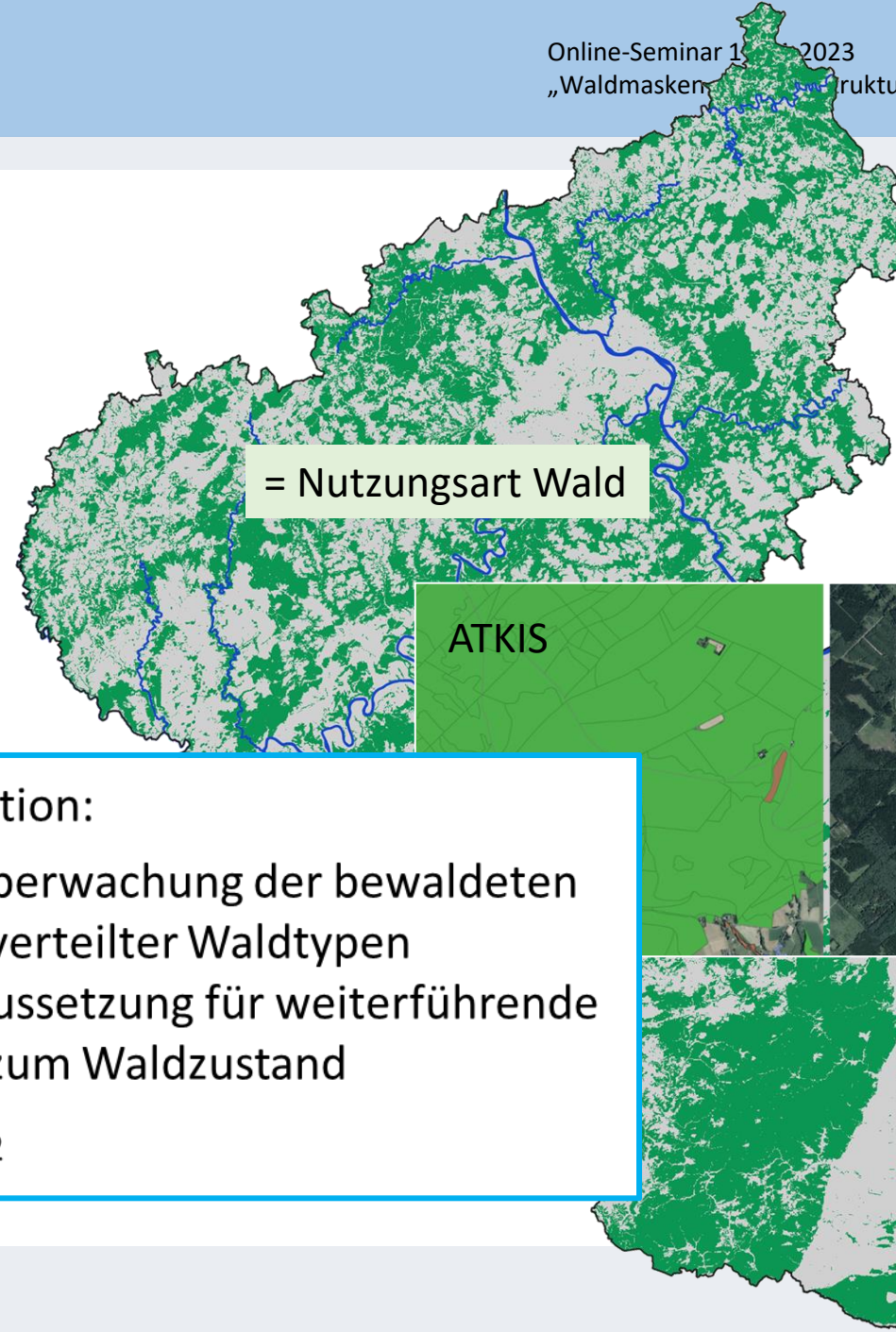
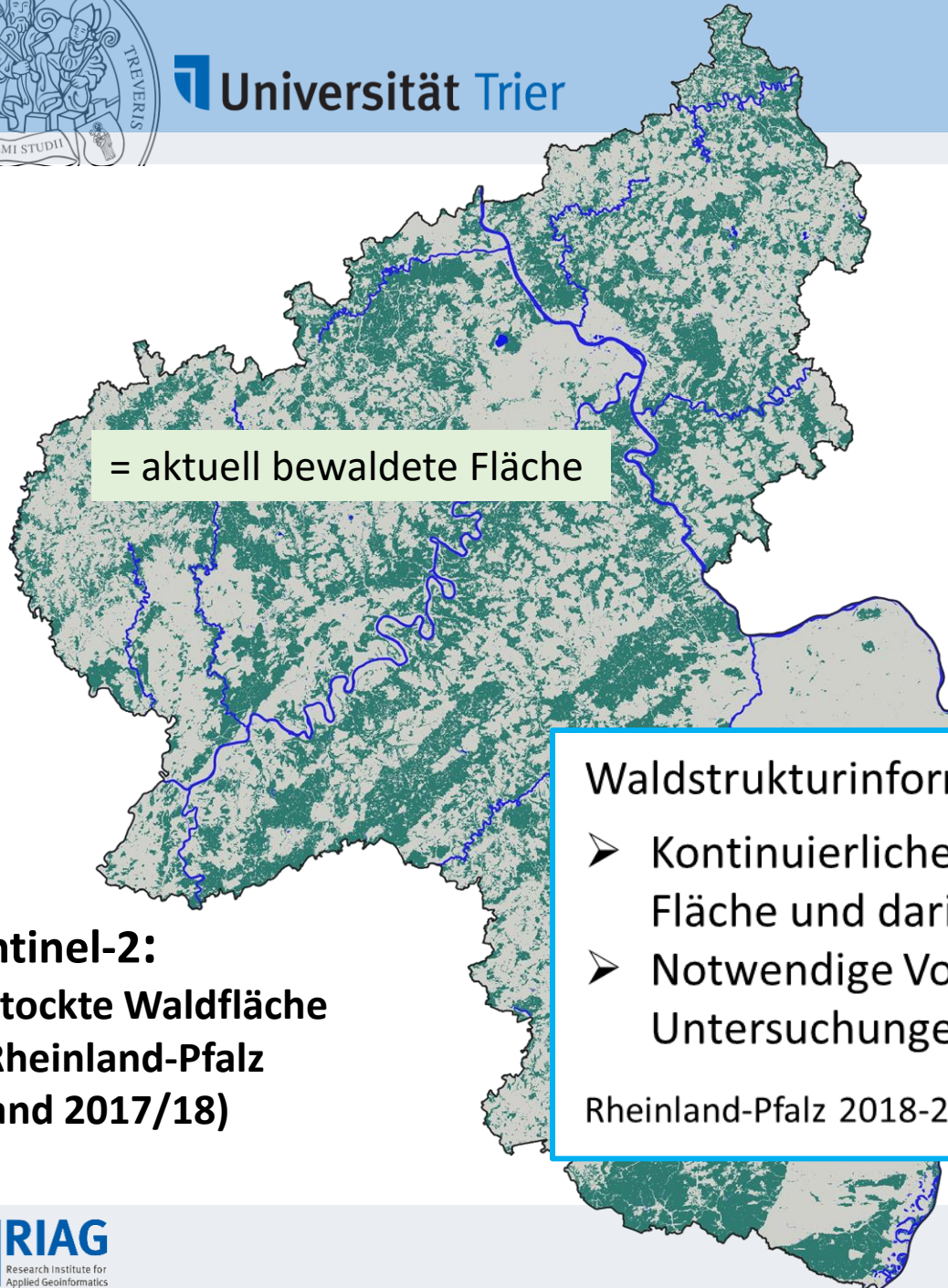


## Die kontinuierliche Bereitstellung von Waldstruktur- und Waldzustandsinformationen auf der Basis von Sentinel-Daten

Joachim Hill<sup>1</sup>, Henning Buddenbaum<sup>1</sup>, Andreas Hill<sup>2</sup>, David Frantz<sup>3</sup>

- 1) Research Institute für Applied Geoinformatics (RIAG), Universität Trier
- 2) Landesforsten Rheinland-Pfalz, Zentralstelle der Forstverwaltung: Strategische Planung und Serviceleistung, Emmelshausen
- 3) Geoinformatics - Spatial Data Science, Universität Trier

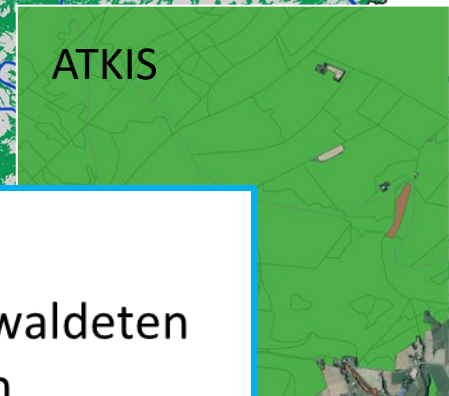


- 6.4.11 AX\_Schiffsverkehr
- 6.5 Vegetation**
  - 6.5.1 Bezeichnung, Definition
  - 6.5.2 AX\_Landwirtschaft
  - 6.5.3 AX\_Wald
  - 6.5.4 AX\_Gehoelz
  - 6.5.5 AX\_Heide
  - 6.5.6 AX\_Moor
  - 6.5.7 AX\_Sumpf
  - 6.5.8 AX\_UnlandVegetationsloseFlaech
  - 6.5.9 AX\_FlaecheZurZeitUnbestimmbar
- 6.6 Gewässer**
  - 6.6.1 Bezeichnung, Definition

**Waldstrukturinformation:**

- Kontinuierliche Überwachung der bewaldeten Fläche und darin verteilter Waldtypen
- Notwendige Voraussetzung für weiterführende Untersuchungen zum Waldzustand

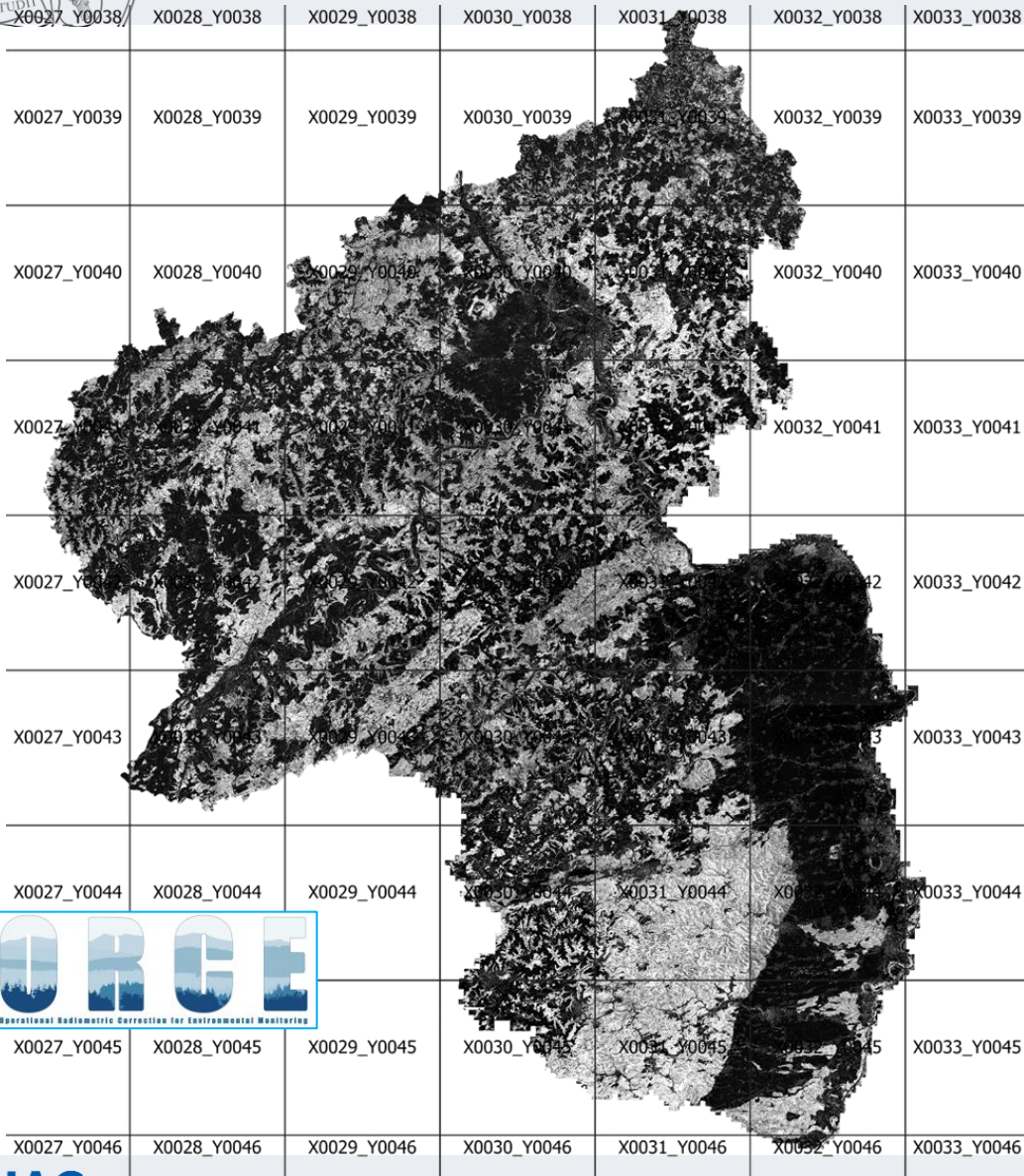
Rheinland-Pfalz 2018-2022



**Sentinel-2:  
Bestockte Waldfläche  
in Rheinland-Pfalz  
(Stand 2017/18)**



“CEOS Analysis Ready Data (CEOS-ARD) are satellite data that have been processed to a minimum set of requirements and organized into a form that allows immediate analysis with a minimum of additional user effort and interoperability both through time and with other datasets” <https://ceos.org/ard/>

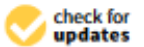


<https://code-de.org/de/portfolio/?q=DataCubes>

### Technical Note FORCE—Landsat + Sentinel-2 Analysis Ready Data and Beyond

David Frantz   
Earth Observation Lab, Geography Department, Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany; david.frantz@geo.hu-berlin.de

Received: 11 April 2019; Accepted: 28 April 2019; Published: 10 May 2019

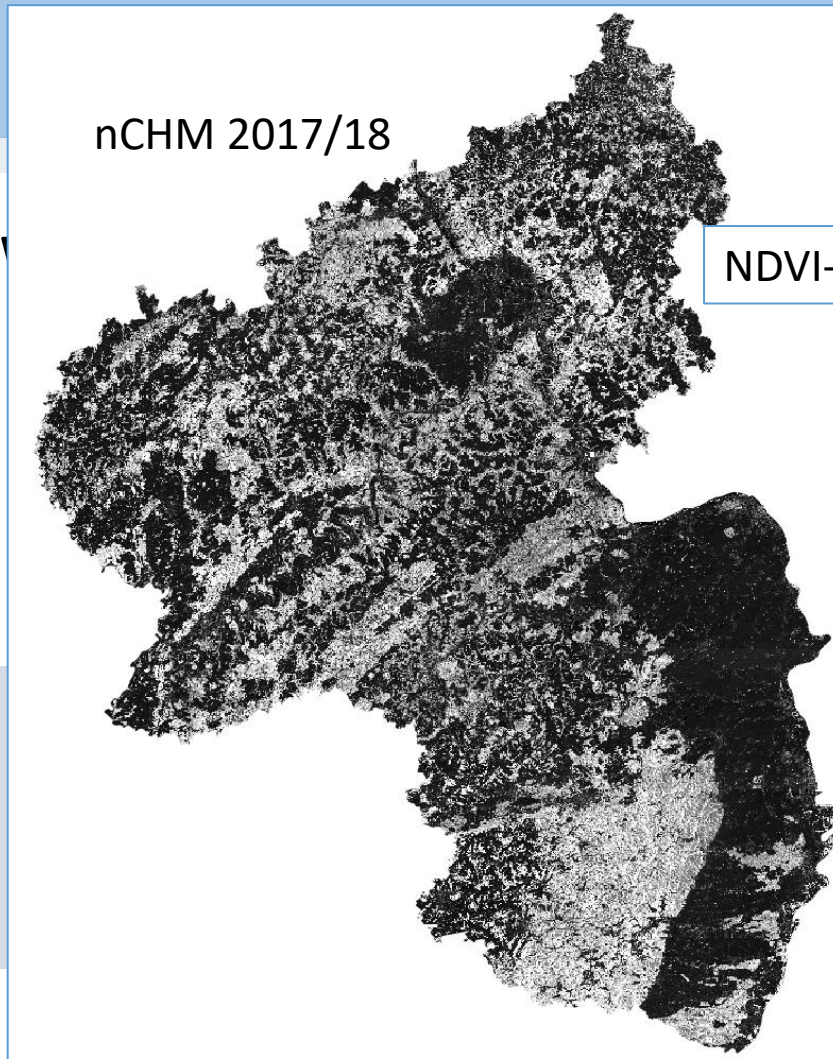
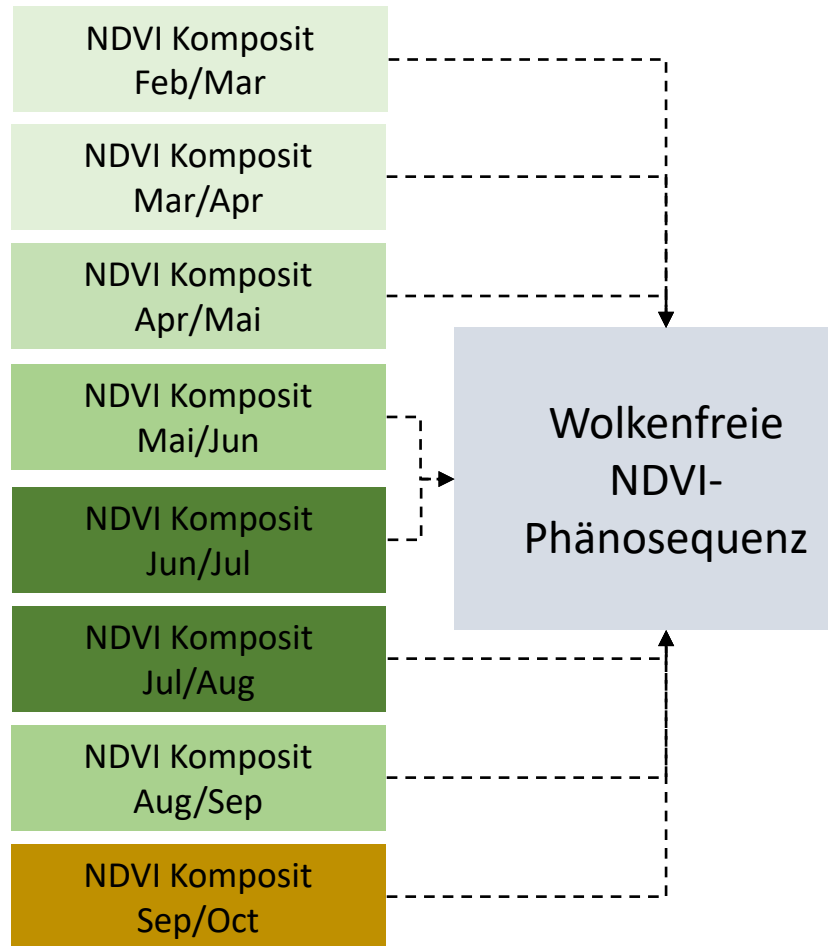


P. Rufin, **D. Frantz**, L. Yan, and P. Hostert (2021): Operational Coregistration of the Sentinel-2A/B Image Archive Using Multitemporal Landsat Spectral Averages. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 712-716.

