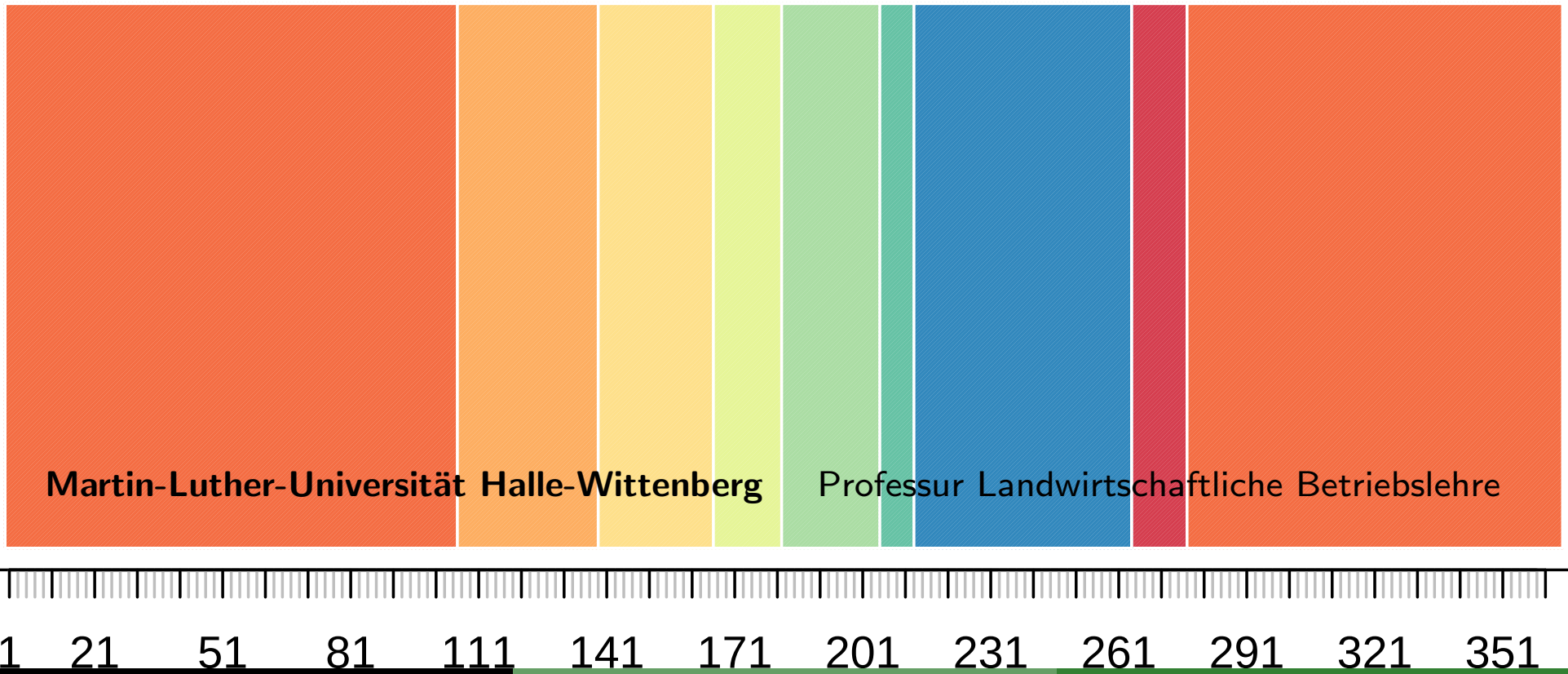
PHÄNOLOGISCHE SPEKTRALINDEX-ZEITREIHEN

zur dynamischen Ableitung von Bodenbedeckungsinformation

Markus Möller



Gliederung

1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

Gliederung

1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

Bodenerosion, Phänologie und Vegetationsbedeckung

- Bodenerosion ist ein ereignisbezogener Prozess, bei dem Starkniederschlagsereignisse und Phasen keiner oder geringer Bodenbedeckung zusammentreffen.

Zeitlich und räumlich-dynamisches Erosionsmonitoring

- *On demand*-Detektion der Schlag- und Phasen-spezifischen Bodenbedeckung

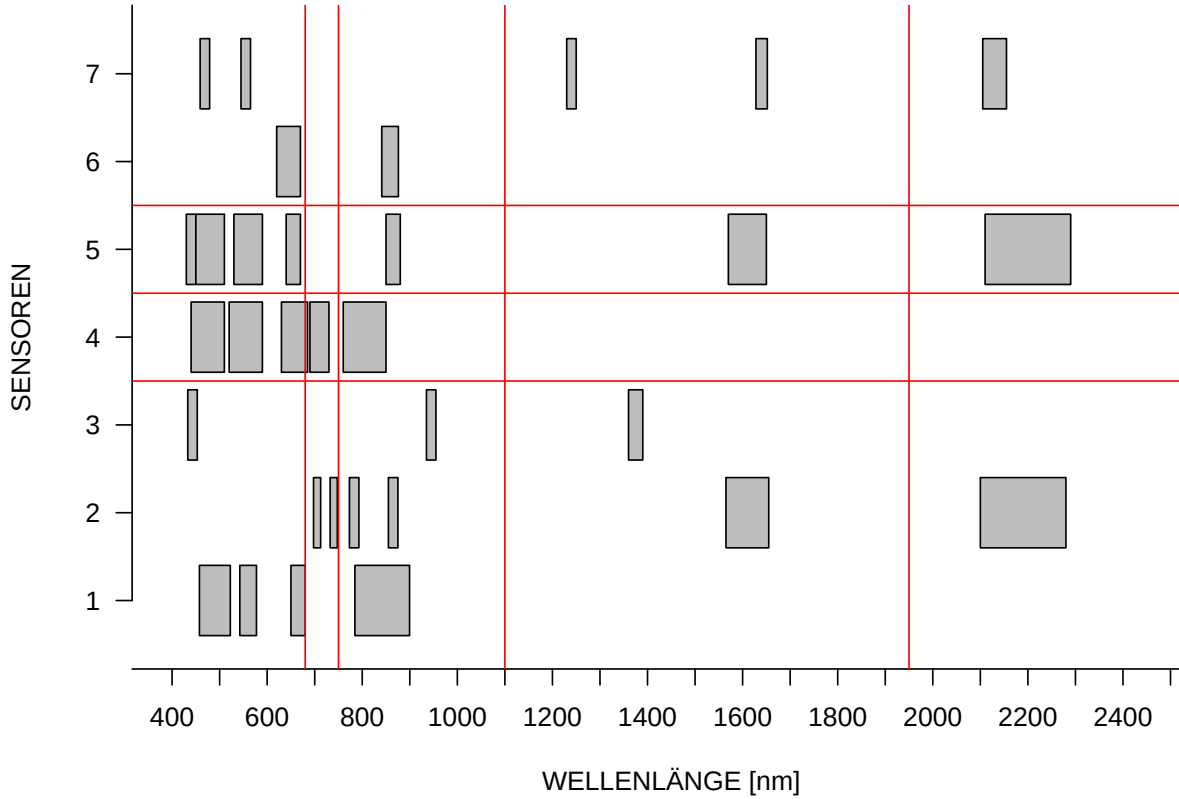
Zeitlich und räumlich-dynamisches Erosionsmonitoring

- *On demand*-Detektion der Schlag- und Phasen-spezifischen Bodenbedeckung
  - Satellitenbilddaten
  - Phänologische Beobachtungen

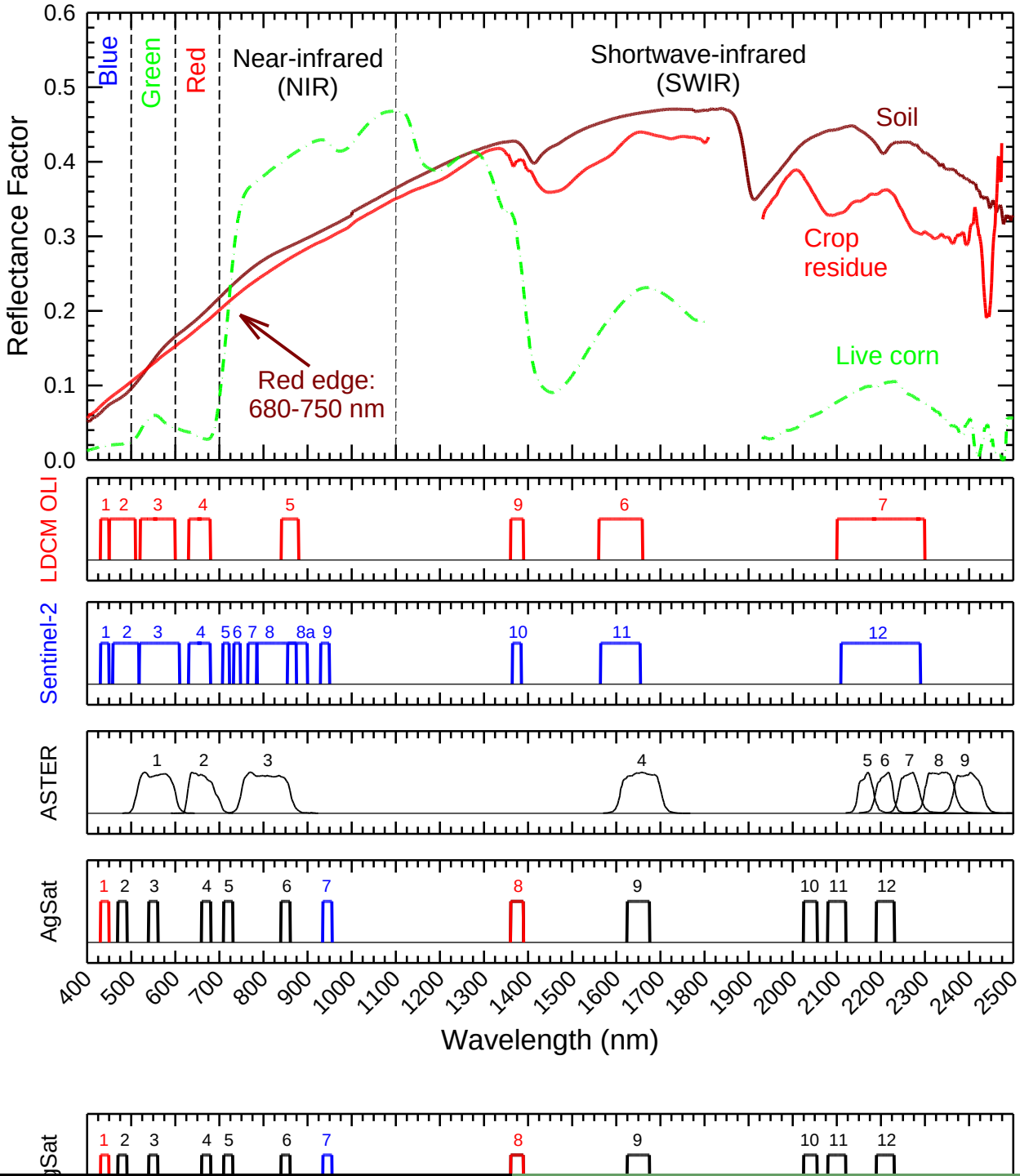
Gliederung

1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

Satellitenbilder: *Abdeckung und Auflösung*



- 1 · Sentinel 2 · 10 m^2 · 5 Tage
- 2 · Sentinel 2 · 20 m^2 · 5 Tage
- 3 · Sentinel 2 · 60 m^2 · 5 Tage
- 4 · RapidEye · 5 m^2 · max. 5 Tage
- 5 · Landsat 8 · 30 m^2 · 16 Tage
- 6 · MODIS · 250 m^2 · 1-2 Tage
- 7 · MODIS · 250 m^2 · 1-2 Tage

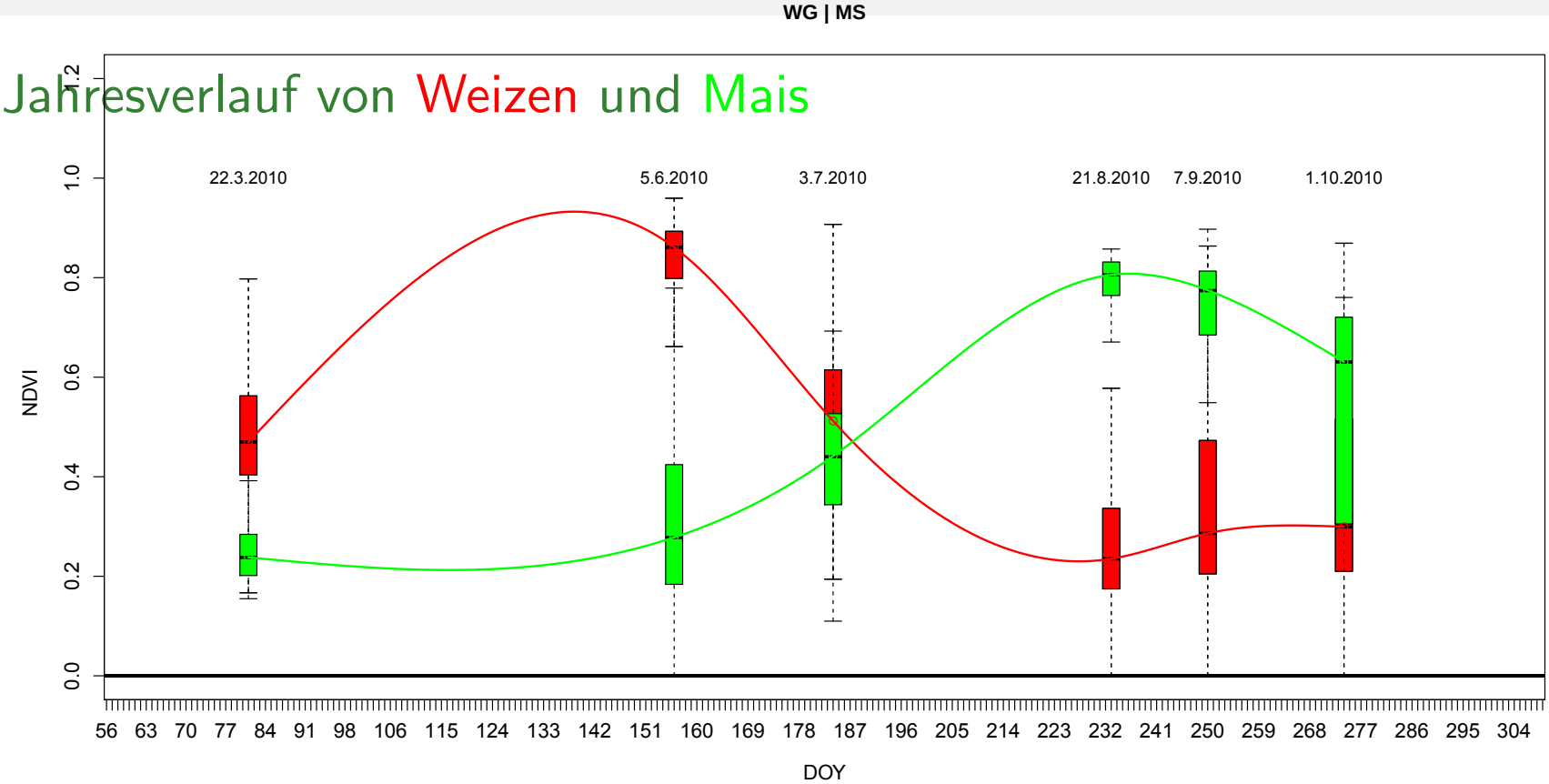


$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Serbin, G. (2011): Advanced Multispectral Sensor Requirements for Remote Sensing of Agriculture and Land Cover. Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop vom 29. bis 31 März. Boulder, Colorado

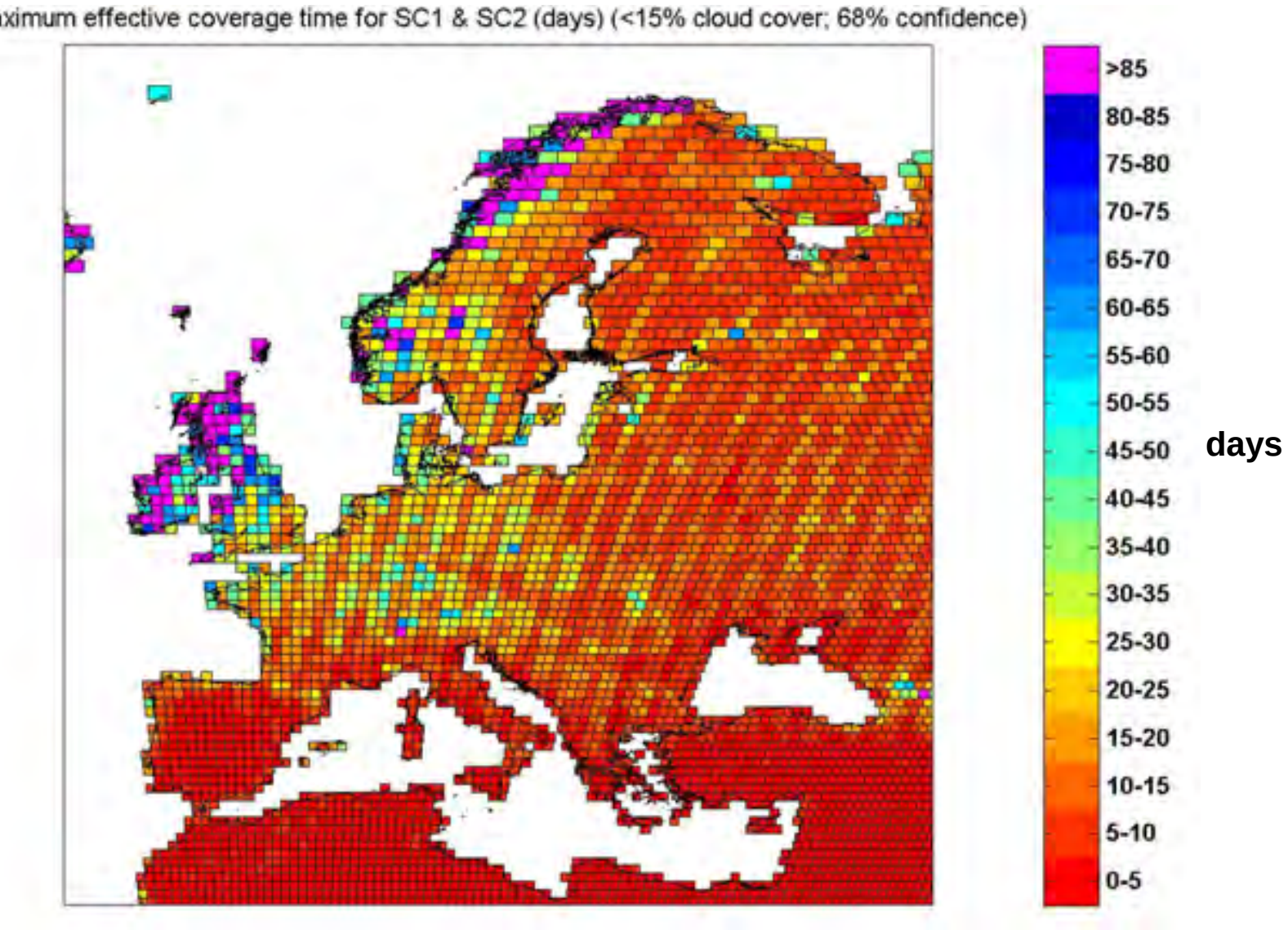
Satellitenbilder: *effektive zeitliche Auflösung* (RapidEye)

NDVI-Jahresverlauf von Weizen und Mais



l2)

Revisit time over Europe in summer with 2 satellites



©http://www.esa.int

Gliederung

1 Motivation

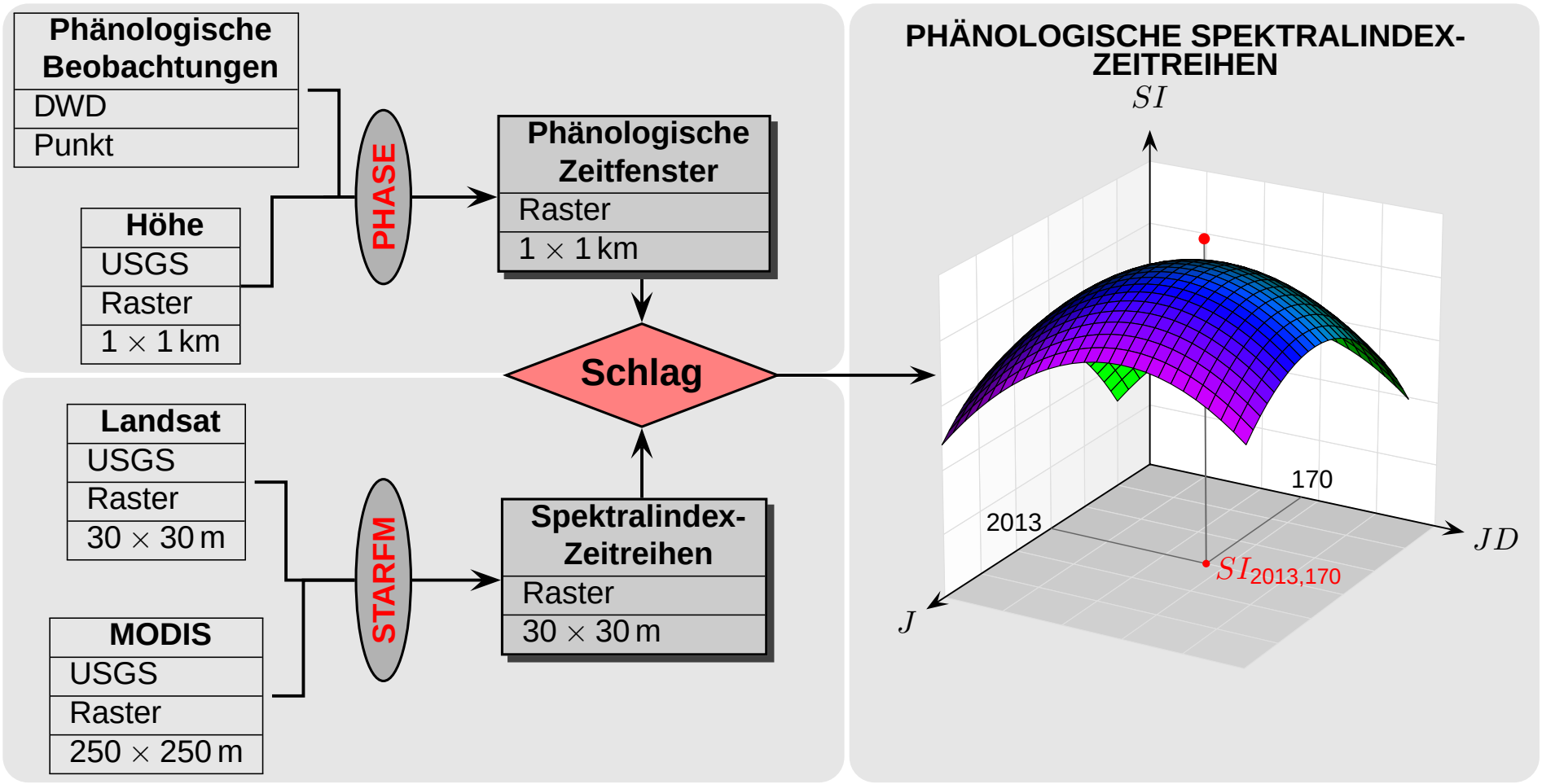
2 Begriffe

3 Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
- Workflow
- Untersuchungsgebiet
- Phänologische Zeitfenster
- Landsat-MODIS-Fusion
- Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes

