Universität für Bodenkultur Wien
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation

Baumartenerkennung unter Verwendung von Sentinel-2-Daten

Clement Atzberger
Markus Immitzer
Gunter Zeug

Nationales Forum 2018 – Copernicus in der Forstwirtschaft, Berlin, 29 Nov 2018

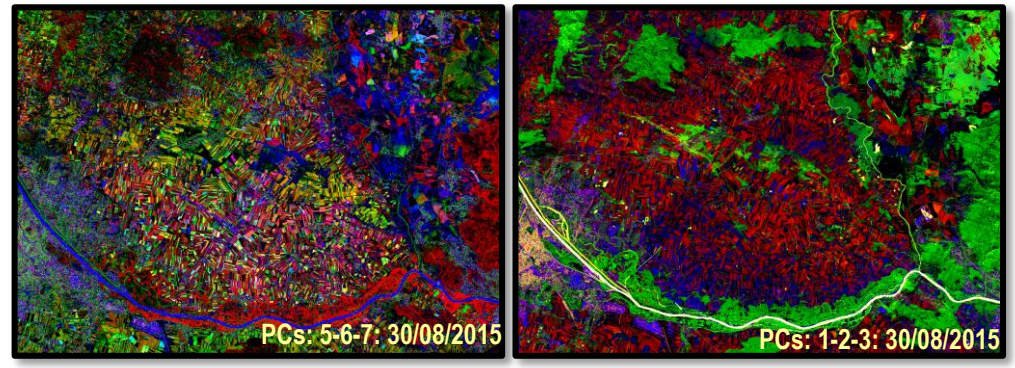
Ziele

- Klassifizierung von **11 Baumarten**: Fichte, Kiefer, Rotbuche, Traubeneiche, Stieleiche, Birke, Esche, Schwarzerle, Lärche, Douglasie und Bergahorn (90 % der dt. Waldfläche) in ausgewählten/repräsentativen Testgebieten

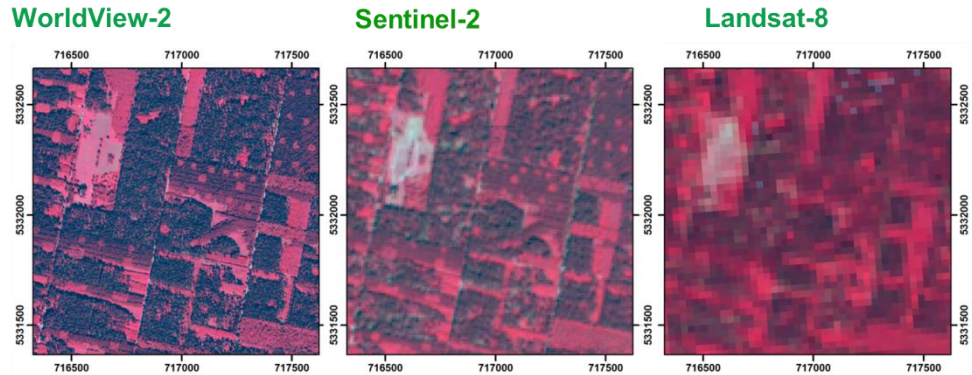
- (Wichtigste) Teilziele:
  - Entwicklung eines **methodischen Konzepts** für die robuste und kosteneffiziente Ableitung einer bundesweiten Karte der Hauptbaumarten
  - Bereitstellung einer belastbaren **Entscheidungsgrundlage** für eine eventuell nachfolgende bundesweite Kartierung von Wald- und Forstökosystemtypen
  - Erfassung und Bereitstellung von **Daten zur bundesweiten Validierung** (sowie für die Modellerstellung)

Sentinel-2 …. a game changer …

- 10 Spektralbänder

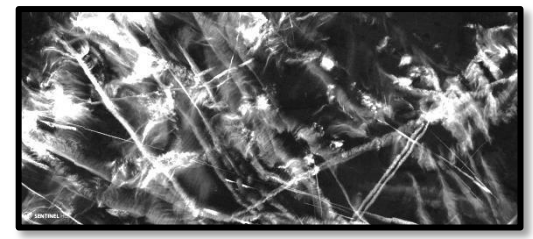


- 10 m räumliche Auflösung



- 3 Atmosphärenbänder

True color 30/08/2015



B10 30/08/2015

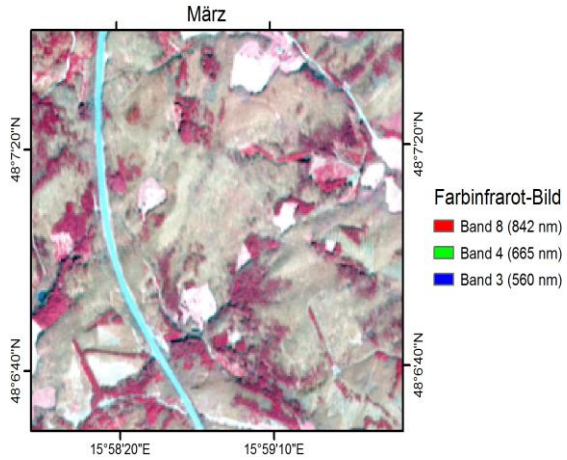
Sentinel-2 …. a game changer …

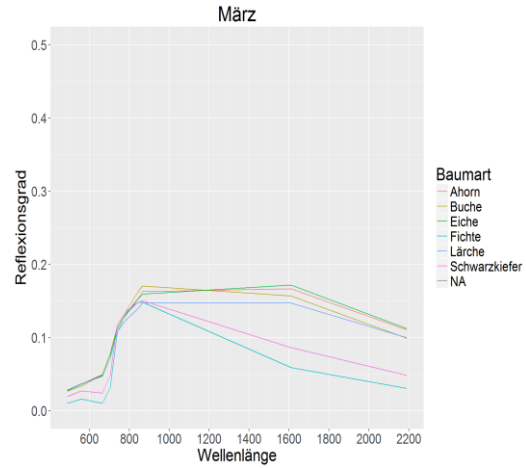
- Globale Abdeckung (5 Tage)