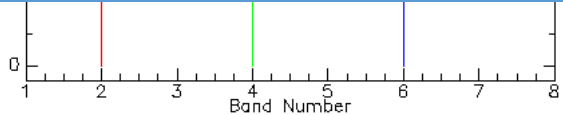
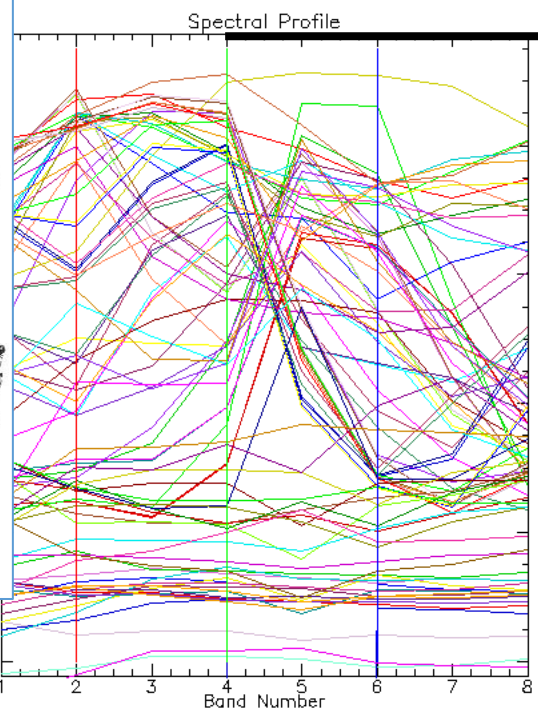
**D. Frantz**, E. Haß, A. Uhl, J. Stoffels, and J. Hill (2018). Improvement of the Fmask algorithm for Sentinel-2 images: Separating clouds from bright surfaces based on parallax effects. Remote Sensing of Environment, 215, 471-481.

**D. Frantz**, A. Röder, M. Stellmes, and J. Hill (2016): An Operational Radiometric Landsat Preprocessing Framework for Large-Area Time Series Applications. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54 (7): 3928-3943.

# Automatische Erstellung einer



NDVI-PhenoMask  $\cap$  CHM > 3 m

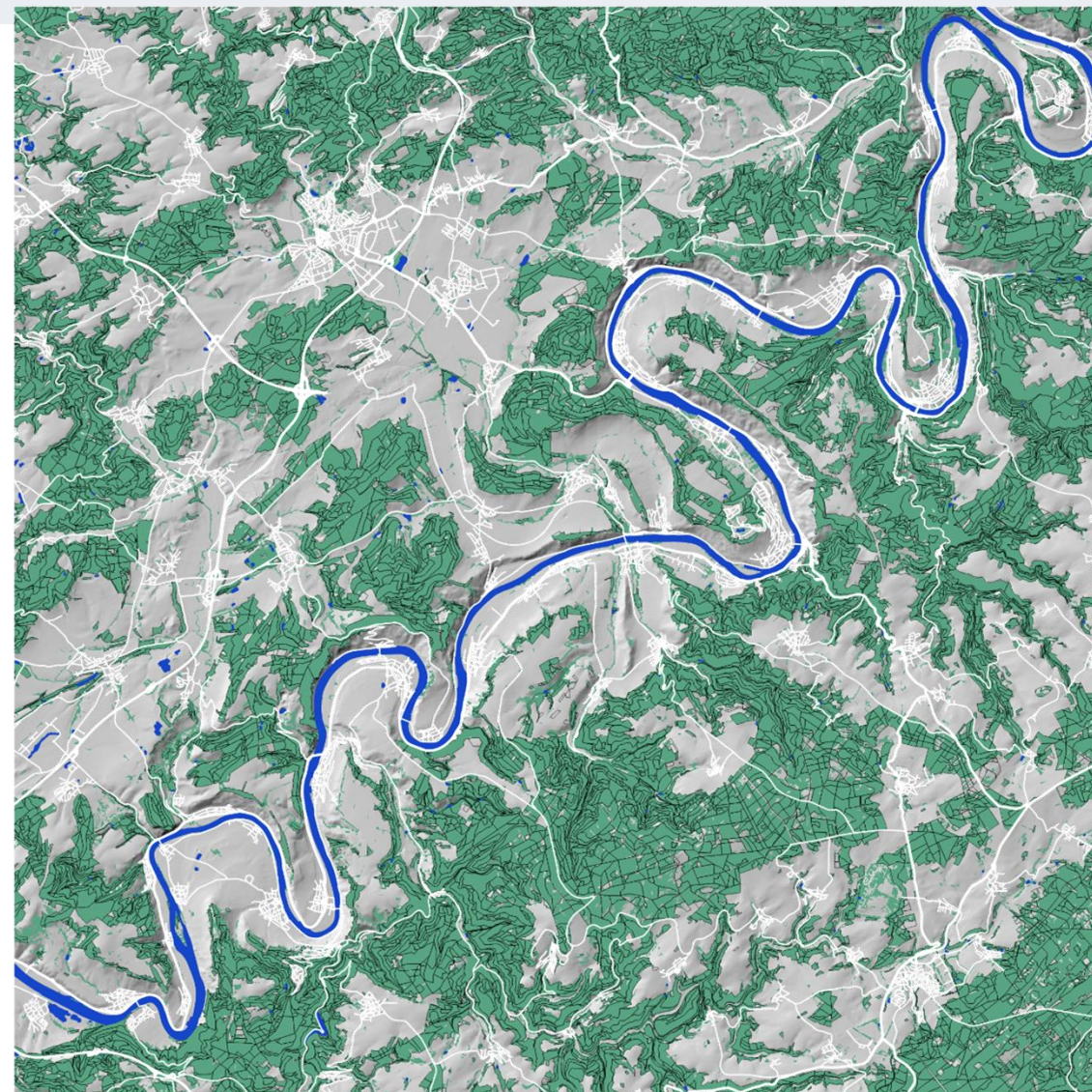
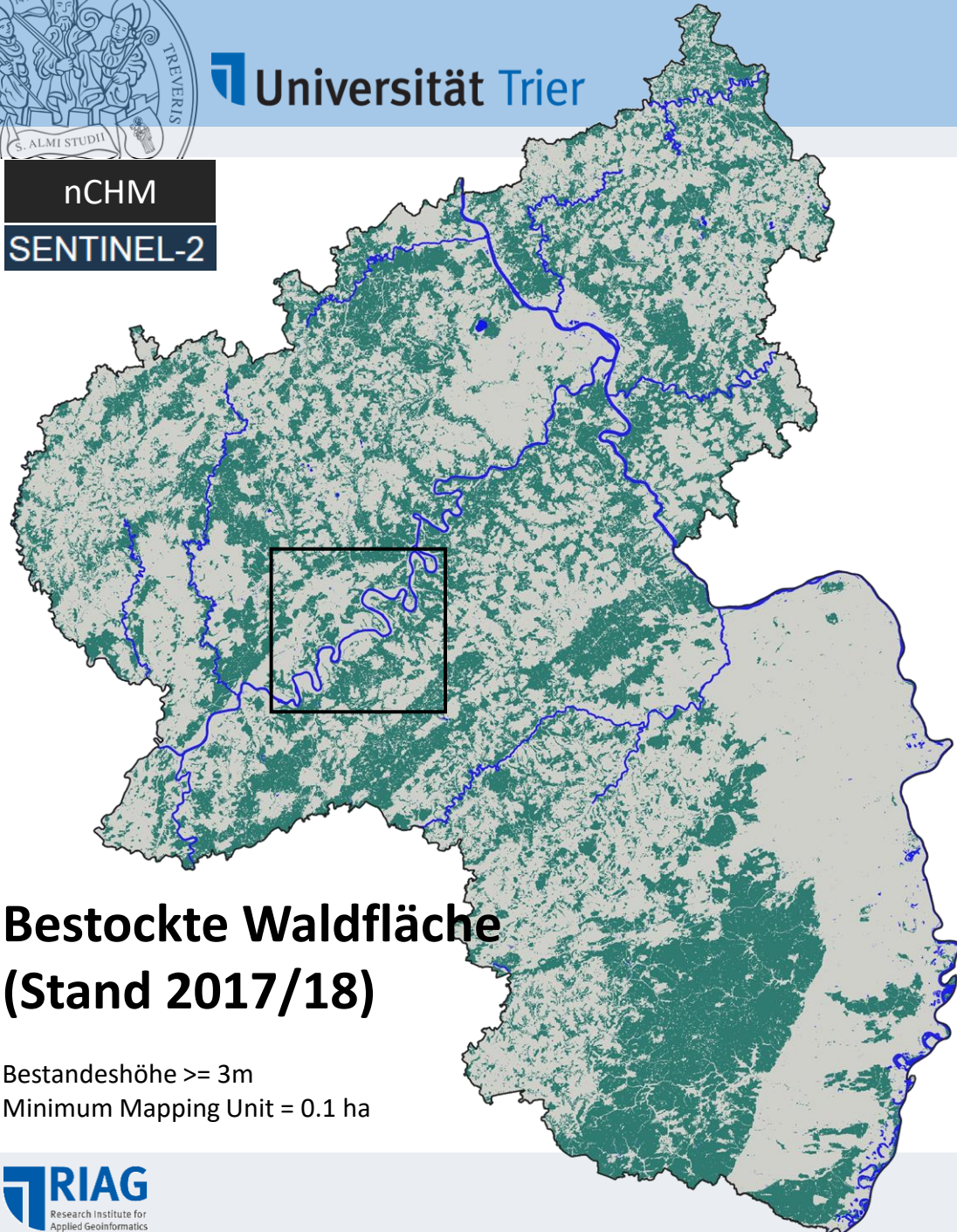


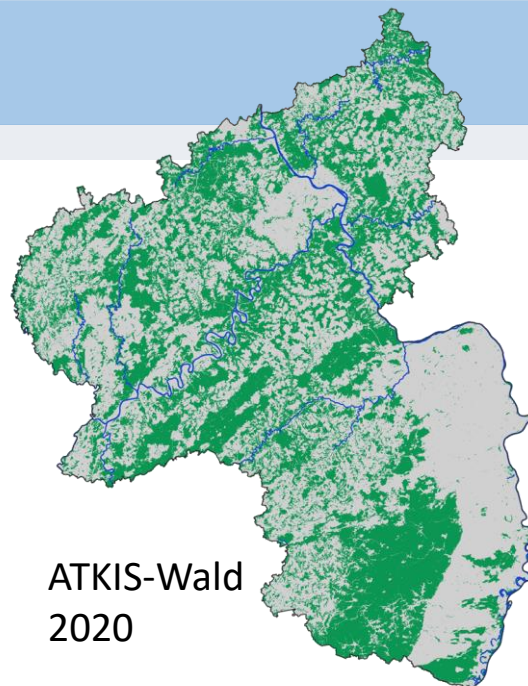
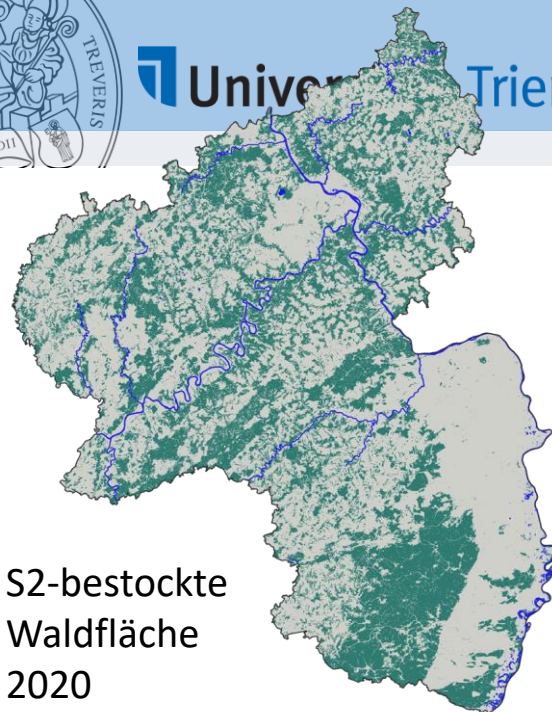
Laub- bzw. Nadelholz

Landwirtschaft, Siedlungen, etc.



nCHM  
SENTINEL-2





- In der Gesamtstruktur weisen ATKIS-Waldfläche und die aus Sentinel-2-Daten abgeleitete, tatsächlich bestockte Waldfläche mit über 90 % eine hohe Übereinstimmung auf.
- Allerdings werden in der aus Sentinel-2-Daten ermittelten, bestockten Waldfläche zahlreiche Bestandslücken erkannt, die nicht in der ATKIS-Layer ausgewiesen werden.
- Diese Unterschiede sind insbesondere aufgrund der seit 2018 aufgetretenen Borkenkäfer-kalamität in Brennpunktgebieten erheblich.

	ATKIS Wald	S2 TreeCover	RowSums	UA
ATKIS Wald	452908	66582	519490	0.872
S2 TreeCover	10877	462266	473143	0.977
ColSums	463785	528848	992633	
PA	0.977	0.874		<b>0.922</b>

S2-Level 2 ARD  
Tile X0031\_Y0040 „Koblenz“

FA Neuhäusel

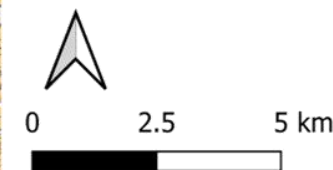
ATKIS



6.5.3 AX\_Wald 2020



Erfassung von  
Veränderungen innerhalb der  
bestockten Waldfläche



S2-Level 2 ARD  
Tile X0031\_Y0040 „Koblenz“

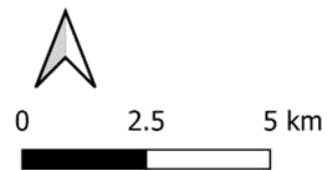
FA Neuhäusel

ATKIS



6.5.3 AX\_Wald 2020

Sentinel-2  
Bestockte Waldfläche 2017/18





S2-Level 2 ARD

Tile X0031\_Y0040 „Koblenz“

FA Neuhäusel

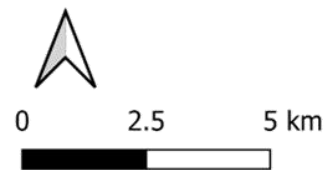
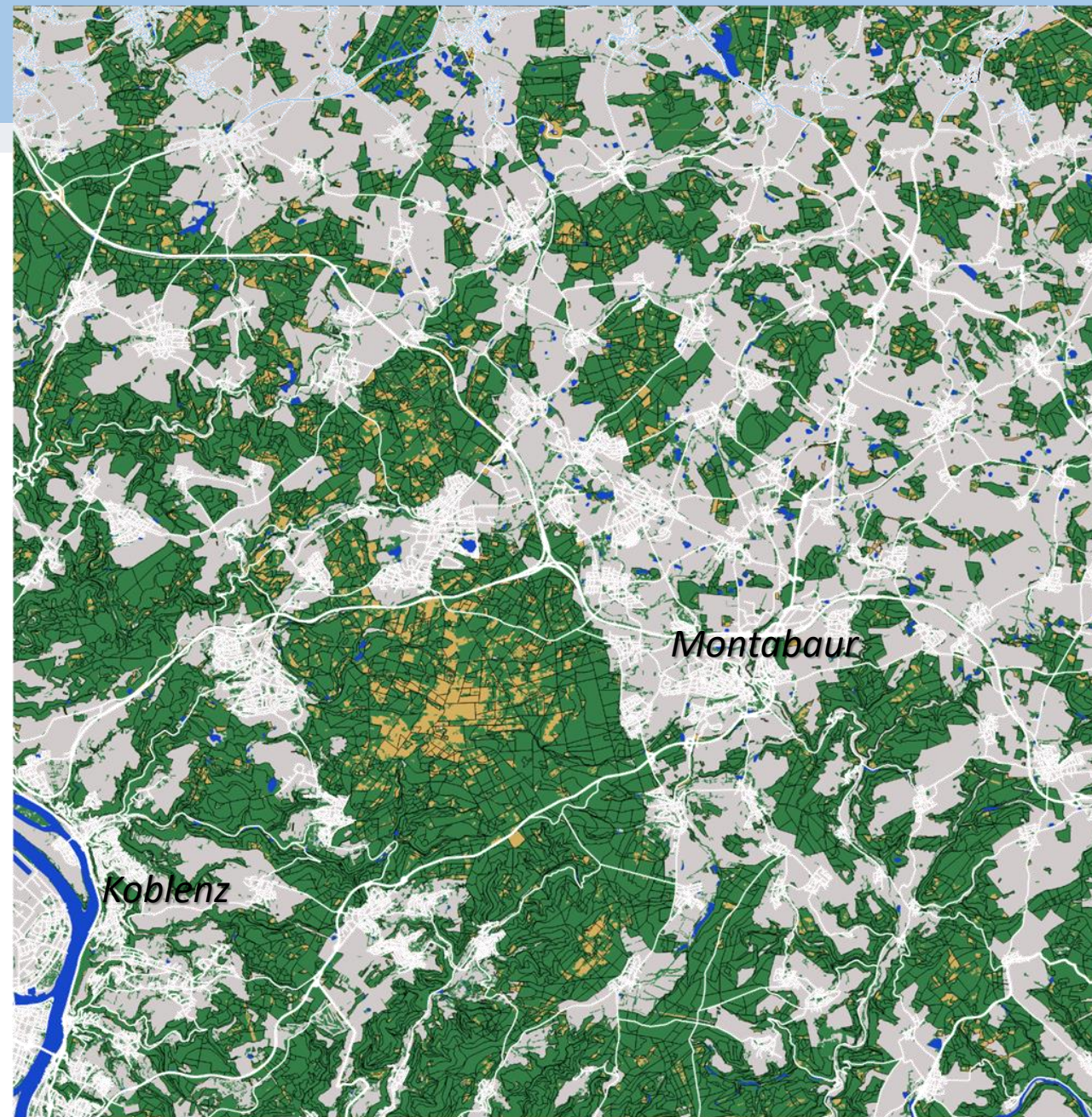
ATKIS



6.5.3 AX\_Wald 2020

Sentinel-2

Bestockte Waldfläche 2022



Information über die aktuell bestockte Waldfläche ist die Grundlage zur Bereitstellung weiterer Produkte zu Waldstruktur und Waldzustand

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_{0.835} - \rho_{0.664})}{(\rho_{0.835} + \rho_{0.664})}$$

$$\text{RCHLI} = (\rho_{0.782} / \rho_{0.704}) - 1$$

$$\text{NDRE2} = \frac{(\rho_{0.835} - \rho_{0.704})}{(\rho_{0.835} + \rho_{0.704})}$$

$$\text{PSRI} = (\rho_{0.664} - \rho_{0.497}) / \rho_{0.740}$$

$$\text{CCI} = \frac{(\rho_{(0.497+0.560)/2} - \rho_{0.664})}{(\rho_{(0.497+0.560)/2} + \rho_{0.664})}$$

$$\text{NDII} = \frac{(\rho_{1.614} - \rho_{0.865})}{(\rho_{1.614} + \rho_{0.865})}$$

$$\text{MSI} = \rho_{1.614} / \rho_{0.865}$$

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). „Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change.“ *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.

