung durch Oberflächenvereinfachung (zB Glättung DGM, Quadtree)



For each cell

- Water height
- x/y velocities

Update according to the D4/D8 neighborhood



Shallow Water Equations

Modellierung– Hochauflösende Ablaufmodellierung



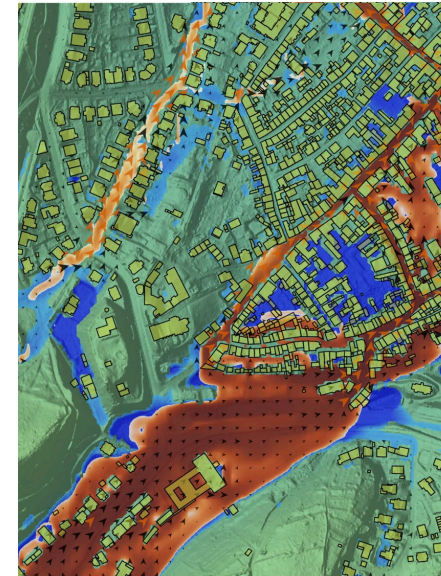
EXDIMUM

Beispiel: Simulation Hochwasser 22.05.23, Goslar

Links: nach 1h, rechts: nach 3h

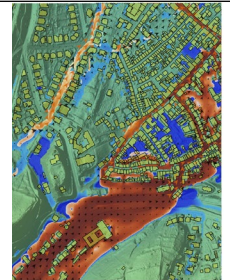
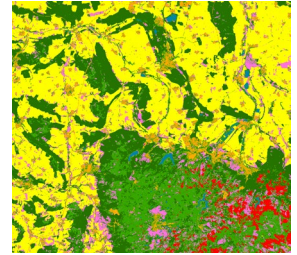
Blau: mehr als 100 mm Wasserhöhe,

Rot: mehr als 150 l/s Strömungsgeschwindigkeit



Gliederung

- Motivation
- Das Projekt Exdimum und seine Komponenten
- Datenquellen und -methodik
 - Fernerkundung
 - Bodensensorik und Sensornetzwerk
- Modellierung
 - SWAT+
 - Hochauflösende, dynamische Ablaufmodellierung
- Visualisierung und Maßnahmen
- Status und Ausblick



Visualisierung und Maßnahmen

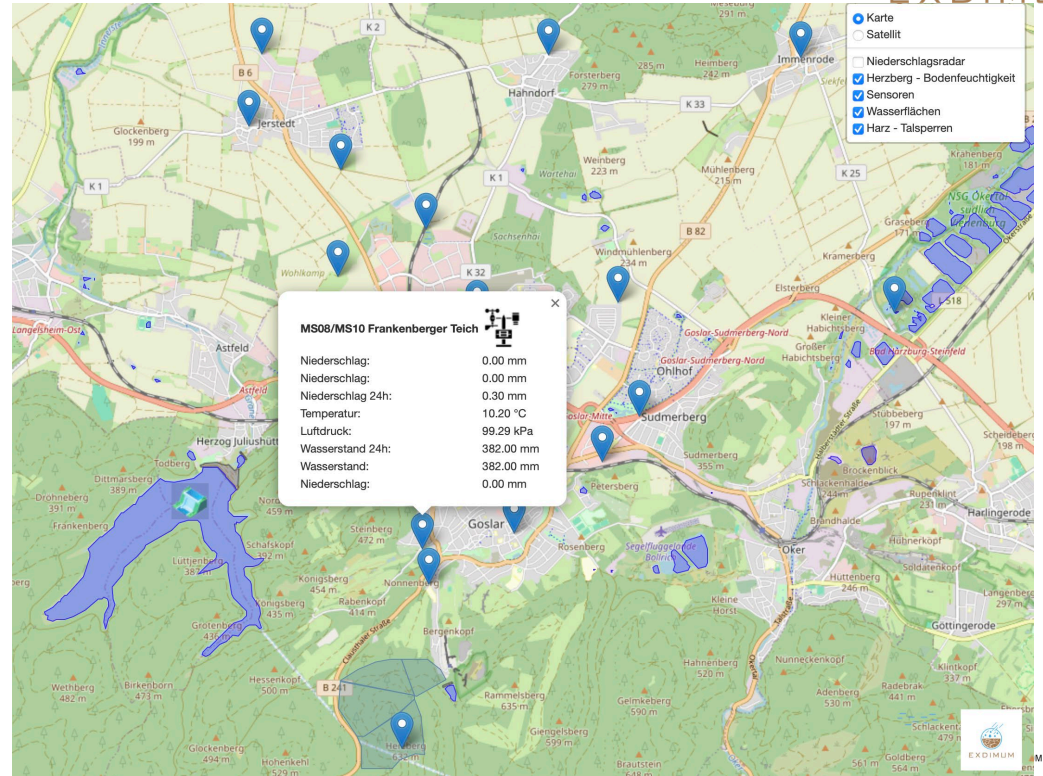


EXDIMUM

Dashboard: Zusammenführung aller Informationen (Sensorik, Landbedeckung)