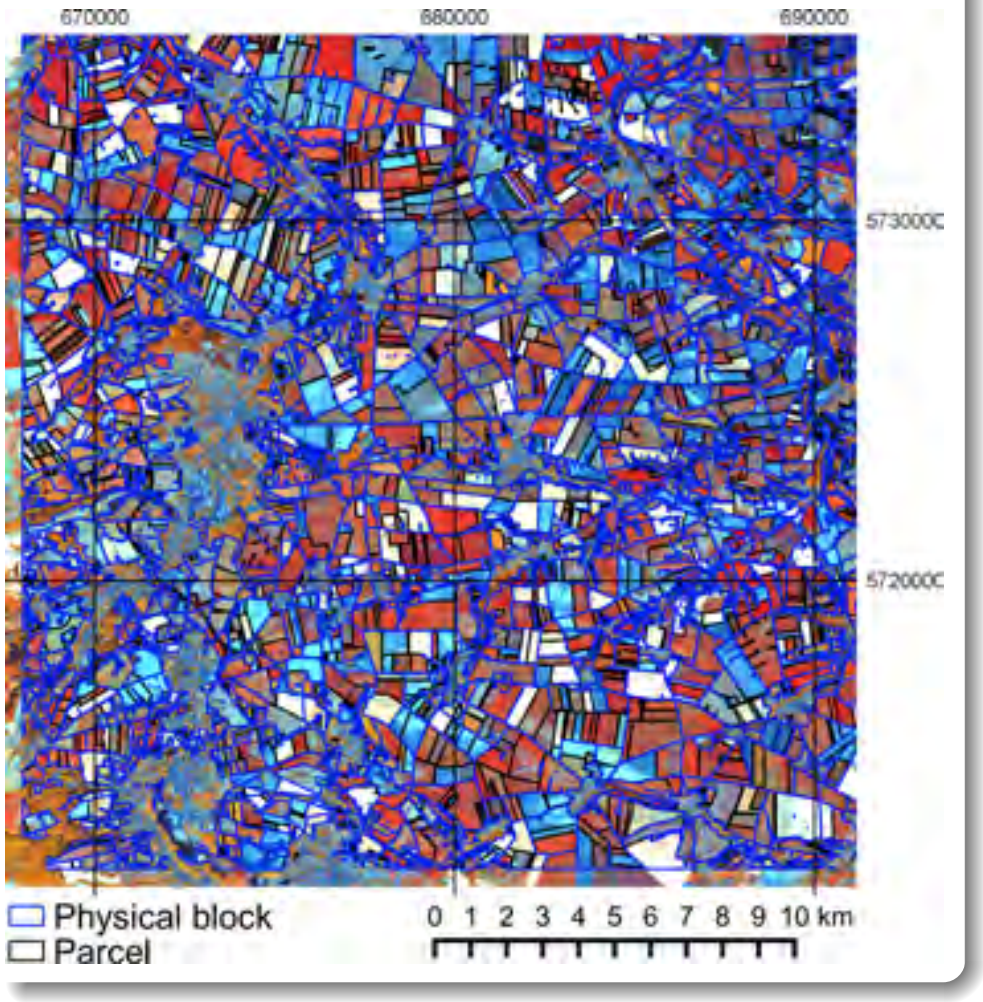
4 Bodenbedeckung
- Bodenmasle
- Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation

5 Zusammenfassung

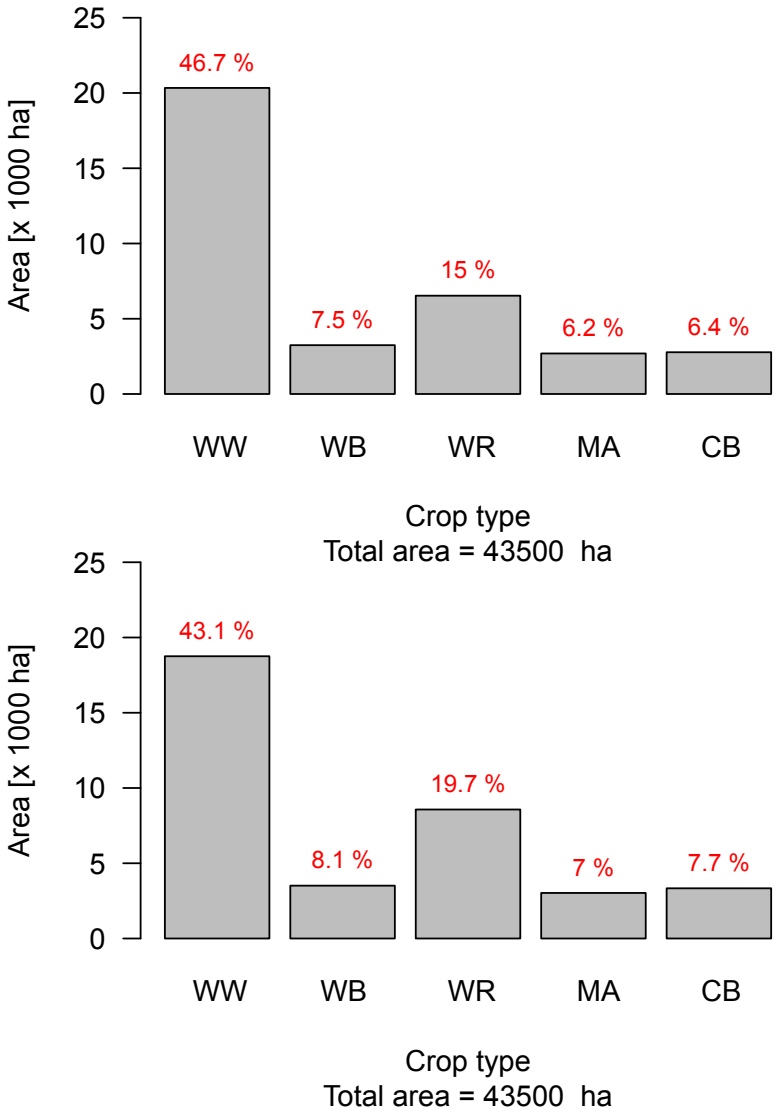
6 Referenzen


Phänologische Beobachtungen
DWD
Punkt
Höhe
USGS
Raster
1 × 1 km
PHASE
Phänologische Zeitfenster
Raster
1 × 1 km
Schlag
Landsat
USGS
Raster
30 × 30 m
MODIS
USGS
Raster
250 × 250 m
STARFM
Spektralindex-Zeitreihen
Raster
30 × 30 m
PHÄNOLOGISCHE SPEKTRALINDEX-ZEITREIHEN
SI
2013
170
JD
J
SI2013,170

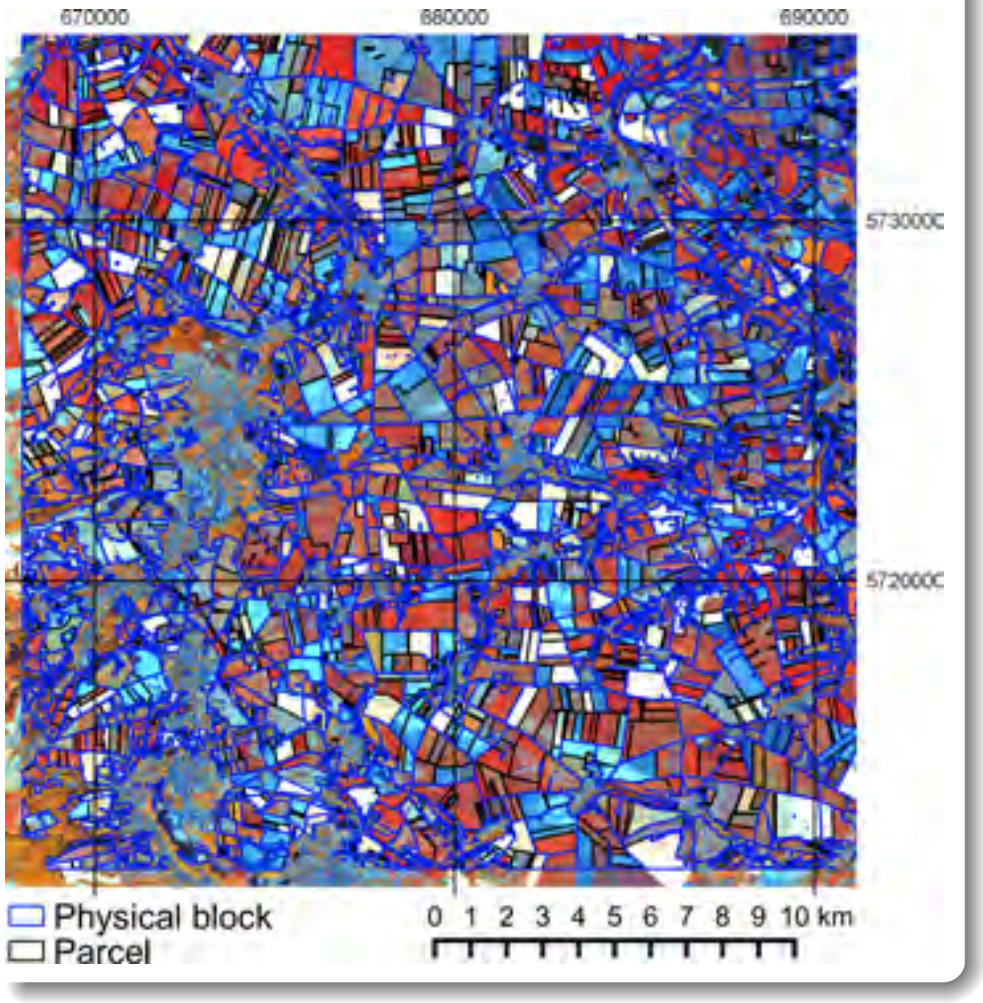
RapidEye (5-4-3) | 5.5.2011



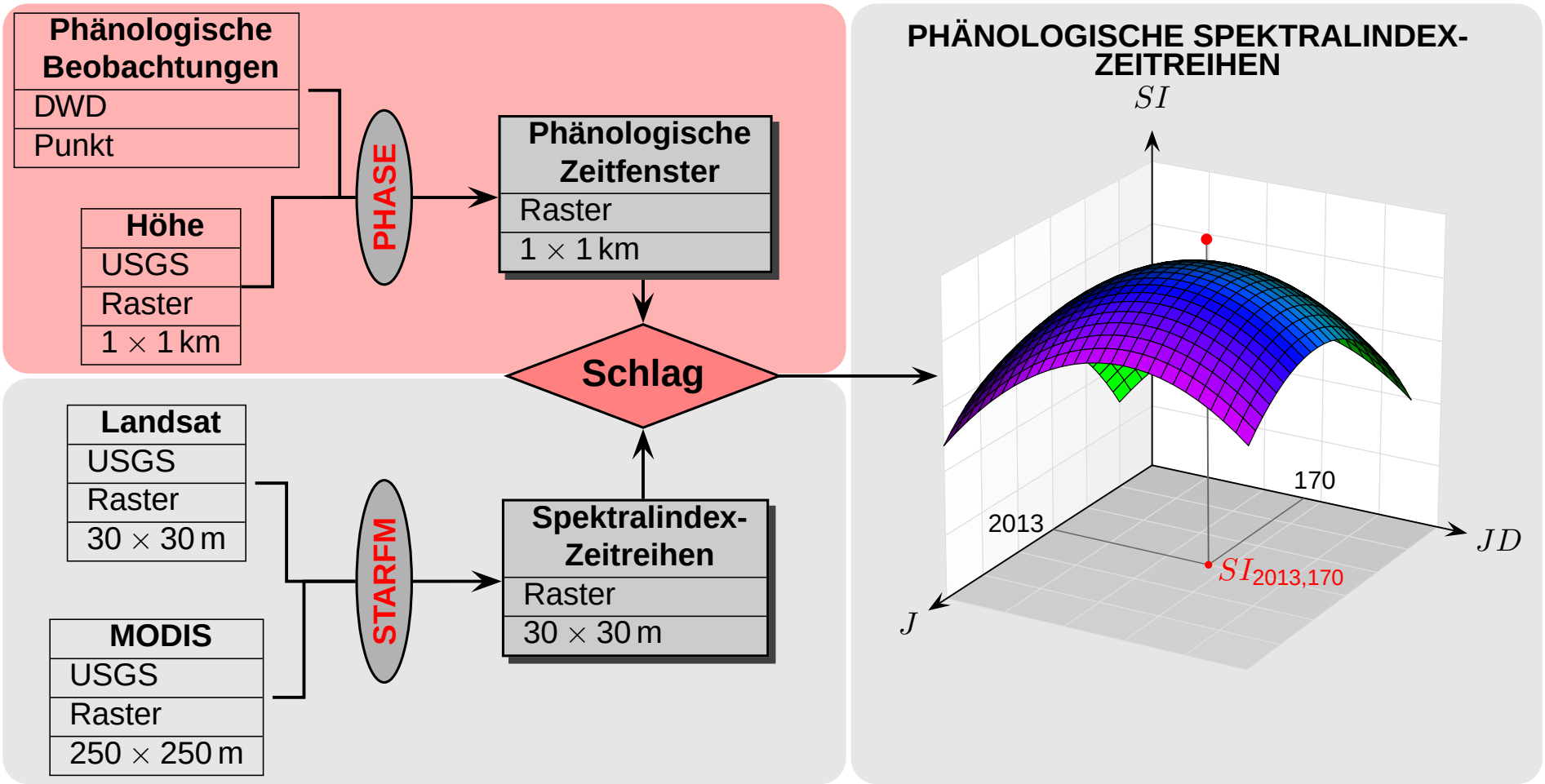
Quelle: RESA (https://resa.planet.com), Projektnr. 634



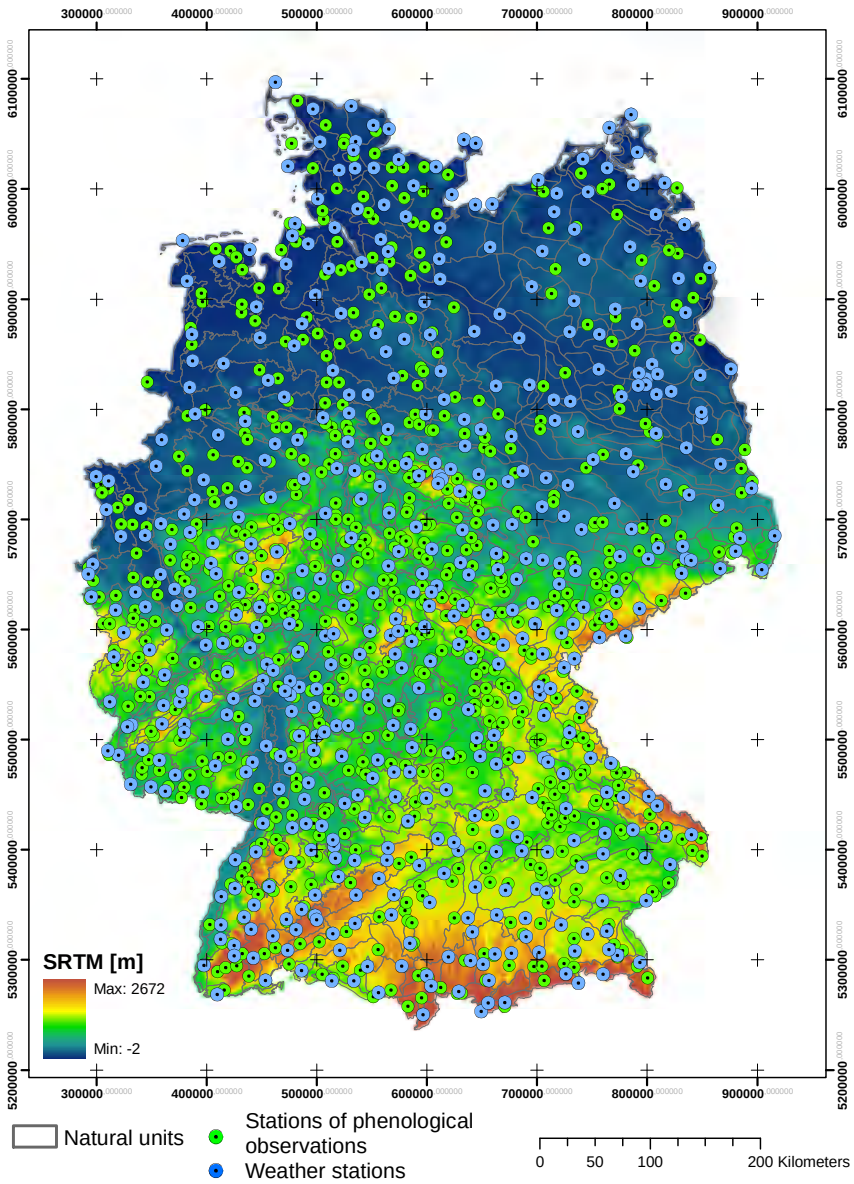
RapidEye (5-4-3) | 5.5.2011



Quelle: RESA (https://resa.planet.com), Projektnr. 634


Phänologische Beobachtungen
DWD
Punkt
Höhe
USGS
Raster
1 × 1 km
PHASE
Phänologische Zeitfenster
Raster
1 × 1 km
Schlag
Landsat
USGS
Raster
30 × 30 m
MODIS
USGS
Raster
250 × 250 m
STARFM
Spektralindex-Zeitreihen
Raster
30 × 30 m
PHÄNOLOGISCHE SPEKTRALINDEX-ZEITREIHEN
SI
2013
170
JD
J
SI2013,170

Modelleingangsdaten



Punktdatensatz

- Phänologisches Beobachtungsnetz des DWD
  - $\approx$ 1200 Beobachter
  - Positionsgenauigkeit $2 - 5$ km
- Meteorologisches Beobachtungsnetz des DWD
  - $\approx$ 500 Stationen
  - tägliche Tagesmitteltemperatur

Flächendaten

- SRTM DEM 90×90 m aggregiert auf 1×1 km

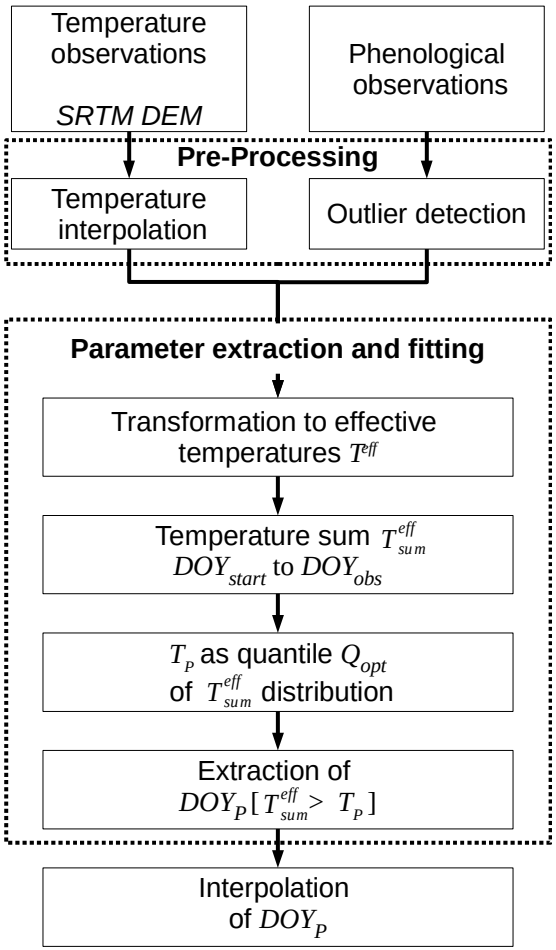
Modelleingangsdaten: *DWD-Beobachtungsspektrum*

Ackerfrucht	**ID**	**Phase**
Winterweizen	115	10, 12, 15, 18, 19, 21, 24
Winterroggen	121	5, 10, 12, 15, 18, 21, 41
Wintergerste	131	10, 12, 15, 18, 21, 24
Winterraps	311	10, 12, 14, 67, 17, 5, 22, 24
Hafer	140	10, 12, 15, 66, 19, 21, 24
Mais	411	10, 12, 67, 5, 65, 19, 20, 21, 24
Kartoffel	612	10, 12, 13
Zuckerrübe	620	10, 12, 13

5: Blüte (Anfang) | 10: Bestellung | 12: Auflaufen | 13: Bestand geschlossen | 14: Rosettenbildung | 15, 67: Schossen/Längenwachstum | 17: Knospenbildung | 18, 66: Ähreschieben/Rispenschieben | 19: Milchreife | 20: Teigreife | 21: Gelbreife | 22: Vollreife | 24: Ernte | 41: Blüte (Ende) | 65: Fahnenschieben.