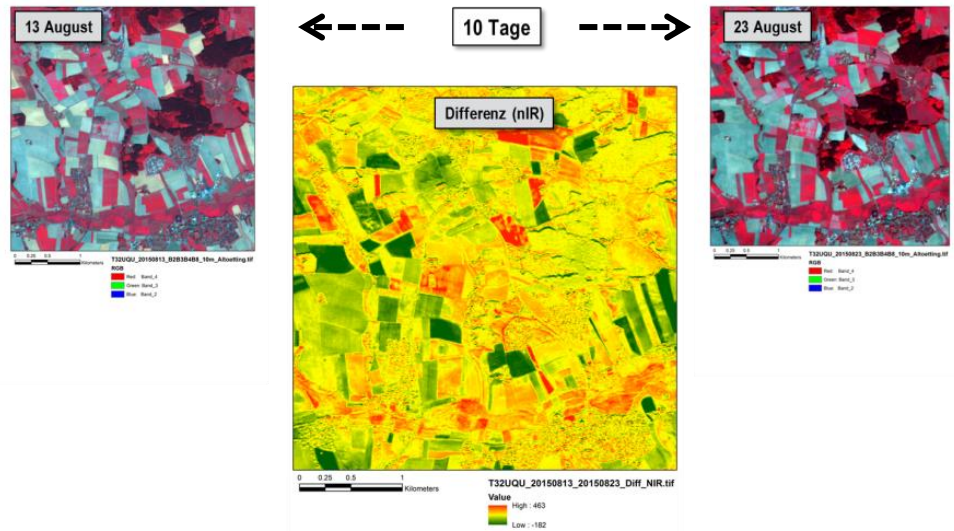
Cloud-free observations

„Spectro-temporal signatures“

„Change detection“

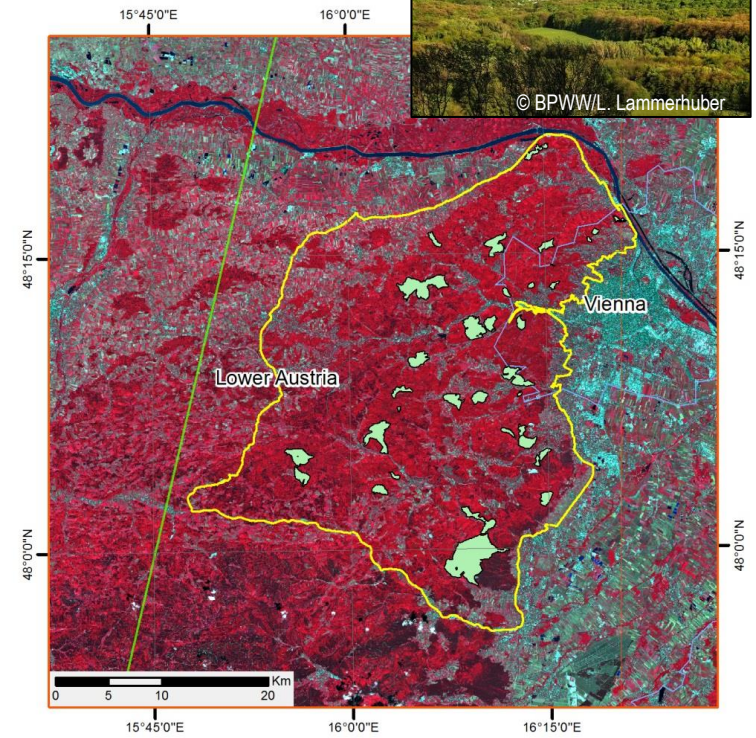


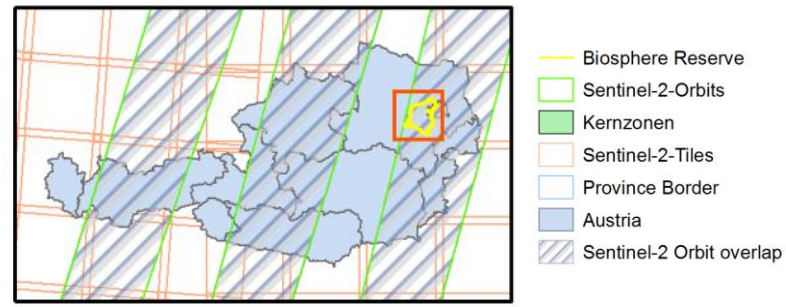




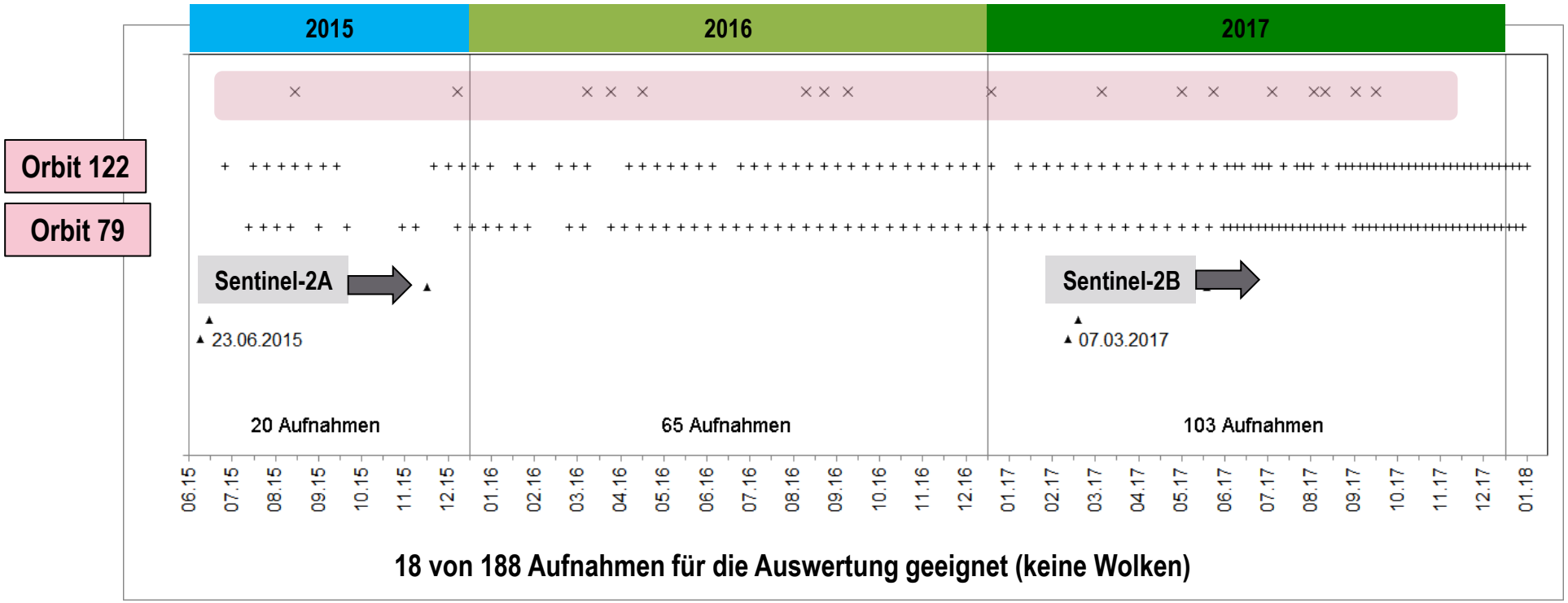
Methodik-Entwicklung Wiener Wald

- Biosphärenpark Wienerwald
  (UNESCO Auszeichnung seit 2005)
- Westlich von Wien - Nordostende der Alpen
- Flysch bzw. Kalk
- Laubholz dominierter Wald
- Gesamtfläche: 105.000 ha
- Überlappungsbereich zweier Sentinel-2 Orbits
- 2-stufiges Klassifikationsmodell





Methodik-Entwicklung Wiener Wald



Referenzdatensatz (Orthophoto-Interpretation)

- 6 Landbedeckungsklassen

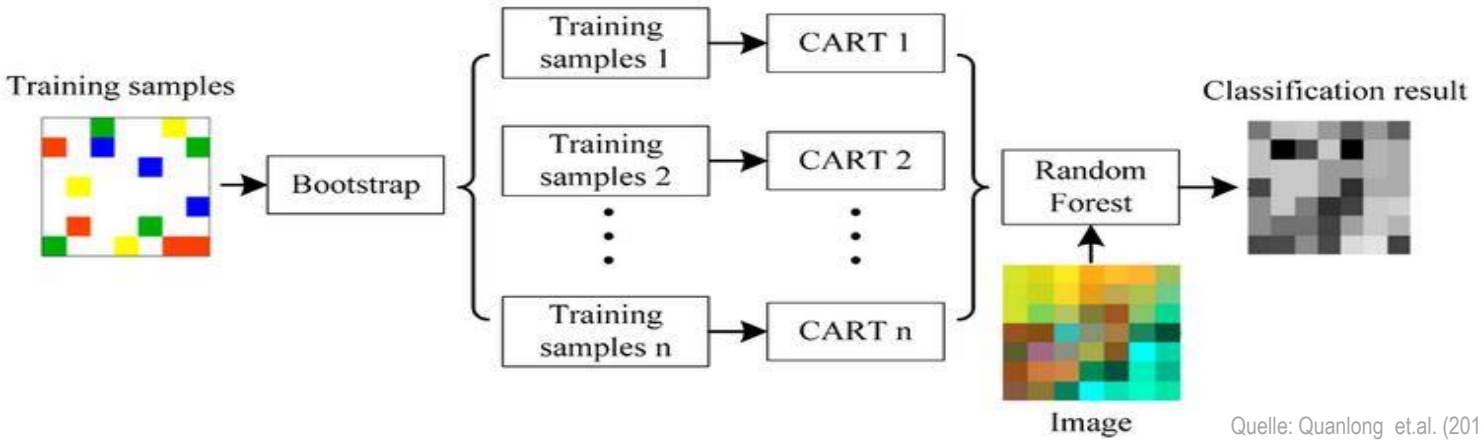
Klasse	Definition
Laubholz	Waldbestand mit vorwiegend Laubbaumvorkommen
Nadelholz	Waldbestand mit vorwiegend Nadelbäumen
Grünflächen	Permanentes Grünland - Dauergrünland, Wiesen, Rasen, Weideflächen, Parks, etc.
Landwirtschaft	Acker-, Wein- & Gemüsebau und andere landwirtschaftliche Kulturen
Siedlung	Versiegelte Flächen - Gebäude, Straßen und andere Infrastruktur (inkl. angrenzenden Grünflächen)
Wasser	Wasserkörper - Seen, Flüsse, Teiche, etc.

- 12 Baumartenklassen
  (7 Laubbaumarten + 5 Nadelbaumarten)

Baumart			
Rotbuche	FS	PR	PN
Schwarzerle			
Gemeine Esche			
Eichen	AG	CP	PS
Kirsche			
Hainbuche			
Ahorn	FE	AC	LD
Fichte			
Schwarzkiefer			
Weißkiefer	QU	PA	PM
Lärche			
Douglasie			

Klassifikationsverfahren – Random Forest

- Ensemble & machine learning Klassifikationsverfahren
- Basierend auf vielen nicht korrelierenden Entscheidungsbäumen
  - Zufälliges Ziehen der Referenzdaten für die Erstellung der Entscheidungsbäume
  - Zufälliges Ziehen der zur Verfügung stehenden Variablen für die Entscheidungen
- Vorteile:
  - Interne Validierung (bootstrapping)
  - Wichtigkeitsinformation zu den Eingangsvariablen
  - Feature selection und Modell-Optimierung



Quelle: Quanlong et.al. (2015)