Verschiedene Ansichten, je nach Anwenderprofil (in Entwicklung)

<http://www.exdimum.de>



Visualisierung und Maßnahmen

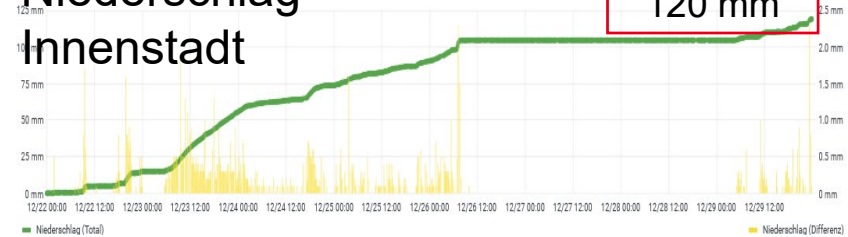


EXDIMUM

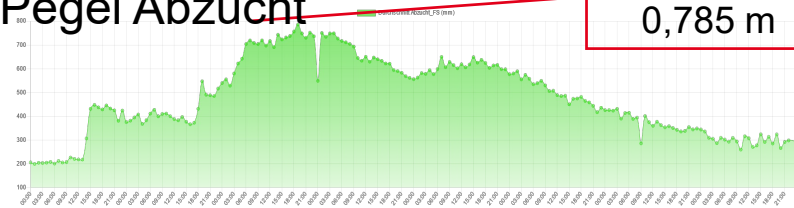
Konkret: Wettersituation in Goslar an den Weihnachtstagen 2023

- Beobachtung wichtiger Parameter in der Leitzentrale
- Austausch insbesondere mit UWB und Harzwasserwerken
- Gezielte betriebliche Maßnahmen in Kooperation mit der Feuerwehr (z.B. Aufbau von mobilen Dämmen)

Niederschlag Innenstadt



Pegel Abzucht



Sensoren helfen beim Hochwasser-Schutz

Dienstleister Eurawasser nutzt moderne Messtechnik, um Pegelstände und Niederschläge zu überwachen

Von Hendrik Rob

Goslar. Moderne Messtechnik spielt beim Kampf gegen Hochwasser eine immer wichtigere Rolle. Die Stadt Goslar setzt auf künstliche Intelligenz für Pegel-Prognosen und auch Abwasser-Dienstleister Eurawasser hat ein Sensornetz aufgebaut, das die digitale Überwachung der Wassermassen ermöglicht, die durch die Stadt fließen.

Ein Blick auf die aktuelle Lage: Auch wenn der Deutsche Wetterdienst bis Donnerstag anhaltende Niederschläge angekündigt hat, sieht Jörg Hinke, technischer Leiter bei Eurawasser, aktuell keine besorgniserregenden Daten auf den Kontrollbildschirmen aufleuchten. Hochwasserschutz sei zwar Aufgabe der Kommune, trotzdem habe das Unternehmen, mit dem die Stadt



Am Jeasterder Dorfbach liefert ein Pegel Auskunft, wenn der Füllstand zu hoch wird.

Fotos: Esping

kl | Goslarische Zeitung

FONA WaXo
Forschung für Nachhaltigkeit Wasser-Extremereignisse

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

Status und Ausblick



EXDIMUM

- Exdimum nach 2 Jahren Projektlaufzeit:
 - Fernerkundungsauswertung (läuft erst seit knapp einem Jahr): erste gute Ergebnisse als Eingang in die Modellierung. Nächste Schritte: Ausweitung in die Vergangenheit, Bodenfeuchte
 - Modellierung auf beiden Skalen weit fortgeschritten, gute Ergebnisse. Weitere Optimierung durch Einbeziehung der FE-Daten und bessere Kalibrierung SWAT+
 - Sensorik: gute Abdeckung erreicht, LoRaWAN weiterentwickelt, eigener Sensor von DSI kurz vor Fertigstellung
 - Einsatz in der Praxis für Schnellmaßnahmen bereits erprobt. Weiter Maßnahmen (gezielte Anpflanzung von Forst an optimalen Stellen, Retentionsanalgen) in Diskussion mit Stakeholdern