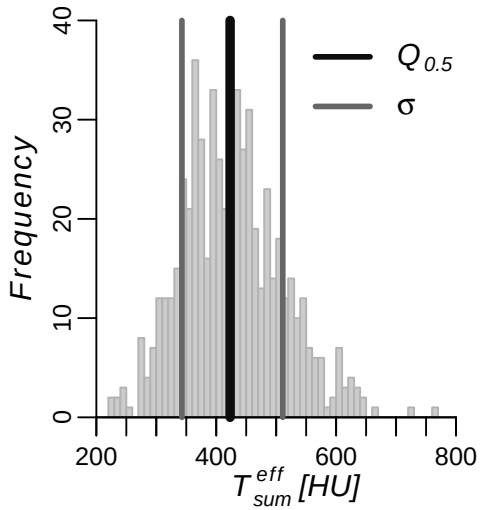
Kaspar, F., Zimmermann, K. & Polte-Rudolf, C. (2014): An overview of the phenological observation network and the phenological database of Germany's national meteorological service (Deutscher Wetterdienst). *Advances in Science & Research* 11, 93–99.

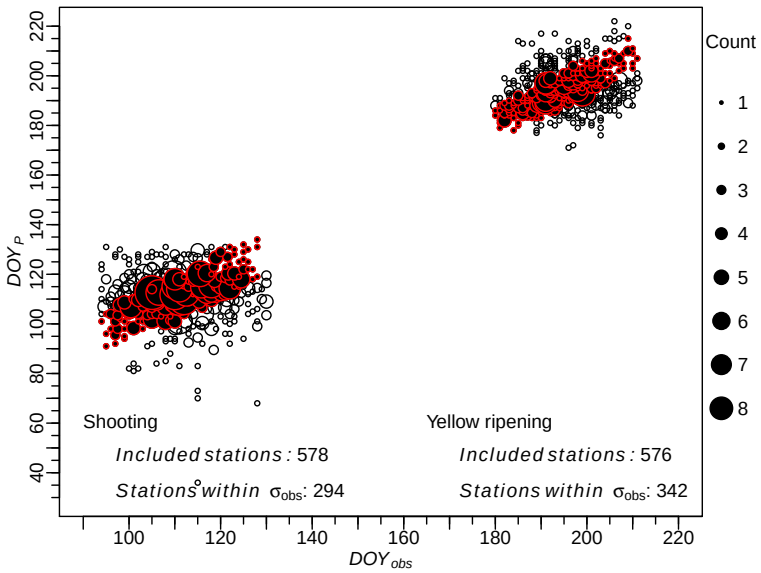
PHASE: *Modellkern*



$$T^{eff}_{sum}[j] = \sum_{i=DOY_{start}}^{DOY_{obs}} \left((\overline{T}_{i,j} - T_B) \times \frac{DL_i}{24} \right)$$

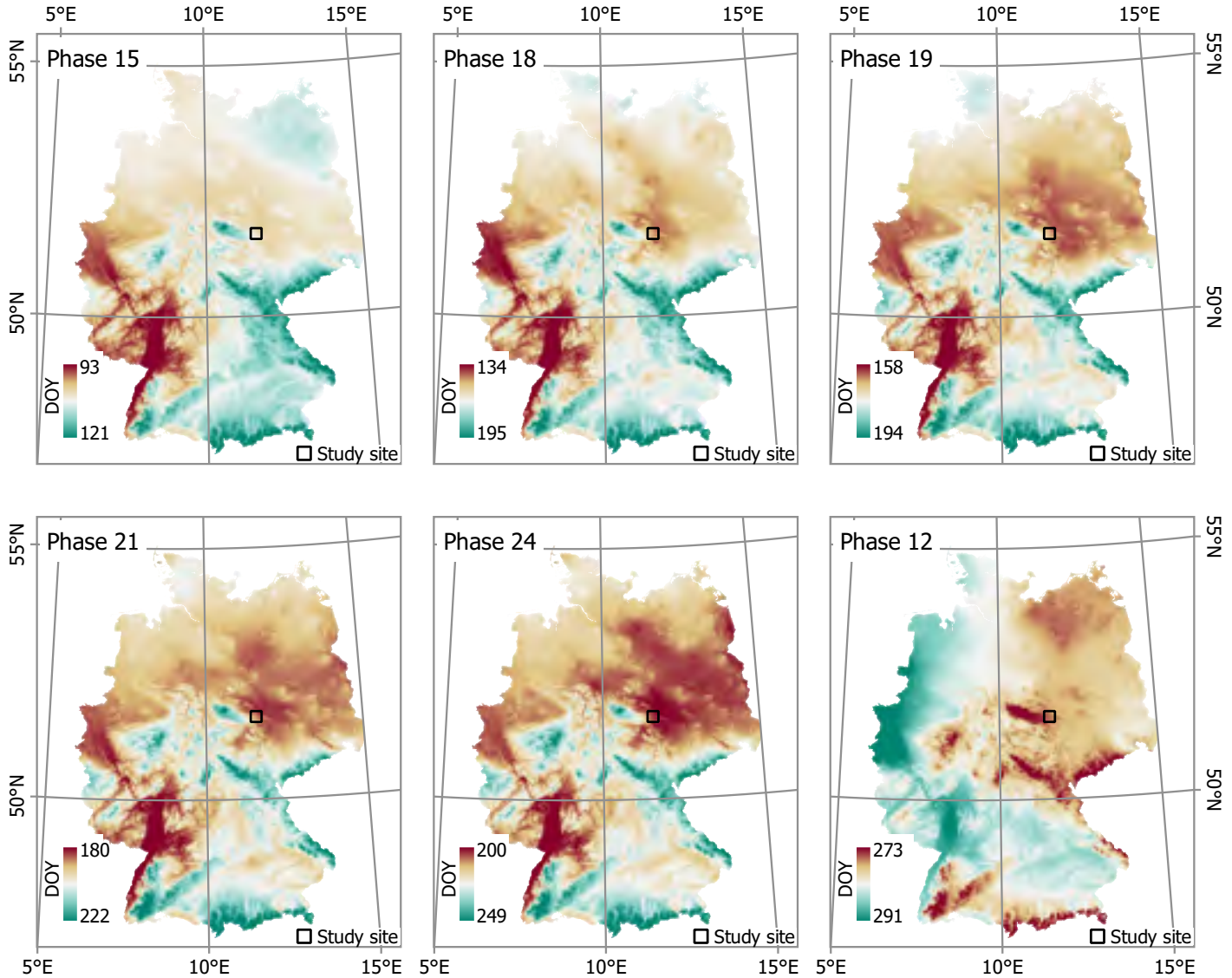
$$T_P = Q_{opt}(T^{eff}_{sum})$$





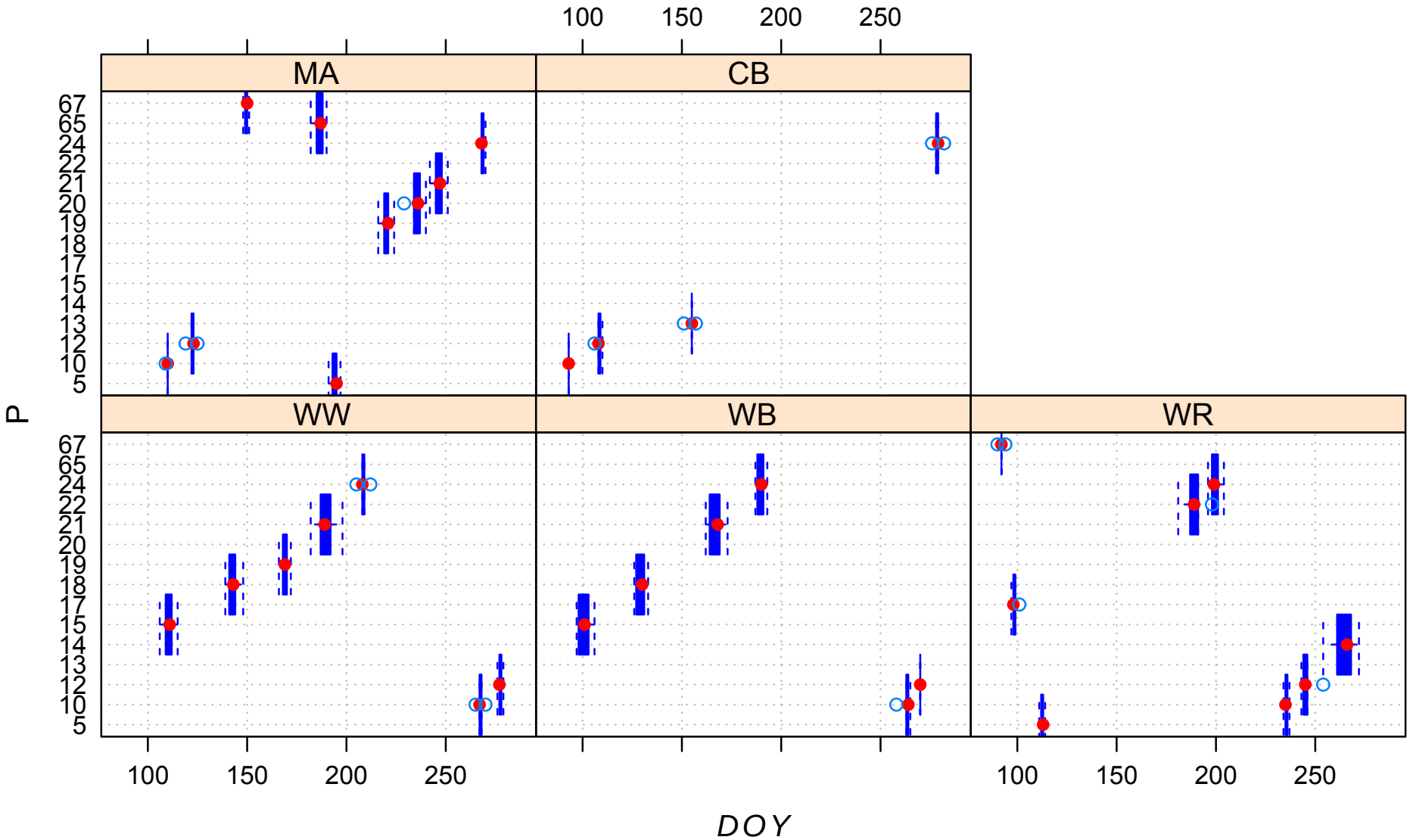
Gerstmann, H., Doktor, D., Gläßer, C. & Möller, M. (2016): PHASE: A geostatistical model for the Kriging-based spatial prediction of crop phenology using public phenological and climatological observations. *Computers and Electronics in Agriculture* 127, 726–738.

Interpolierte Entrittstermine phänologischer Phasen (2011)



12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ähreschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

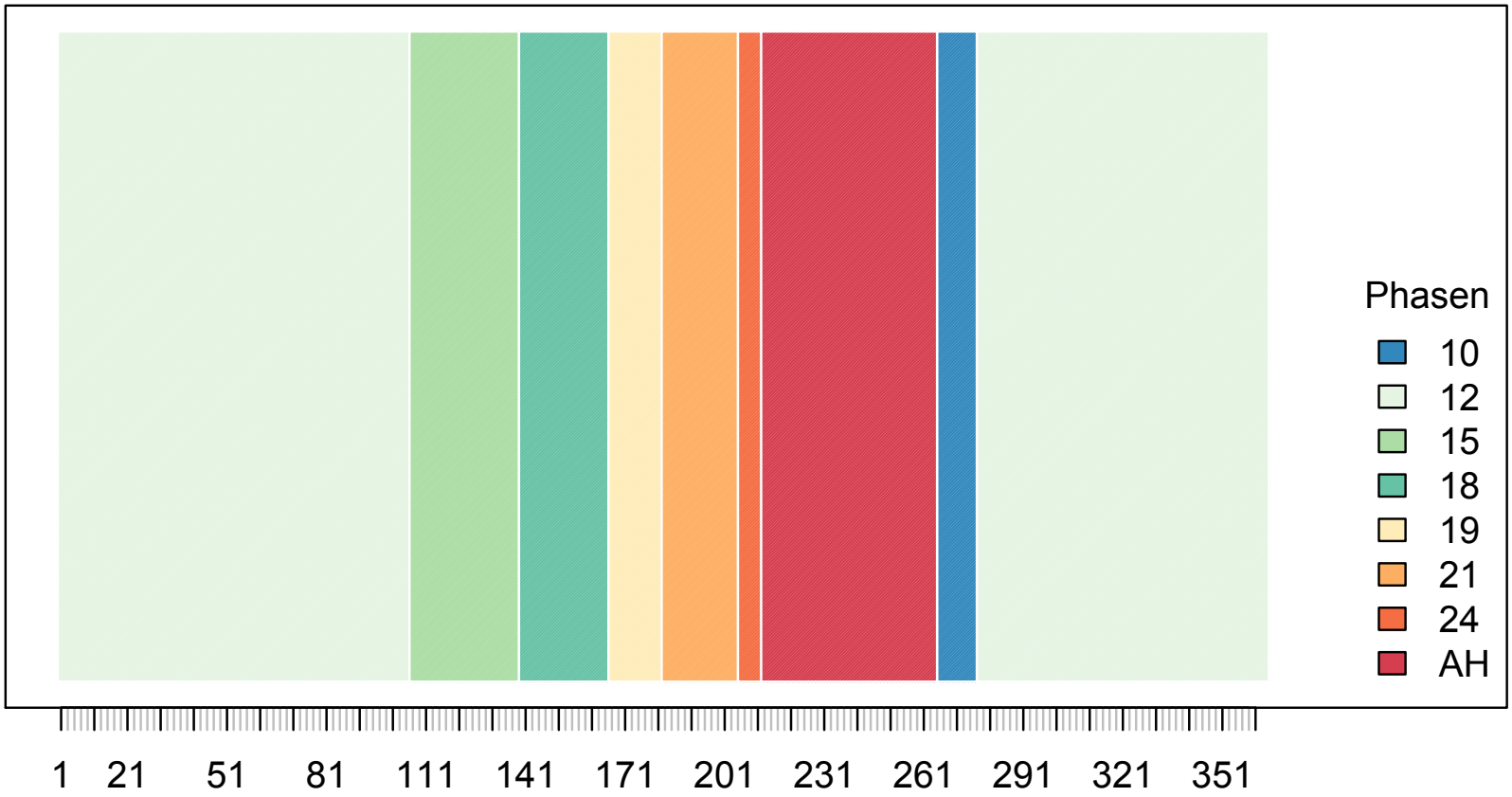
Phänologische Starttermine im UG (2011)



Mais (MA) · Zuckerrüber (CB) · Winterweizen · Wintergerste (WB) · Winterraps (WR)

Phänologische Phasen: *Winterweizen*

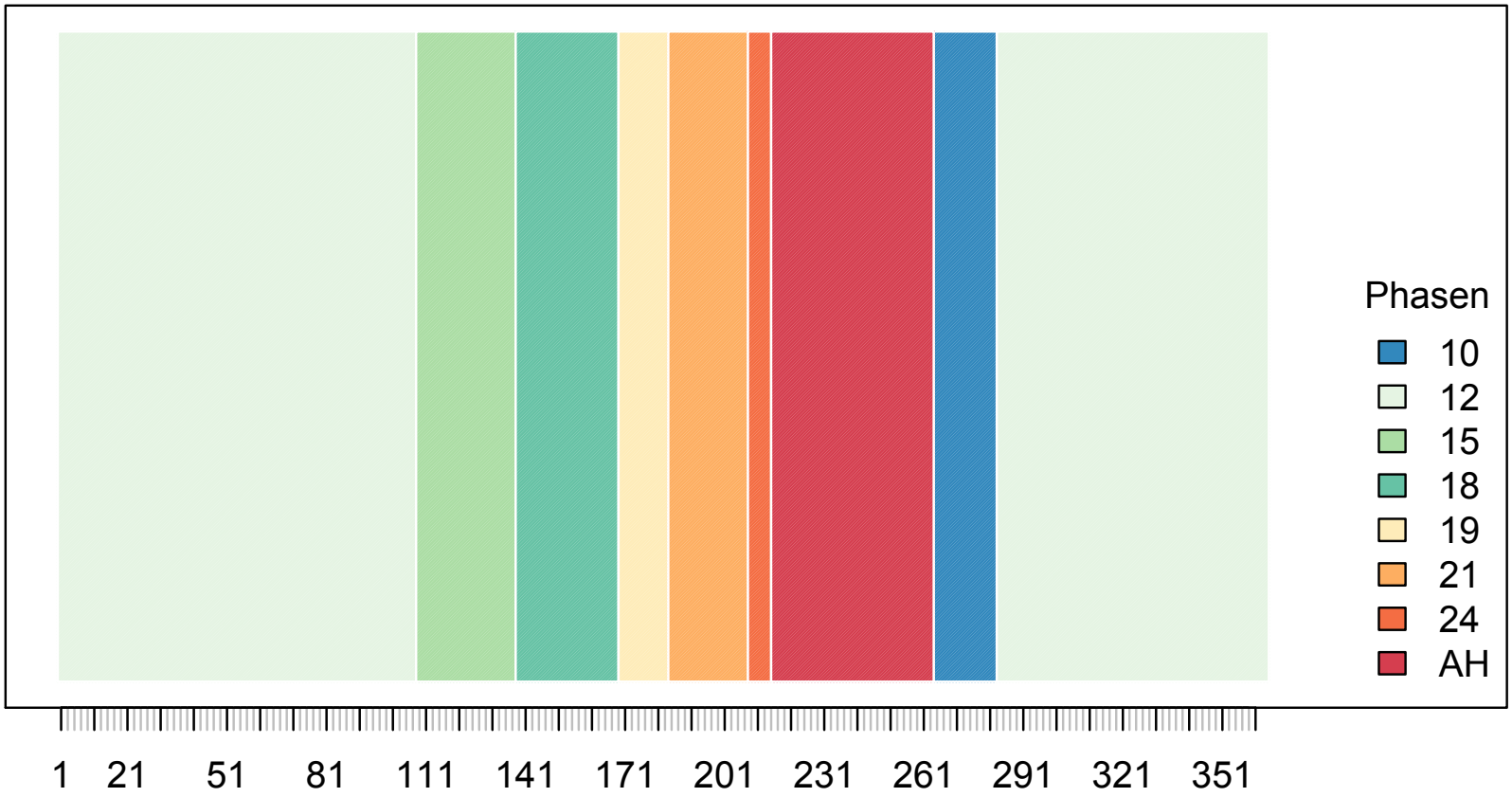
2011



10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ähreschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

Phänologische Phasen: *Winterweizen*

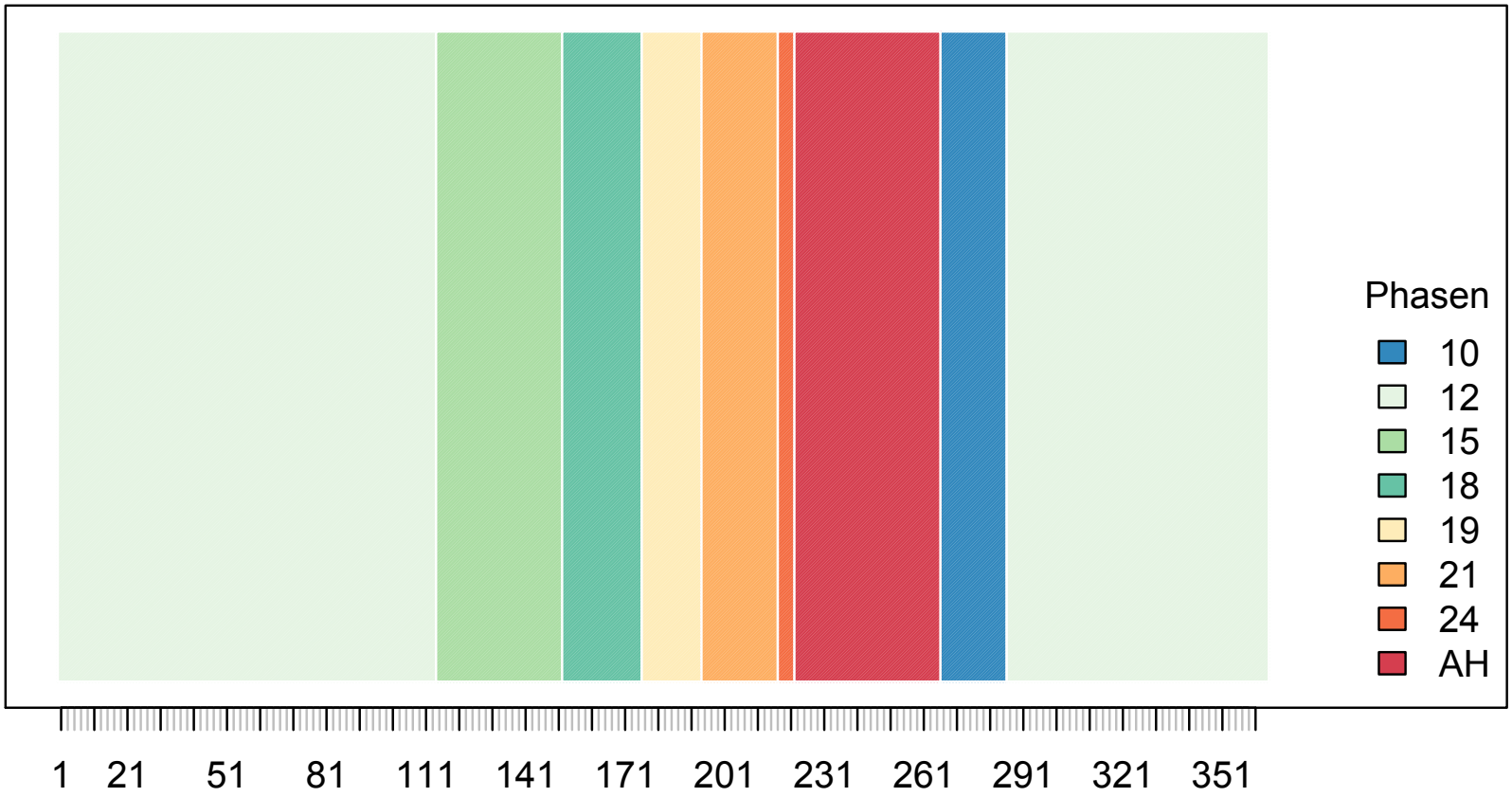
2012



10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ähreschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