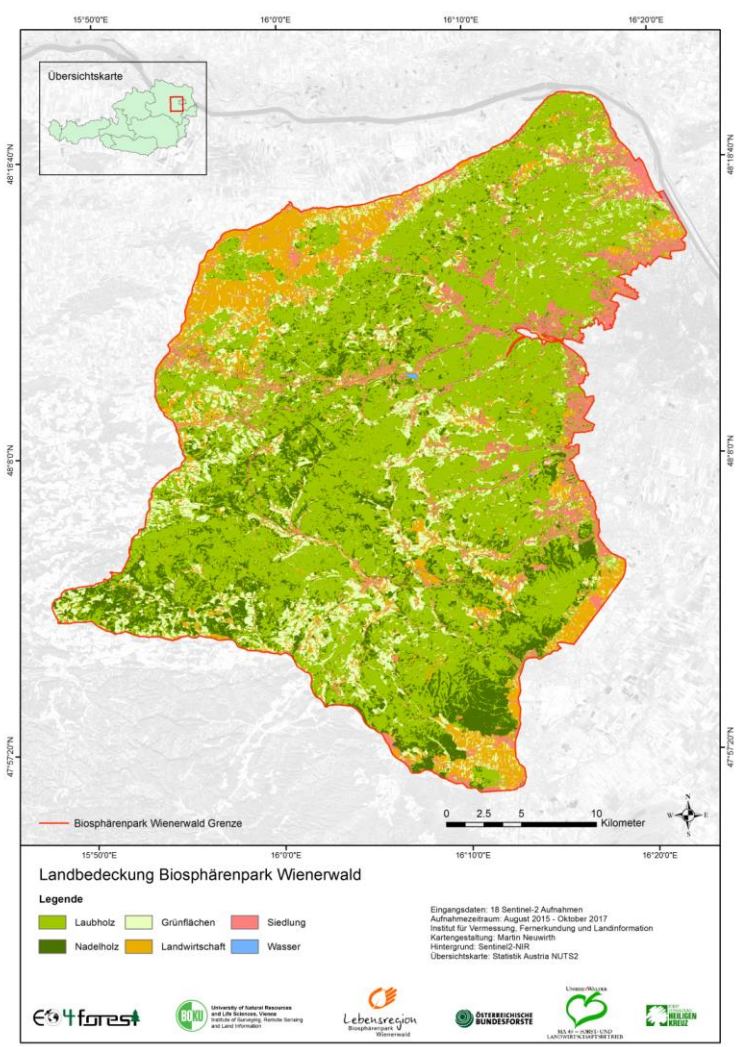
Breiman 2001 Machine Learning

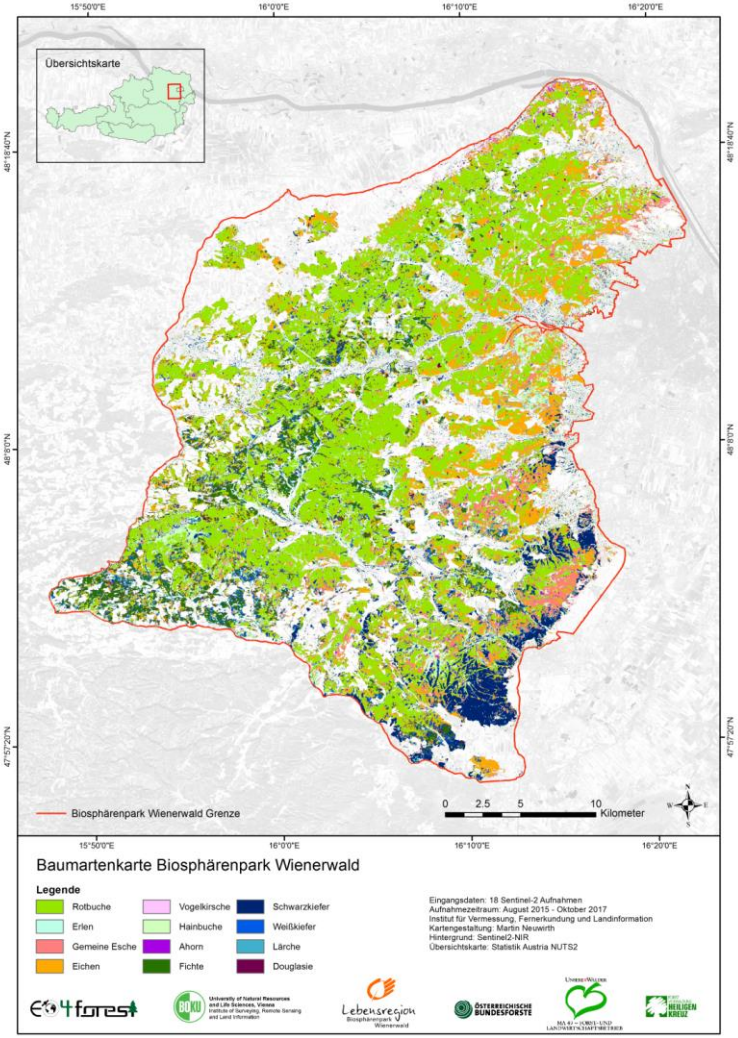
Analyse – Anzahl S2 Szenen & Wichtigkeit der Bänder

- Alle möglichen Kombinationen der 18 Sentinel-2 Szenen wurden untersucht
  - 18 mono-temporale Szenen
  - 153 2er Kombinationen
  - 816 3er Kombinationen
  - ….
  - **Σ: 262 143** Kombinationen insgesamt (für jede Baumartengruppe getrennt)

- Evaluierung von Aufnahmedaten und Bändern

Ergebnis – Karten





Ergebnis – Baumarten

		Referenzdaten							
	broadleaf trees	**FS**	**AG**	**FE**	**QU**	**PR**	**CP**	**AC**	**UA**
Klassifikation	***Rotbuche*** *(Fagus sylvatica)*	**211**	4	7	7	4	12	8	**83.4%**
	Schwarzerle *(Alnus glutinosa)*	0	**44**	0	1	0	0	0	**97.8%**
	GemEsche *(Fraxinus excelsior)*	0	0	**44**	3	0	0	7	**81.5%**
	Eichen *(Quercus sp.)*	0	1	5	**117**	1	4	2	**90.0%**
	Kirsche *(Prunus sp.)*	0	0	0	0	**18**	0	0	**100.0%**
	Hainbuche *(Carpinus betulus)*	4	2	3	1	1	**48**	0	**81.4%**
	Ahorn *(Acer sp.)*	0	1	1	1	1	1	**16**	**76.2%**
	∑	215	52	60	130	25	65	33	580
	PA	**98.1%**	**84.6%**	**73.3%**	**90.0%**	**72.0%**	**73.8%**	**48.5%**	
						OA	**85.9%**	Kappa	**0.813**

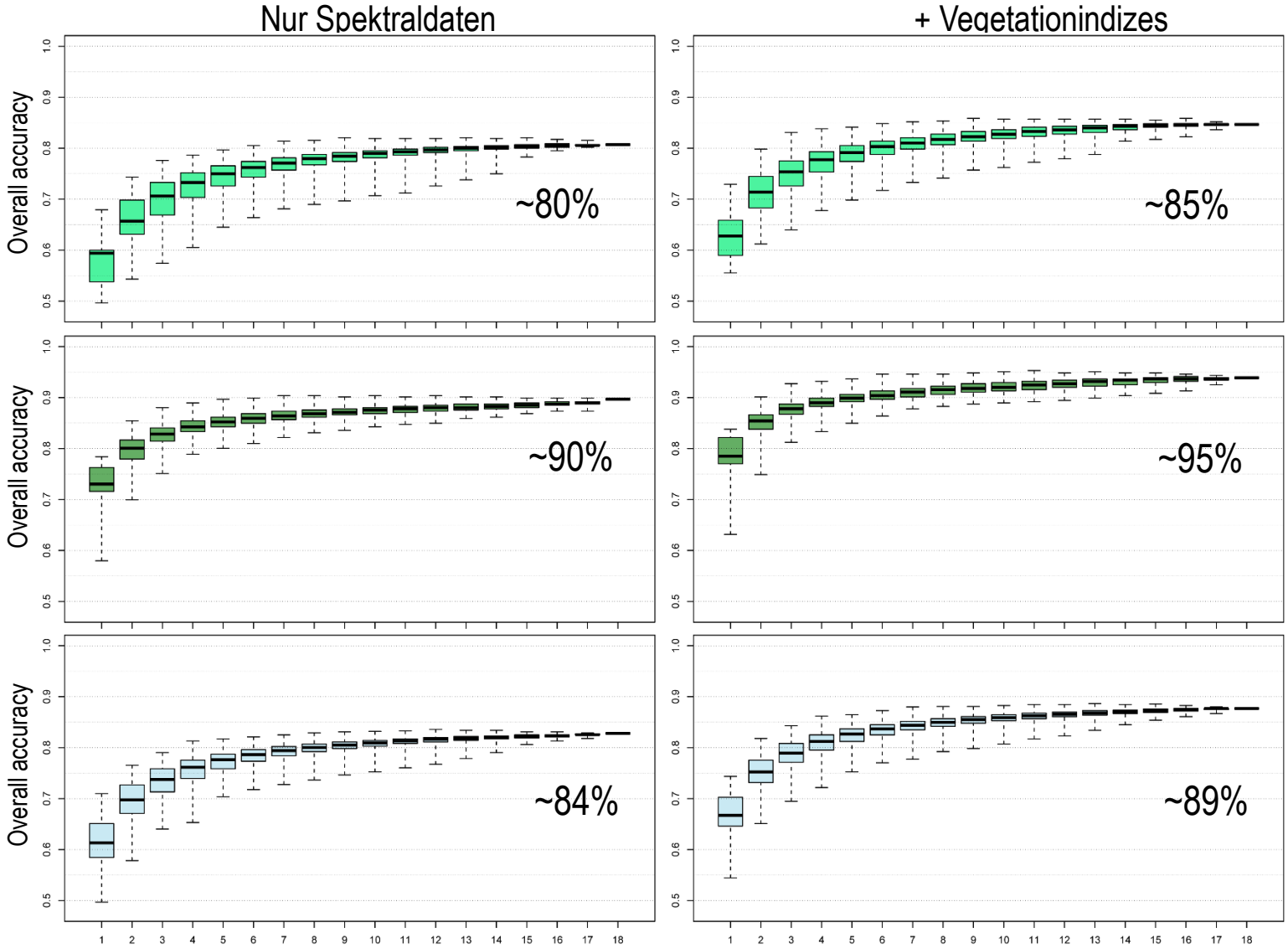
		Referenzdaten					
	coniferous trees	**PA**	**PN**	**PS**	**LD**	**PM**	**UA**
Klassifikation	***Fichte*** *(Picea abies)*	**132**	0	3	1	1	**86.4%**
	Schwarzkiefer *(Pinus nigra)*	1	**101**	1	1	2	**99.0%**
	Weißkiefer *(Pinus sylvestris)*	1	4	**75**	0	0	**79.8%**
	Lärche *(Larix decidua)*	1	1	0	**46**	1	**95.9%**
	Dgl.*(Pseudotsuga menziesii)*	0	1	0	1	**52**	**93.0%**
	∑	135	107	79	49	56	426
	PA	**97.8%**	**94.4%**	**94.9%**	**93.9%**	**92.9%**	
					OA	**95.3%**	Kappa	**0.939**