Gitelson, A.A., Gritz, Y., & Merzlyak, M.N. (2003). „Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves.“ *Journal of Plant Physiology*, 160, 271-282.

Abdullah, H., A. K. Skidmore, et al. (2018). „Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8.“ *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1-20.

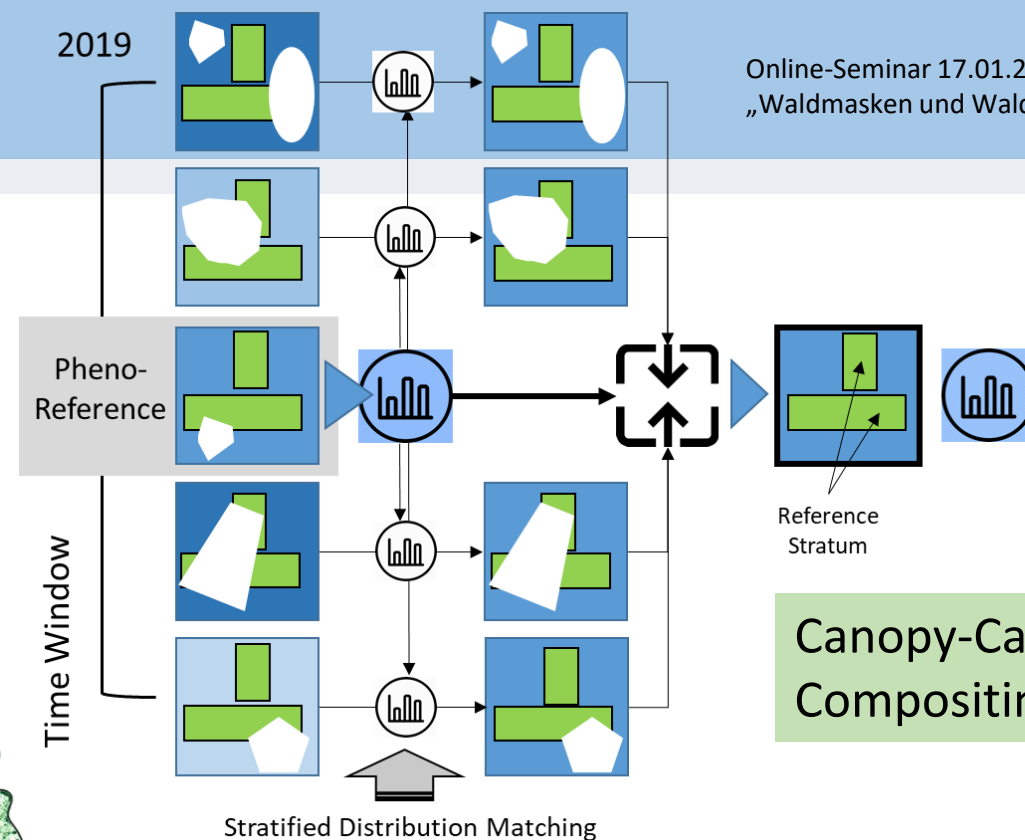
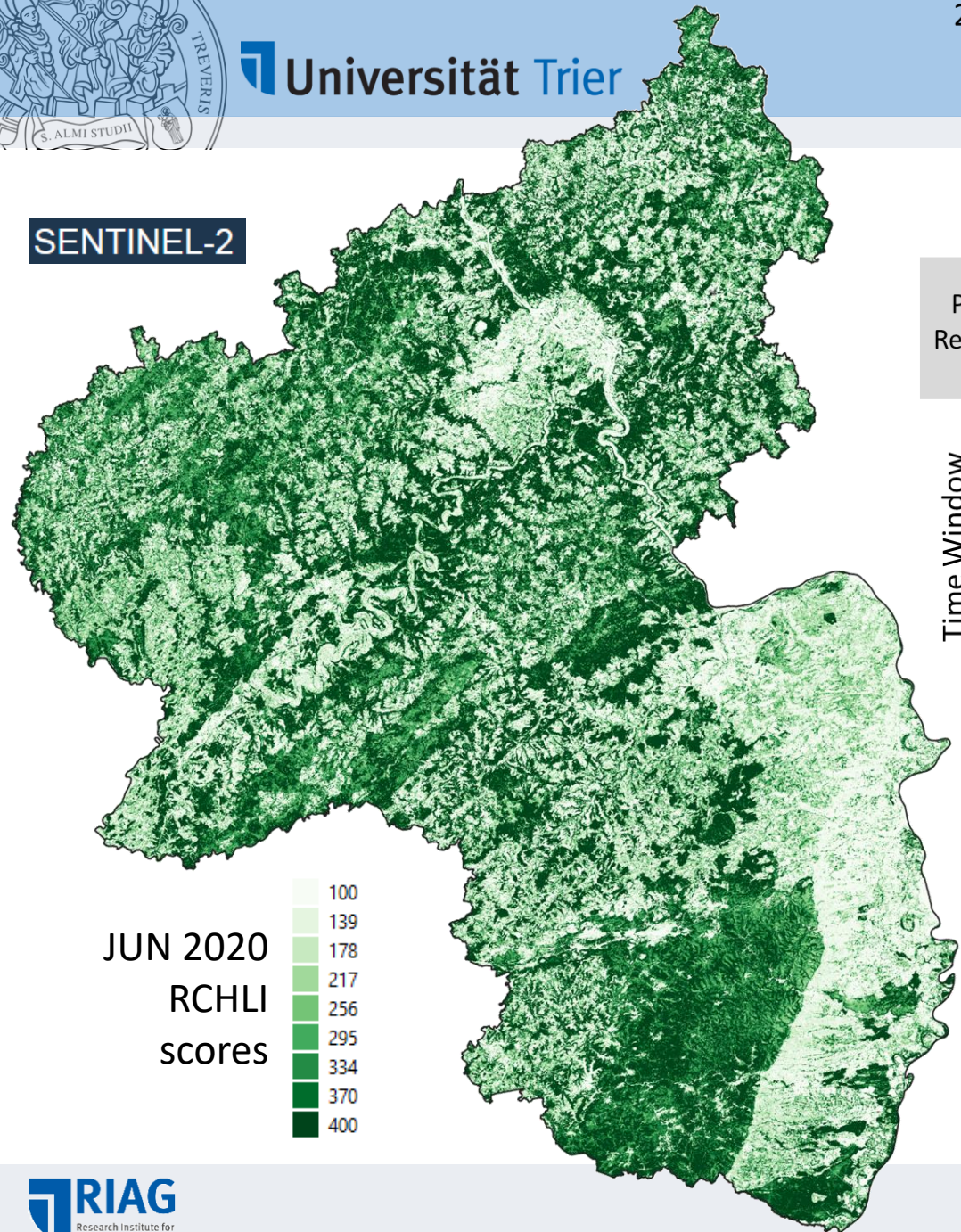
Merzlyak, M. N., A. A. Gitelson, et al. (1999). "Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening." *Physiologia Plantarum* 106(1): 135-141.

Gamon, John A., et al. (2016). "A remotely sensed pigment index reveals photosynthetic phenology in evergreen conifers." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(46): 13087-13092.

Hardisky, M. A., Klemas, V., & Smart, R. M. (1983) "The influences of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of *Spartina alterniflora* canopies." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, 77-83.

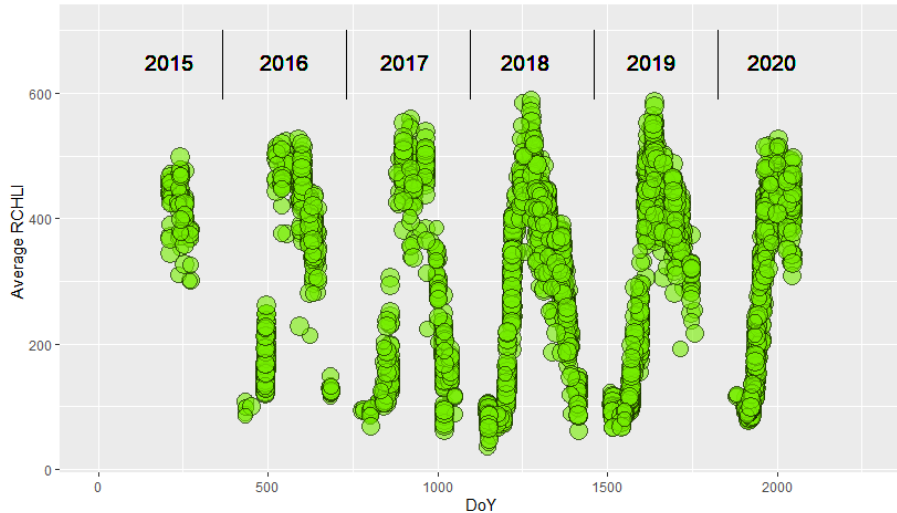
Hunt, E.R., Rock, B.N. (1989) "Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances." *Remote Sensing of Environment*, 30, 43-54.

SENTINEL-2

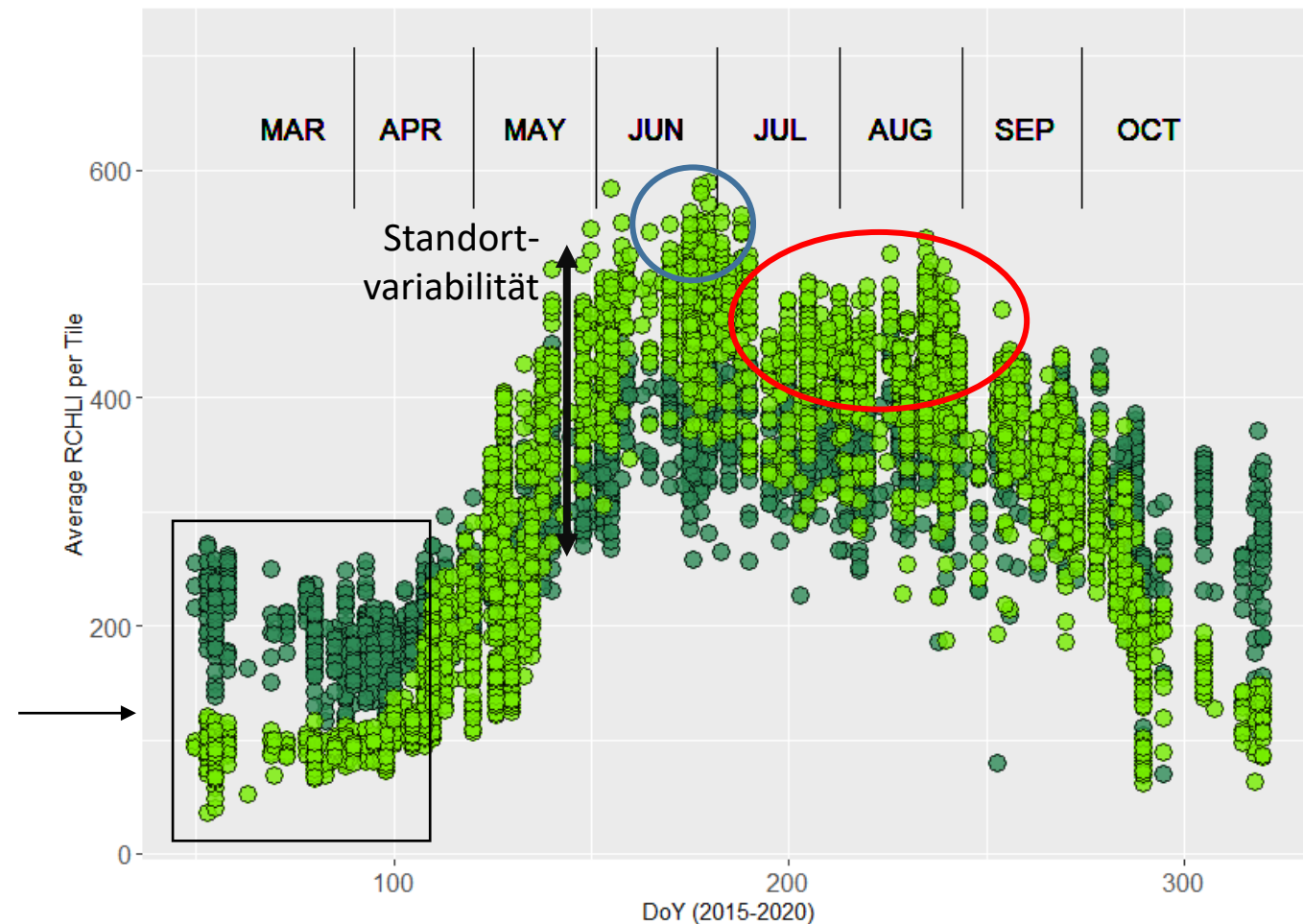


- Median-basierte 2-Monats-Komposite aus einem Datenpool von zwei aufeinander folgenden Jahren haben sich für den Zweck der Waldflächenerfassung als robust erwiesen.
- Die Erstellung radiometrisch optimierter Komposite von ökophysiologisch sensiblen Spektralindizes über kürzere Zeiträume (z.B. 20-30 Tage) erfordert alternative Vorgehensweise.
- Dabei können die aktuellen Stratifizierungsebenen „Bestockte Waldfläche“ oder „Nadelwald“ als Referenzflächen genutzt werden ...

RCHLI Tile-Averages [2015-2020] Broadleaf



RLP: RCHLI [2015-2020] Broadleaf & Needleleaf Forest

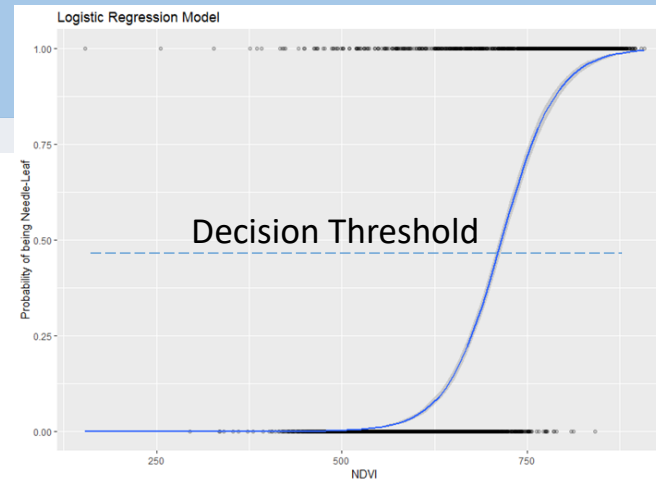
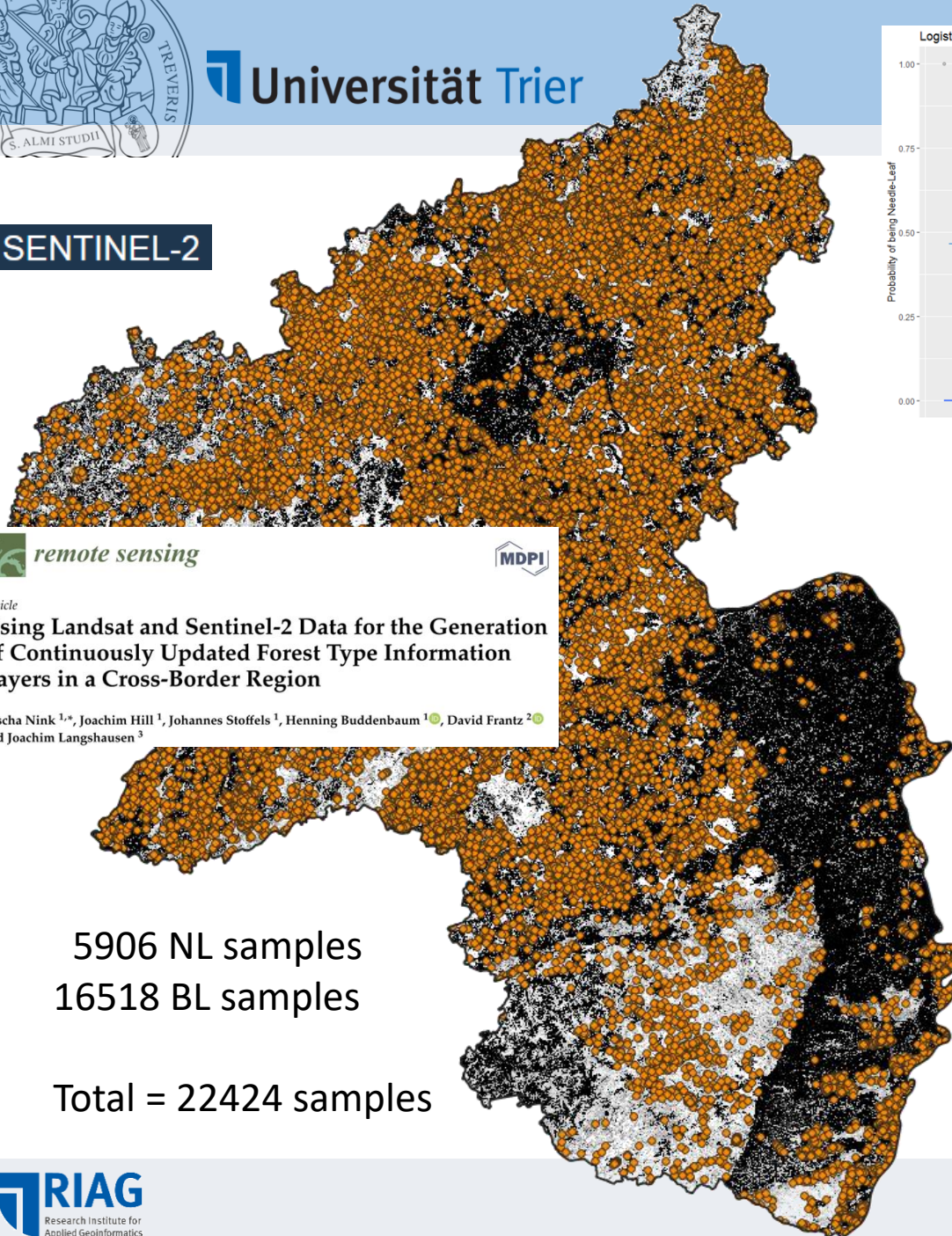


### Laub-/Nadelwald-Trennung :

Nadelwald unterscheidet sich im Zeitraum von Ende Februar bis (je nach Witterungsverlauf) Mitte April u.a. anhand des Bestands-Chlorophyll-Gehalts eindeutig von Laubwald.

Ist die bestockte Waldfläche bekannt, reduziert sich die Klassifikation auf ein binäres Klassenproblem.


SENTINEL-2





## Laub-/Nadelwald-Klassifikation: Logistische Regression

- Das Logit-Modell kann über die reine Klassifikation hinaus eine Wahrscheinlichkeit dafür prognostizieren, dass ein Pixel einem Waldtyp angehört.
- Die Methodik entspricht dabei weitgehend der der linearen Regression - Hauptunterschied ist, dass bei der linearen Regression die abhängige Variable metrisch ist, während sie beim Logit Modell binär ist (also zwei Ausprägungen hat: Nadelwald: 1 – kein Nadelwald: 0).
- Um die Werte der abhängigen Variablen (hier: VIs zum Zeitpunkt  $T_0$ ) als Wahrscheinlichkeit zu kodieren, benötigt man eine sogenannte Link-Funktion; bei einer logistischen Regression ist das die Logit-Funktion.