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Artikel dazu:

Extremwettermanagement mit digitalen Multiskalen- Methoden: Das EXDIMUM-Projekt
Gerke et al., 2024; DGPF-Jahrestagung 2024: Stadt, Land, Fluss - Daten vernetzen

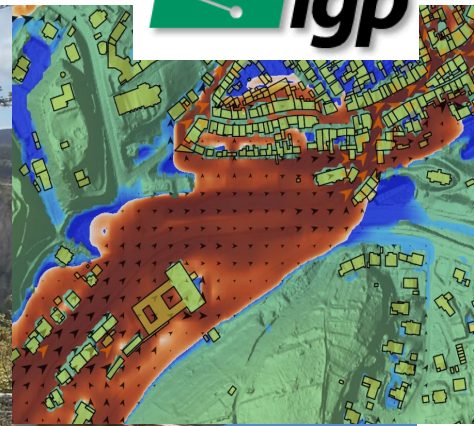


Supplementary





Technische
Universität
Braunschweig



EXDIMUM Project

Land Cover Mapping

Fatemeh Saba

Introduction



EXDIMUM

- Land cover classification using satellite remote sensing data can be seen as a key element to quantify and monitor changes of the Earth's surface.
- Changes in land cover have the potential to influence flow regimes, water availability, and significantly alter runoff patterns.
- Serving as a significant input for hydrological and environmental applications

Target

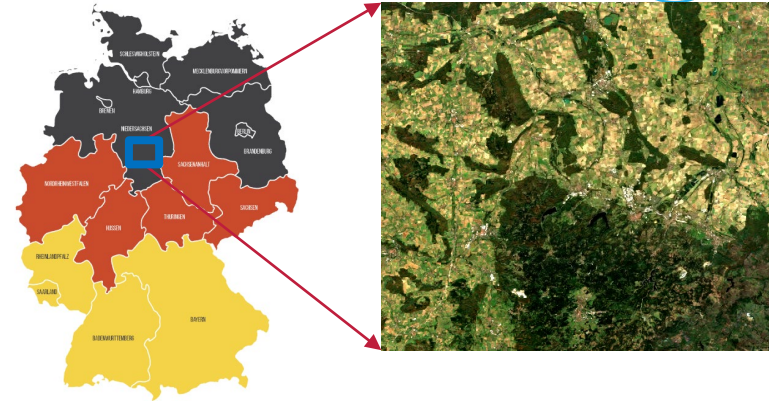


EXDIMUM

- Target:
 - Generating annual land cover maps for 2010-2023 by using satellite data and deep learning model
- The desired classes:
 - cropland, grassland, built-up areas, water bodies, coniferous trees, deciduous trees, dead trees
- Challenging:
 - Integrating diverse data sources to create reference labels due to the absence of comprehensive current LULC maps
 - Generating semi-automated dead tree labels

Procedure

- Study area:
 - Goslar city and surroundings
- 2 training models:
 - Two separate models are required due to the availability of satellite data with different time stamps.