Ergebnis – Baumarten

broadleaf

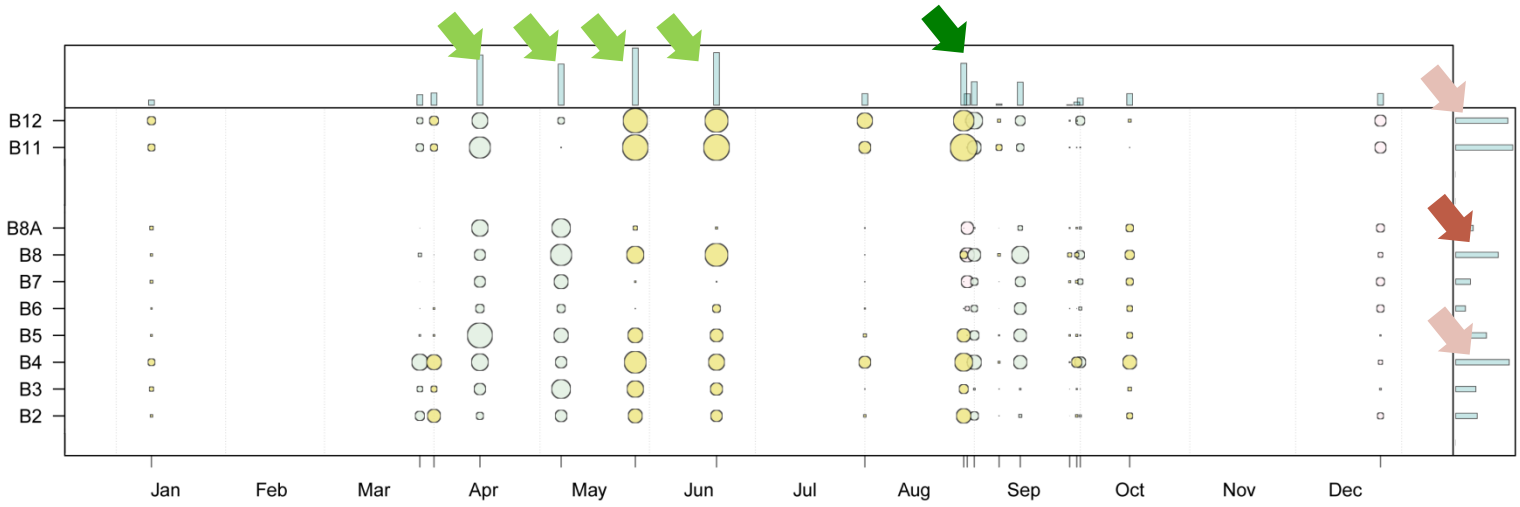
coniferous

pooled



Ergebnis – Baumarten

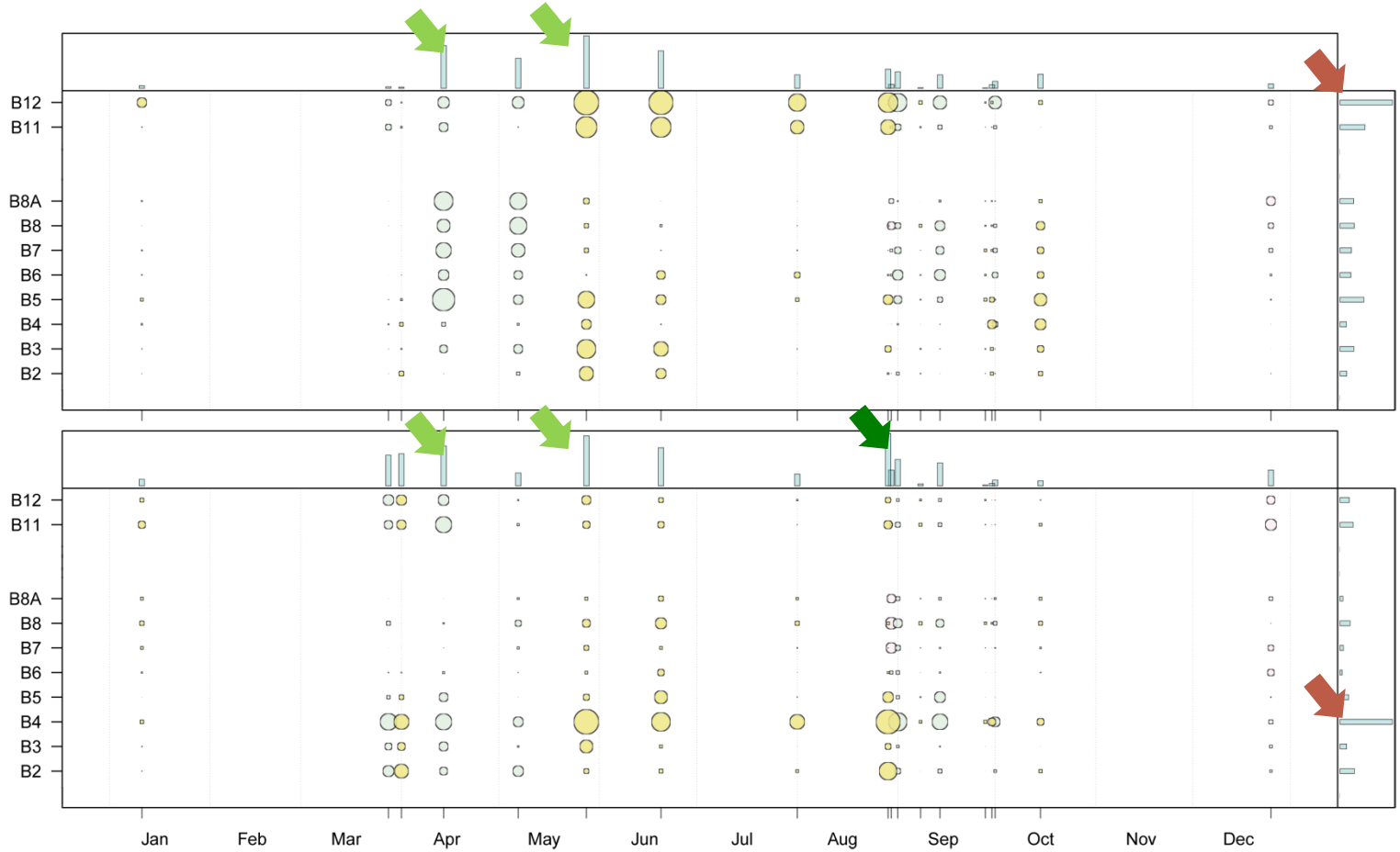
pooled



Ergebnis – Baumarten

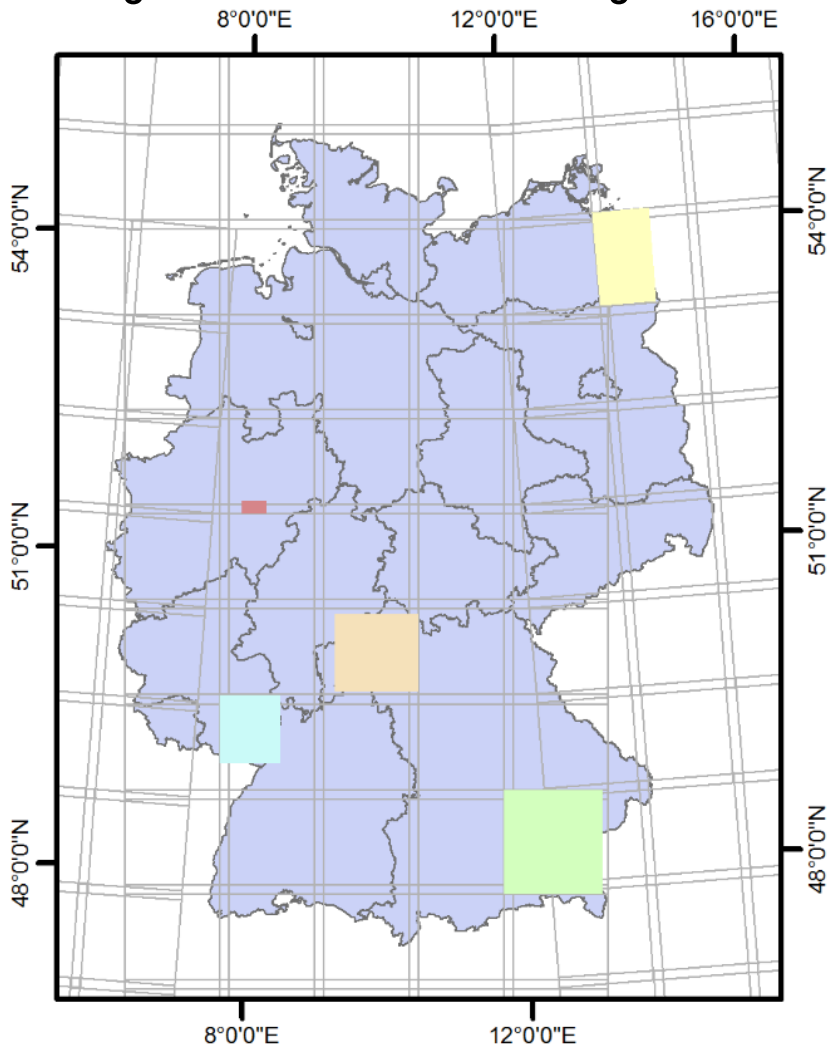
broadleaf

coniferous



Testgebiete UBA-Studie

- 5 Testgebiete über das Bundesgebiet verteilt

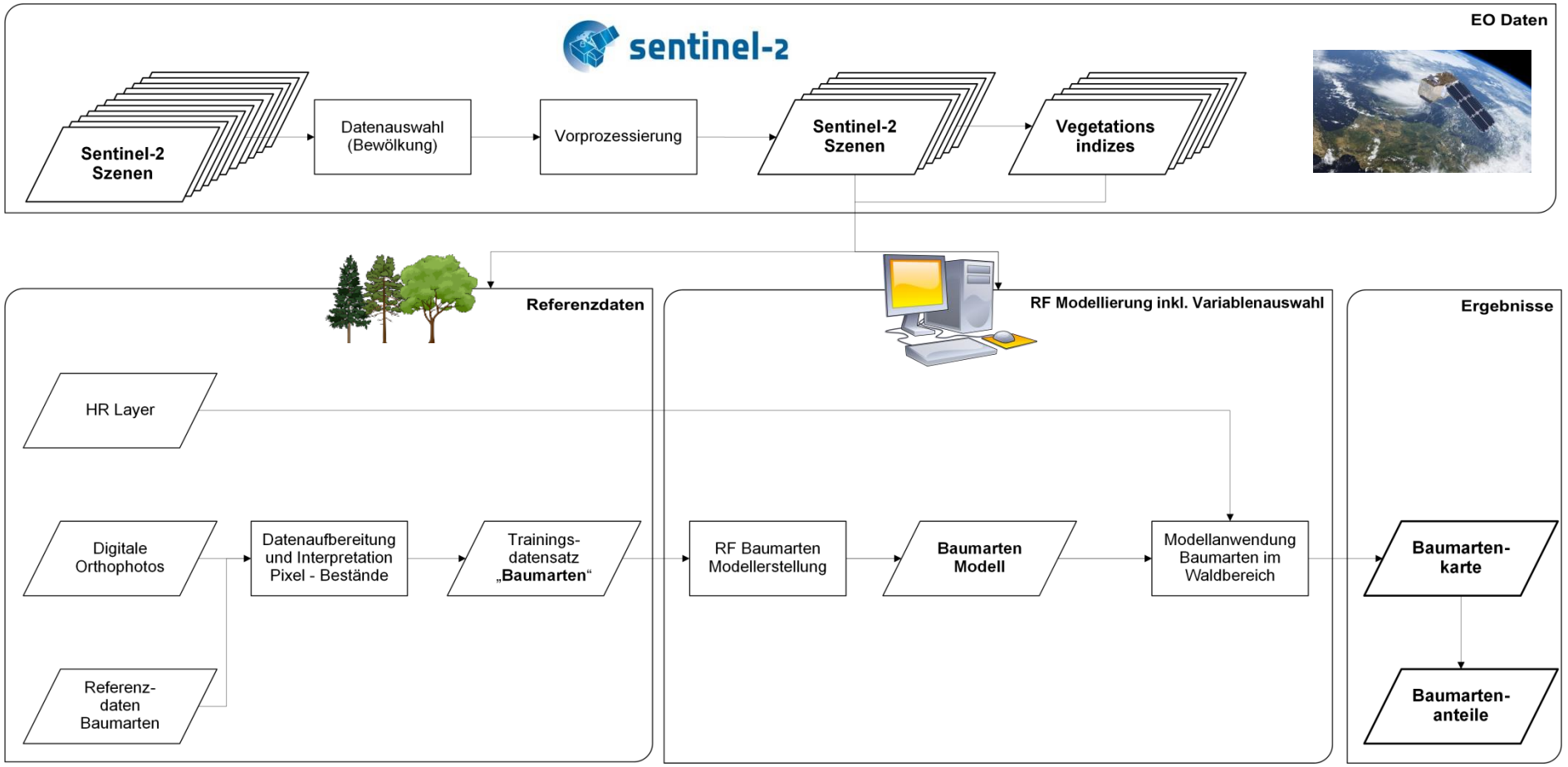


5 Testgebiete Baumartenklassifikation

- Mecklenburg
- Nordrhein-Westfalen
- Bayern Nord
- Bayern Sued
- Rheinland-Pfalz

- Sentinel-2-tiles

Klassifikationsablauf



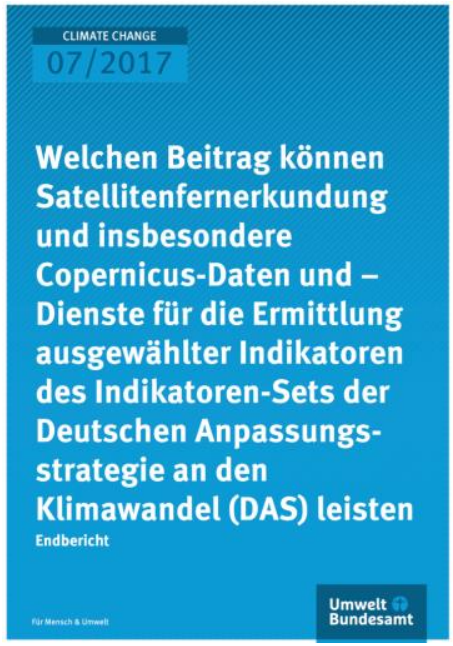
Datengrundlage

- Sentinel-2 Szenen und Referenzdatenset