5906 NL samples  
16518 BL samples  
Total = 22424 samples

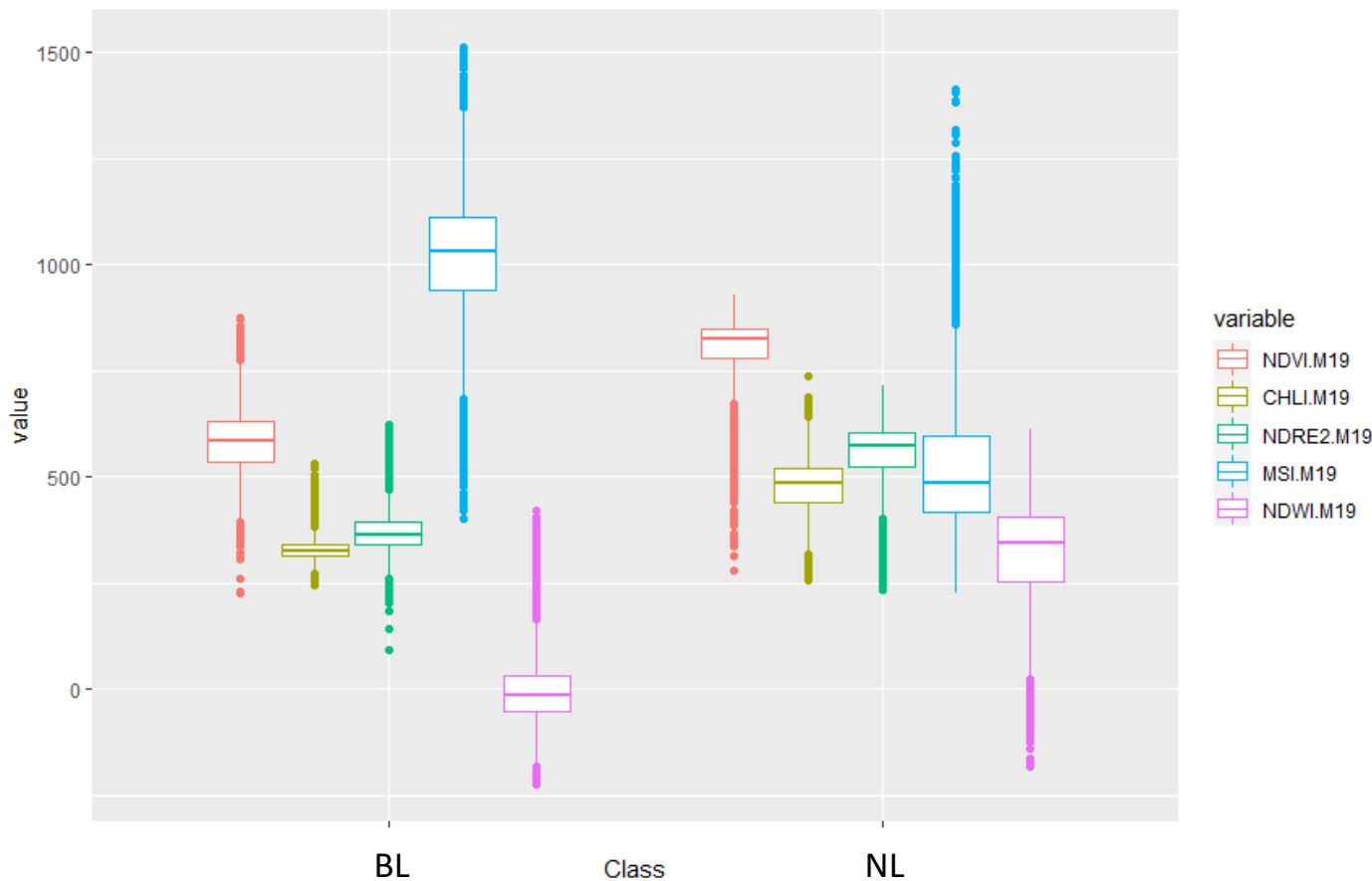
remote sensing 

Article  
Using Landsat and Sentinel-2 Data for the Generation of Continuously Updated Forest Type Information Layers in a Cross-Border Region

Sascha Nink <sup>1,\*</sup>, Joachim Hill <sup>1</sup>, Johannes Stoffels <sup>1</sup>, Henning Buddenbaum <sup>1</sup> , David Frantz <sup>2</sup>  and Joachim Langshausen <sup>3</sup>

# NL vs. BL Classification: Logistic Regression on Spring Composites

Training Data: n= 12516



```
Call:
glm(formula = Dtrain.data$Class ~ NDVI.M19 + CHLI.M19 + MSI.M19,
     family = binomial, data = Dtrain.data)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.2414 -0.2486 -0.1598  0.0068  3.5174

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -8.7683012  1.2277023  -7.142  9.2e-13 ***
NDVI.M19    -0.0175215  0.0014048 -12.473 < 2e-16 ***
CHLI.M19     0.0652445  0.0033715  19.352 < 2e-16 ***
MSI.M19     -0.0060112  0.0005498 -10.934 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

    Null deviance: 14494.9  on 12515  degrees of freedom
Residual deviance:  3499.8  on 12512  degrees of freedom
AIC: 3507.8

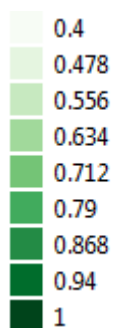
Number of Fisher scoring iterations: 7
```

Validation Data: n= 8343  
Correctly Assigned: 0.958 %

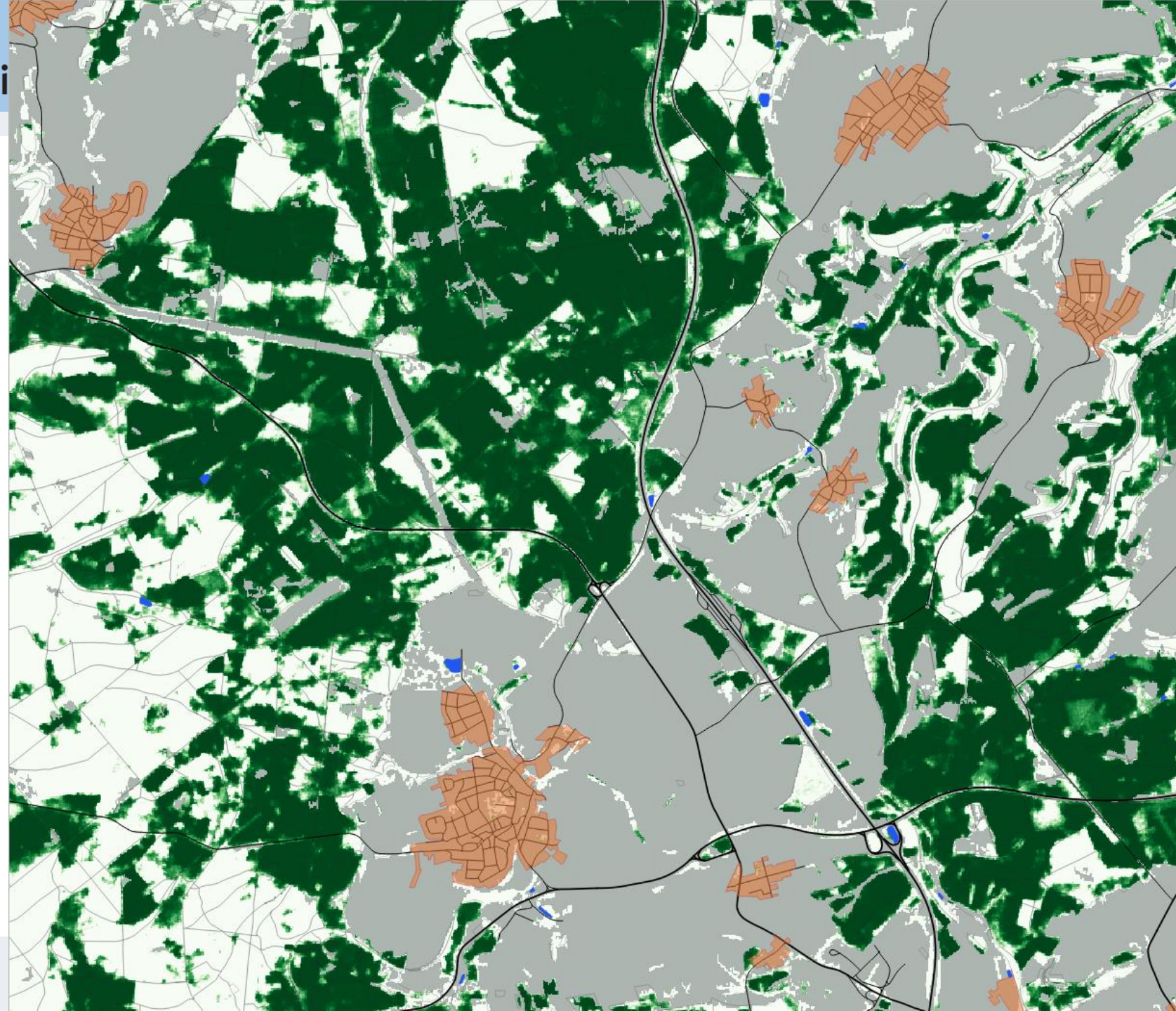


# Nadelwald- Klassifikation März/April 2018

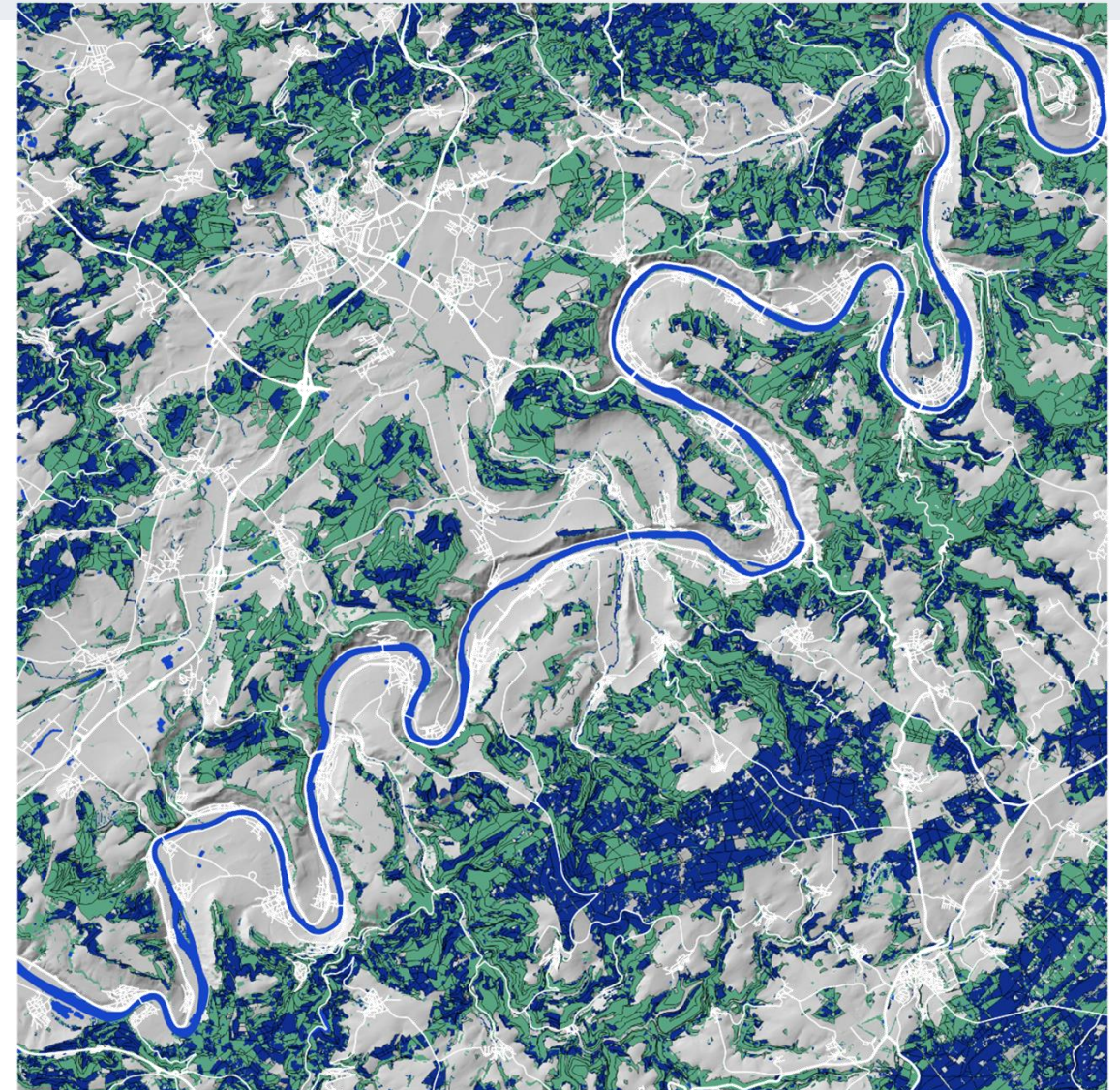
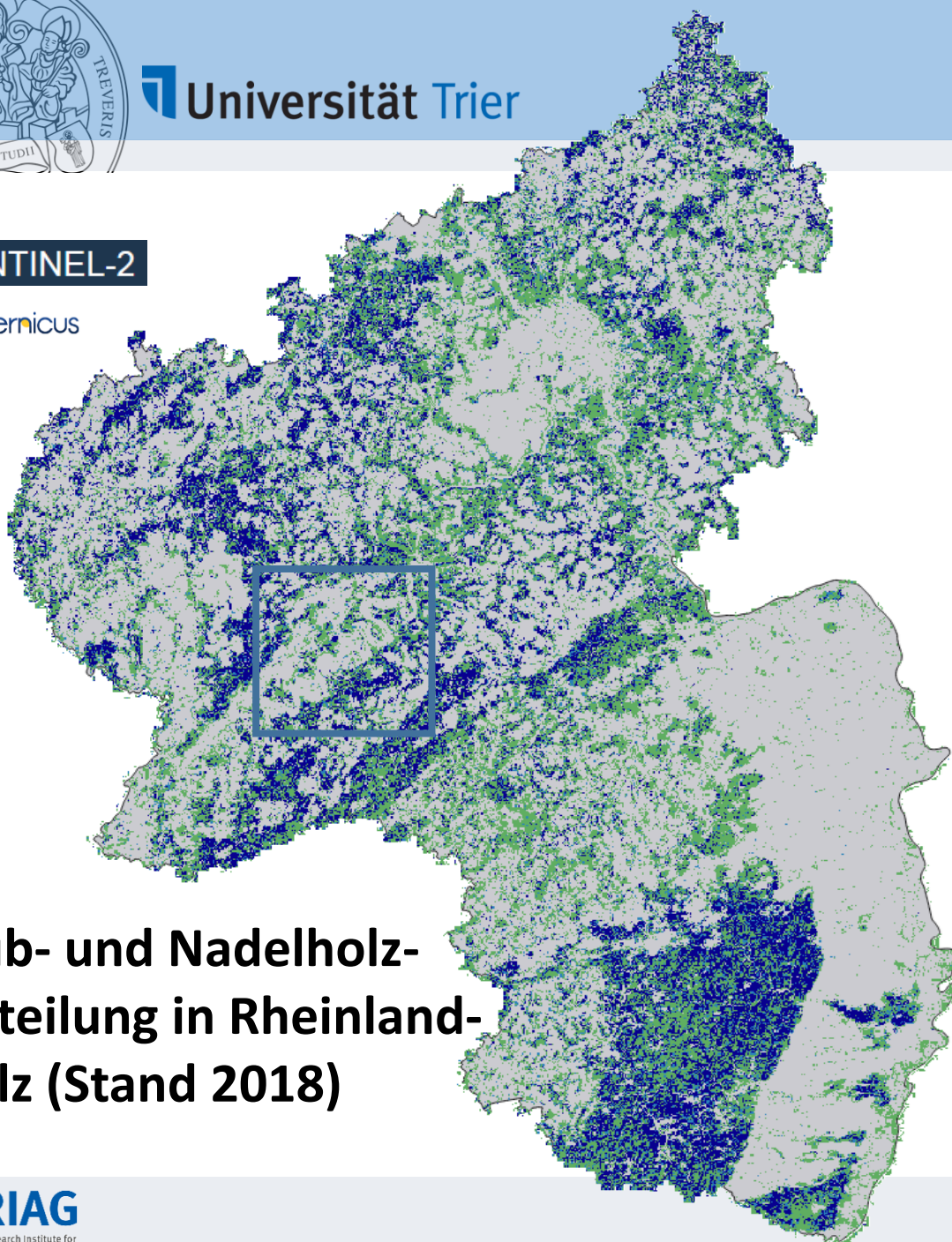
## Probability Scores



Decision Threshold →



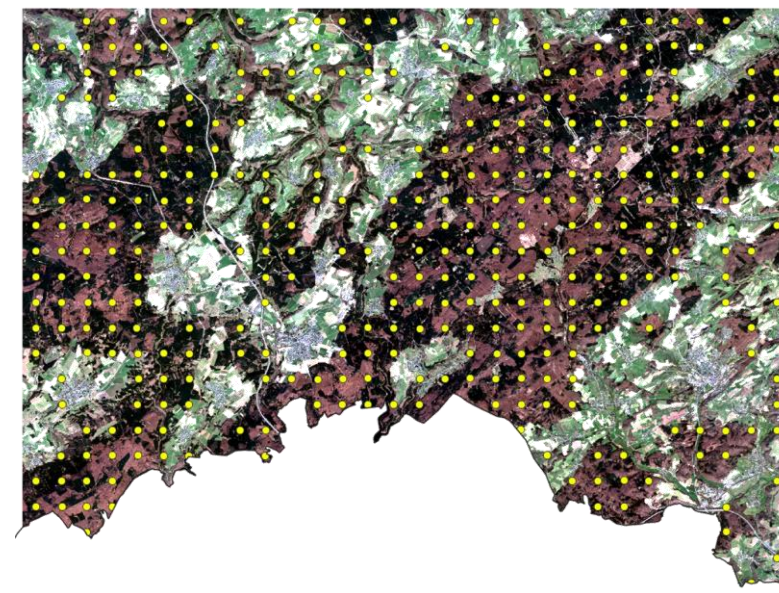
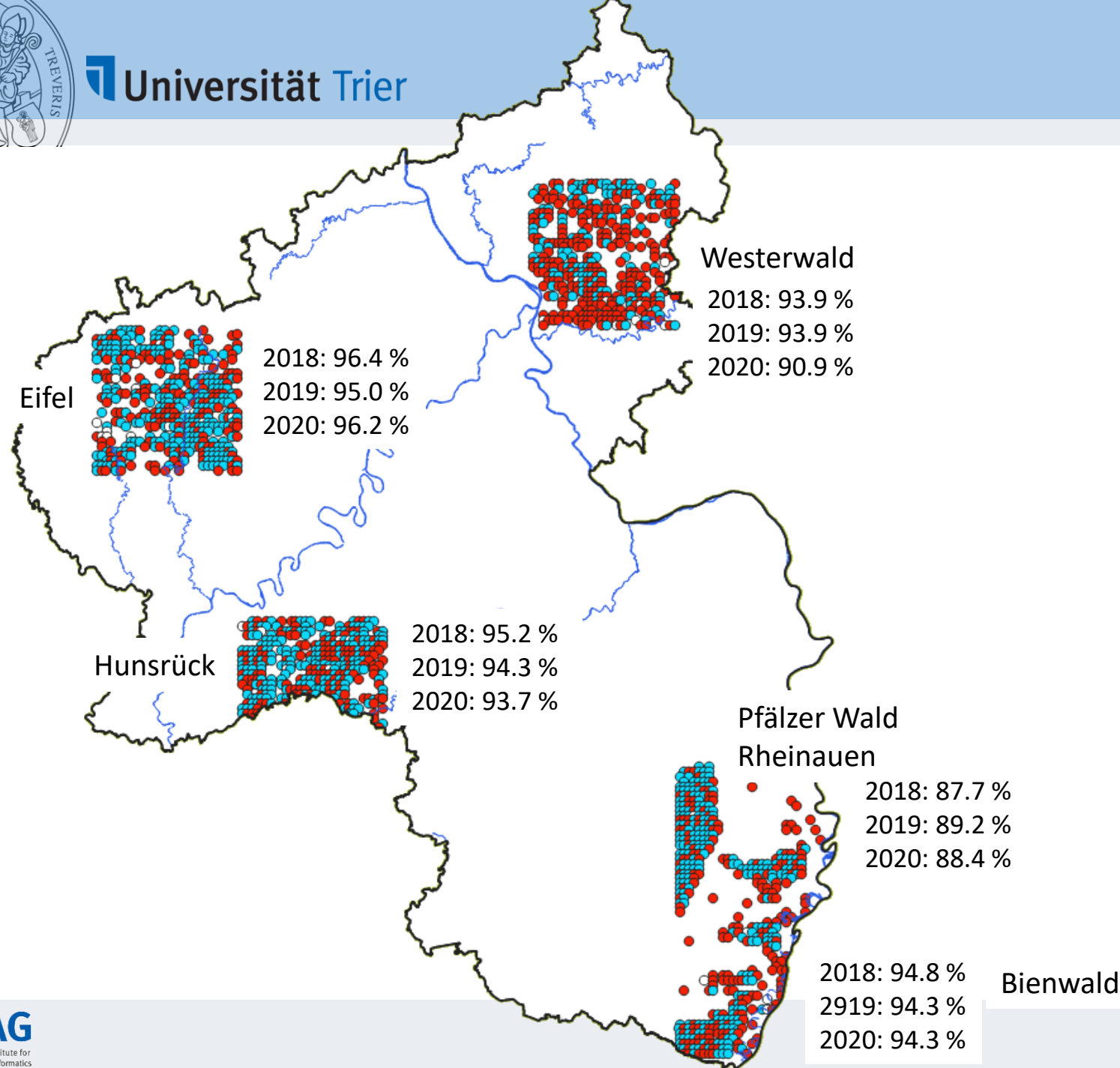
SENTINEL-2