Phänologische Phasen: *Winterweizen*

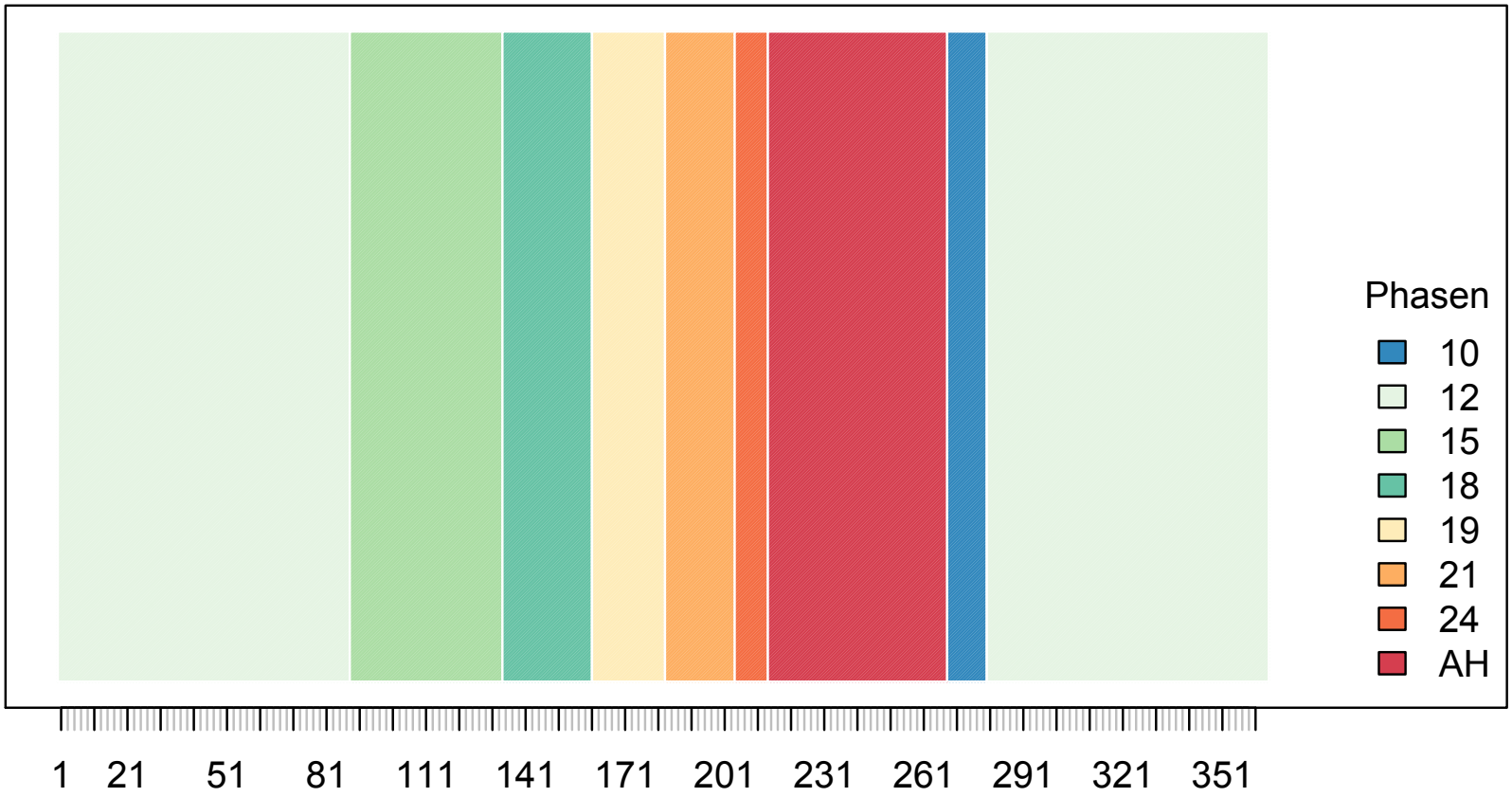
2013



10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ährenschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

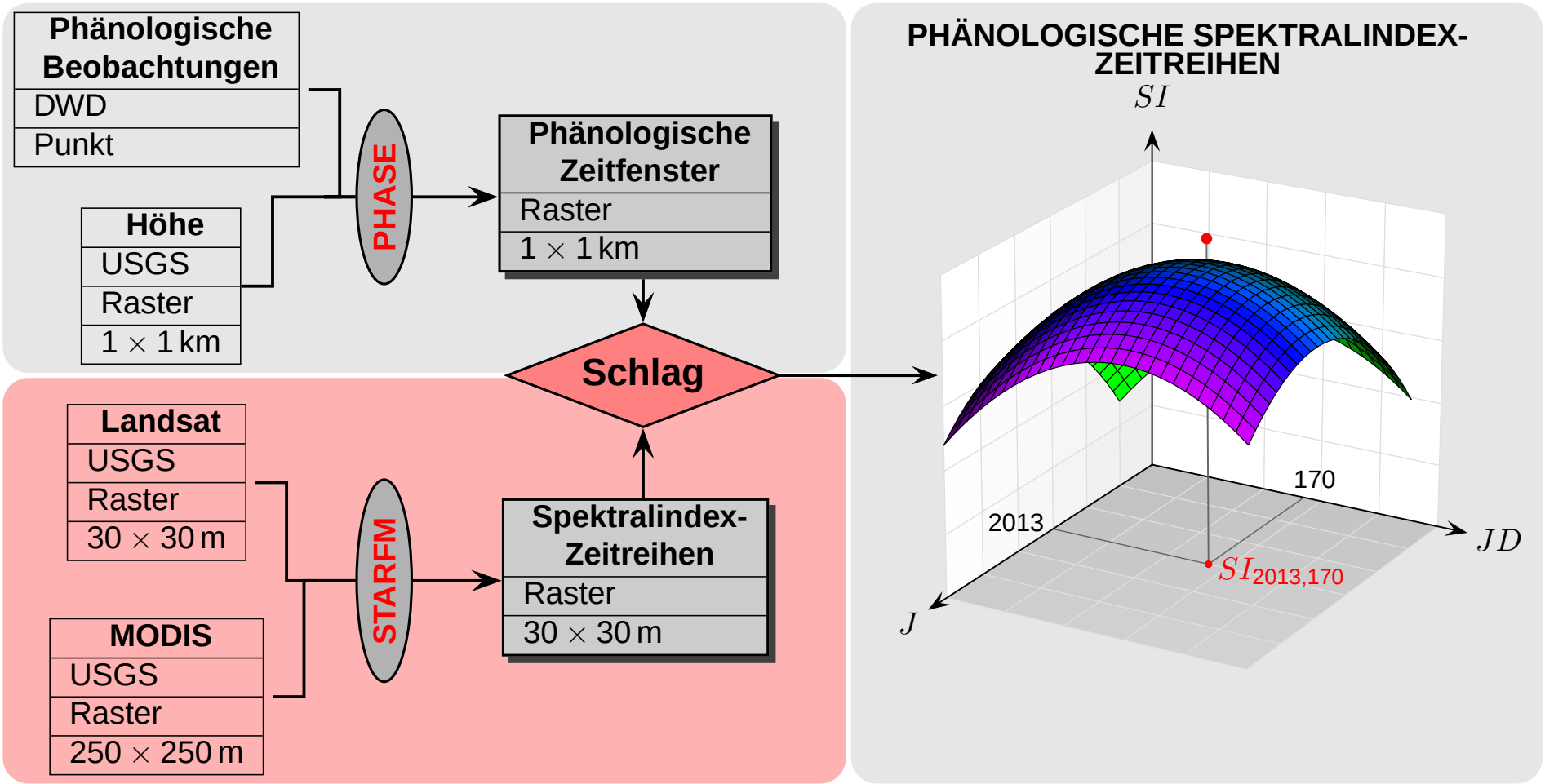
Phänologische Phasen: *Winterweizen*

2014

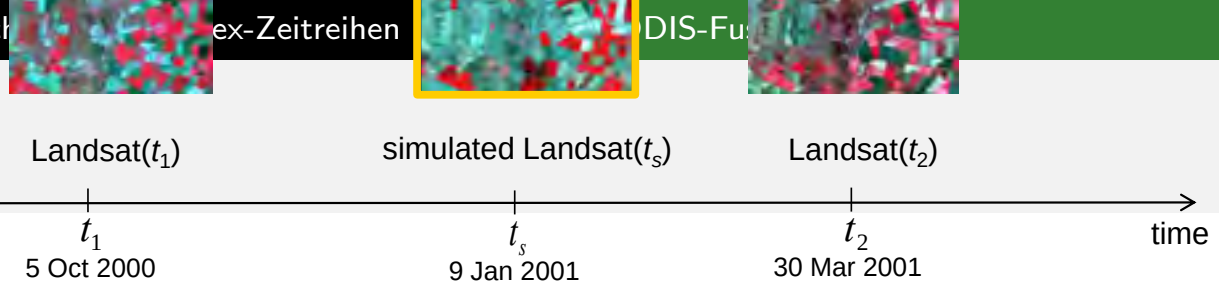


10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ährenschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

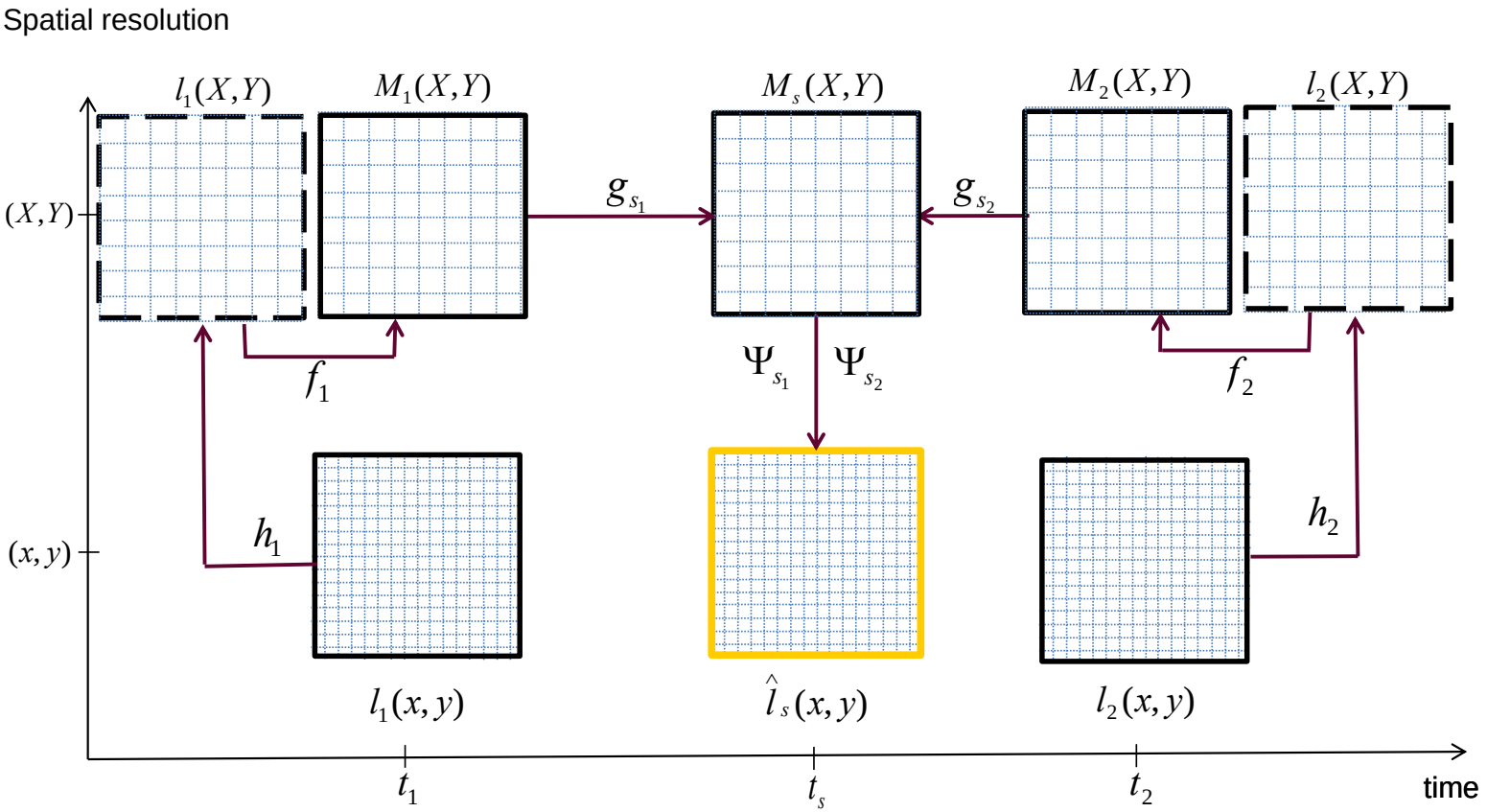
Workflow


Phänologische Beobachtungen
DWD
Punkt
Höhe
USGS
Raster
1 × 1 km
PHASE
Phänologische Zeitfenster
Raster
1 × 1 km
Schlag
Landsat
USGS
Raster
30 × 30 m
MODIS
USGS
Raster
250 × 250 m
STARFM
Spektralindex-Zeitreihen
Raster
30 × 30 m
PHÄNOLOGISCHE SPEKTRALINDEX-ZEITREIHEN
SI
170
2013
JD
J
SI2013,170

STARFM



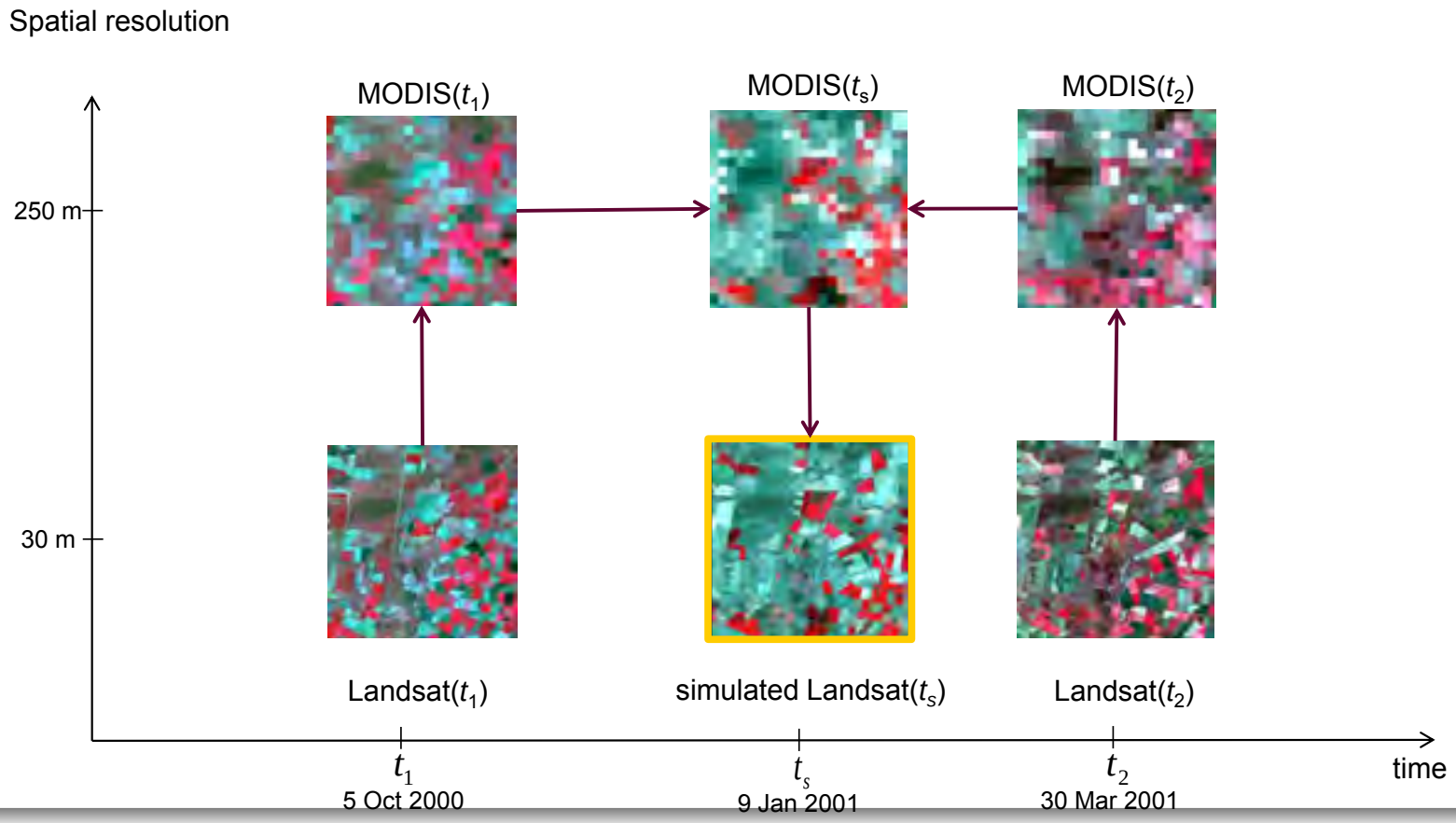
Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model



Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., Hall, F. (2006): On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44, 2207–2218.

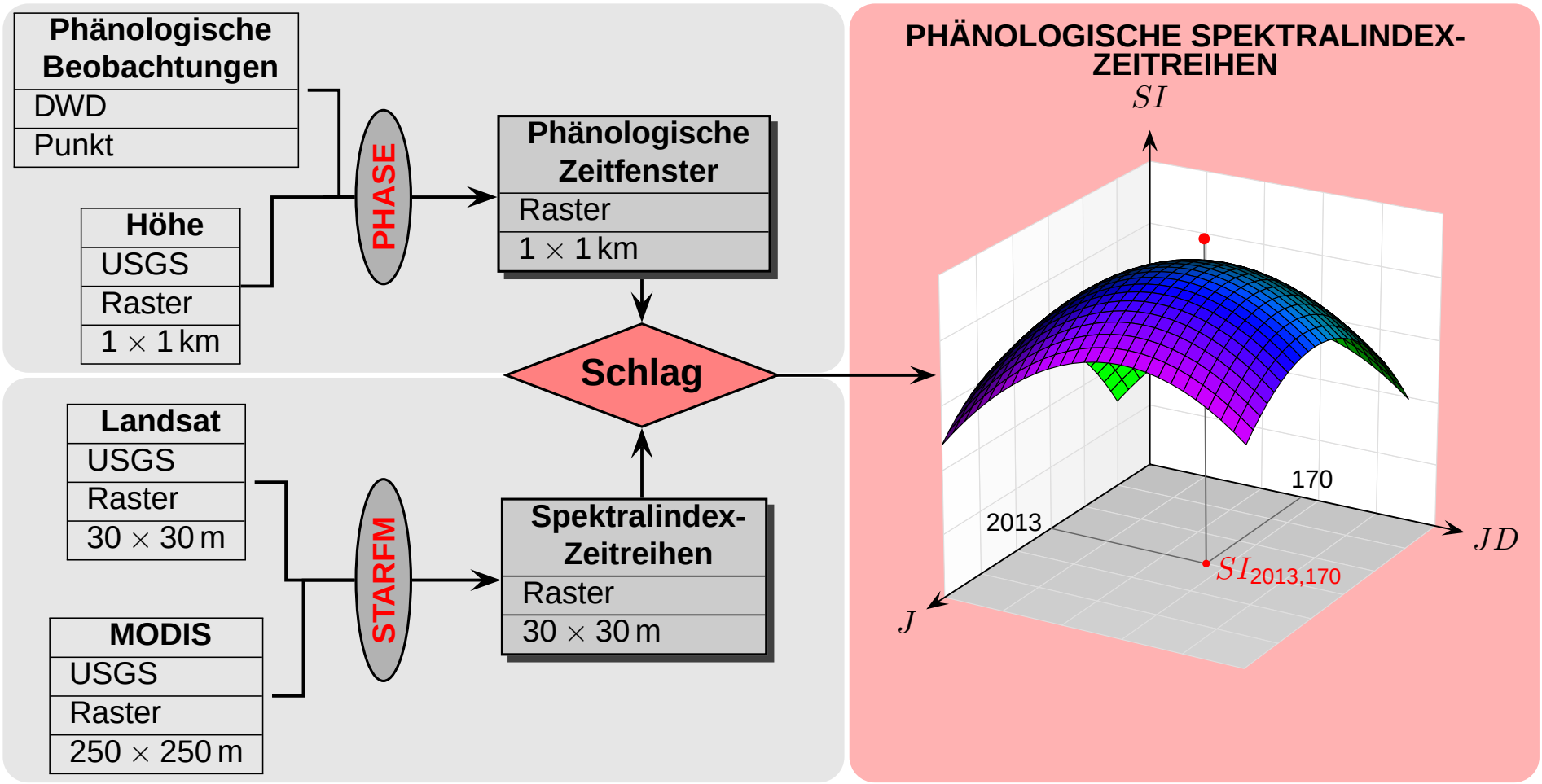
STARFM

Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model



Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., Hall, F. (2006): On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44, 2207–2218.

