



### **Warum wurde das Jahr 2017 und kein aktueller Zeitraum gewählt?**

Das Referenzjahr 2017 wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Die für die Klassifikation der dominanten Hauptbaumarten verwendeten Satellitendaten stammen von SENTINEL-2A (Launch: 23 June 2015) und SENTINEL-2B (Launch: 7 March 2017). Um ein Klassifikationsmodell zu erstellen, ist ein gesamtes Aufnahmejahr notwendig, damit die Phänologie (Entwicklungsstadien) der Bäume über die Jahreszeiten abgedeckt ist. Das Jahr 2017 ist zeitlich nahe an den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur (BWI), deren Ergebnisse 2014 verfügbar wurden. Somit ist eine Kombination beider Datensätze mit größtmöglicher zeitlicher Übereinstimmung möglich.
- Die Methode der Baumartenklassifikation basiert auf der Unterscheidung unterschiedlicher Phänologien der Baumarten. Da die Dürrejahre 2018, 2019 und 2020 diese Phänologien teilweise bis heute beeinflusst haben, wäre bei der Nutzung von Satellitendaten jüngerer Zeiträume die Güte der Klassifikation negativ beeinflusst.
- Das Referenzjahr 2017 ermöglicht eine Analyse der Waldstörungen (2016-2020) pro Baumart.

### **Warum wurden keine weiteren Baumarten berücksichtigt?**

Ziel der Studie war eine Betrachtung der am häufigsten vorkommenden Baumarten, die auch für die Forstwirtschaft die größte Bedeutung haben. Laut der Bundeswaldinventur, bedecken die vier Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche ca. 73% der deutschen Waldfläche. Die Baumarten die in dieser Studie berücksichtigt werden konnten, waren zudem durch die Referenzdaten der Bundeswaldinventur begrenzt, da für jede Baumart ausreichend Trainingsdaten für das Klassifikationsmodell notwendig sind. Daher konnten hier sieben Klassen unterschieden werden: Fichte, Kiefer, Buche, Eiche, Douglasie, Lärche und andere Laubbaumarten. Douglasie und Lärche konnten zudem nicht in allen Bereichen in Deutschland klassifiziert werden, da regional zu wenige Referenzdaten zur Verfügung standen. Wenn

zukünftig mehr Referenzdaten für die weniger häufig vorkommenden Baumarten zur Verfügung stehen würden, könnte die Klassifikation in Bezug auf die thematische Tiefe (Anzahl der Baumarten) sowie deren Genauigkeit verbessert werden.

## Welche räumliche Auflösung haben die Geoinformationen?

Die Sentinel-2 Daten, welche genutzt wurden um den Waldzustand zu erfassen, haben eine räumliche Auflösung von 10-20m pro Pixel, je nach Spektralkanal. Die Spektralkanäle mit 20m räumlicher Auflösung wurden mit den Informationen der 10m-Kanälen so kombiniert, dass eine 10m räumliche Auflösung der Informationsprodukte erreicht wurde. Das bedeutet, dass ein Pixel auf der Karte eine Fläche von 10x10m zeigt.

## Wie ist die Genauigkeit der Karte der dominanten Baumarten?

Jede satellitenbasierte Klassifikation von Landbedeckungen haben gewisse lokale Ungenauigkeiten. Dies ist unter anderem darin begründet, dass komplexe Ökosysteme mit einer Vielzahl an möglichen Ausprägungen und Übergängen, bei deren Klassifikation in diskrete Klassen überführt werden müssen. Daher ist es wichtig die Klassifikationsgüte zu ermitteln, um die möglichen lokalen Einschränkungen oder Ungenauigkeiten quantitativ zu ermitteln.

Zunächst wurde eine quantitative Validierung anhand von ca. 6000 Inventurplots der Bundeswaldinventur durchgeführt. Dabei wurde für jede Hauptbaumartenklasse ein statistisches Gütekriterium, der sogenannte F1-score ermittelt. Die folgende Tabelle zeigt F1-score Bereiche der verschiedenen regionalen Klassifikationsmodelle:

| Dominante Hauptbaumart | F1-score Bereich |
|------------------------|------------------|
| Kiefer                 | 0,79-0,92        |
| Fichte                 | 0,88-0,96        |
| Douglasie              | 0,69-0,74        |
| Lärche                 | 0,75             |
| Buche                  | 0,83-0,87        |
| Eiche                  | 0,76-0,78        |
| Andere Laubbaumarten   | 0,60-0,80        |

Der F1-score kann beispielsweise so interpretiert werden, dass die Klassifikation von Fichtenbeständen in etwa eine Genauigkeit zwischen 88% und 96% aufweist, während Lärchenbestände nur mit einer Genauigkeit von ca. 75% klassifiziert werden können. Grundsätzlich wurde festgestellt, dass die Baumarten für die die wenigsten Referenzdaten aus der BWI zur Verfügung standen, die geringsten Klassifikationsgenauigkeiten aufwiesen.