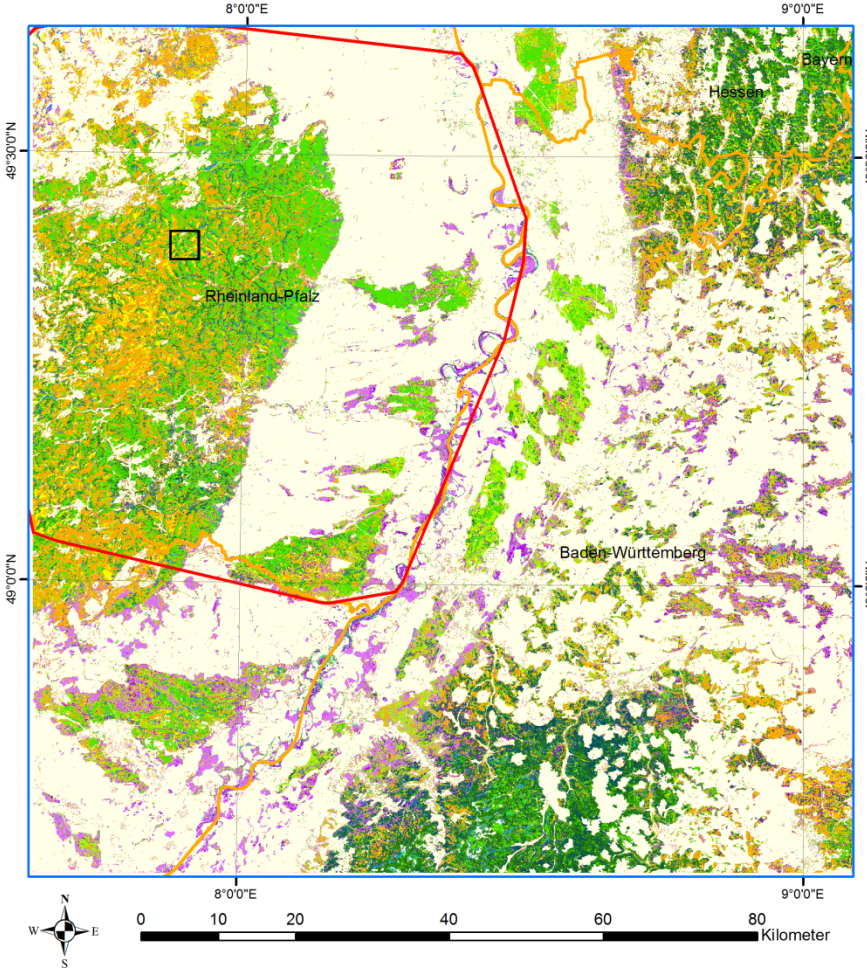
Testgebiet	*Verwendete Sentinel-2 Szenen*	*Fläche (km²)*	*Anzahl klassifizierte Baumarten*
Rheinland-Pfalz	**10**	4164.46	**10**
Mecklenburg-Vorpommern	**11**	5043.62	**16**
Nordrhein-Westfalen	**9**	337.44	**8**
Bayern Nord	**10**	5514.39	**8**
Bayern Süd	**5**	2096.72	**8**

Referenzdaten

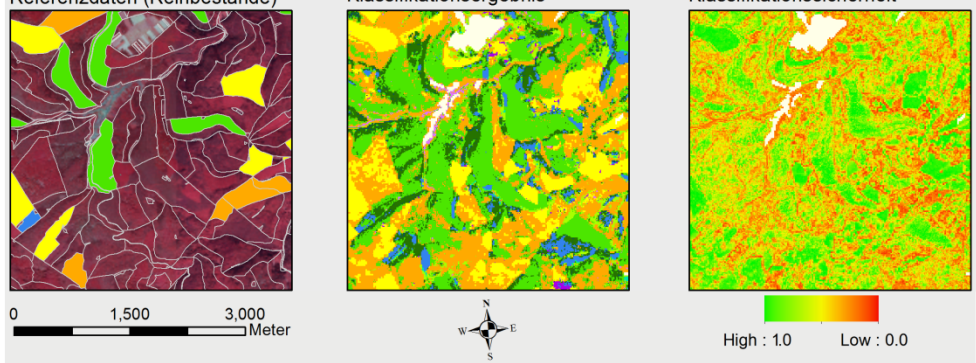
- Forsteinrichtungsdaten unterschiedlicher Forstämter /-betriebe
- Datensichtung und Aufbereitung
- Reinbestände der unterschiedlichen Baumarten ausgewählt
- Überprüfung / Interpretation mit Hilfe Orthophoto
- Auswahl von Referenzpixeln pro Bestand