Spatial resolution

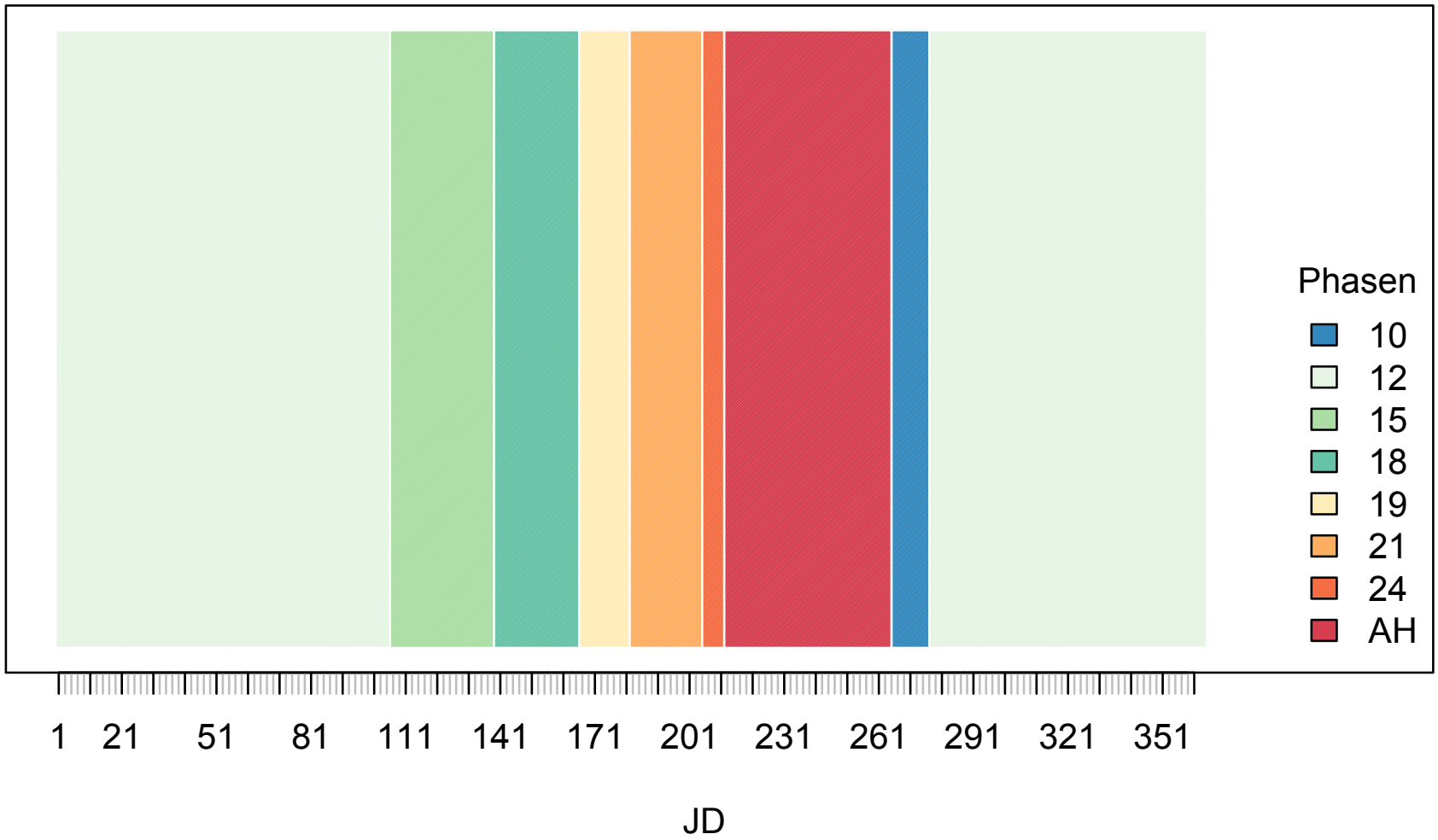

Phänologische Beobachtungen
DWD
Punkt
Höhe
USGS
Raster
1 × 1 km
PHASE
Phänologische Zeitfenster
Raster
1 × 1 km
Schlag
Landsat
USGS
Raster
30 × 30 m
MODIS
USGS
Raster
250 × 250 m
STARFM
Spektralindex-Zeitreihen
Raster
30 × 30 m
PHÄNOLOGISCHE SPEKTRALINDEX-ZEITREIHEN
SI
2013
170
JD
J
SI2013,170

$\tilde{x}(SI^{P}_{Schlag,JD})$

Schlag	$\tilde{x}(SI^{P}_{1})$	$\tilde{x}(SI^{P}_{2})$	$\tilde{x}(SI^{P}_{3})$	$\tilde{x}(SI^{P}_{...})$	$\tilde{x}(SI^{P}_{365})$
1	$\tilde{x}(SI_{1,1})$	$\tilde{x}(SI_{2,1})$	$\tilde{x}(SI_{3,1})$	$\tilde{x}(SI_{...,1})$	$\tilde{x}(SI_{365,1})$
2	$\tilde{x}(SI_{1,2})$	$\tilde{x}(SI_{2,2})$	$\tilde{x}(SI_{3,2})$	$\tilde{x}(SI_{...,2})$	$\tilde{x}(SI_{365,2})$
3	$\tilde{x}(SI_{1,3})$	$\tilde{x}(SI_{2,3})$	$\tilde{x}(SI_{3,3})$	$\tilde{x}(SI_{...,3})$	$\tilde{x}(SI_{365,3})$
...	$\tilde{x}(SI_{1,...})$	$\tilde{x}(SI_{2,...})$	$\tilde{x}(SI_{3,...})$	$\tilde{x}(SI_{...,...})$	$\tilde{x}(SI_{365,...})$
n	$\tilde{x}(SI_{1,n})$	$\tilde{x}(SI_{2,n})$	$\tilde{x}(SI_{3,n})$	$\tilde{x}(SI_{...,n})$	$\tilde{x}(SI_{365,n})$

- $\tilde{x}(SI^{P}_{Schlag\in[1...n],JD}) \Rightarrow$ Spektralindex-Variation in einem Untersuchungsgebiet an einem spezifischen Tag
- $\tilde{x}(SI^{P}_{Schlag,JD\in[1...n]}) \Rightarrow$ Spektralindex-Variation eines Schlages innhalb eines spezifischen Zeitraumes

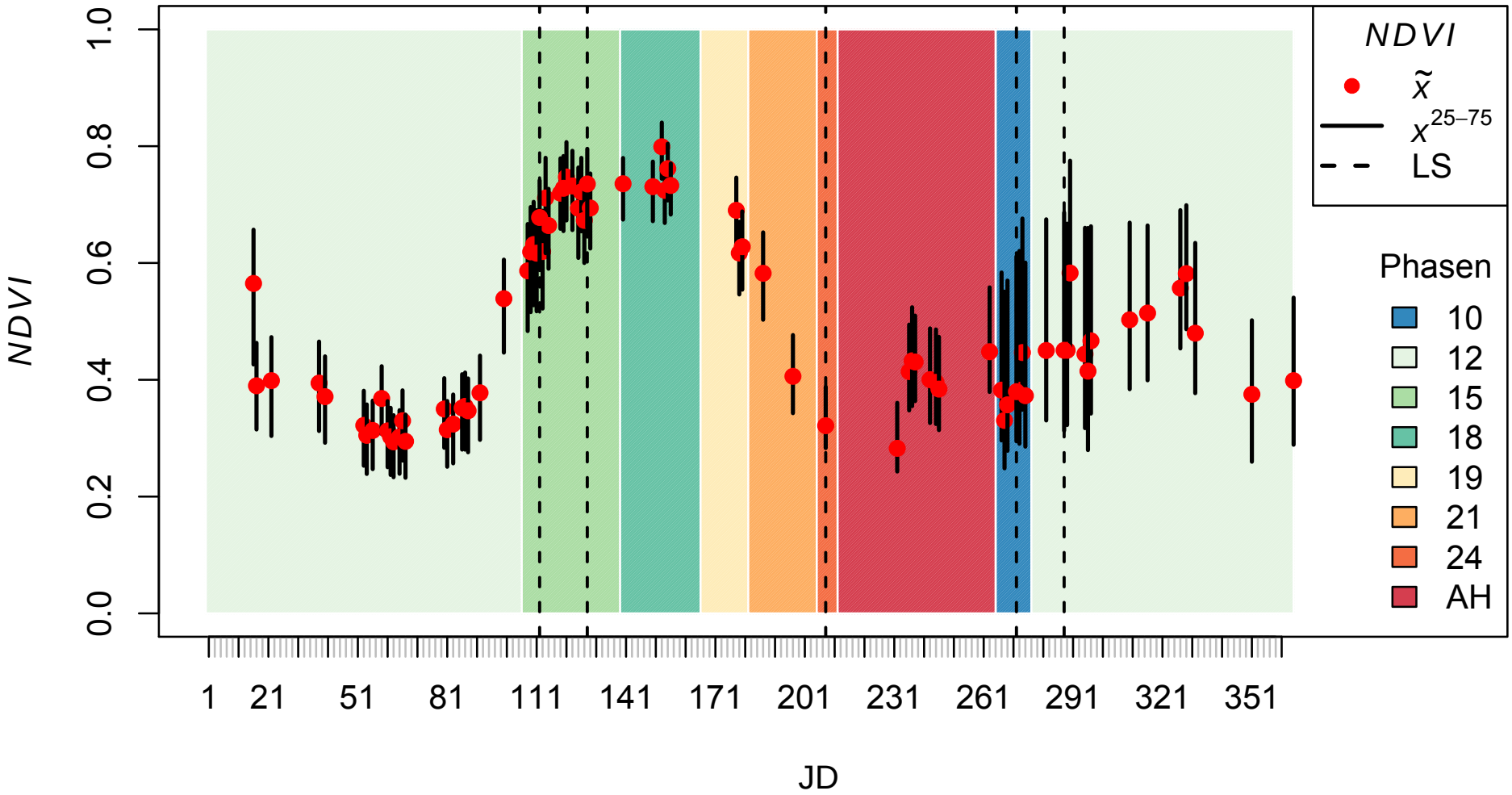
Winterweizen 2011



10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ährenschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

Möller, M., Gerstmann, H., Dahms, T.C., Gao, F. & Förster, M. (2017): Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentialsfor the assessment and monitoring of soil erosion risk. *CATENA* 150, 192–205.

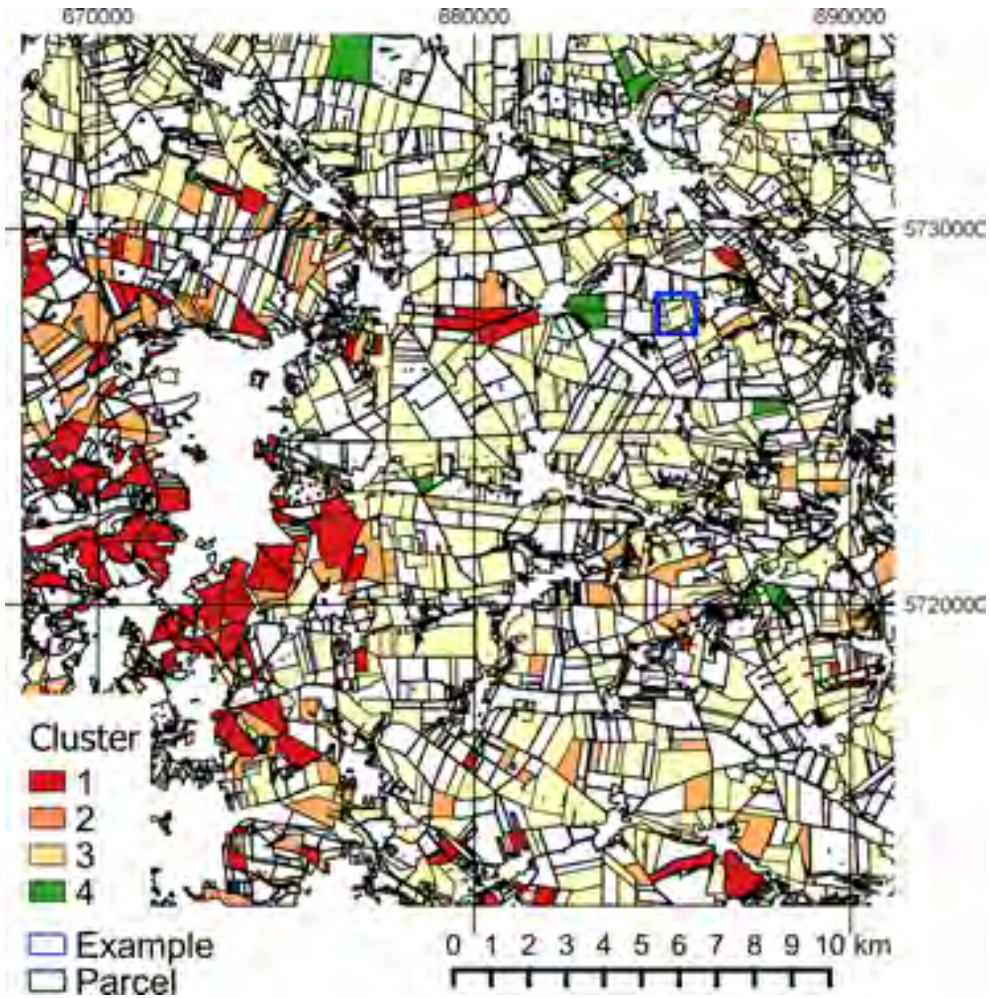
Winterweizen 2011



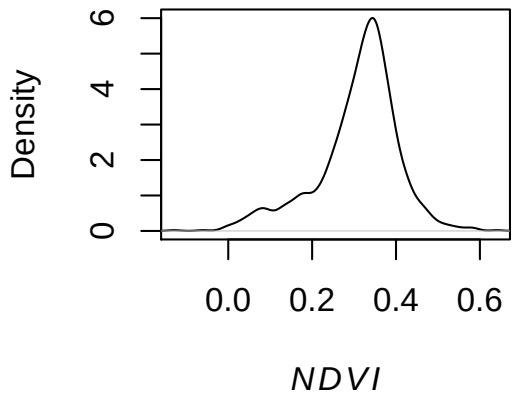
10 – Bestellung | 12 – Auflaufen | 15 – Schossen | 18 – Ähreschieben | 19 – Milchreife | 21 – Gelbreife | 24 – Ernte

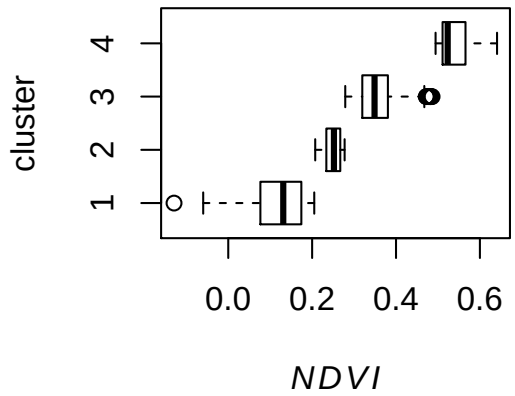
Möller, M., Gerstmann, H., Dahms, T.C., Gao, F. & Förster, M. (2017): Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentialsfor the assessment and monitoring of soil erosion risk. *CATENA* 150, 192–205.

NDVI-Variation im Untersuchungsgebiet für $JD = 66$



(a)





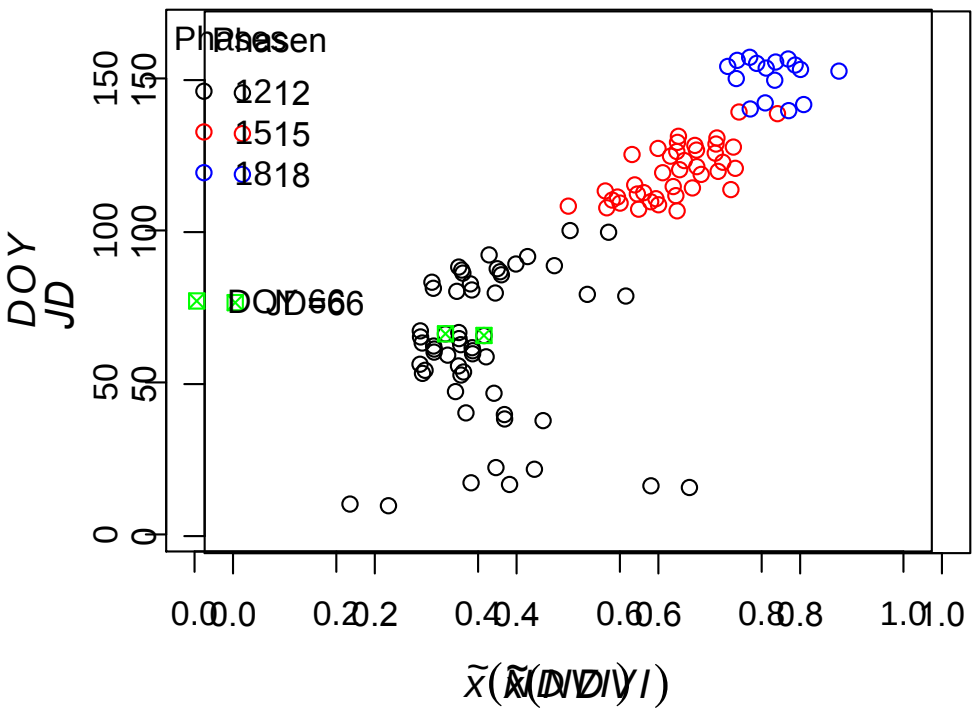
(b)

Möller, M., Gerstmann, H., Dahms, T.C., Gao, F. & Förster, M. (2017): Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentialsfor the assessment and monitoring of soil erosion risk. *CATENA 150*, 132-139.

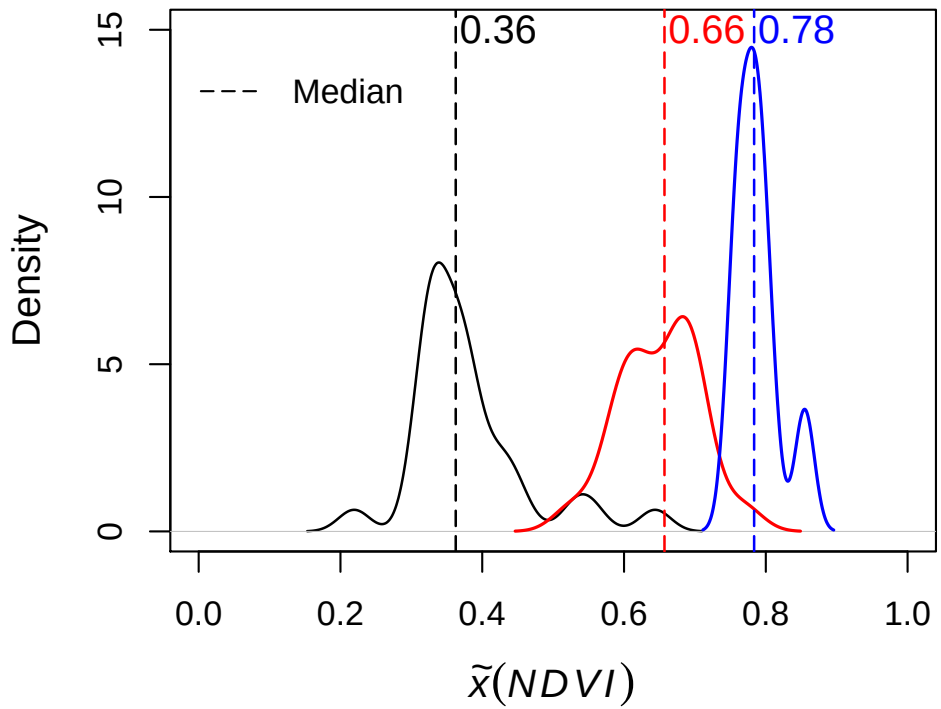
Figure 9: Classification result of parcel-specific $NDVI$ medians for Winter Wheat in 2011 and DOY 66 (a), corresponding cluster and $NDVI$ median distribution (b).

Schlag-spezifische *NDVI*-Variationen

Schlag-spezifische *NDVI*-Mediane für $JD \in [0 \ldots 150]$



Phasen-spezifische *NDVI*-Verteilungen und -Mediane



Möller, M., Gerstmann, H., Dahms, T.C., Gao, F. & Förster, M. (2017): Coupling of phenological information and simulated vegetation index time series: Limitations and potentialsfor the assessment and monitoring of soil erosion risk. *CATENA* 150, 192–205.