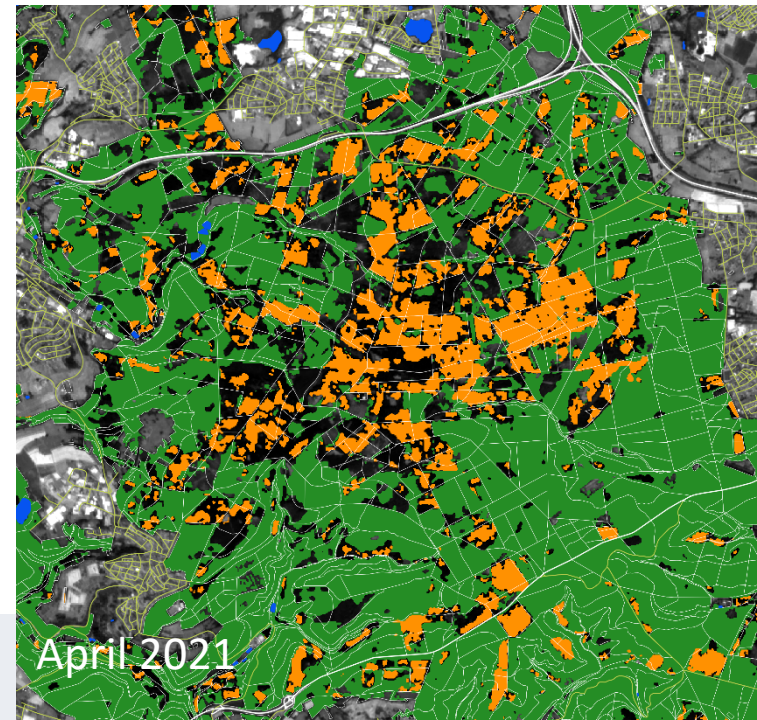
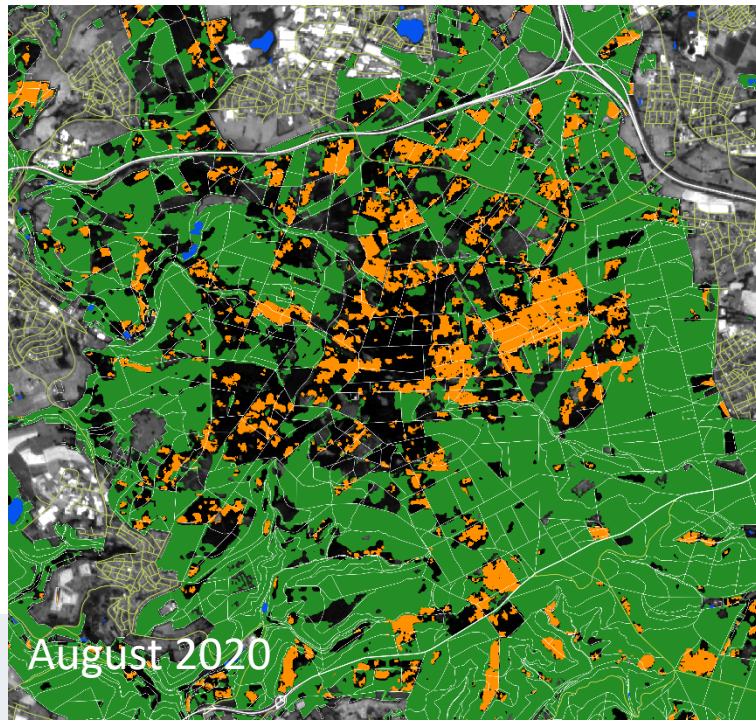
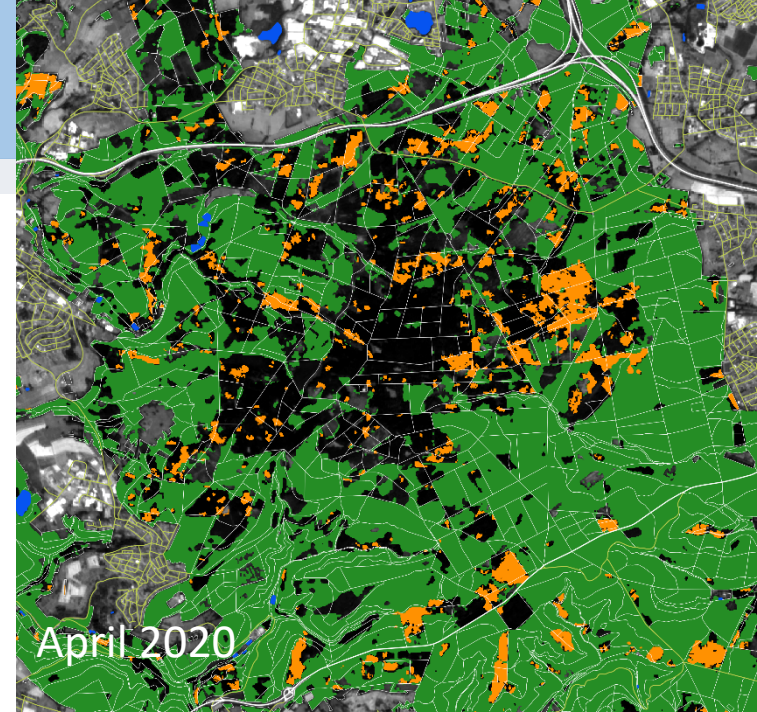
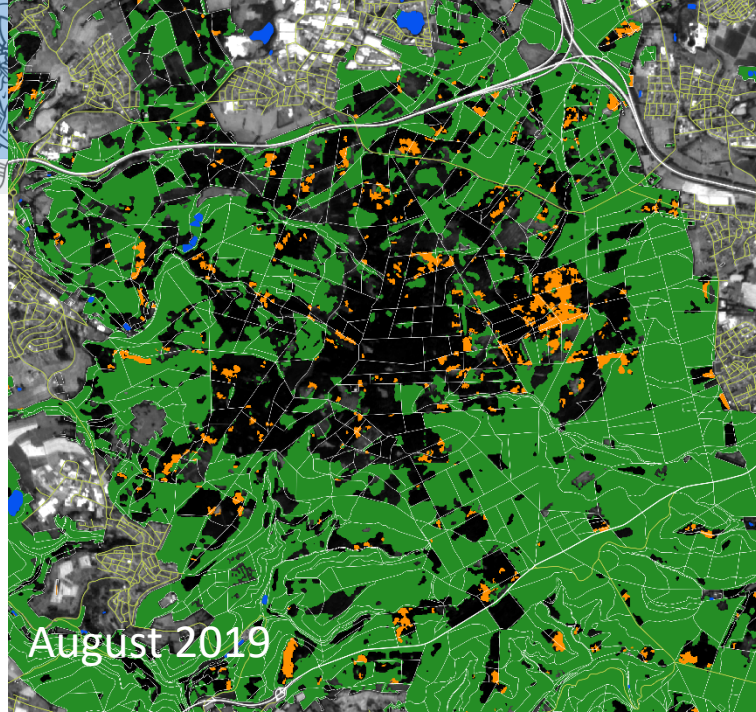


**Laub- und Nadelholz-  
verteilung in Rheinland-  
Pfalz (Stand 2018)**



## Logistic Regression Validation Regions Summary





FA Neuhäusel

### Flächenerfassung der Borkenkäferkalamität in Rheinland-Pfalz (seit März/April 2018)

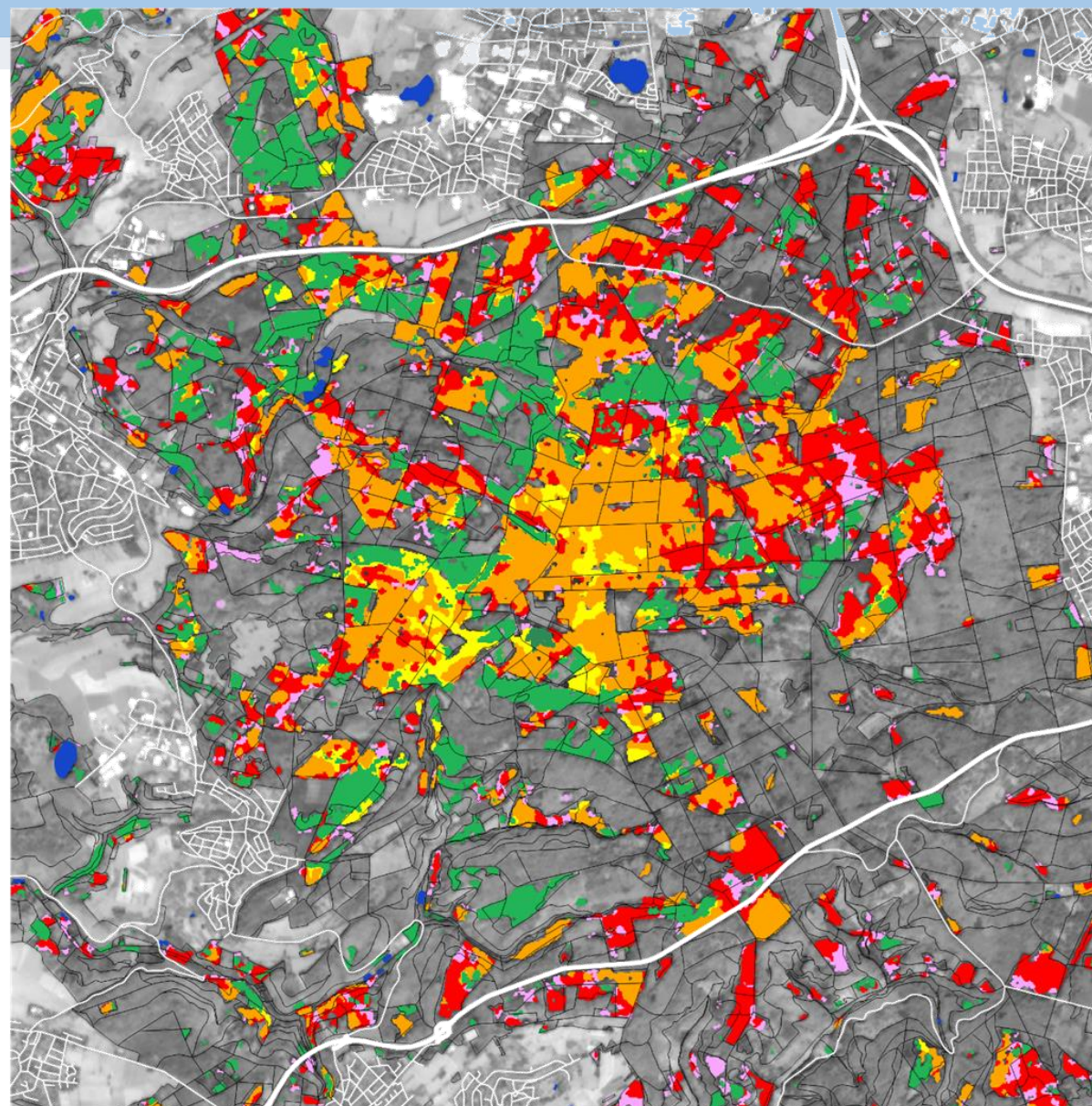
Time	Total (ha)	Increase (ha)
APR 2019	3,740	3,740
AUG 2019	8,880	5,140
APR 2020	11,850	2,970
AUG 2020	15,070	3,220
APR 2021	17,600	2,530



FA Neuhäusel

Zusammenfassung der überwiegend durch Borkenkäfer-Kalamität verursachten Verluste von Nadelwald im zentralen Bereich des Forstamts

März 2018 – März 2022



- NL-Verlust MAR2018-MAR2019
- NL-Verlust MAR2019-MAR2020
- NL-Verlust MAR2020-MAR2021
- NL-Verlust MAR2021-AUG2021
- Verbliebene NL-Fläche MAR2022



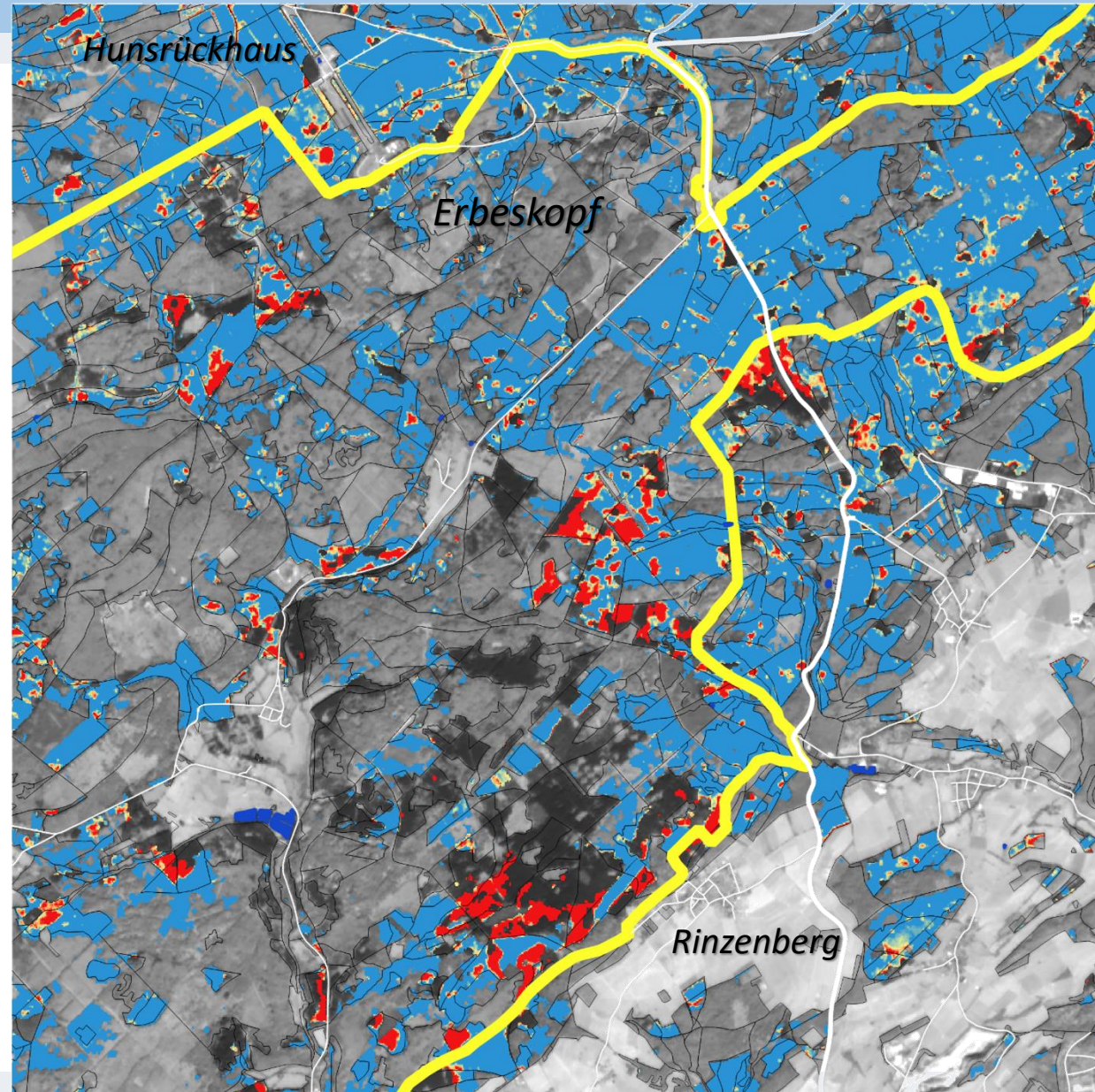
# Bewertung von Kalamitäts-Hotspots zur Planung von Interventionsmaßnahmen

RCHLI AUG2022

∩

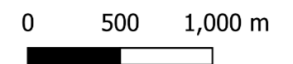
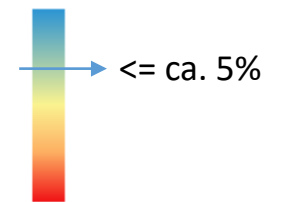
NL MAR2022

Die Verschneidung der beiden Datenebenen weist die Flächen aus, in denen im Zeitraum zwischen Klassifikation der Nadelwald-Layer (MÄRZ 2022) bis zu ihrer Vitalitätsbewertung im AUGUST 2022 erhebliche Rückgänge zu verzeichnen waren.