Rheinland-Pfalz



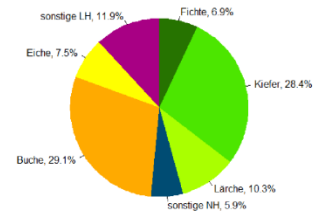
Detailkarten



Legende

- Testgebiet
- Bundeslandgrenze
- Detailkarten
- Nicht-Wald
- Fichte
- Kiefer
- Lärche
- Douglasie
- Tanne
- Buche
- Eiche
- Laubbäume langlebig
- Laubbäume kurzlebig
- Weide

Baumartenverteilung

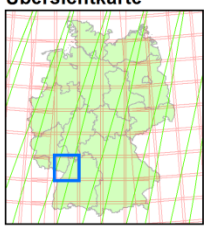


Klassifikationsmatrix

	FI	KI	LA	DO	TA	BU	EI	LBl	LBk	WEI	AG
Fichte	50	1	0	5	3	0	0	0	0	0	84.7%
Kiefer	2	99	1	3	0	0	0	0	0	1	93.4%
Lärche	1	1	42	0	1	1	0	0	0	0	91.3%
Dougalsie	2	0	0	43	4	0	0	0	0	0	87.8%
Tanne	4	0	0	0	20	0	0	0	0	0	83.3%
Buche	0	1	2	0	0	99	4	1	2	0	90.8%
Eiche	0	0	0	0	0	2	51	2	1	0	91.1%
Laubholz l	0	0	1	0	0	0	2	42	4	0	85.7%
Laubholz k	0	0	0	0	0	0	1	4	36	0	87.8%
Weide	0	0	2	0	0	0	0	1	0	31	91.2%
Summe Ref.	59	102	48	51	28	102	58	50	43	32	573
PG	84.7%	97.1%	87.5%	84.3%	71.4%	97.1%	87.9%	84.0%	83.7%	96.9%	

Gesamtgenauigkeit 89.5%

Übersichtkarte



Datenquellen

Eingangsdaten - 10 Sentinel2-Szenen

Aufnahmezeitraum - 05/2016 – 11/2017

Sentinel2-Tile - 32UMV

Waldmaske - Copernicus High Resolution Layer

Referenzdaten – Landesforsten Rheinland-Pfalz

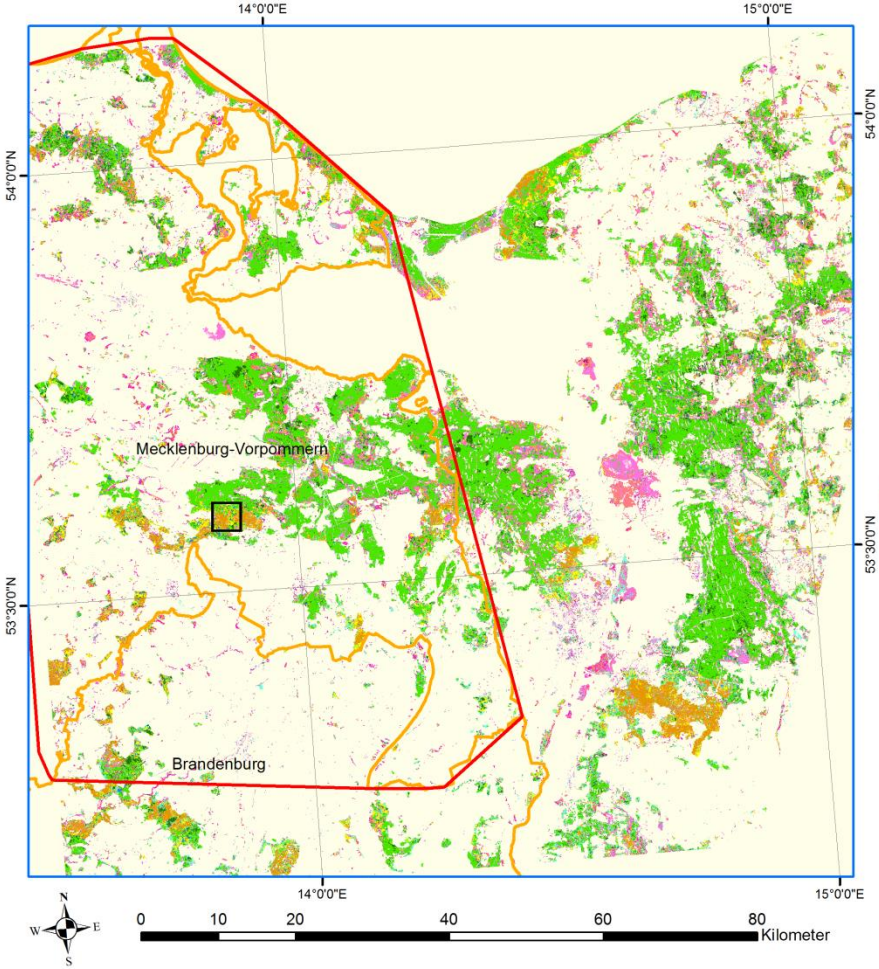
Methode – *randomforest* - Klassifikation

Umwelt Bundesamt

BOKU Universtiy of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information

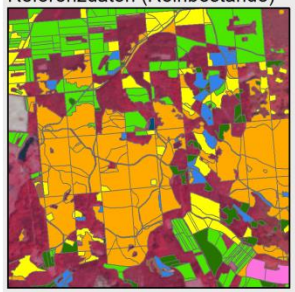
terranea

Mecklenburg-Vorpommern

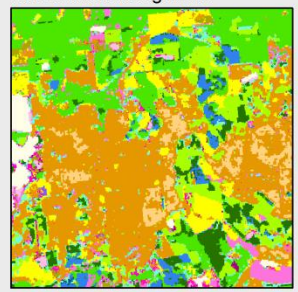


Detailkarten

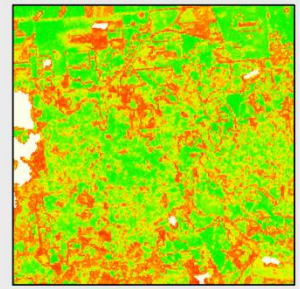
Referenzdaten (Reinbestände)



Klassifikationsergebnis



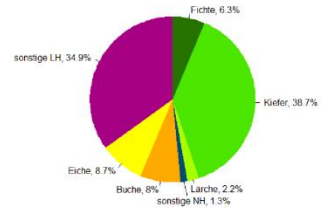
Klassifikationssicherheit



Legende

- Testgebiet
- Bundeslandgrenze
- Detailkarten
- Nicht-Wald
- Fichte
- Kiefer
- Lärche
- Douglasie
- Tanne
- Buche
- Buche jung
- Eiche
- Roteiche
- Esche
- Ahorn
- Erle
- Birke
- Birke jung
- Robinie
- Pappel

Baumartenverteilung

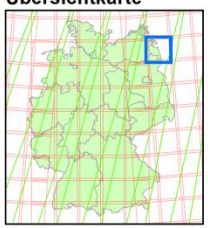


Klassifikationsmatrix

	FI	KI	LA	DOU	TA	BU	Buj	EI	REi	ES	AH	WEr	BI	Blj	RO	PAP	AG
Fichte	267	2	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.7%
Kiefer	4	186	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	7	89.0%
Lärche	1	0	167	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	98.2%
Douglasie	2	2	0	77	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.5%
Tanne	3	0	0	1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77.8%
Buche	0	0	1	0	0	172	3	9	1	3	0	1	0	0	0	2	89.6%
Buche jung	0	0	0	0	0	2	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.5%
Eichen	0	0	0	0	0	4	1	231	24	5	11	3	2	1	5	6	78.8%
Roteiche	0	0	0	0	0	0	0	4	52	0	2	0	0	0	0	0	89.7%
Esche	0	0	0	0	0	0	0	8	0	67	1	12	4	0	4	7	65.0%
Ahorn	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	28	1	0	0	0	0	87.5%
Weißerle	0	0	0	0	0	0	0	6	0	13	0	62	5	0	0	2	70.5%
Birke	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	57	1	0	5	83.8%
Birke jung	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0	0	92.6%
Robinie	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	16	0	88.9%
Pappeln	1	1	1	0	1	0	0	0	0	3	1	0	8	0	0	104	86.7%
Summe Ref.	279	192	170	92	31	178	46	260	77	96	43	82	81	27	25	134	1813
PG	95.7%	96.9%	98.2%	83.7%	45.2%	96.6%	91.3%	88.8%	67.5%	69.8%	65.1%	75.6%	70.4%	92.6%	64.0%	77.6%	