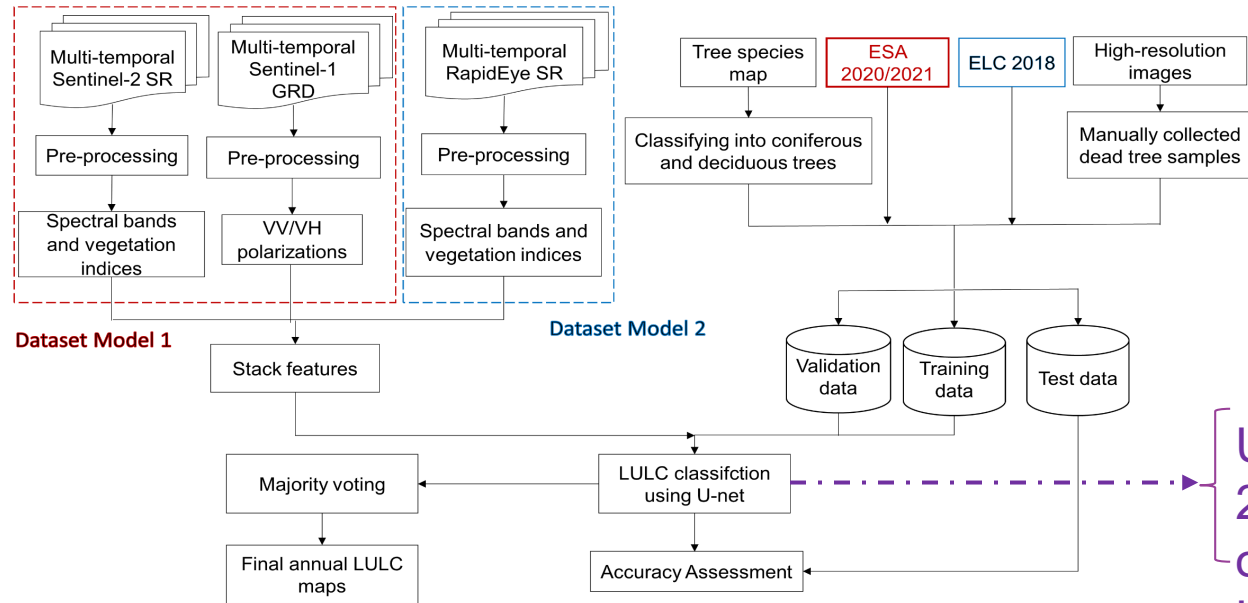


Model	Training model	Dataset for training	Reference labels for training	Target years
Model 1	U-Net Segmentation	Sentinel-1 and Sentinel-2 in 2020 and 2021	ESA 2020/2021 Tree species map Manually dead tree labels in 2020/2021	2018-2023
Model 2	U-Net Segmentation	RapidEye in 2018	ELC 2018 Tree species map Manually dead tree labels in 2018	2010-2018

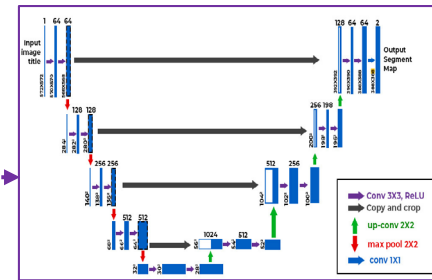
Procedure



EXDIMUM



The U-Net-2D architecture



U-Net-2D or U-Net

Model 1 (U-Net-2D vs. U-Net-3D)



EXDIMUM

- Training Model 1 using U-Net-2D and U-Net-3D:
 - U-Net-3D : The number of images should remain consistent for both training and inferences (less training data)
 - extracting spatial-spectral-temporal features(more features)
 - U-Net-2D : more images can be used (more training data)

	U-Net-2D (Height, Width, Bands)	U-Net-3D (Height, Width, Timesteps, Bands)
Size of Input image patch	(256,256,19)	(256,256,3,19)
Filters	64,128,256,512	64,128,256,512
Kernel size	(3,3)	(3,3,3)
Trainable parameters	7 M	21 M
Total patches	(2514,256,256, 19)	(777,256,256,3,19)
Applied cloud-free images	Images in 2020: Jun 23 rd / July 30 th (for two locations)/ August 7 th Images in 2021: May 31 st (for two locations) / Jun 18 th	Images in 2020: : Jun 23 rd / July 30 th /August 7 th Images in 2021: May 31 st / Jun 18 th /overlay two cloudy images (August 14 th with July 18 th)
Reference labels	ESA 2020 and 2021	ESA 2020 and 2021
Extracted features	spatial-spectral features	spatial-spectral-temporal features

The preliminary results for model 1 and comparison



EXDIMUM

- Marginally improving overall accuracy
- Higher class-wise accuracies were achieved in the U-Net-3D model for grassland, cropland, Built-up, conifer and deciduous trees,
- Lower class-wise accuracies were achieved in the U-Net-3D model for water body and dead trees

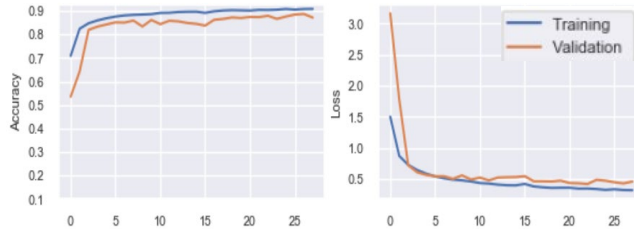
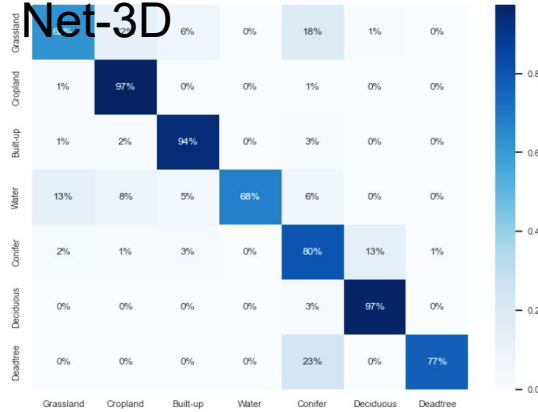
Accuracy assessment						
Class	U-Net-3D			U-Net-2D		
	Precision	Recall	F1-score	Precision	Recall	F1-score
Grassland	0.85	0.62	0.72	0.76	0.65	0.70
Cropland	0.95	0.97	0.96	0.96	0.97	0.97
Built-up area	0.69	0.94	0.80	0.67	0.88	0.76
Water body	0.88	0.68	0.77	0.93	0.91	0.92
Coniferous trees	0.86	0.80	0.83	0.87	0.71	0.78
Deciduous trees	0.88	0.97	0.92	0.84	0.97	0.90
Dead trees	0.15	0.77	0.26	0.56	0.88	0.69
Overall Accuracy	0.89			0.88		