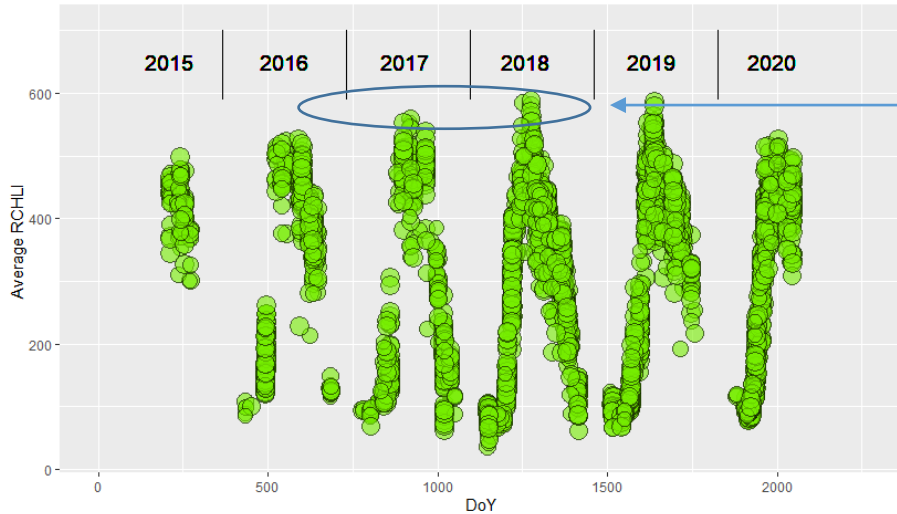


NLP HH

RCHLI AUG 2022



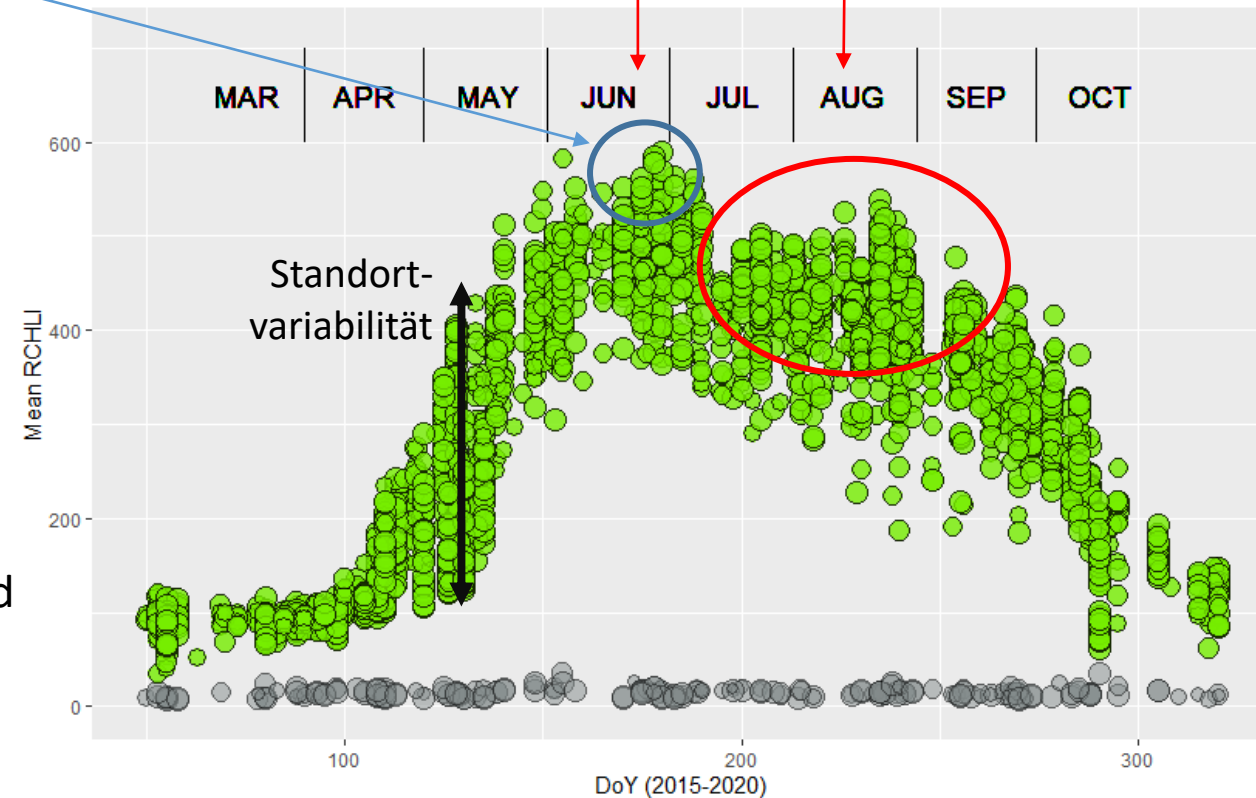
RCHLI Tile-Averages [2015-2020] Broadleaf



ESOPT

Differenz von S2-abgeleiteten Spektralindizes

RCHLI Tile-Averages [2015-2020] Broadleaf, zero-Vegetation



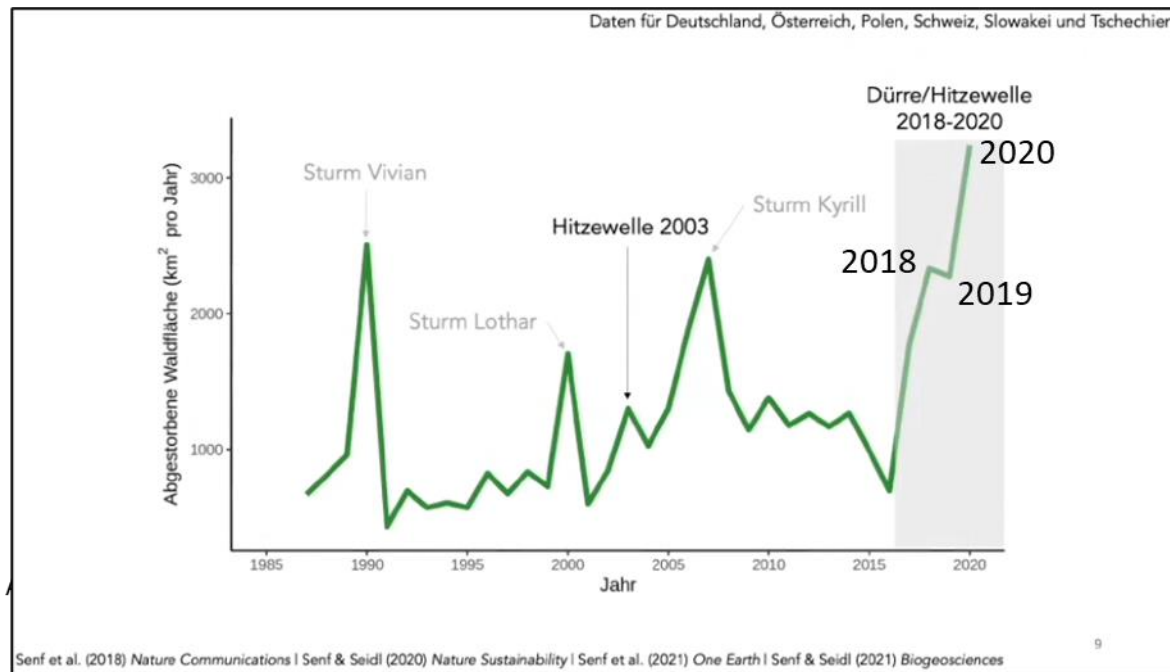
Differenzielle Vitalitätsbewertung:

Vitalitätsbewertungen können aus dem Vergleich zwischen einer (möglichst zeitnah ermittelten) „Optimalsituation“ und dem aktuellen Zustand der Waldfläche abgeleitet werden.

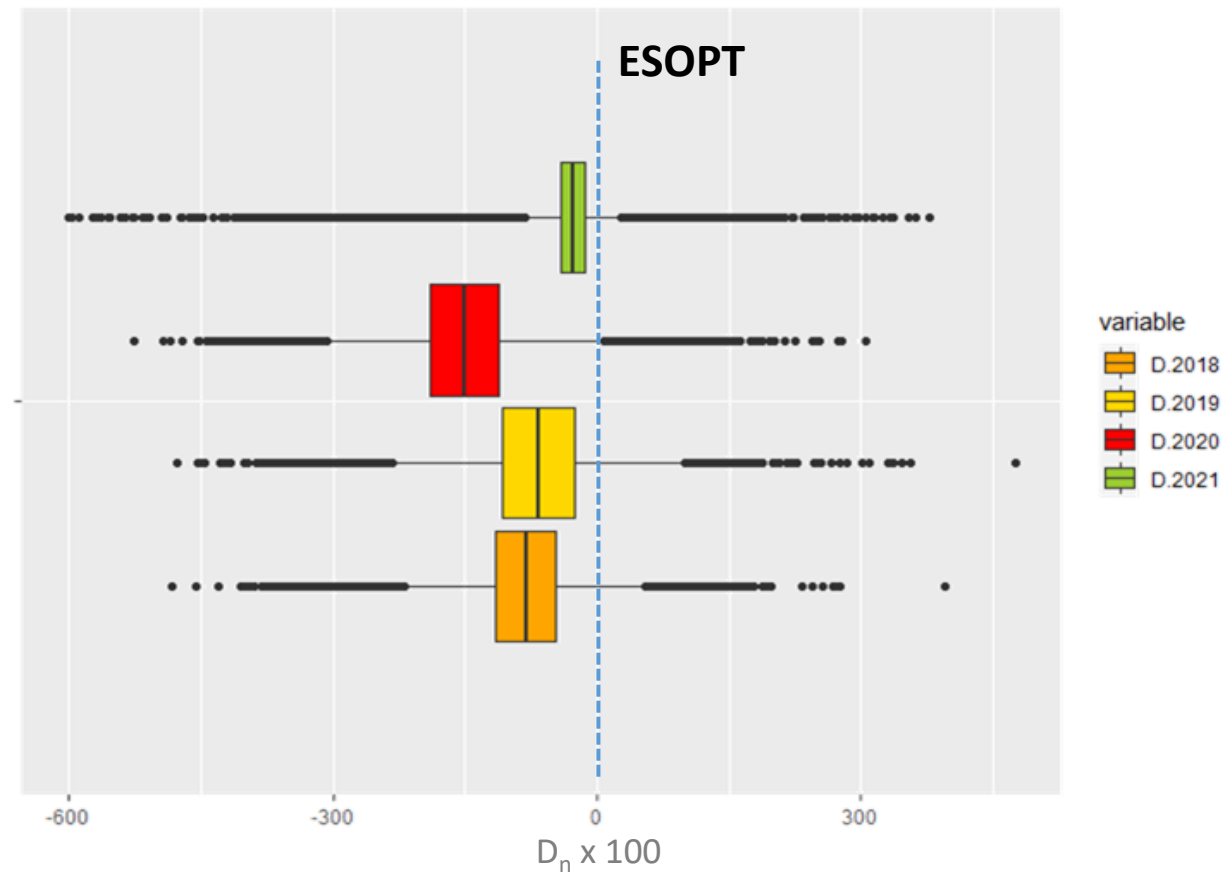
ESOPT = „Early Summer Optimum“  
(DoY 165-190, 2017-2018)

## RCHLI

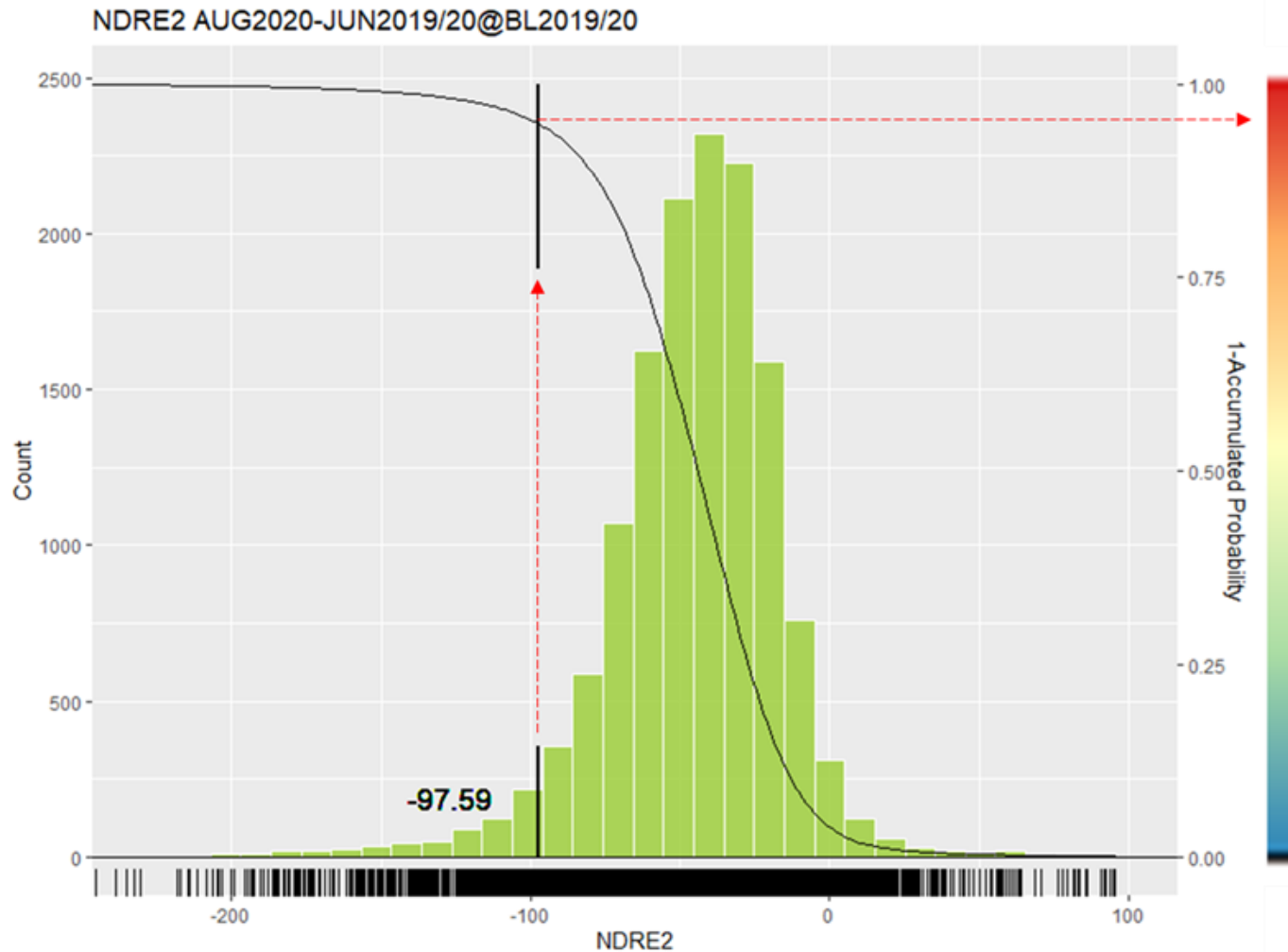
Referenzwert zur Bewertung der Stressintensität für die Gesamtwaldfläche in Rheinland-Pfalz für AUG2018, AUG2019, AUG2020 & AUG2021



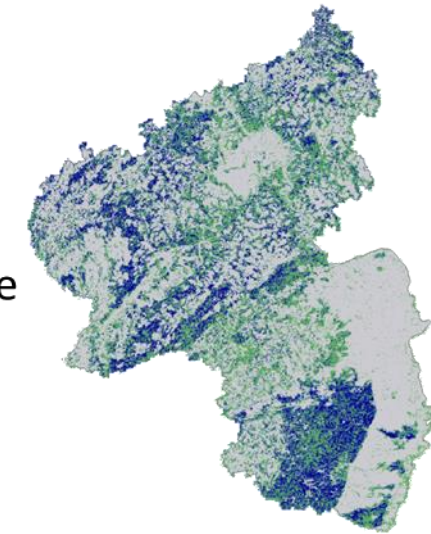
RCHLI: Fröhsommer-Optimum - AUG2018/AUG2019/AUG2020/AUG2021



$$RCHLI_{AUG2018/19/20/21} - RCHLI_{ESOPT}$$



Geschichtete Zufallsstichprobe



Nutzung der inversen Summenkurve der geschätzten „D.NDRE2“-Häufigkeitsverteilung zur Ausweisung der Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer überdurchschnittlich stark ausgeprägten Anomalie der Chlorophyll –Konzentration

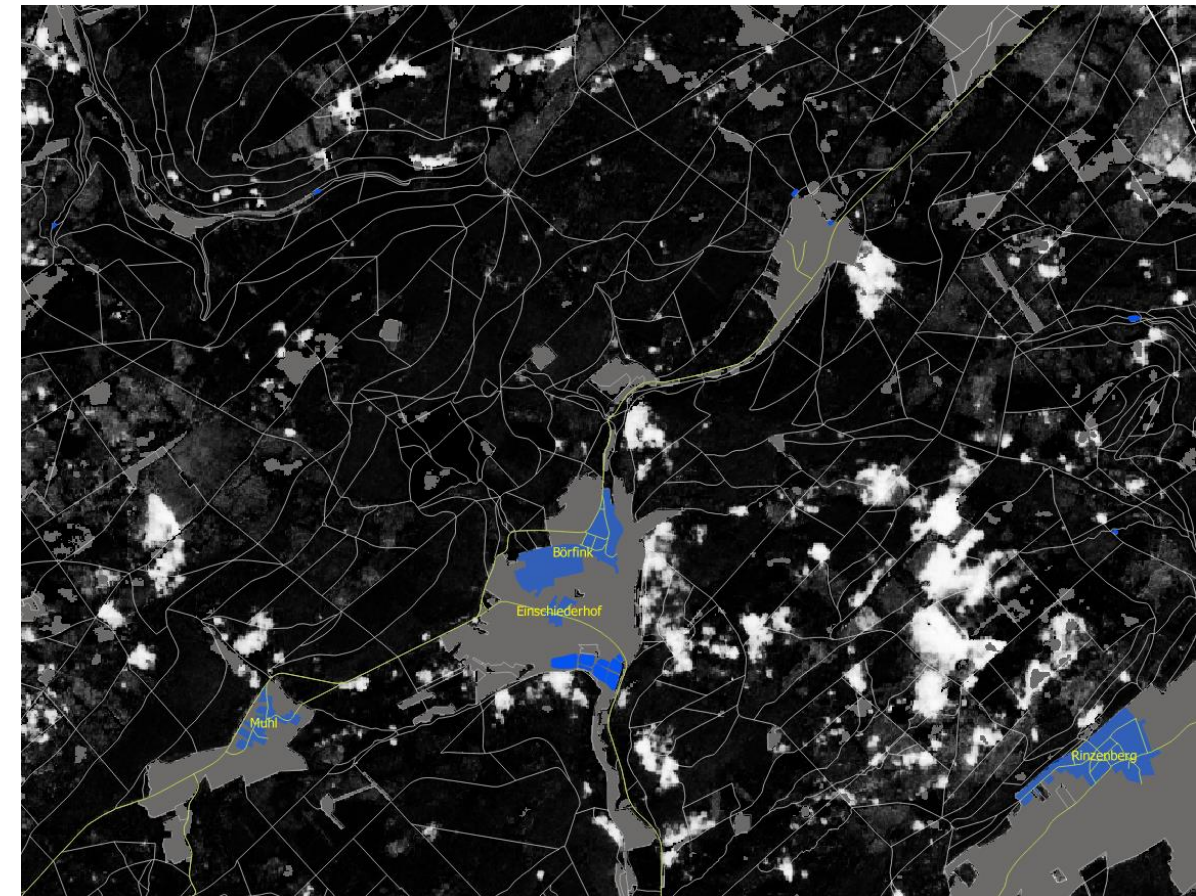
## Combined Vitality Change Index (CVCI)

Sind Ereignisse  $E_1, E_2, \dots, E_n$  unabhängig und schließen sich nicht gegenseitig aus, gilt für das kombinierte Ereignis

$$p\{E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n\} = \prod_{i=1}^n P(E_i) = p(E_1) \cdot p(E_2) \cdot \dots \cdot p(E_n)$$

Obwohl aufgrund von Teilkorrelationen zwischen den einzelnen Differenzindikatoren eine vollständige Unabhängigkeit nicht gegeben ist, kann entsprechend der **jeweiligen Bewertungsziele** eine spezifische Kombination der Anomalie-Indikatoren sinnvoll sein.