Gesamtgenauigkeit 86.4%

Übersichtkarte



Sentinel-Orbits
Sentinel-Tiles

Datenquellen

Eingangsdaten - 11 Sentinel2-Szenen

Aufnahmezeitraum - 07/2015 – 10/2017

Sentinel2-Tile – 33UVV

Waldmaske - Copernicus High Resolution Layer

Referenzdaten – Mecklenburg-Vorpommern

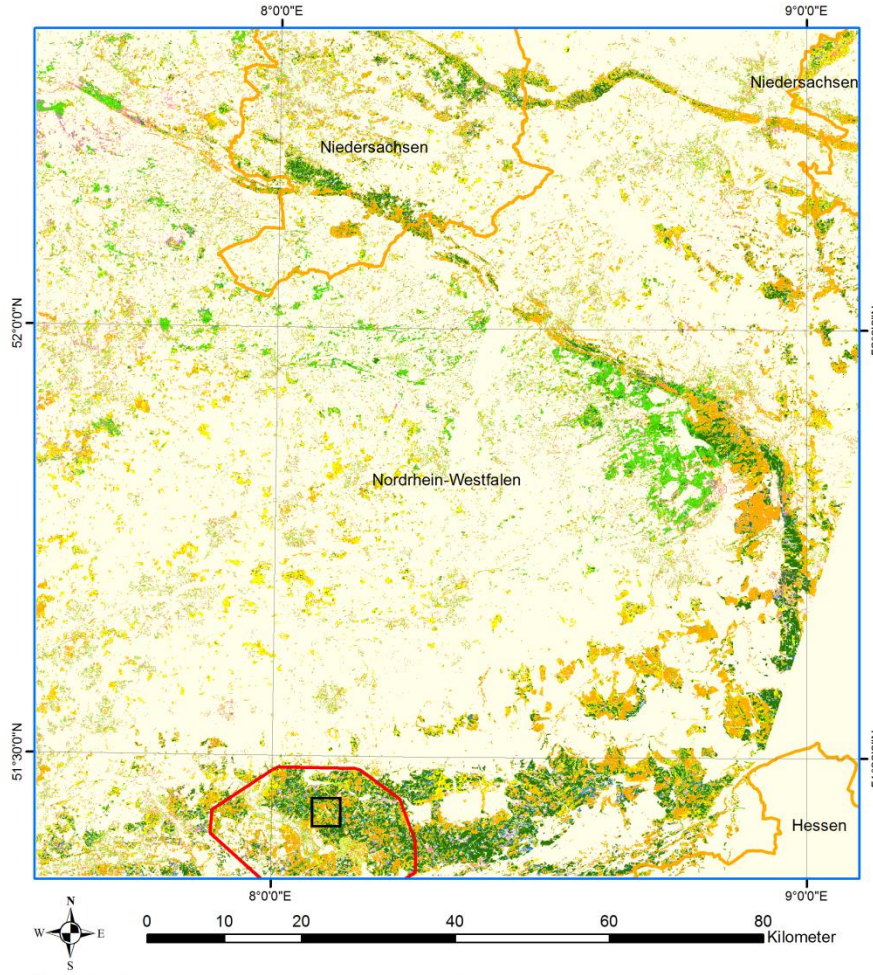
Methode – *randomforest* - Klassifikation

Umwelt Bundesamt

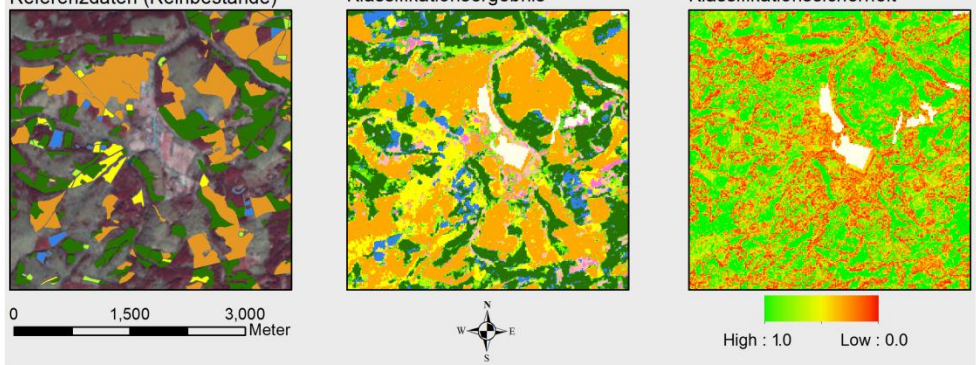
BOKU Universtiy of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information

terranea

Nordrhein-Westfalen



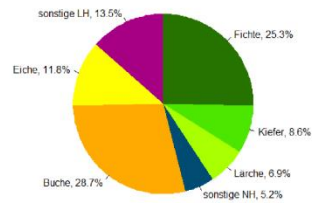
Detailkarten



Legende

- Testgebiet
- Bundeslandgrenze
- Detailkarten
- Nicht-Wald
- Fichte
- Kiefer
- Lärche
- Douglasie
- Buche
- Eiche
- Erle
- Birke

Baumartenverteilung

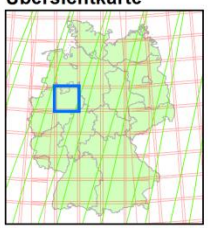


Klassifikationsmatrix

	FI	KI	LA	DO	BU	EI	ER	BIR	AG
Fichte	139	1	0	4	0	0	0	0	96.5%
Kiefer	1	23	2	1	0	0	0	1	82.1%
Lärche	0	5	54	0	0	0	0	1	90.0%
Douglasie	3	0	0	37	0	0	0	0	92.5%
Buche	0	0	0	0	102	6	0	2	92.7%
Eiche	0	0	0	0	2	64	0	1	95.5%
Erle	0	0	0	0	2	0	45	5	86.5%
Birke	0	1	0	0	0	1	1	12	80.0%
Summe Ref.	143	30	56	42	106	71	46	22	516
PG	97.2%	76.7%	96.4%	88.1%	96.2%	90.1%	97.8%	54.5%	

Gesamtgenauigkeit 92.2%

Übersichtkarte



Sentinel-Orbits
Sentinel-Tiles

Datenquellen

Eingangsdaten - 9 Sentinel2-Szenen

Aufnahmezeitraum - 05/2016 – 10/2017

Sentinel2-Tile - 32UMC

Waldmaske - Copernicus High Resolution Layer

Referenzdaten – NRW

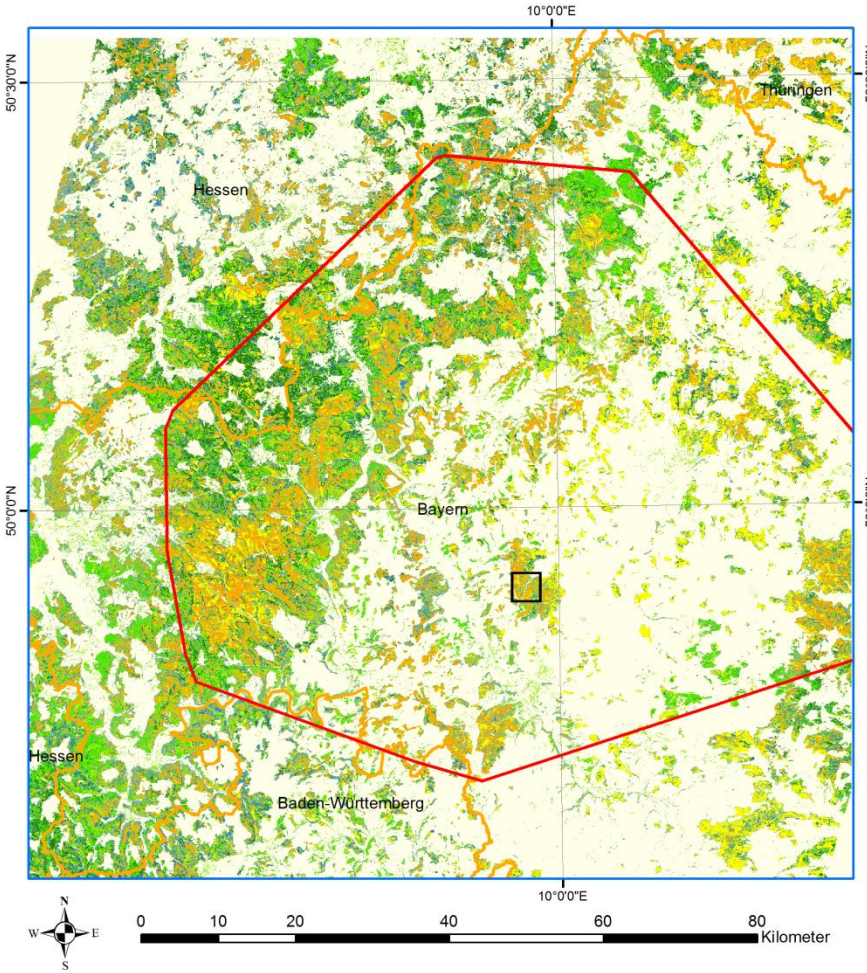
Methode – *randomforest* - Klassifikation

Umwelt Bundesamt

BOKU Universtiy of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information

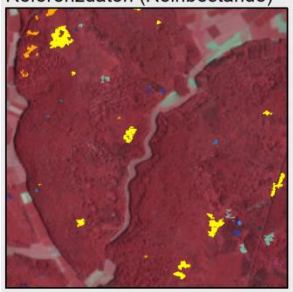
terranea

Bayern Nord

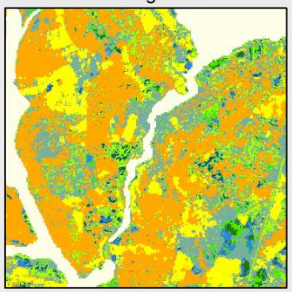


Detailkarten

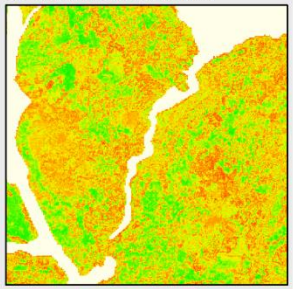
Referenzdaten (Reinbestände)



Klassifikationsergebnis



Klassifikationssicherheit

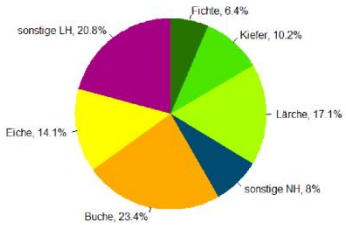


0 1,500 3,000 Meter

Legende

- Testgebiet
- Bundeslandgrenze
- Detailkarten
- Nicht-Wald
- Fichte
- Kiefer
- Lärche
- Douglasie
- Tanne
- Buche
- Eiche
- sonstige Laubbäume