The preliminary results for model 1 and comparison

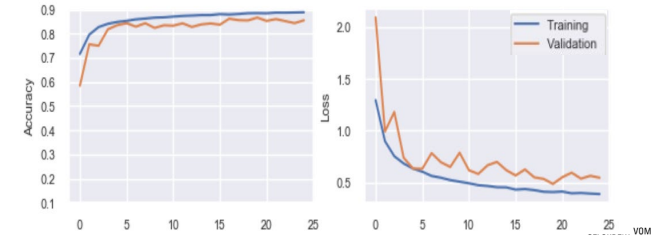
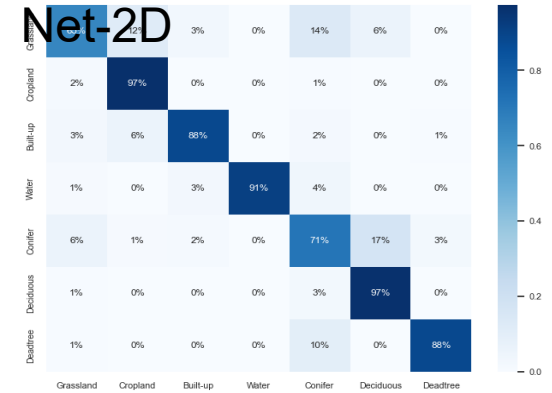