- Laubfärbung -> CVCI. $x_m$  (NDVI, RCHLI, NDRE2, PSIR, ...)
- Trocknis -> CVCI. $x_m$  (NDII, MSI, ...)
- Kombinierte Effekte -> CVCI. $x_m$  (NDVI, RCHLI, NDRE2, NDII, MSI, ...)



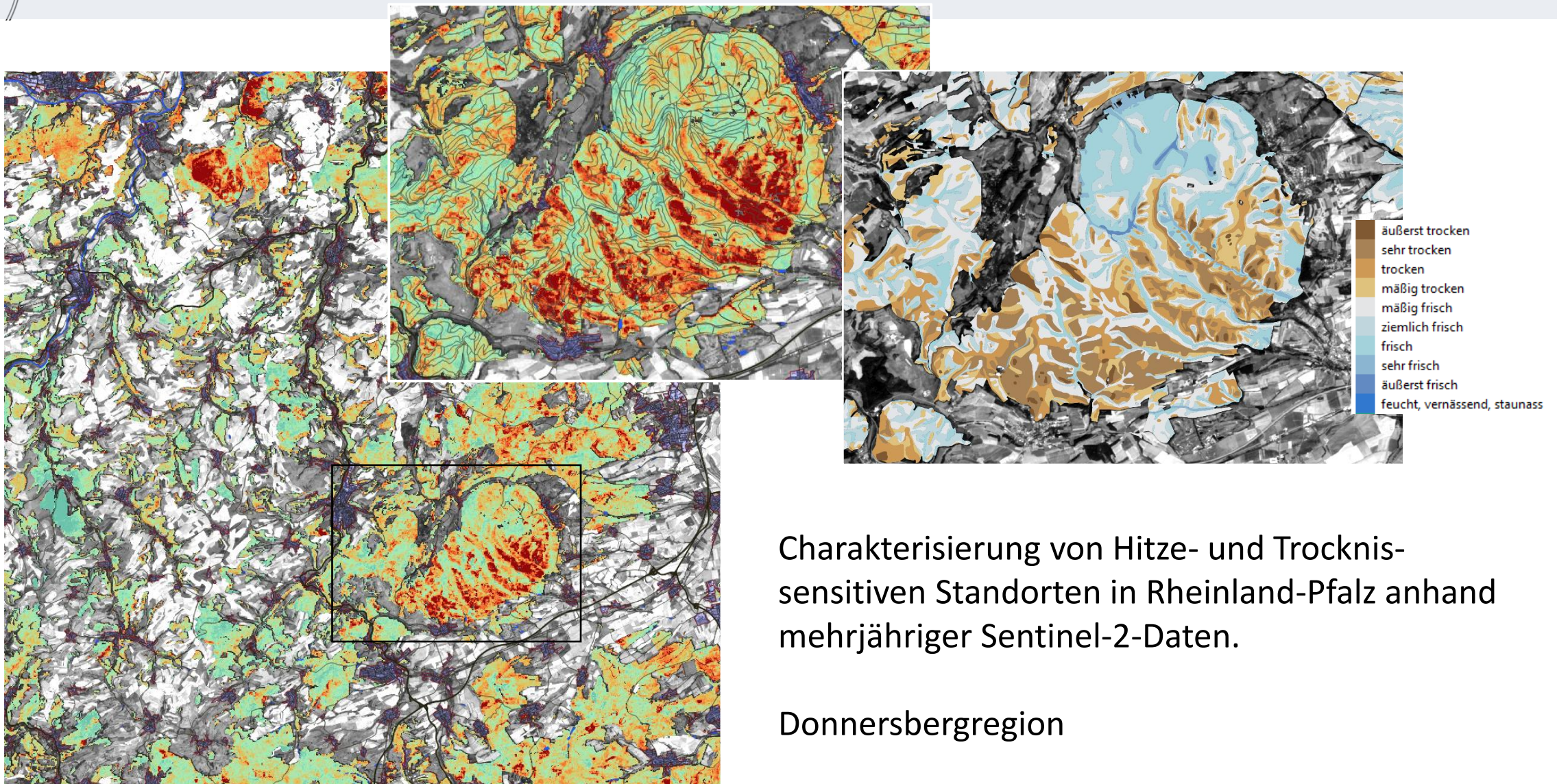
CVCI.3m  
(combined  
pScore)



MAR2020-MAR2021

CVCI.3 $_m$  =  $p(\text{NDVI}) \cdot p(\text{RCHLI}) \cdot p(\text{NDRE2})$





Charakterisierung von Hitze- und Trocken-sensitiven Standorten in Rheinland-Pfalz anhand mehrjähriger Sentinel-2-Daten.

Donnersbergregion

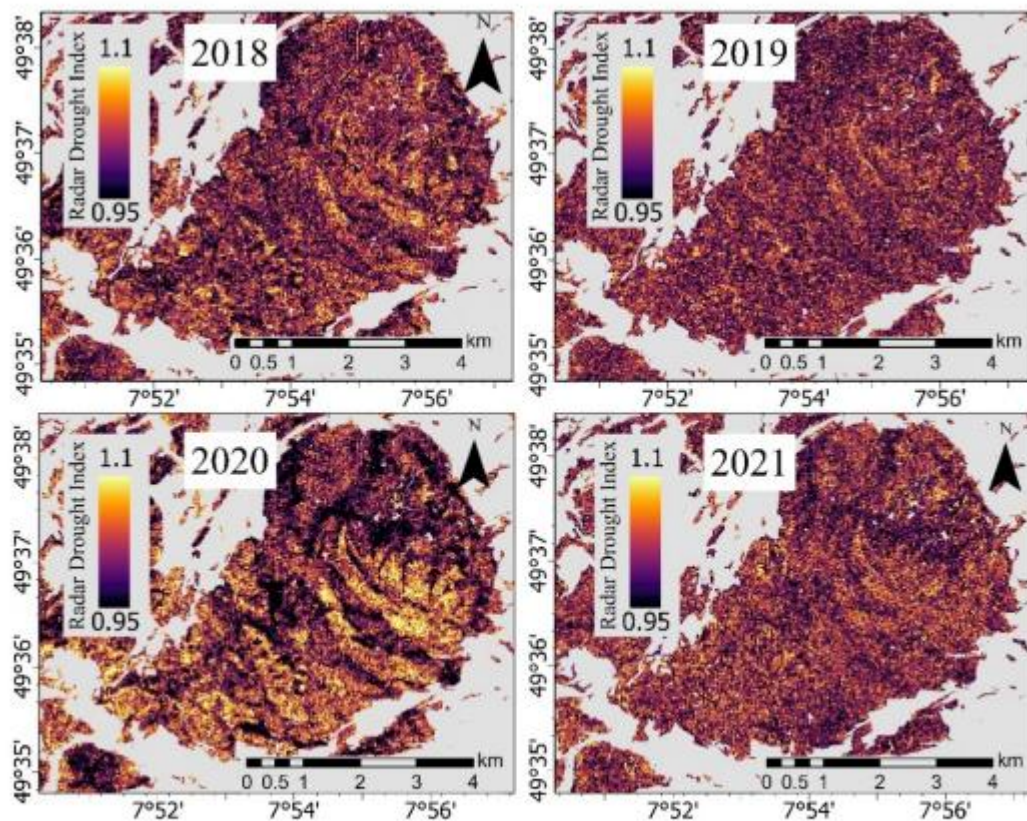


Figure 11. Spatially high-resolution maps of 2018, 2019, 2020 and 2021 for forest stands at the Donnersberg area.

Article  
**Potential of Sentinel-1 Data for Spatially and Temporally High-Resolution Detection of Drought Affected Forest Stands**

Philipp Kaiser, Henning Buddenbaum \* , Sascha Nink and Joachim Hill

Earth Observation and Climate Processes, Trier University, 54286 Trier, Germany  
\* Correspondence: buddenbaum@uni-trier.de; Tel.: +49-651-201-4729

$$\text{Radar Drought Index (RDI)} = \frac{\text{observation composite}}{\text{reference composite}}$$

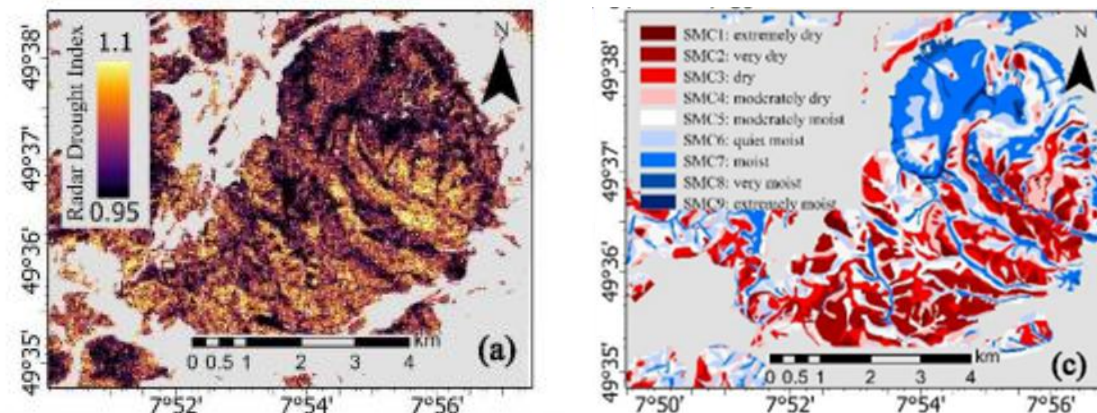
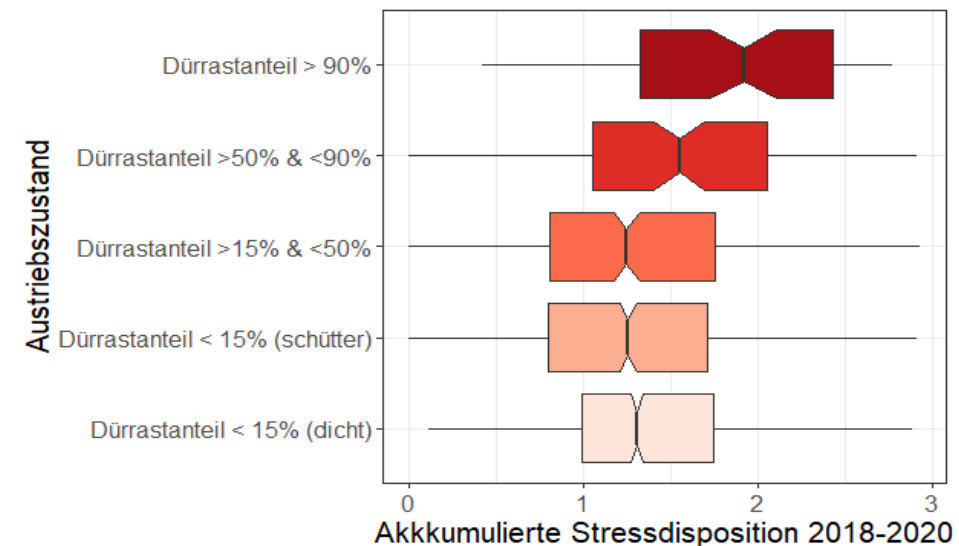
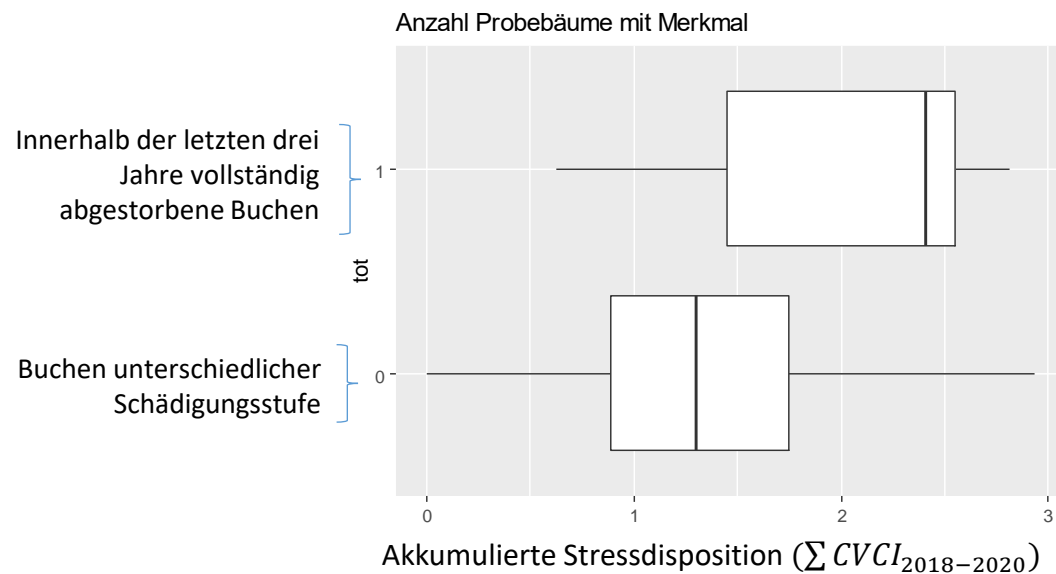
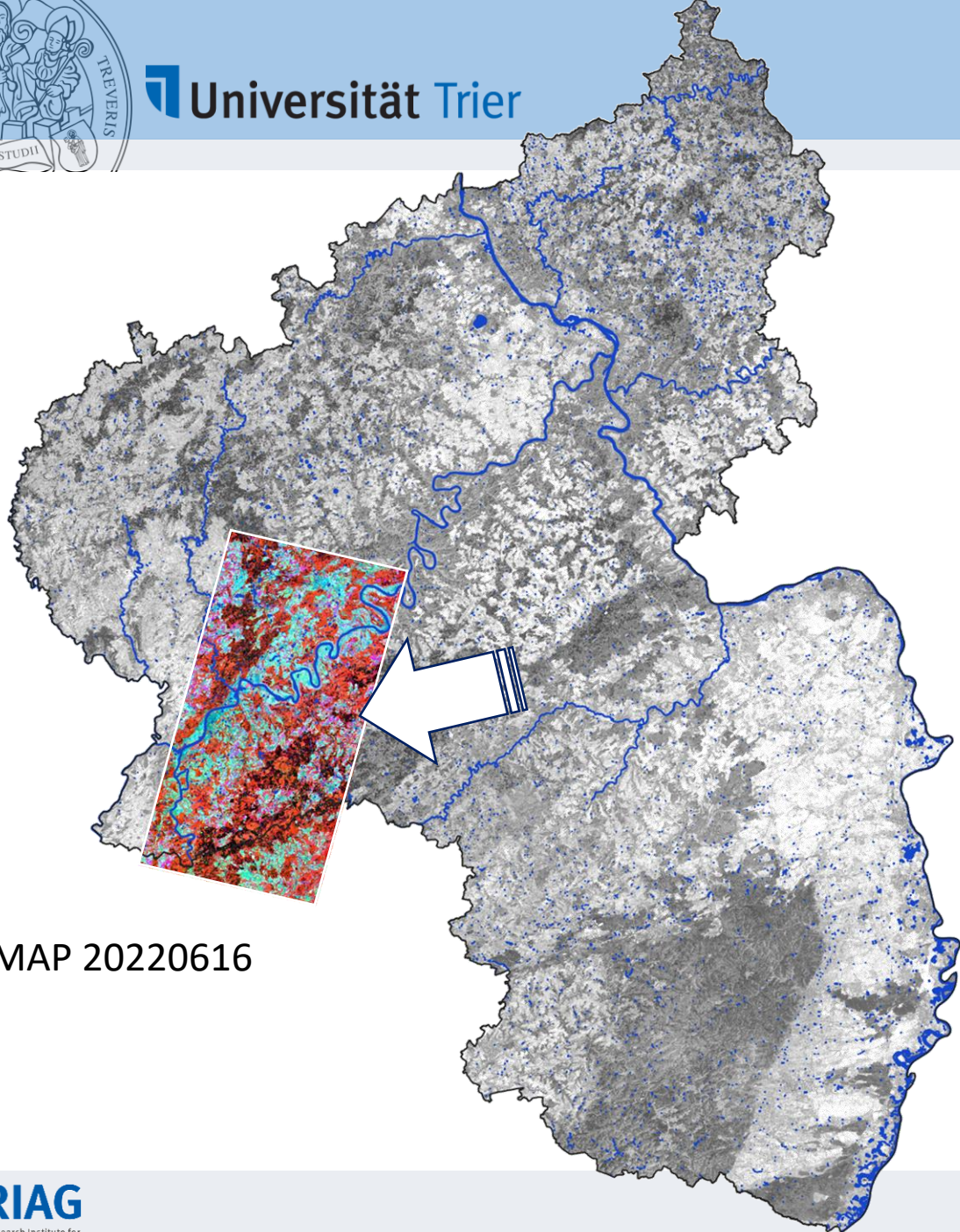


Figure 14. Comparison between (a) Spatially high-resolution RDI map for 2020, (b) Aspect and (c) Soil moisture classes at the Donnersberg area.