Gliederung

1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

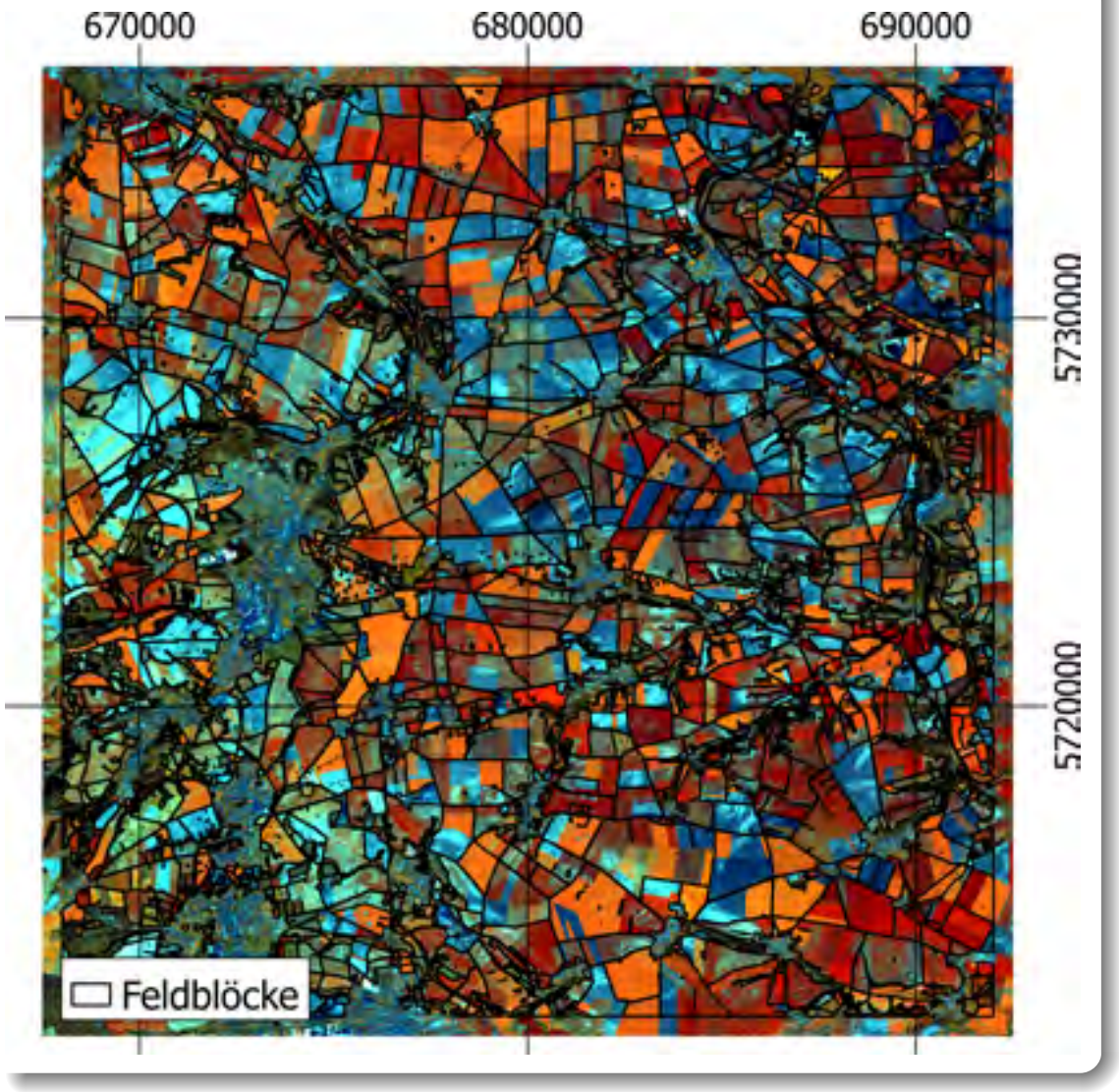
Typen

- **keine Vegetation/Schwarzbrache**
- **vitale Vegetation**
- Pflanzenreste

Prognose

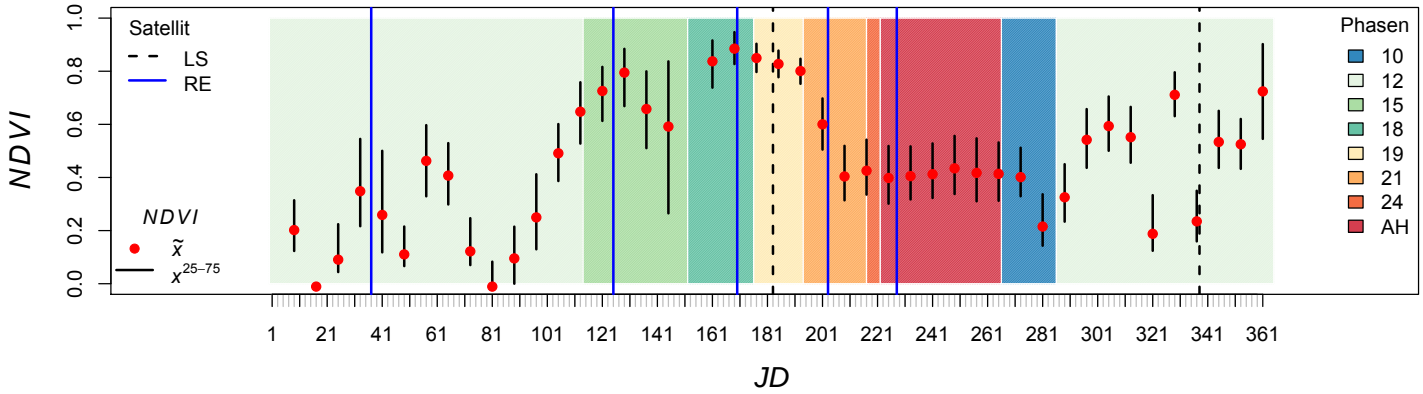
- qualitativ/empirisch
- quantitative
  - **statistisches Modell**
  - spektrale Entmischung

5.5.2013

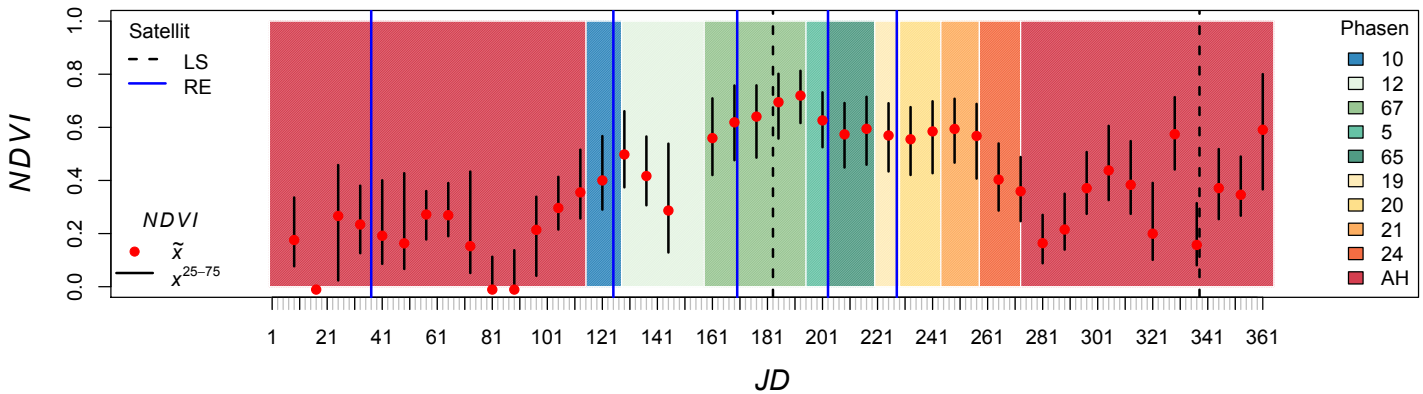


Phänologische Einordnung ($JD = 125$)

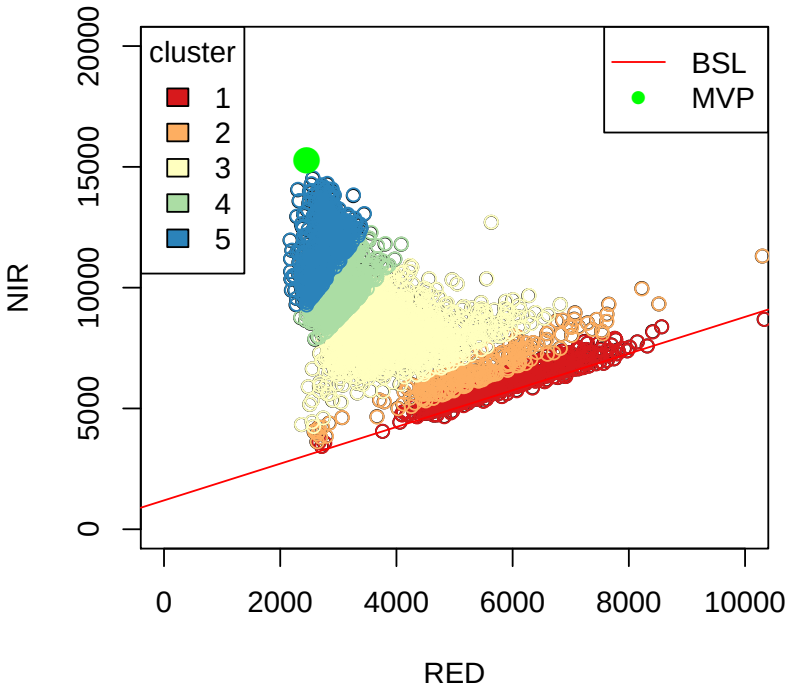
Winterweizen



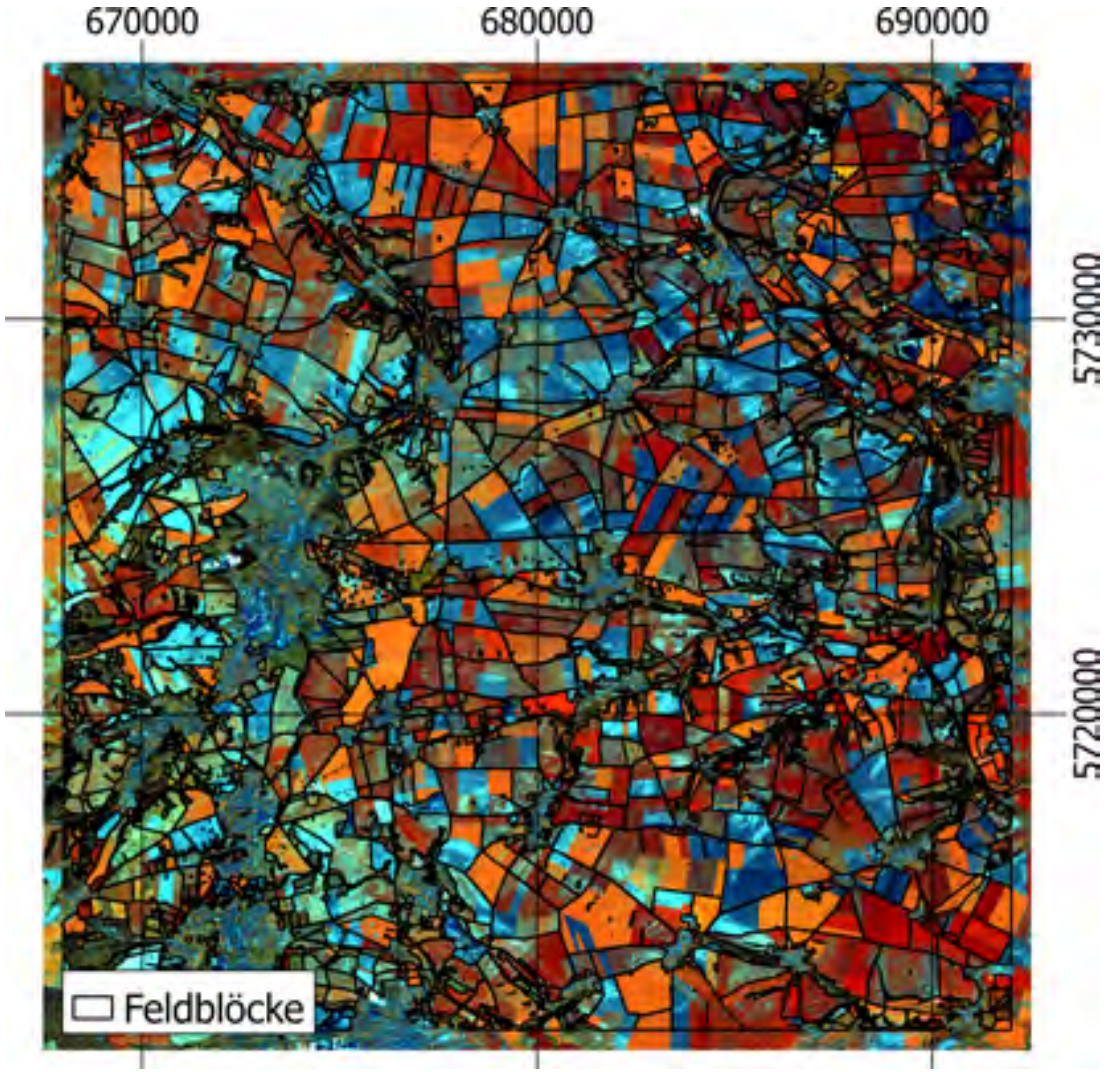
Mais



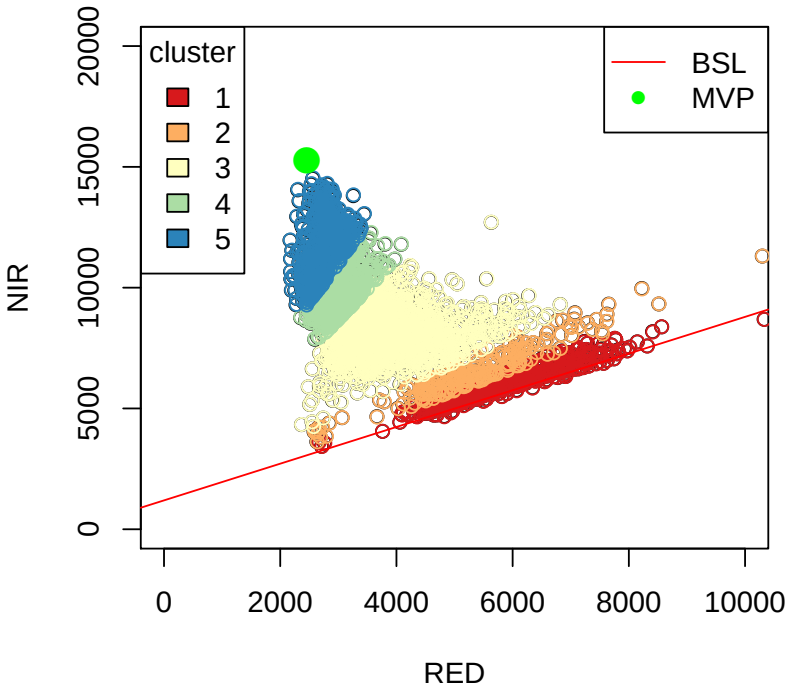
Bare Soil Line Approach



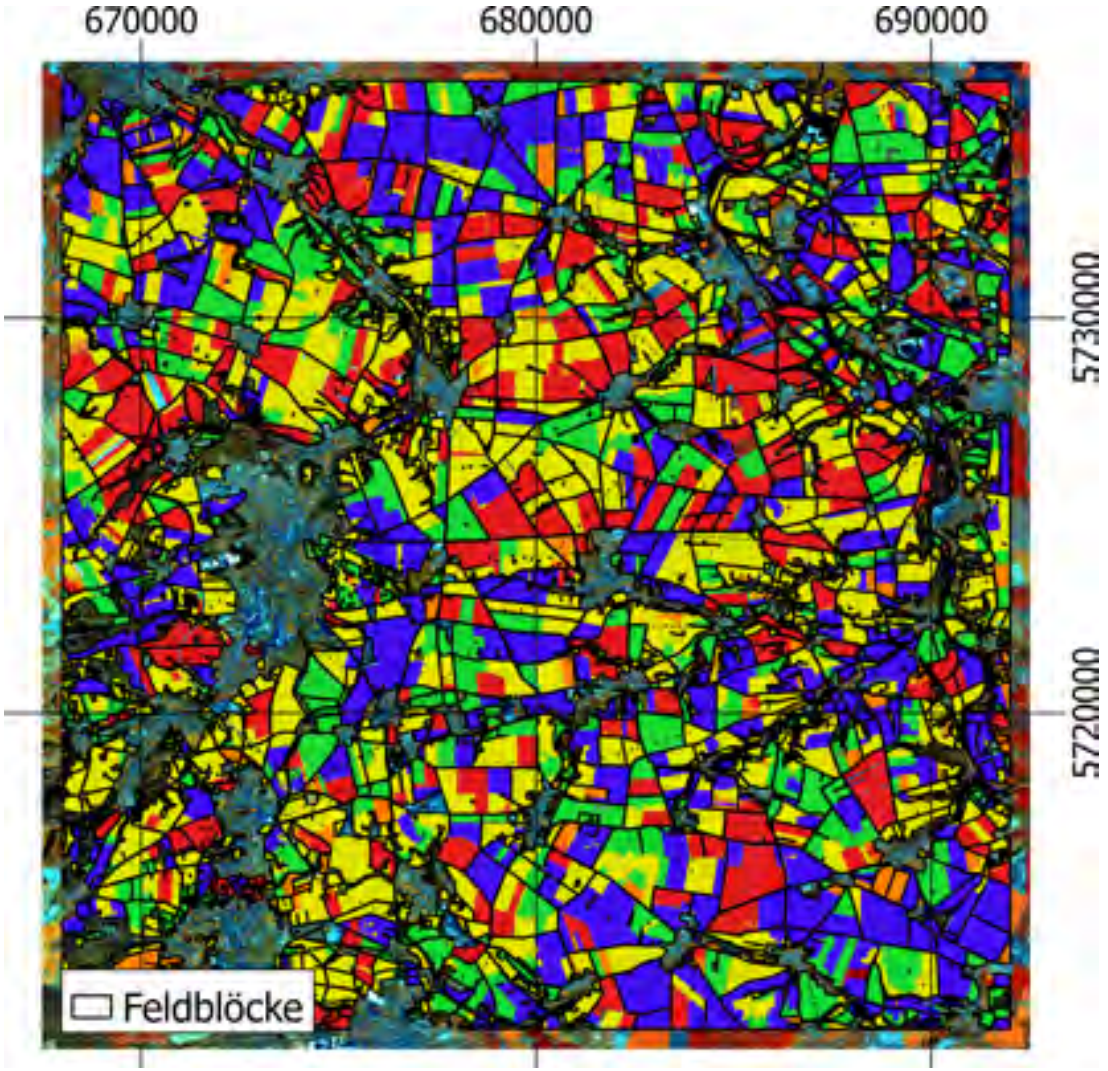
Maas, S.J. & Rajan, N. (2010): Normalizing and converting image DC data using scatter plot matching. *Remote Sensing* 2, 1644–1661.



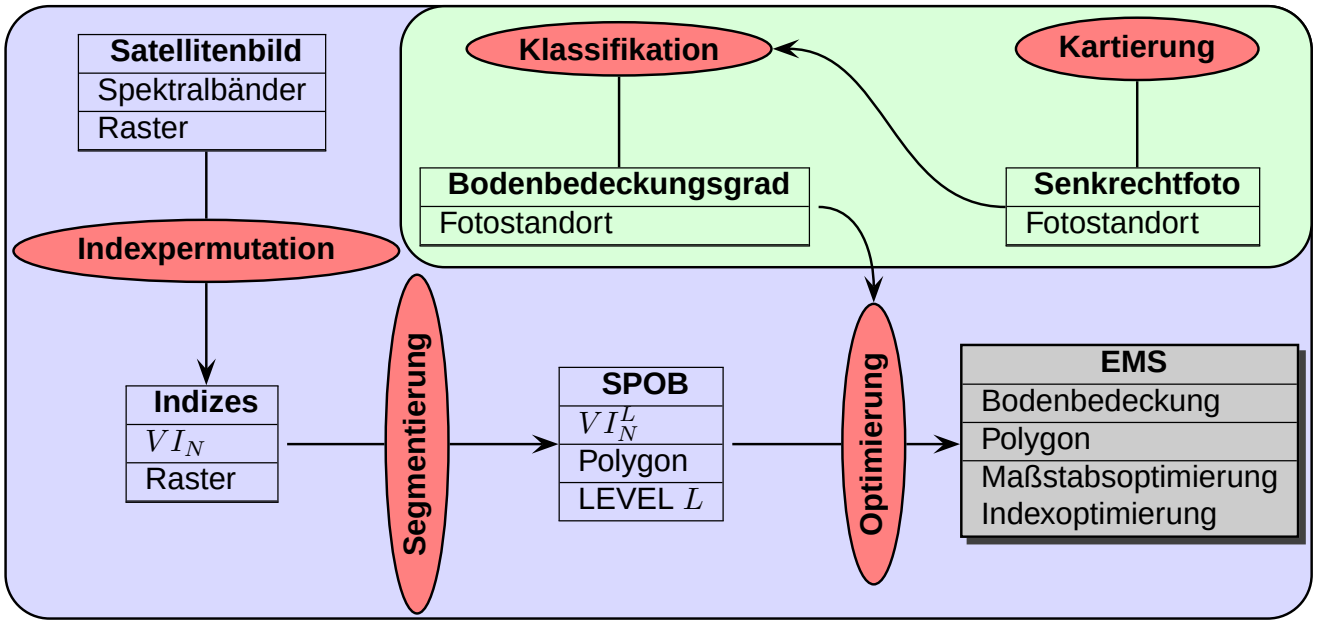
Bare Soil Line Approach



Maas, S.J. & Rajan, N. (2010): Normalizing and converting image DC data using scatter plot matching. *Remote Sensing* 2, 1644–1661.