EXDIMUM

Confusion Matrix for U-Net-3D



Confusion Matrix for U-Net-2D

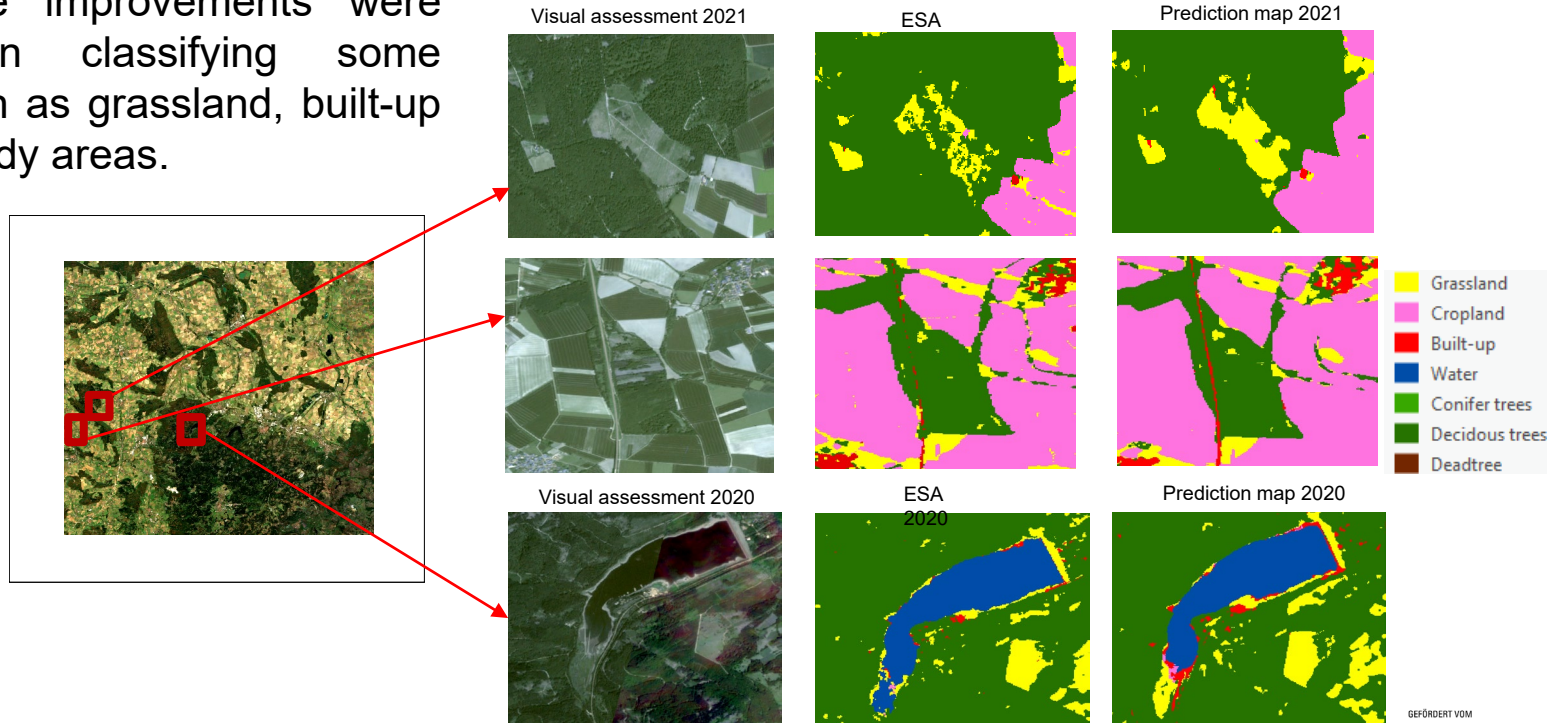


The performance of 2D U-Net



EXDIMUM

- The notable improvements were achieved in classifying some classes such as grassland, built-up and waterbody areas.

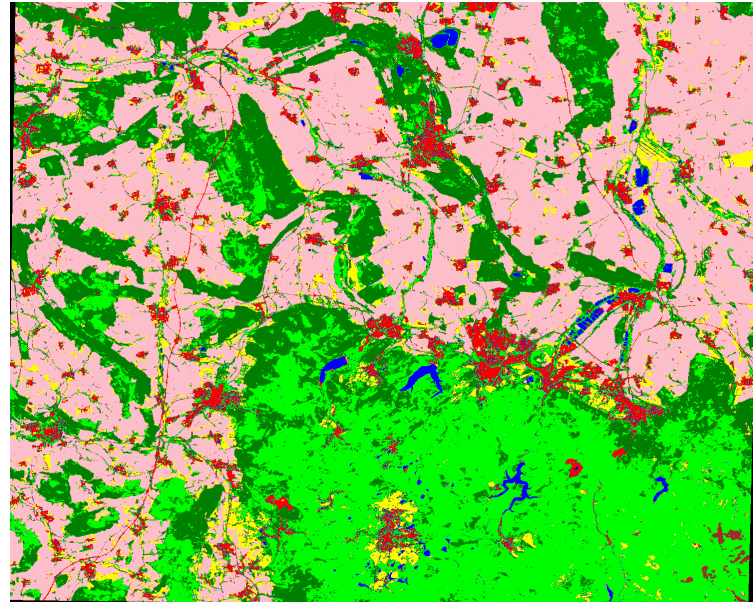


The preliminary results using 2D U-Net



EXDIMUM

- Landcover maps from 2018-2023
- A visual examination reveals significant changes in the dead tree areas. Notably, an increase in dead tree areas corresponded with a decrease in the coniferous tree class, indicating a noteworthy shift in the landscape composition