## Stichprobenerhebung zur Erfassung des Austriebszustandes der Rotbuche in den Wäldern von Rheinland-Pfalz

- Landesweit insgesamt 2960 per Winkelzählprobe (Zählfaktor 4) ausgewählte Buchen durch Stichprobe erfasst
- 13 baumspezifische Attribute
  - Brusthöhendurchmesser, Buche innerhalb der letzten 3 Jahre abgestorben (ja/nein), **Austriebszustand (5 Stufen anhand Dürrast-Anteil)**, Schicht, Dichtstand, Kraftsche Klasse, Einsehbarkeit der Krone, Stammschäden (Rückeschäden, Schältschäden, Pilzkonsolen, Käferbefall)
- 8 standortspezifische Attribute
  - Durchforstung innerhalb der letzten 3 Jahre (ja/nein), Schädigung von Buchen-Naturverjüngung [% Schädigung], Staunässestufe, nWSK ~ Bodenart, Lagerungsdichte, Durchwurzelung, Skelettgehalt, Exposition





EnMAP 20220616



### EnMAP Science Plan

#### Environmental Mapping and Analysis Program (EnMAP)

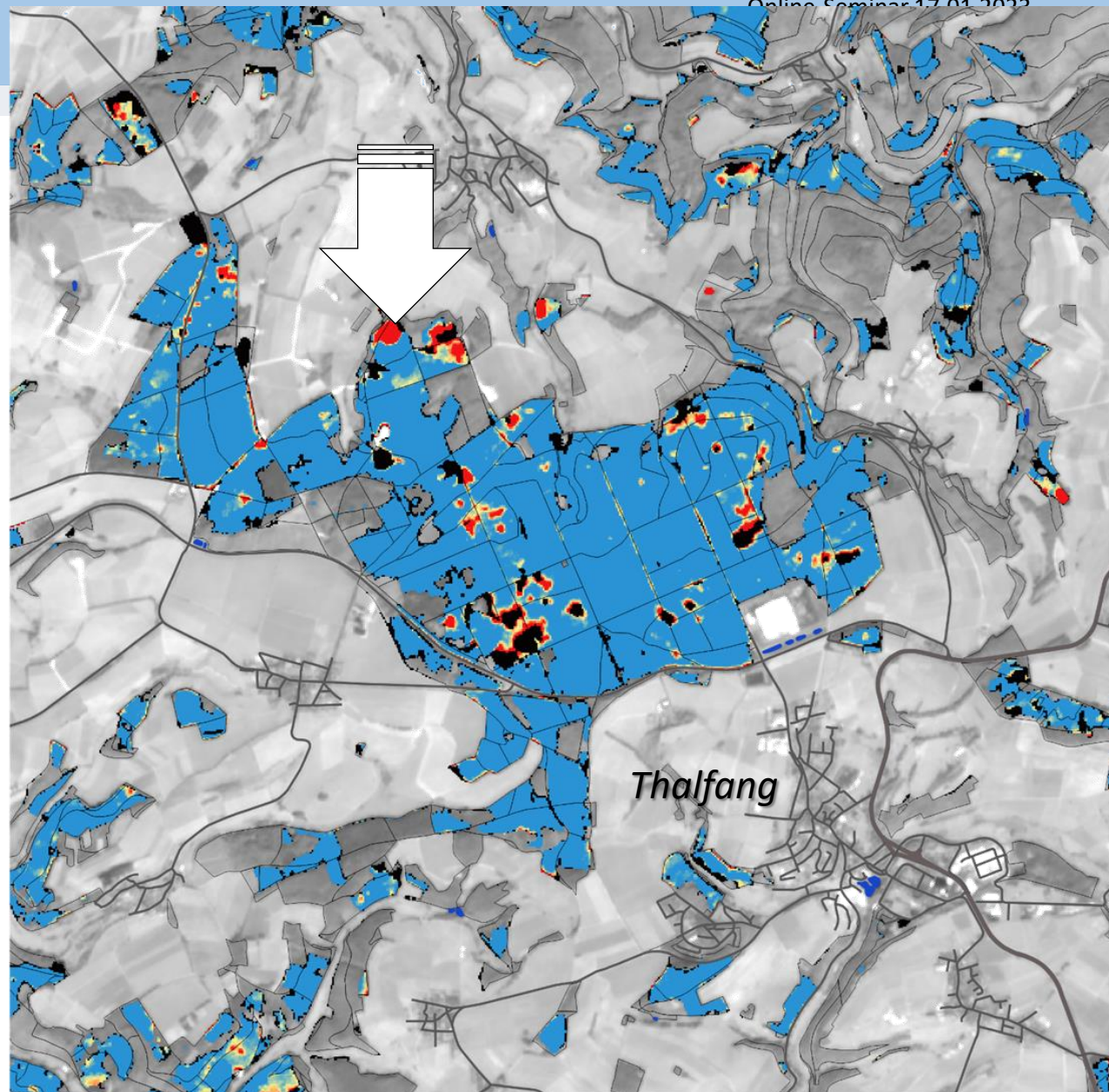
Chabrilat, S.; Guanter, L.; Kaufmann, H.; Foerster, S.; Beamish, A.; Brosinsky, A.; Wulf, H.; Asadzadeh, S.; Bochow, M.; Bohn N.; Boesche, N.; Bracher, A.; Brell, M.; Buddenbaum, H.; Cerra, D.; Fischer, S.; Hank, T.; Heiden, U.; Heim, B.; Heldens, W.; Hill, J.; Hollstein, A.; Hostert, P.; Krasemann, H.; LaPorta, L.; Leitão, P.J.; van der Linden, S.; Mauser, W.; Milewski, R.; Mottus, M.; Okujeni, A.; Oppelt, N.; Pinnel, N.; Roessner, S.; Röttgers, R.; Schneiderhan, T.; Schickling, A.; Soppa, M.; Staenz, K.; Segl, K.



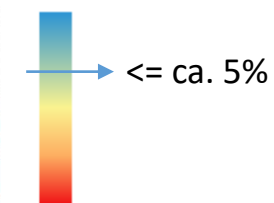
# Bewertung von Kalamitäts-Hotspots zur Planung von Interventionsmaßnahmen

RCHLI AUG2022  
∩  
NL MAR2022

= weist die Flächen aus, in denen im Zeitraum zwischen Klassifikation der Nadelwald-Layer (MÄRZ 2022) bis zu ihrer Vitalitätsbewertung im AUGUST 2022 erhebliche Rückgänge zu verzeichnen waren.



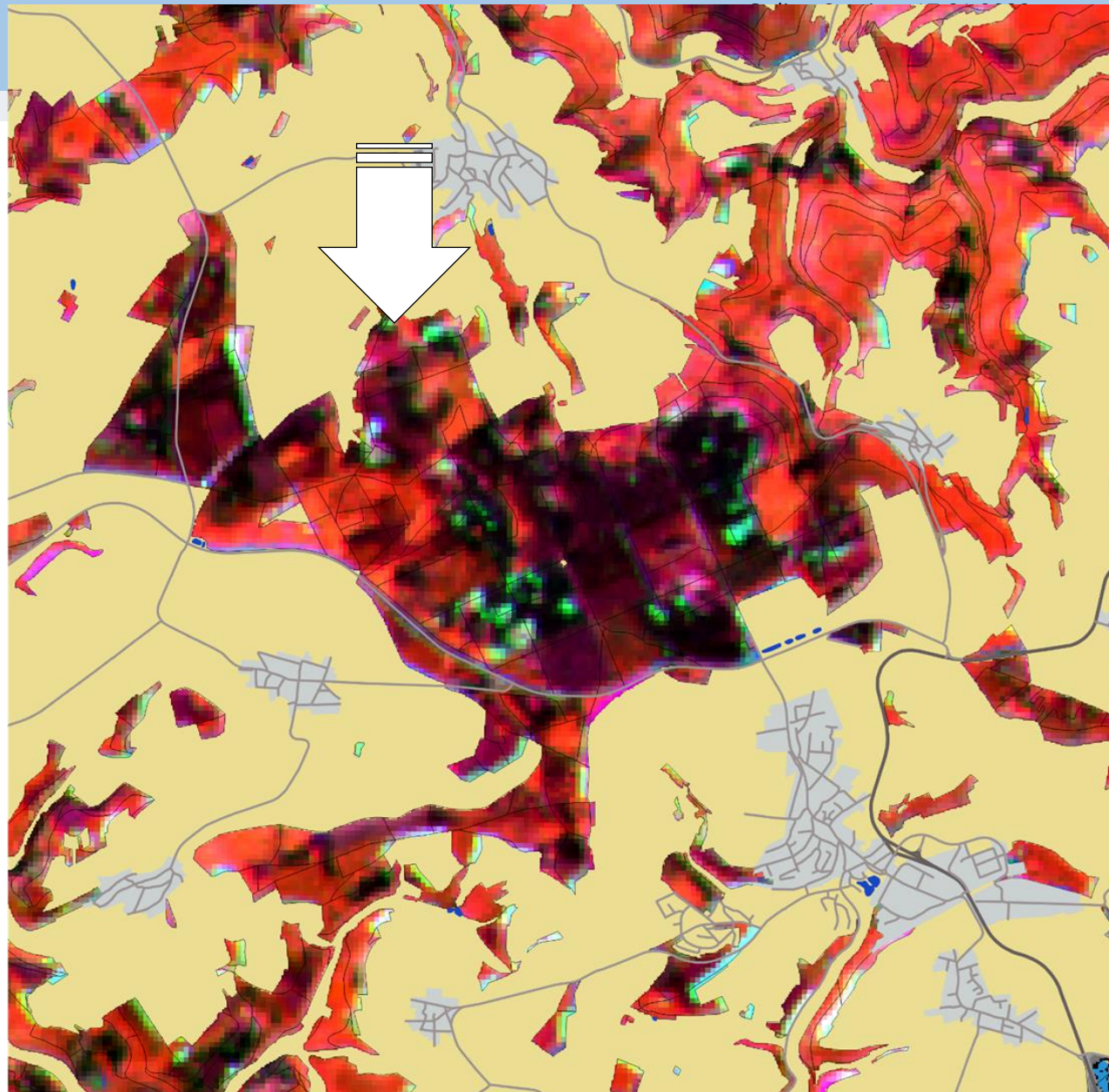
RCHLI AUG 2022



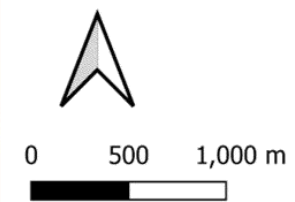
# EnMAP Früherkennung potenzieller Kalamitätsflächen

RGB = 855.5 – 2224.8 – 653.6 nm  
NIR SWIR Red

Farbdarstellung nur  
innerhalb der aktuellen  
Waldfläche (ATKIS 2020)

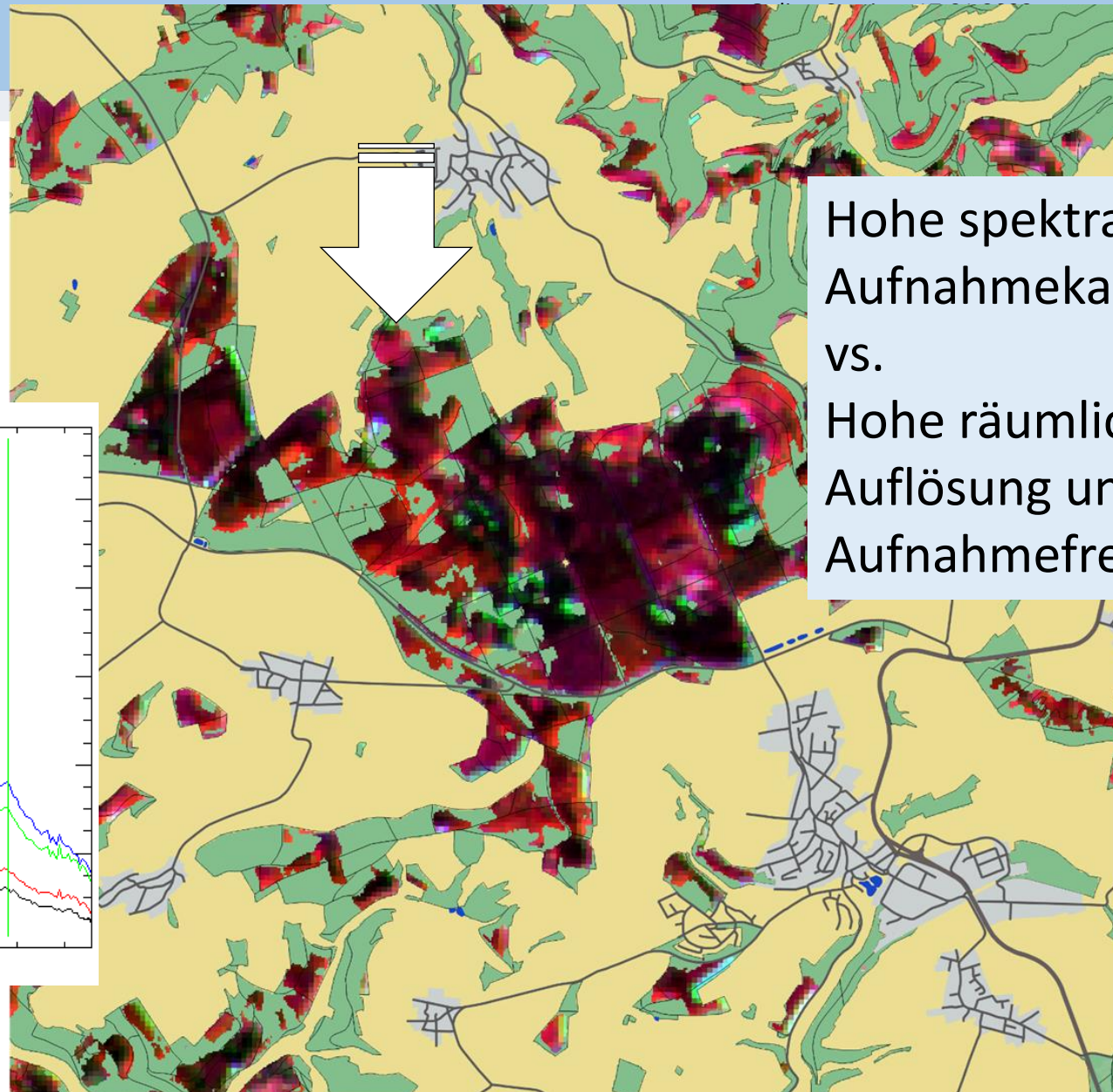
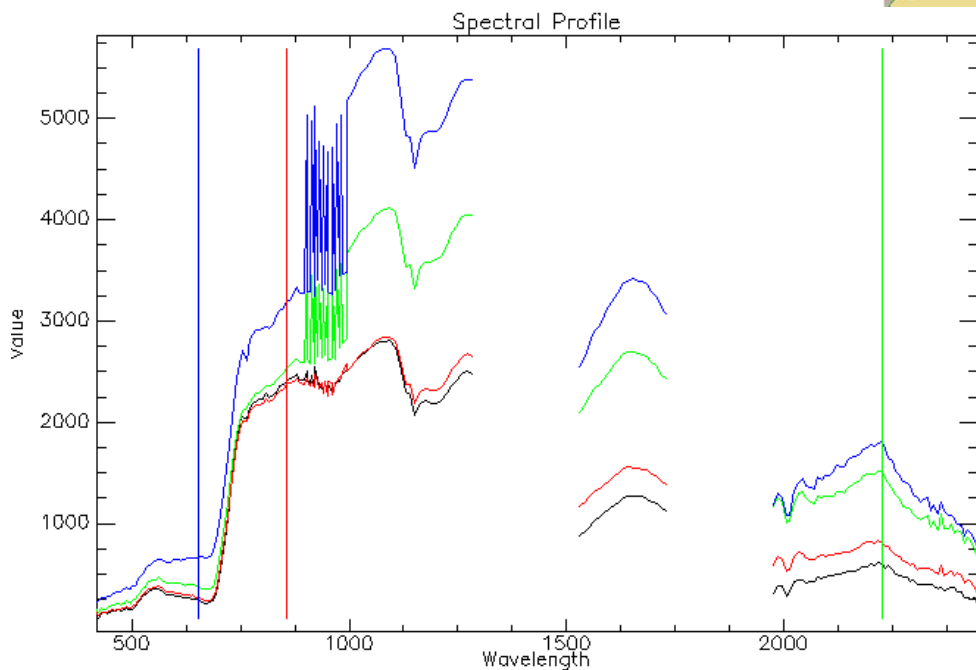


EnMAP  
20220616



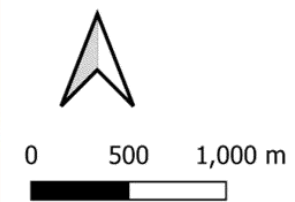
# EnMAP

## Früherkennung potenzieller Kalamitätsflächen

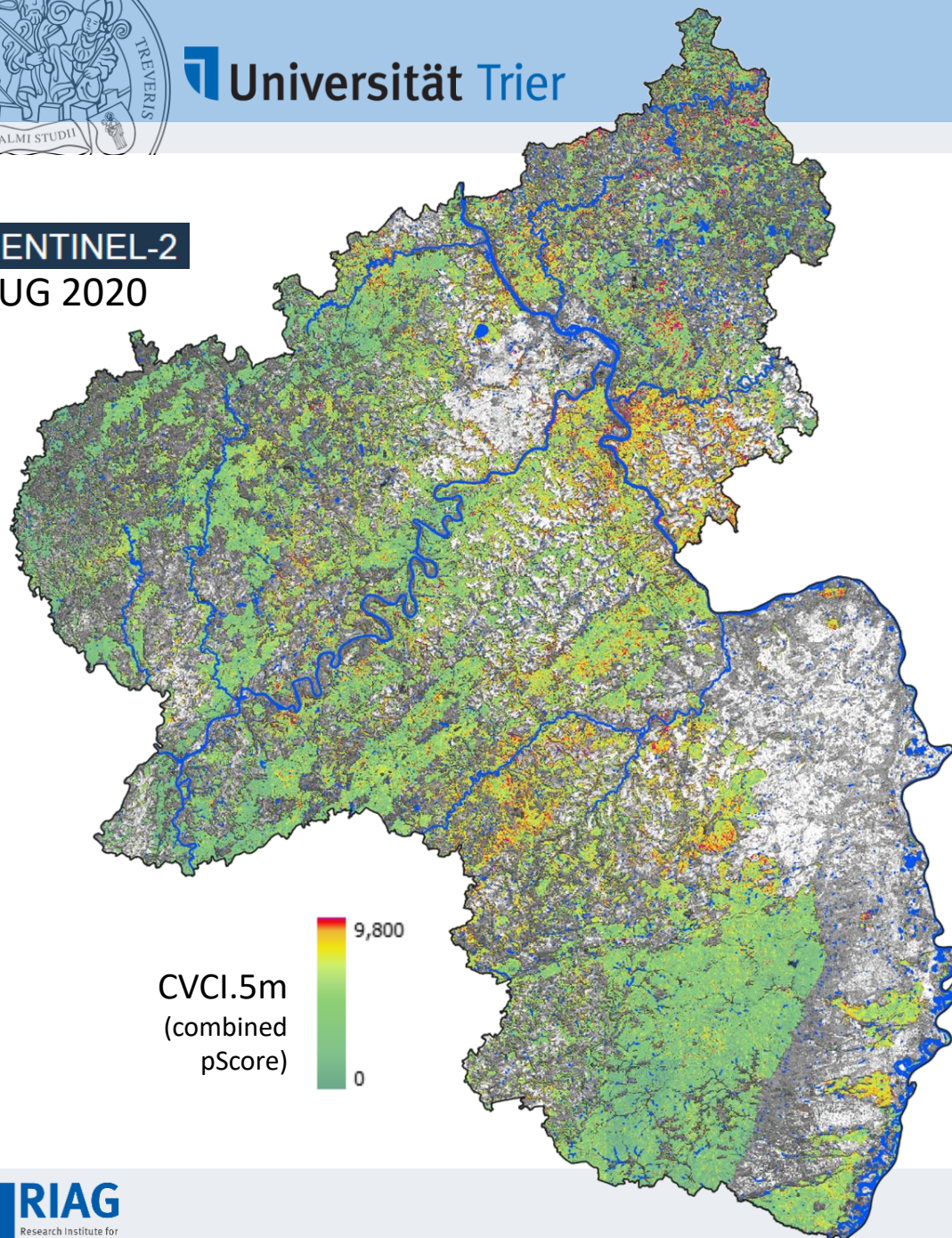


Hohe spektrale  
Aufnahmekapazität  
vs.  
Hohe räumliche  
Auflösung und  
Aufnahmefrequenz

EnMAP  
20220616



SENTINEL-2  
AUG 2020



## Resumé

- Aktuelle Informationen über die bestockte Waldfläche sowie die Unterscheidung von Waldtypen (Laub- und Nadelwald) konnten mit Sentinel-2-Daten für fünf aufeinanderfolgende Jahre (2018-2022) für das gesamte Bundesland Rheinland-Pfalz ermittelt werden
- Voraussetzung dazu sind die durch S2-A/B erheblich gesteigerte Datenverfügbarkeit und angepasste Datenverarbeitungskonzepte
- Waldstrukturinformationen sind die Grundlage für weiterführende Bewertungen zum Vitalitätszustand der Bestände
- Aktuelle Informationen zu Waldstruktur und Bestandsvitalität unterstützen die Integration von terrestrischen Waldinventuren und statistischen Auswertekonzepten