Effective Map Scale Approach/Spektralindex-Optimierung



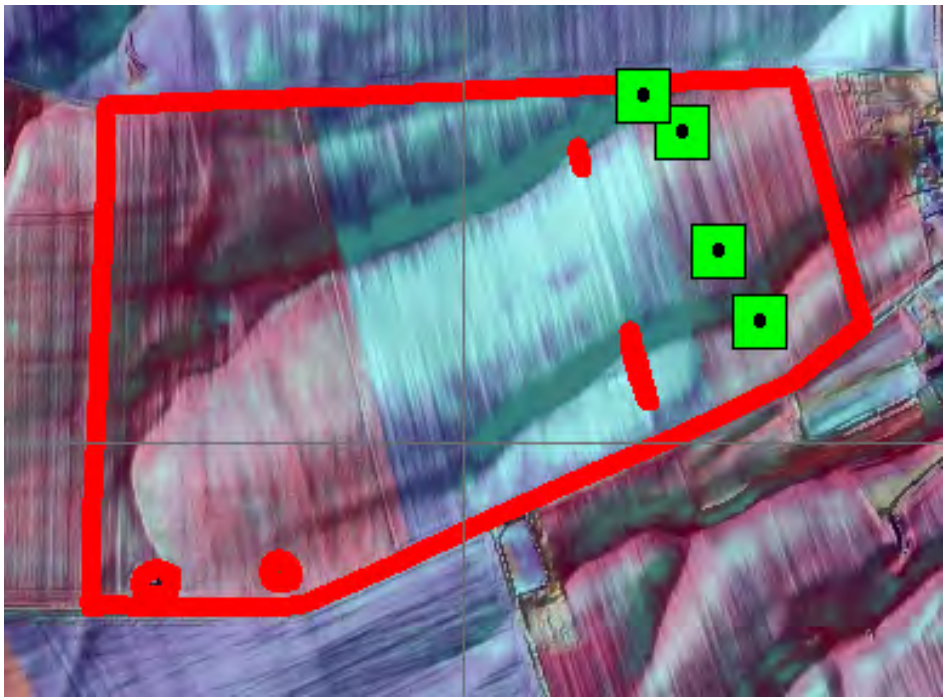
$$VI = \frac{B1 - B2}{B1 + B2 - B3} \text{ mit } B1, B2, B3 \in [RE3, RE4, RE5]$$

Möller, M. & Volk, M. (2015): Effective map scales for soil transport processes and related process domains – statistical and spatial characterization of their scale-specific inaccuracies. *Geoderma* 247/248, 151–160.

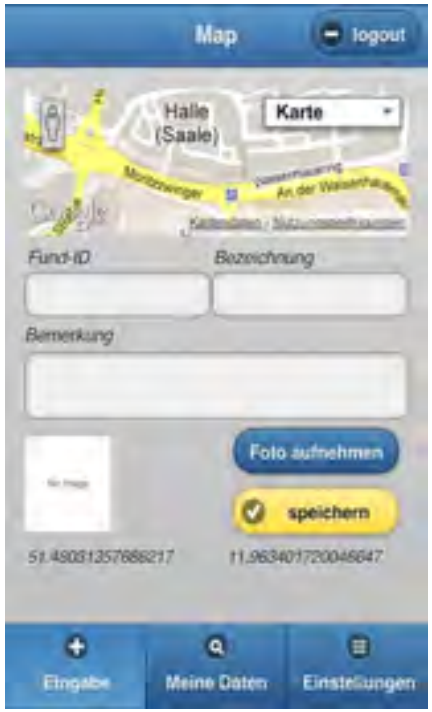
Gerstmann, H., Möller, M. & Gläßer, C. (2016): Optimization of spectral indices and long-term separability analysisfor classification of cereal crops using multi-spectral RapidEyeimagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52, 115–125.

Kartierung

Fotostandorte



Kartier-App



http://www.umgeodat.de

Kartierung

Fotostandorte

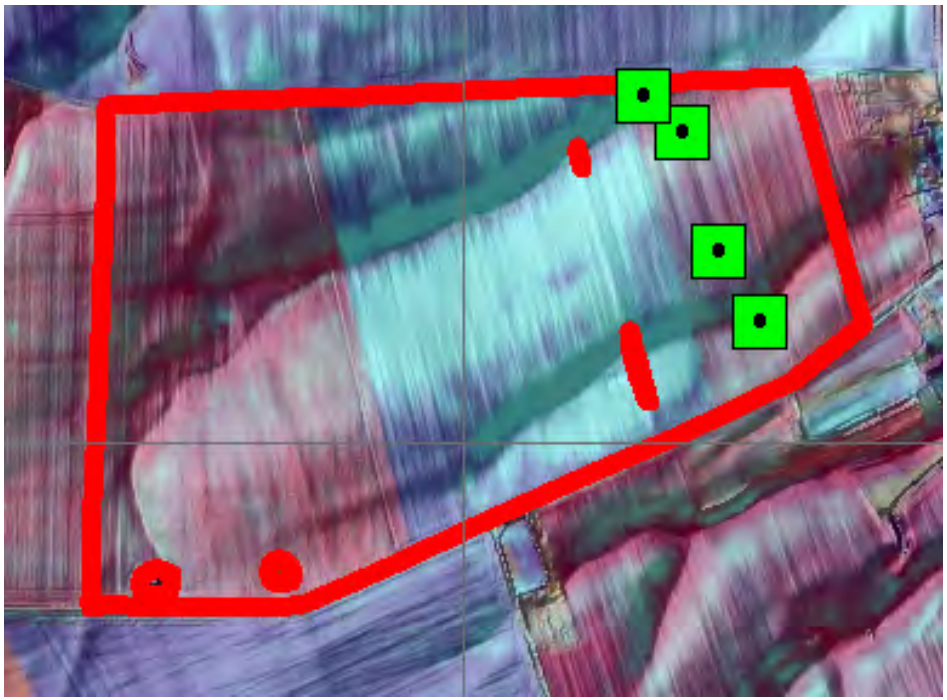


Foto 1

Foto 2

Foto 4

Foto 5

Kartierung

Winterweizen 2013

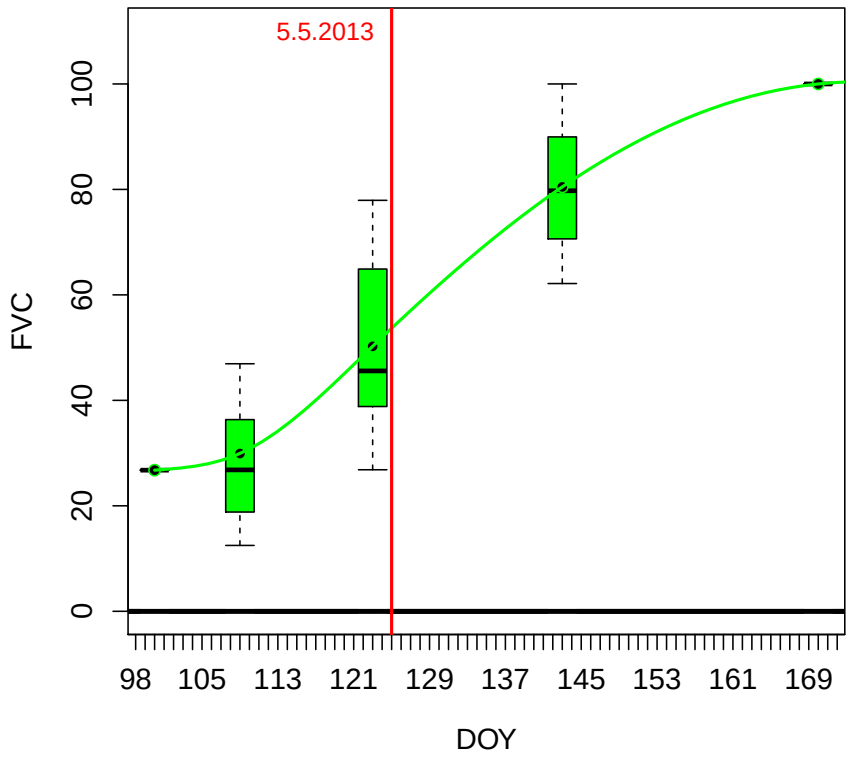


Foto 1

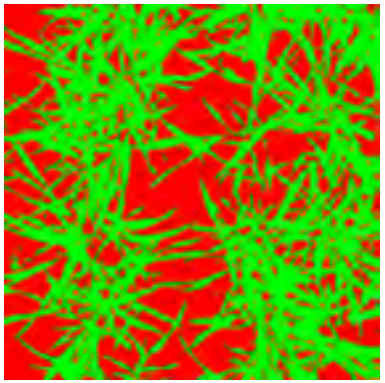


Foto 2

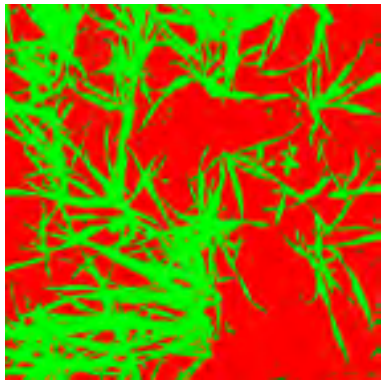


Foto 4

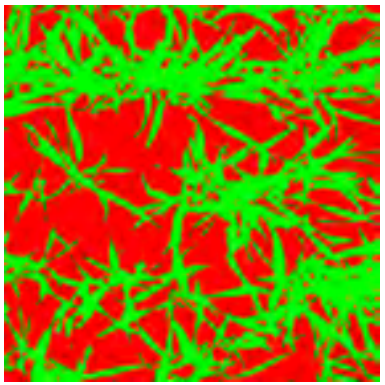
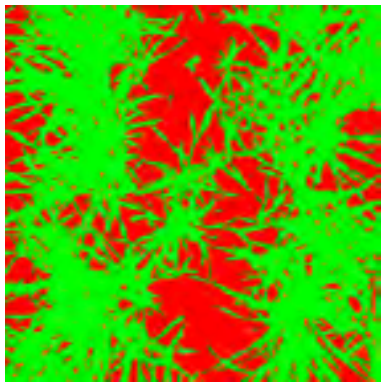
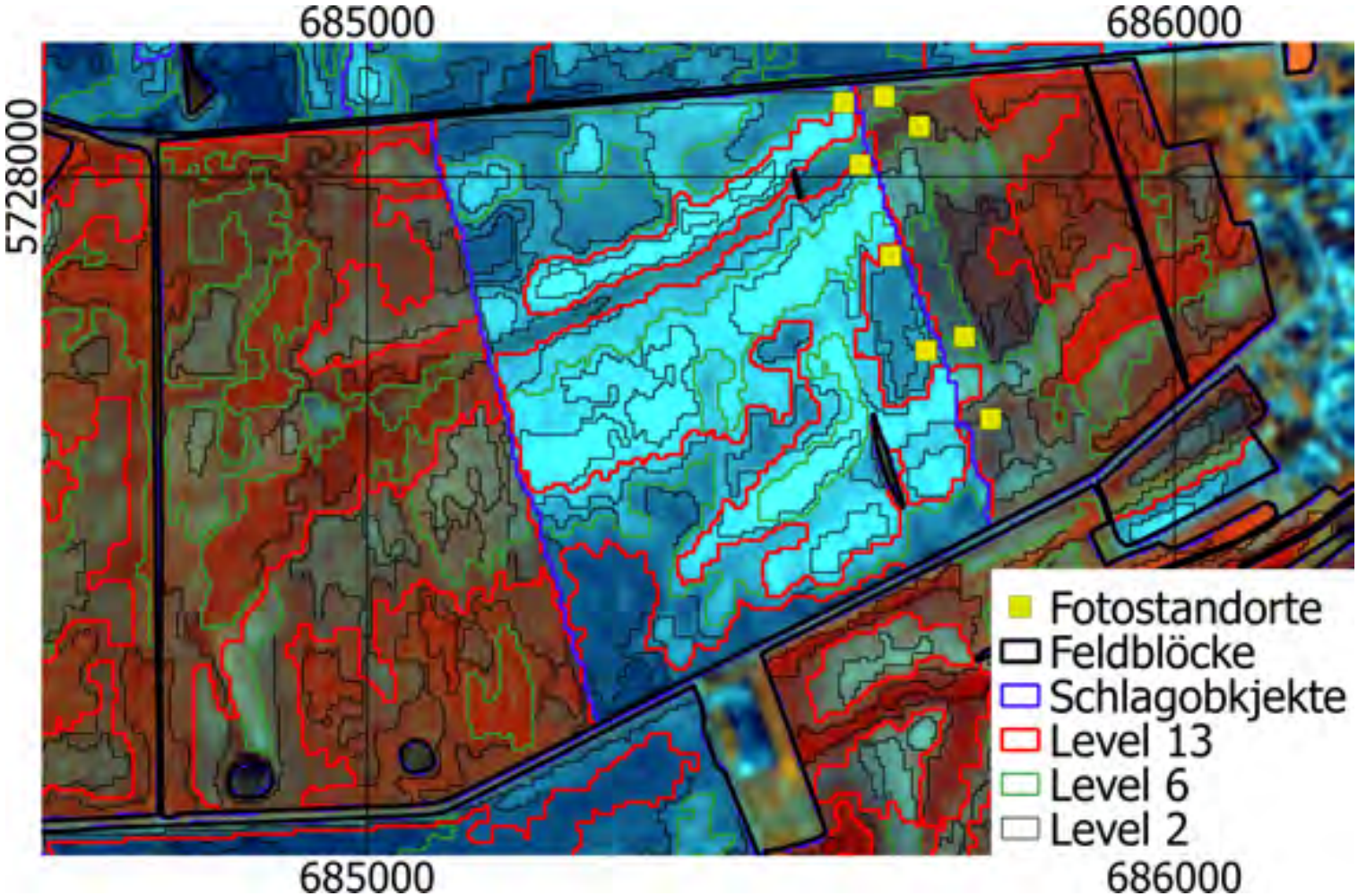


Foto 5



Segmentierung



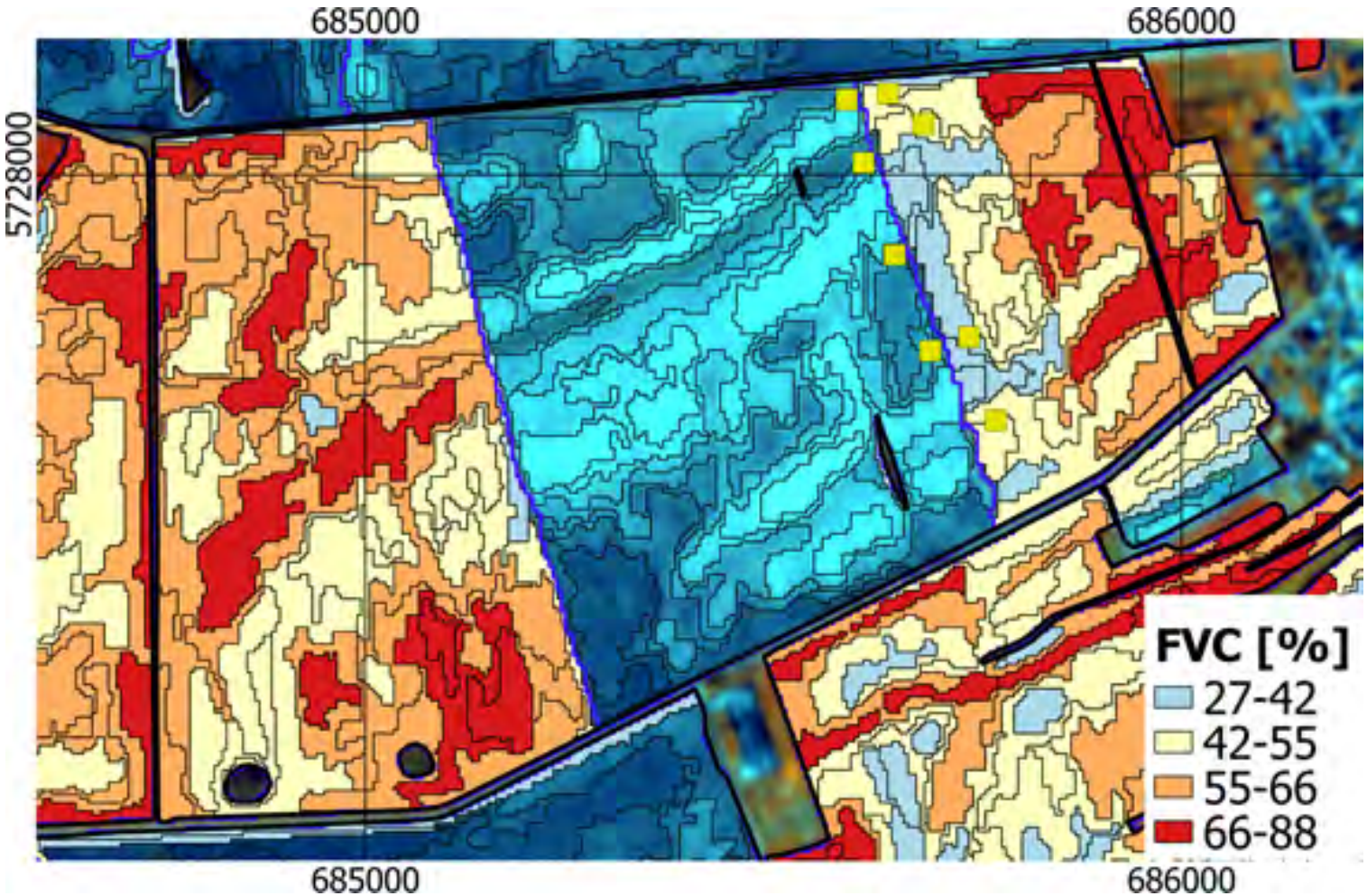
Prognose: Optimierung der Maßstabs- und Spektraloptimierung im V

gleich zum *NDVI* für den RapidEye-Datensatz vom 5. Mai 2013: R^2- und *RM*
Werte für die Beziehungen zwischen kartierten Bodenbedeckungsgraden und Ve
tationsindizes entsprechend Gleichung (2.8).

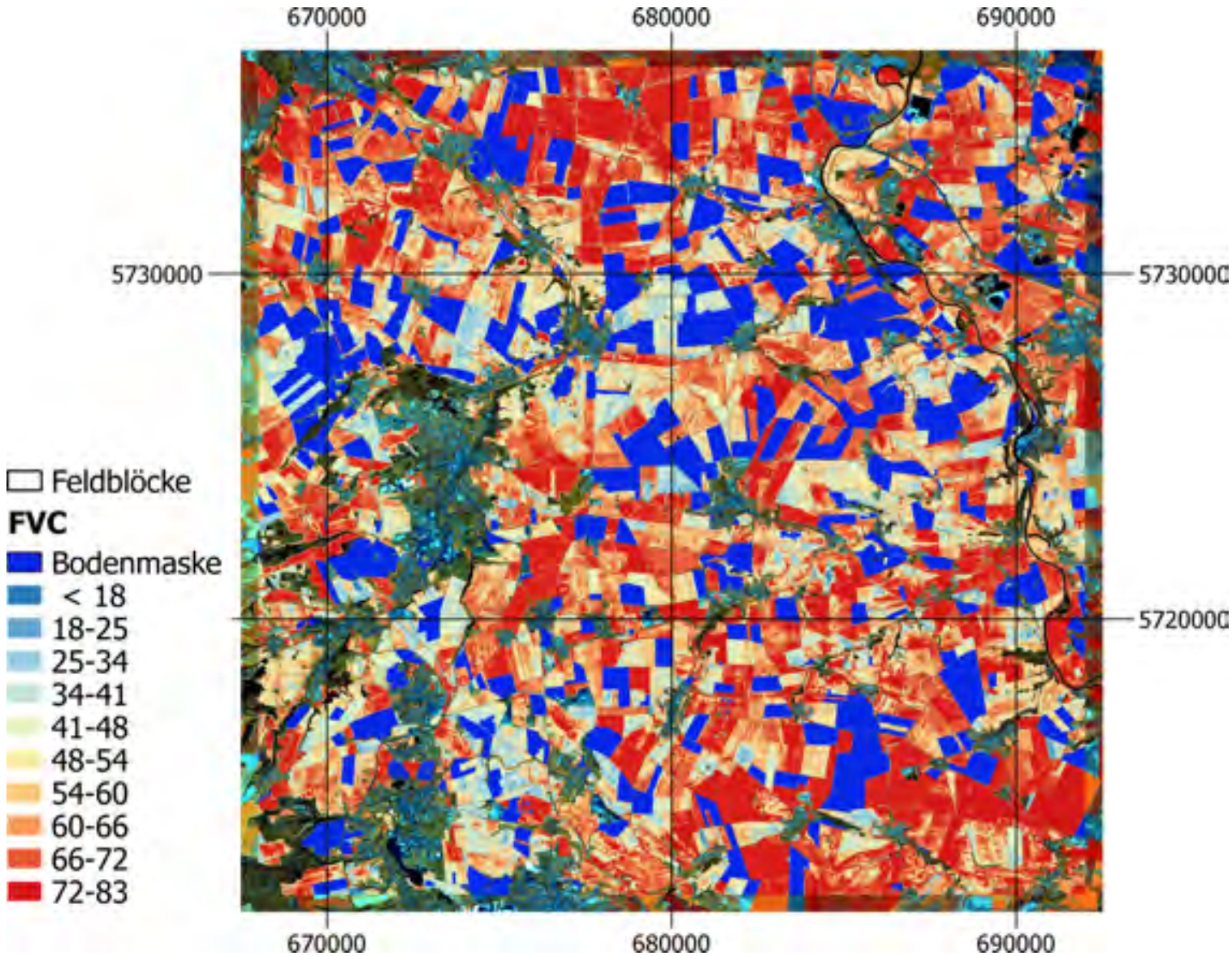
L	Rang	*B*1	*B*2	*B*3	R^2	*RMSE*
0	1	5	4	3	0,92	0,05
0	2	4	5	2	0,92	0,05
0	3	5	4	2	0,90	0,05
0	*NDVI*	5	3	0	0,83	0,08
1	1	4	5	3	0,94	0,04
1	2	4	5	2	0,93	0,05
1	3	5	3	2	0,92	0,05
1	*NDVI*	5	3	0	0,84	0,08
2	**1**	**5**	**3**	**2**	**0,93**	**0,07**
2	2	4	5	2	0,91	0,05
2	3	4	5	3	0,89	0,05
2	*NDVI*	5	3	0	0,84	0,08
3	1	4	5	3	0,92	0,05
3	2	4	5	2	0,91	0,05
3	3	3	4	2	0,88	0,09
3	*NDVI*	5	3	0	0,84	0,08
4	1	5	4	2	0,93	0,05
4	2	5	2	3	0,88	0,04
4	3	5	4	3	0,88	0,05
4	*NDVI*	5	3	0	0,84	0,08
5	1	5	4	2	0,88	0,06
5	2	3	5	2	0,88	0,11