Baumartenverteilung

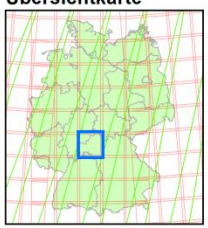


Klassifikationsmatrix

	FI	KI	LA	DO	TA	BU	EI	LB	AG
Fichte	153	6	0	5	8	0	0	0	89.0%
Kiefer	3	126	5	3	0	0	0	0	92.0%
Lärche	0	2	72	0	1	2	0	1	92.3%
Douglasie	7	0	1	74	4	0	0	0	86.0%
Tanne	3	0	0	1	23	0	0	0	85.2%
Buche	0	0	0	0	0	162	12	25	81.4%
Eiche	0	0	0	0	0	14	122	7	85.3%
sonst. Laubbäume	0	0	2	0	1	9	4	56	77.8%
Summe Ref.	166	134	80	83	37	187	138	89	914
PG	92.2%	94.0%	90.0%	89.2%	62.2%	86.6%	88.4%	62.9%	

Gesamtgenauigkeit 86.2%

Übersichtkarte



Sentinel-Orbits
Sentinel-Tiles

Datenquellen

Eingangsdaten - 10 Sentinel2-Szenen

Aufnahmezeitraum - 09/2016 – 08/2017

Sentinel2-Tile - 32UNA

Waldmaske - Copernicus High Resolution Layer

Referenzdaten – BAYSF, LWF

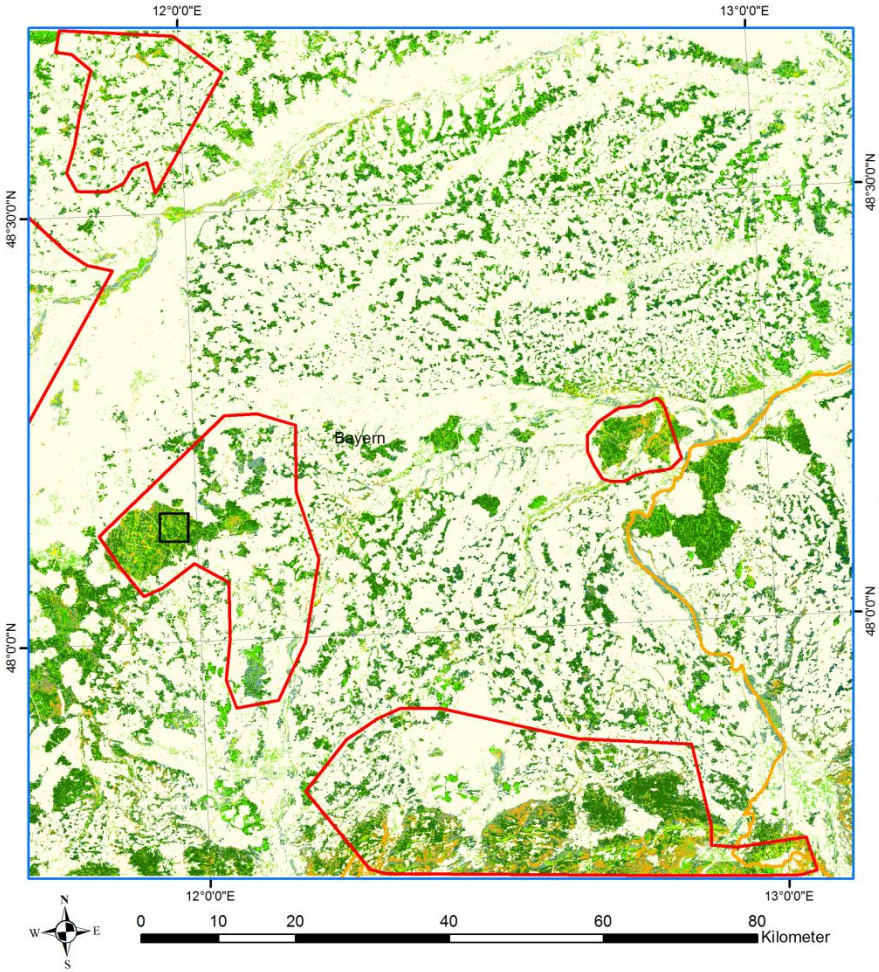
Methode – *randomforest* - Klassifikation

Umwelt Bundesamt

BOKU Universtiy of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information

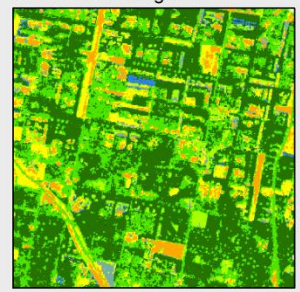
terranea

Bayern Süd



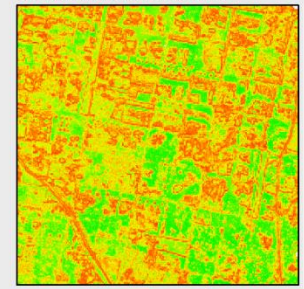
Detailkarten

Referenzdaten (Reinbestände)



Klassifikationsergebnis

Klassifikationssicherheit



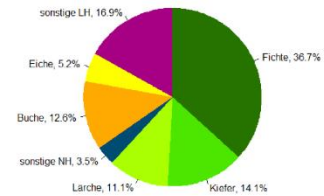
0 1,500 3,000 Meter

High : 1.0 Low : 0.0

Legende

- Testgebiet
- Bundeslandgrenze
- Detailkarten
- Nicht-Wald
- Fichte
- Kiefer
- Lärche
- Douglasie
- Tanne
- Buche
- Eiche
- sonstige Laubbäume

Baumartenverteilung

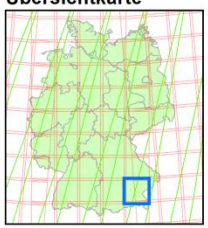


Klassifikationsmatrix

	FI	KI	LA	DO	TA	BU	EI	LB	AG
Fichte	265	13	2	8	12	0	1	0	88.0%
Kiefer	10	72	6	5	0	0	0	0	77.4%
Lärche	0	5	60	2	0	1	1	2	84.5%
Douglasie	0	0	0	9	0	0	0	0	100.0%
Tanne	6	0	0	1	33	0	0	0	82.5%
Buche	0	0	1	0	0	66	11	9	75.9%
Eiche	1	0	0	1	0	7	35	3	74.5%
sonst. Laubbäume	0	0	1	1	0	7	11	55	73.3%
Summe Ref.	282	90	70	27	45	81	59	69	723
PG	94.0%	80.0%	85.7%	33.3%	73.3%	81.5%	59.3%	79.7%	

Gesamtgenauigkeit 82.3%

Übersichtkarte



Sentinel-Orbits
Sentinel-Tiles

Datenquellen

Eingangsdaten - 5 Sentinel2-Szenen

Aufnahmezeitraum - 07/2015 – 10/2017

Sentinel2-Tile - 32UQU

Waldmaske - Copernicus High Resolution Layer

Referenzdaten – BAYSF, LWF

Methode – *randomforest* - Klassifikation

Umwelt Bundesamt

BOKU Universtiy of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information

terranea

Zusammenfassung

- Ergebnisübersicht (5 wichtigste Baumarten)

	Gesamt		*Fichte*		*Kiefer*		*Lärche*		*Buche*		*Eiche*	
	OA	**Kappa**	**PA**	**UA**	**PA**	**UA**	**PA**	**UA**	**PA**	**UA**	**PA**	**UA**
Rheinland-Pfalz	0.895	0.881	0.847	0.847	**0.971**	**0.934**	0.875	0.913	**0.971**	0.908	0.879	0.911
Mecklenburg	0.864	0.850	0.957	0.937	0.969	0.890	**0.982**	**0.982**	0.966	0.896	0.888	0.788
Nordrhein-Westfalen	**0.923**	**0.906**	**0.972**	**0.965**	0.767	0.821	0.964	0.900	0.962	**0.927**	**0.901**	**0.955**
Bayern Nord	0.862	0.838	0.922	0.890	0.940	0.920	0.900	0.923	0.866	0.814	0.884	0.853
Bayern Süd	0.823	0.773	0.940	0.880	0.800	0.774	0.857	0.845	0.815	0.759	0.593	0.745

Schlussfolgerungen

- Robuster, kosteneffizienter und bundesweit skalierbarer Ansatz zur Baumartenklassifikation wurde entwickelt, der hohe Genauigkeiten erlaubt
- Baumartenabhängige klassenspezifische Genauigkeiten zwischen 73 und 97%
- Erzielbare Genauigkeiten stark abhängig von Verfügbarkeit und Qualität der Referenzdaten
- In Zukunft (Sentinel-2 A und B) deutlich mehr Szenen verfügbar, dadurch weitere Genauigkeitssteigerungen möglich
- Zusätzlich zum Klassifikationsergebnis werden weitere Kartenprodukte (Sicherheitsmarge und 2. Baumart) abgeleitet
- Cloud Plattformen stehen zur Verfügung (e.g. EODC und DIAS) für großflächige Anwendung der Methodik

Kontakt

Clement Atzberger & Markus Immitzer

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation

clement.atzberger@boku.ac.at, markus.immitzer@boku.ac.at
Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien
Tel.: +43-1-47654-85700, www.boku.ac.at/ivfl.hmtl

Gunter Zeug

Terranea UG (haftungsbeschränkt)

gunter.zeug@terranea.de
Richard-Wagner-Str.6
63927 Bürgstadt