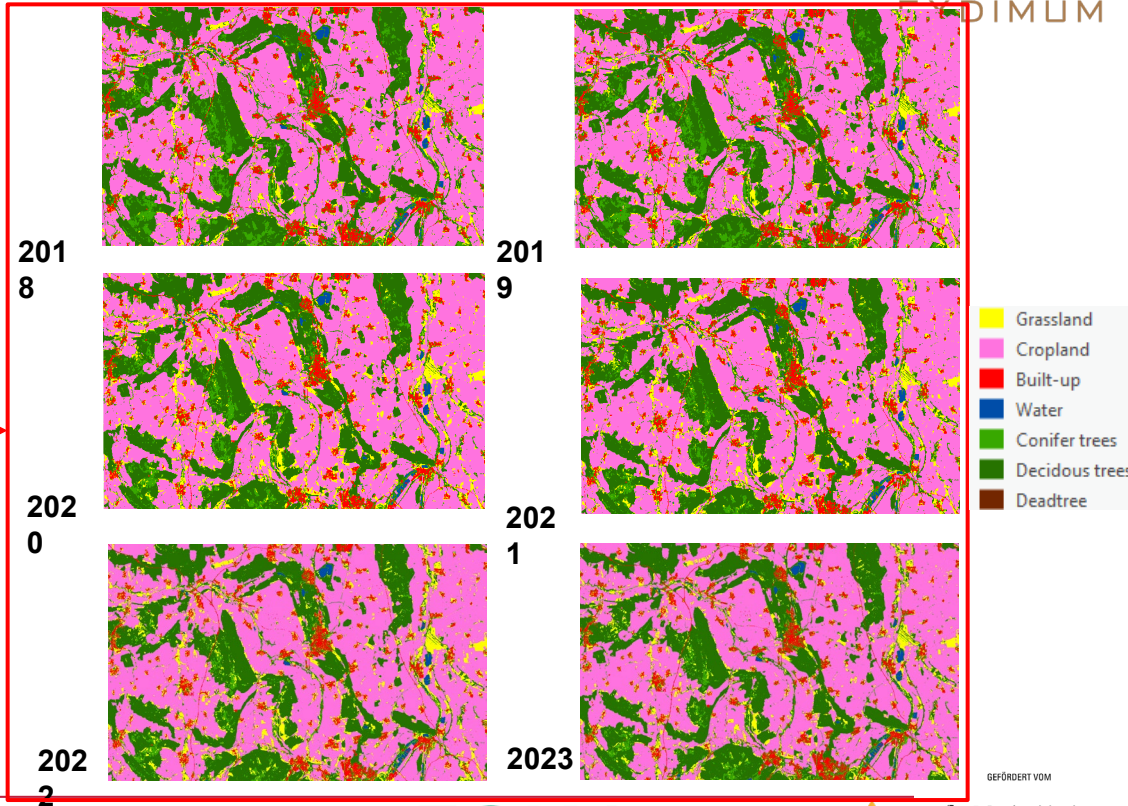


The prediction results using 2D U-Net



EXDIMUM

- A closer visual examination of the prediction maps for upper part of study area

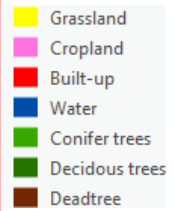
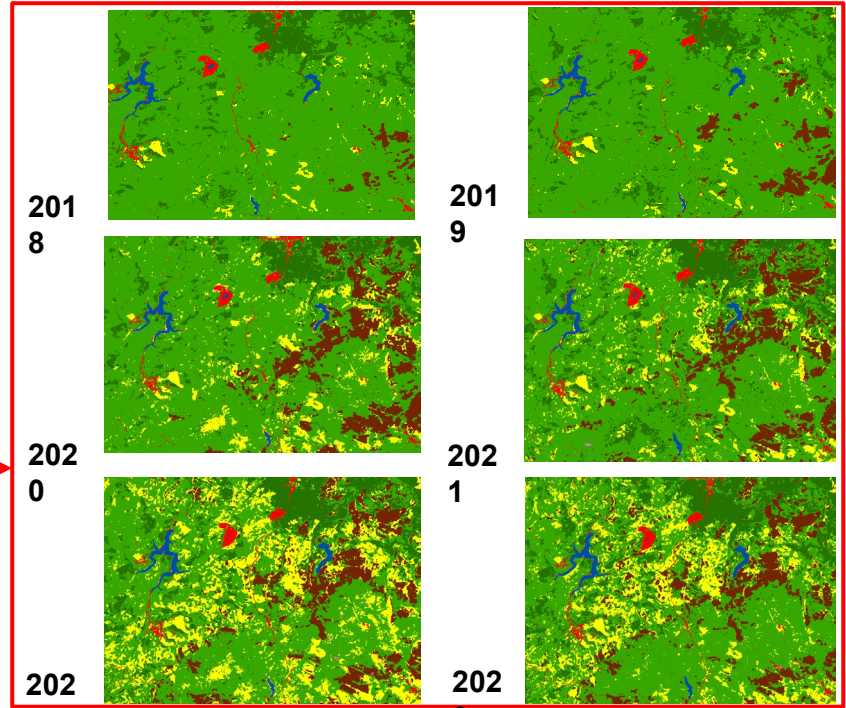