L	Rang	*B*1	*B*2	*B*3	R^2	*RMSE*
8	1	5	4	3	0,91	0,05
8	2	5	2	3	0,90	0,04
8	3	4	5	3	0,90	0,05
8	*NDVI*	5	3	0	0,82	0,08
9	1	5	3	2	0,92	0,11
9	2	3	5	3	0,92	0,04
9	3	3	4	2	0,91	0,08
9	*NDVI*	5	3	0	0,83	0,08
10	1	3	4	2	0,90	0,08
10	2	2	5	3	0,89	0,04
10	3	5	3	2	0,88	0,11
10	*NDVI*	5	3	0	0,81	0,09
11	1	3	4	2	0,90	0,08
11	2	2	5	3	0,89	0,04
11	3	5	3	2	0,88	0,11
11	*NDVI*	5	3	0	0,81	0,09
12	1	5	4	3	0,92	0,05
12	2	5	3	2	0,89	0,12
12	3	4	5	2	0,89	0,06
12	*NDVI*	5	3	0	0,09	0,81
13	1	4	5	3	0,90	0,05
13	2	5	4	3	0,89	0,05

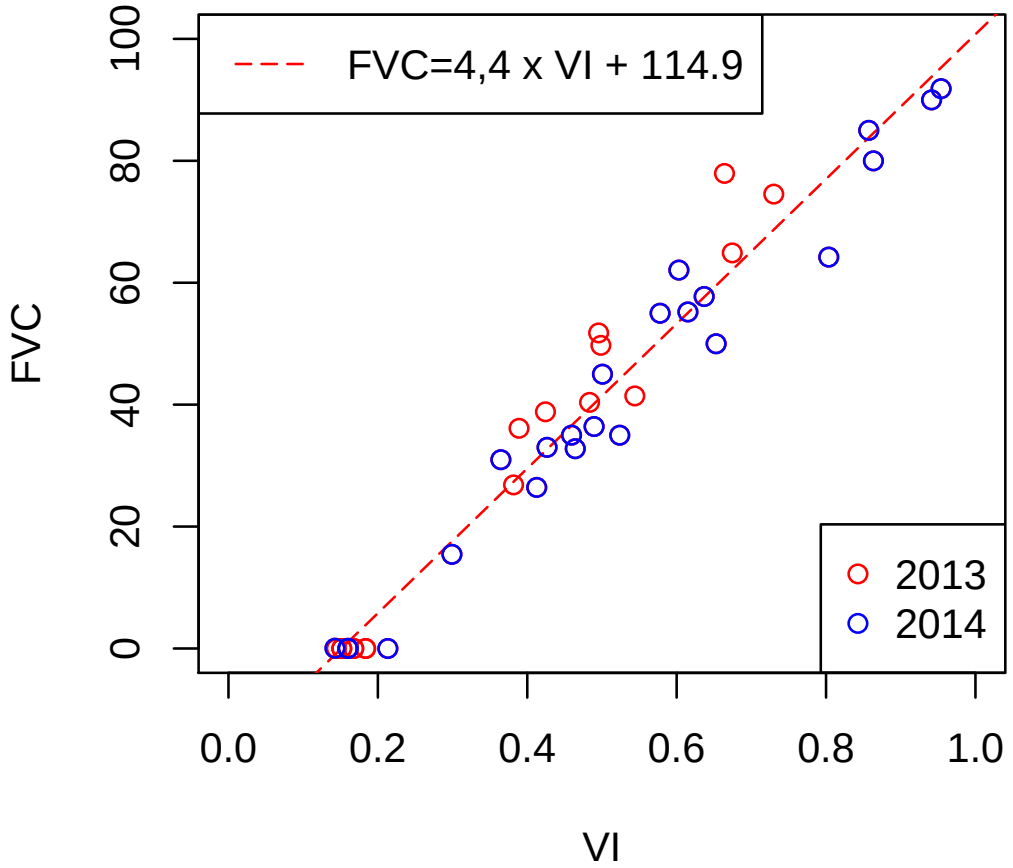
Prognose: *Variante L2/Rang 1*

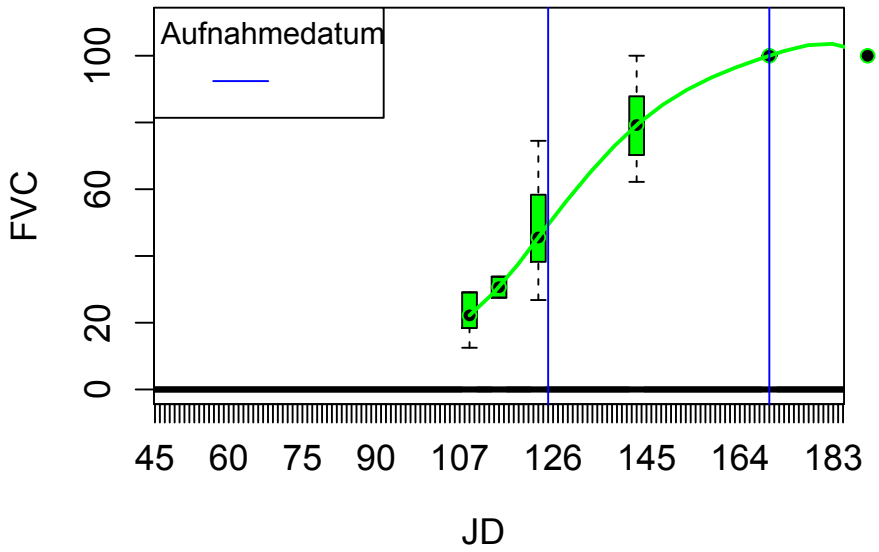


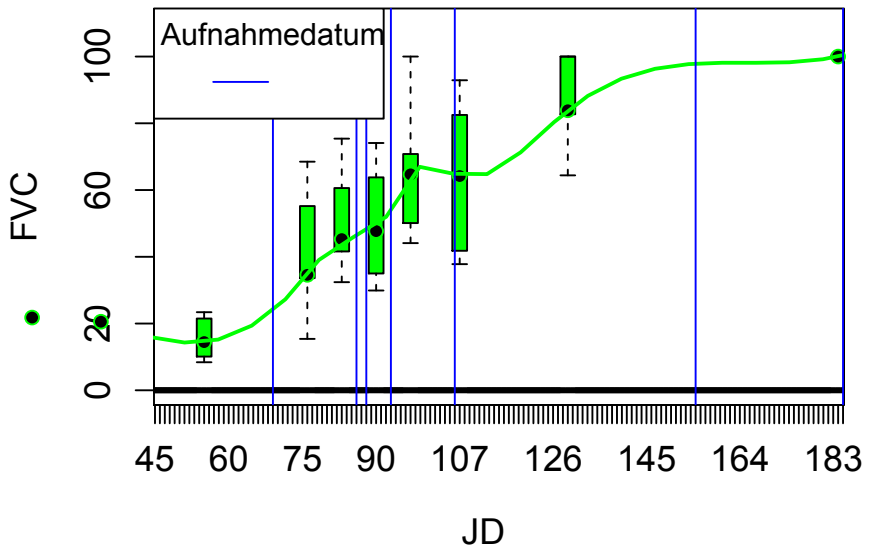
Prognose: *Untersuchungsgebiet*



Regressionsmodell zur Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation (Winterweizen)



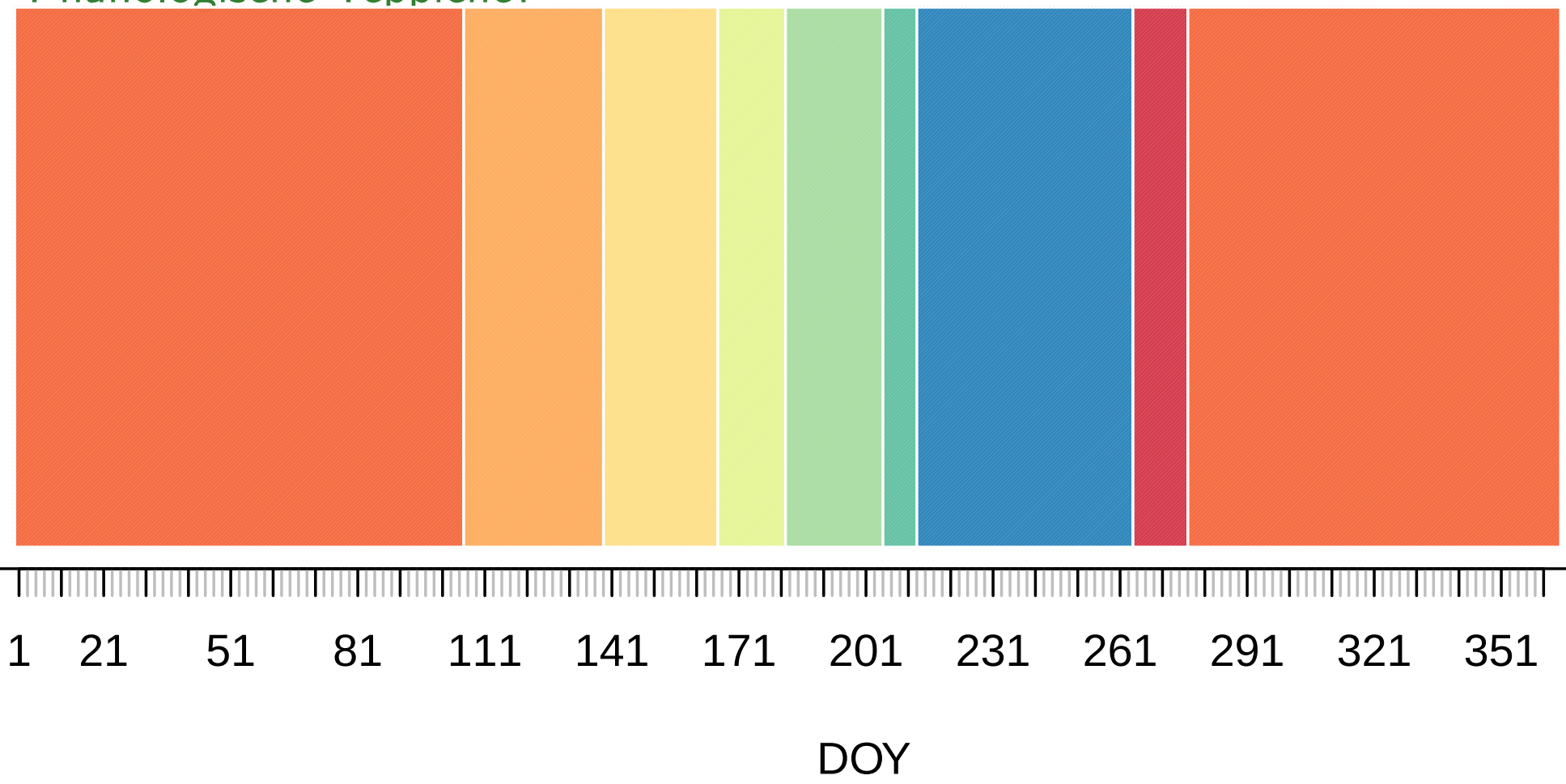




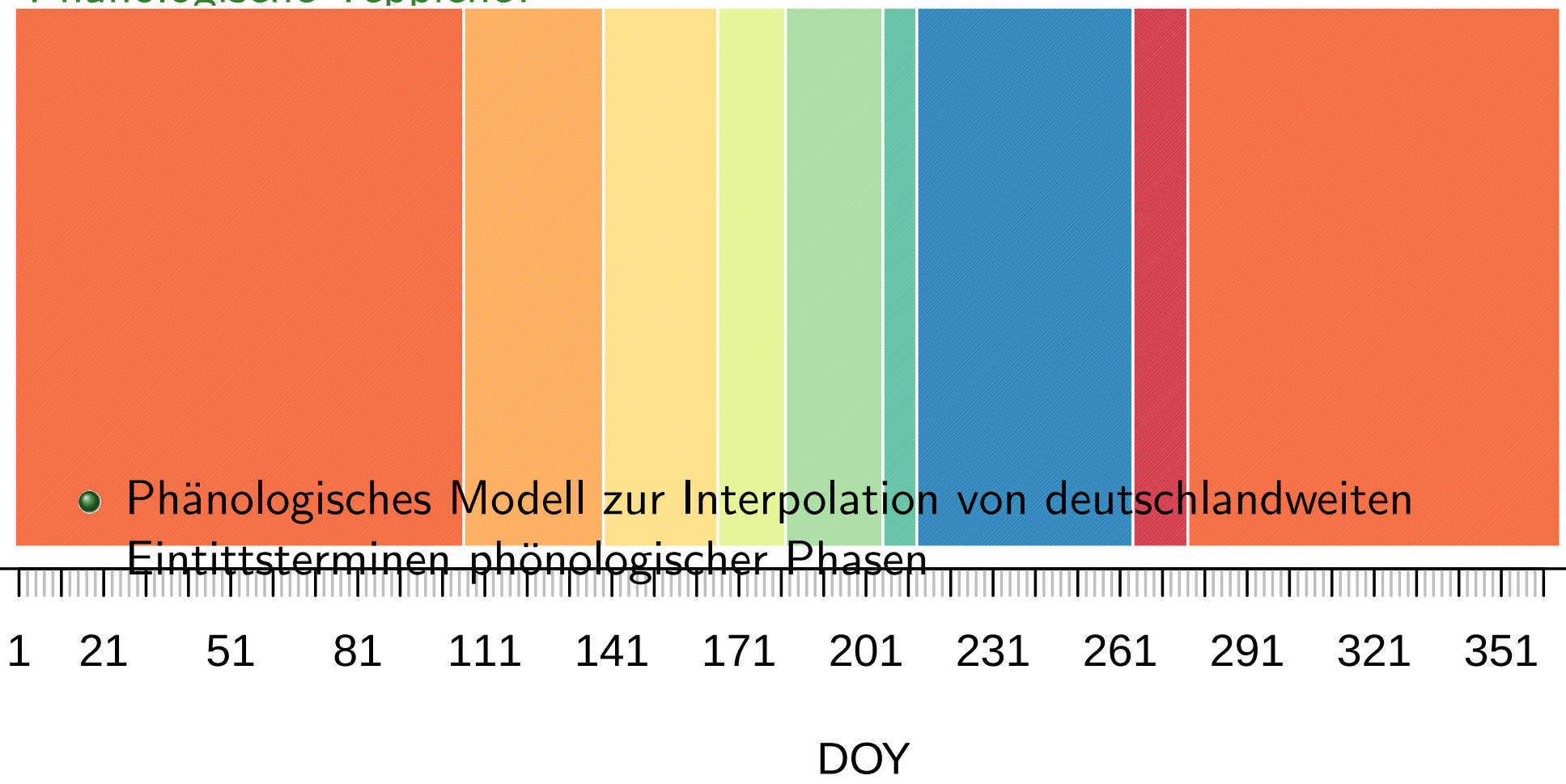
Gliederung

1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

Phänologische Teppiche?

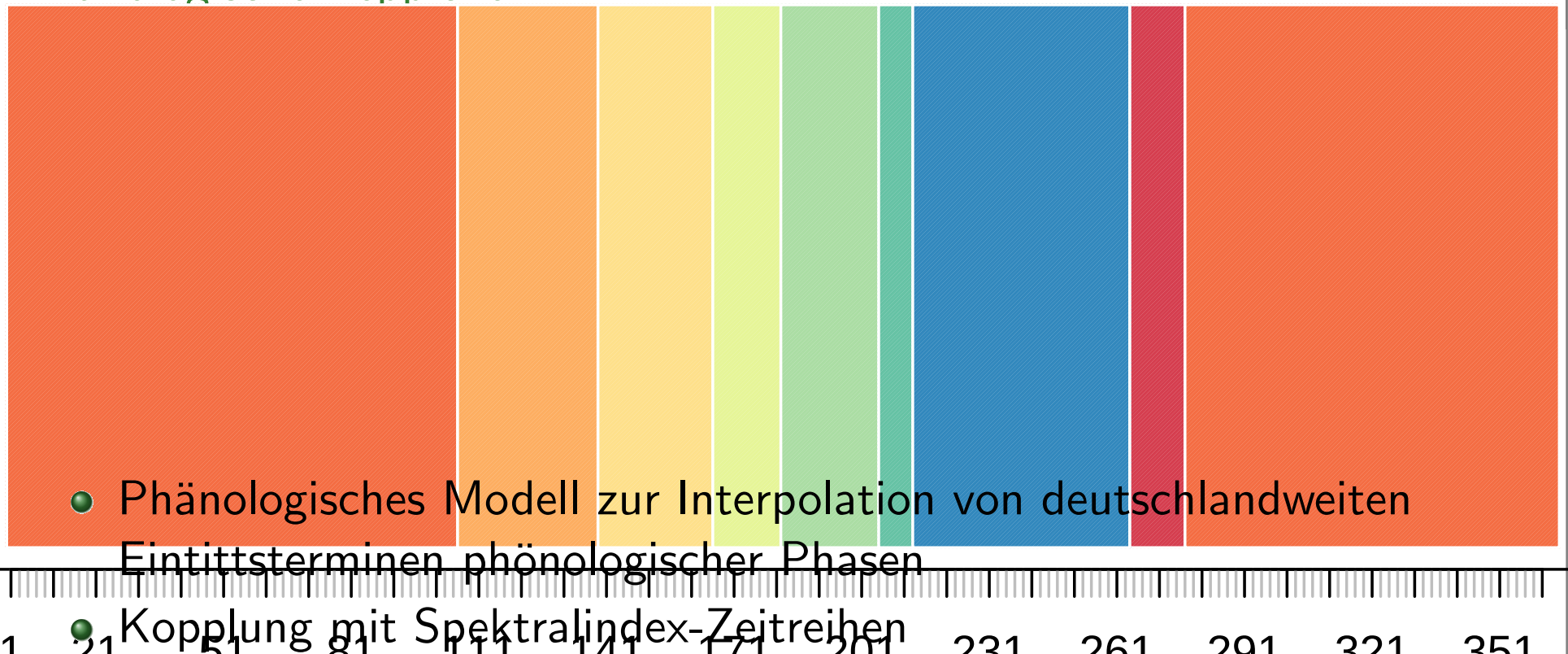


Phänologische Teppiche?



- Phänologisches Modell zur Interpolation von deutschlandweiten Eintrittsterminen phönologischer Phasen

Phänologische Teppiche?



- Phänologisches Modell zur Interpolation von deutschlandweiten Eintittsterminen phönologischer Phasen
- Kopplung mit Spektralindex-Zeitreihen
  - Zeitfenster zur Anwendung von Bodenbedeckungsgradmodellen
  - Dynamische Erosionsmodellierung $\Rightarrow$ DynaC-Abschlussbericht
  - Ertragspotenzialanalysen
  - Zeitreihenanalysen $\Rightarrow$ Klimawandel
  - ...

Gliederung

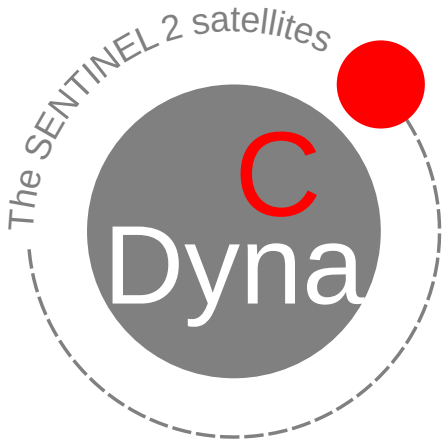
1. Motivation
2. Begriffe
3. Phänologische Spektralindex-Zeitreihen
   - Workflow
   - Untersuchungsgebiet
   - Phänologische Zeitfenster
   - Landsat-MODIS-Fusion
   - Phasen- und Schlag-spezifische Spektralindizes
4. Bodenbedeckung
   - Bodenmasle
   - Prognose der Bodenbedeckung durch vitale Vegetation
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

Markus Möller markus.moeller@landw.uni-halle.de

Henning Gerstmann henning.gerstmann@geo.uni-halle.de

Florian Thürkow florian.thuerkow@umgeodat.de

Die Studie wurde finzanziert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technogie. Projekträger ist die Raumfahrtagentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR; FKZ 50EE1230 & 50EE1262).



DynaC: Zeitliche und räumliche Dynamisierung des C-Faktors mittels simulierter Sentinel 2-Daten zur Lokalisierung von Gefährdungsflächen der wassergebundenen Bodenerosion

http://paradigmaps.geo.uni-halle.de/dynac

Phenos: Phänologische Strukturierung von zeitlich hochauflösenden Sentinel-2-Satellitenbilddate zur Verbesserung von Landnutzungsklassifikationen

http://paradigmaps.geo.uni-halle.de/phenos

```
\usepackage[svgnames]{pstricks}
\usepackage{pst-text}
\psset{unit=1}
\begin{pspicture}(-1.75,-1.75)(1.75,1.75)
\pscircle*[linecolor=Blue]{1}
\pscircle*[linecolor=white](0.4,0.4){0.3}
\psarc[linecolor=black!50,linestyle=dashed,
  dash=4mm 1mm,linewidth=3pt](0,0){1.4}{195}{45}
\pscircle*[linecolor=Blue](1,1){0.3}
\rput(0,-0.3){\psscalebox{7}{\color{white}\textsf{Lua}}}
```