The prediction results using 2D U-Net



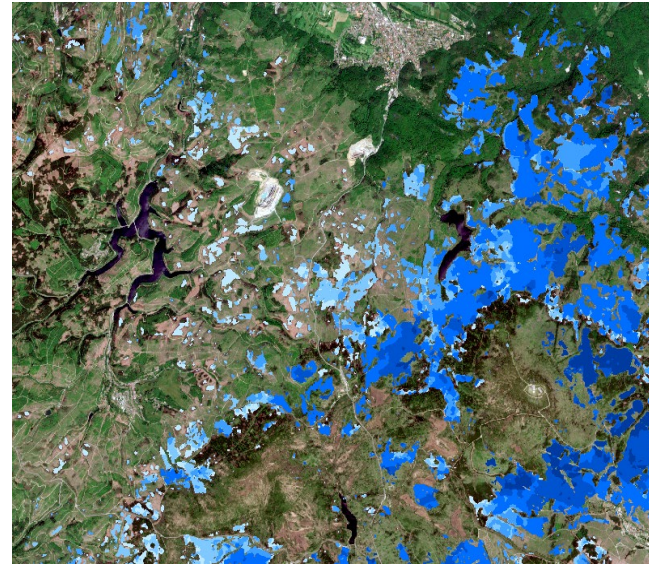
EXDIMUM

- Via visual analysis of this particular part (red area), a clear increasing trend was observed for both dead tree and grassland areas over the years.
- See Appendix



Initial occurrence of dead trees areas over the years 2018-2023

- The initial occurrence as well as most variation of dead tree areas over the years were predominately concentrated in near the Brocken in the Harz mountain. The consideration of these changes can enhance the modeling of hydrological extremes and their effects.

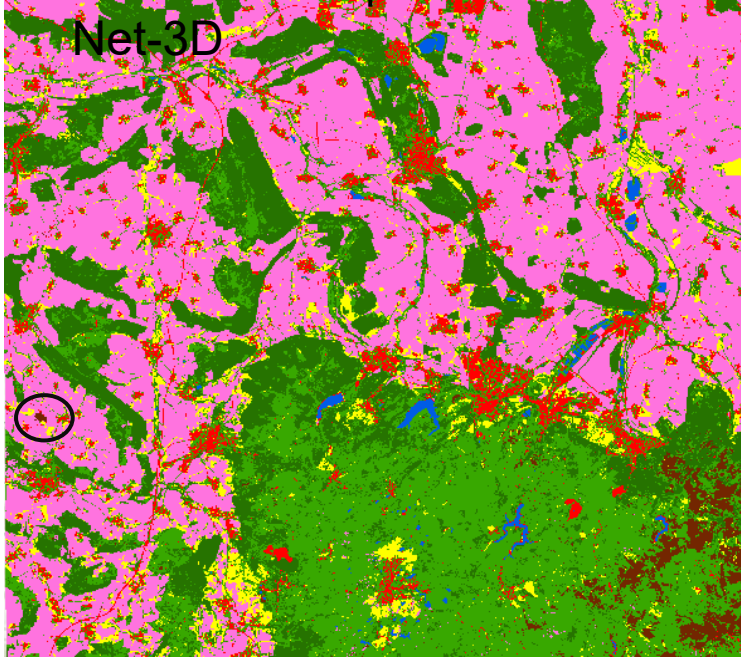


The preliminary results of U-Net-3D

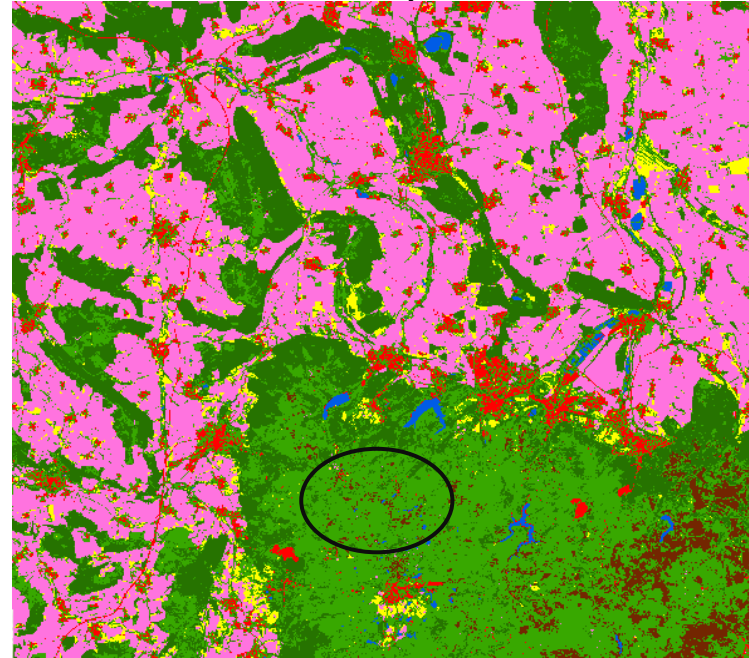


EXDIMUM

Prediction map in 2020 in U-Net-3D



Prediction map in 2021 in U-Net-3D



- Grassland
- Cropland
- Built-up
- Water
- Conifer trees
- Deciduous trees
- Deadtree