### Informationen zum F1-Score:

Der F1-Score ist ein statistisches kombiniertes Gütemaß für Klassifikationen. Dieser kann als gewichteter harmonischer Durchschnitt von Genauigkeit und Trefferquote interpretiert werden, wobei ein F1-Score seinen besten Wert bei 1 und seinen schlechtesten Wert bei 0 erreicht. Die Formel für den F1-Score lautet:

$$F_1 = 2 * (\text{Genauigkeit} * \text{Trefferquote}) / (\text{Genauigkeit} + \text{Trefferquote})$$

, wobei *Genauigkeit* = Anzahl richtiger Positiver/Anzahl aller Positiver und *Trefferquote* = Anzahl korrekt positiver Ergebnisse/Anzahl aller relevanter Proben (Proben die als positiv hätten identifiziert werden müssen)

### Ist die Karte der dominanten Hauptbaumarten räumlich plausibel?

Neben der oben beschriebenen quantitativen Analyse der Genauigkeiten, wurden weitere Plausibilitätsprüfungen durchgeführt. Dabei wurde die Klassifikation mit völlig unabhängigen Forsteinrichtungsdaten aus Kommunalwäldern verglichen. Bei diesem Vergleich muss berücksichtigt werden, dass zum einen ein zeitlicher Unterschied zwischen der Aufnahme der Forsteinrichtungsdaten und der Klassifikation aus 2017 besteht, und zum anderen die Forsteinrichtungsdaten nur die Hauptbaumart pro Abteilungsgrenzen ausweisen (mögliche Heterogenitäten der Baumarten innerhalb der Abteilungsgrenzen werden nicht abgebildet). Dennoch zeigt dieser Vergleich (siehe Beispiel in Abbildung 1) die gute räumliche Übereinstimmung der Baumartenkarte mit den Forsteinrichtungsdaten, sowie Bereiche in denen offensichtlich Unterschiede bestehen.

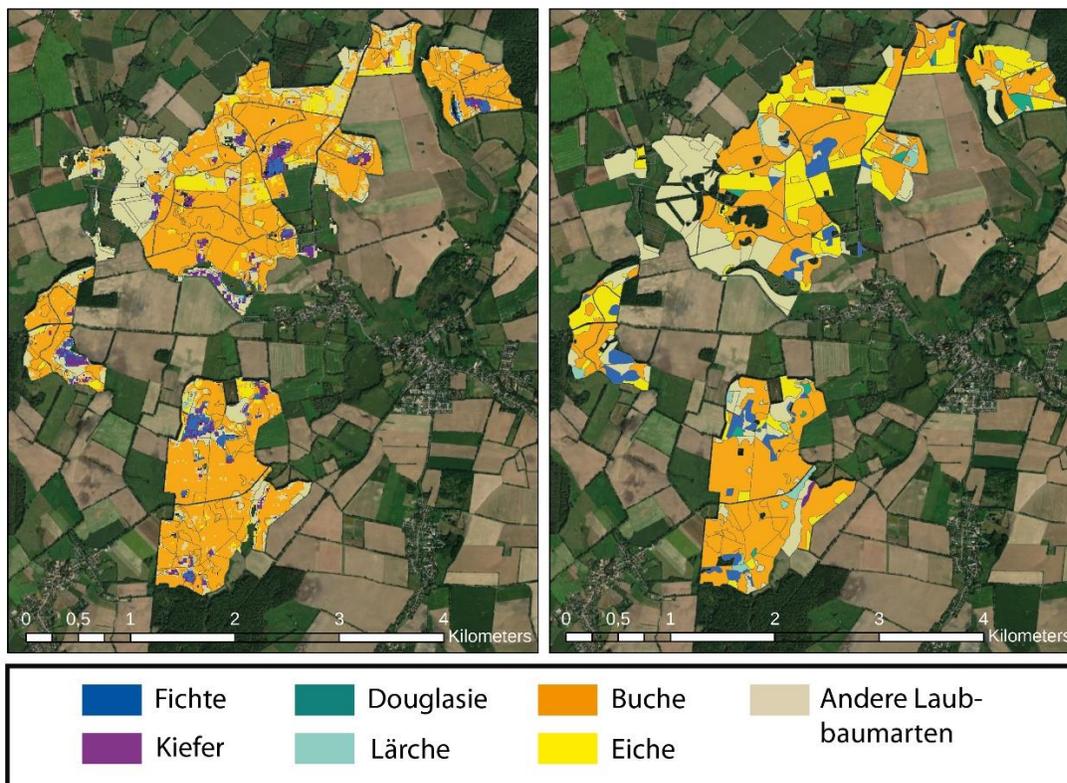


Abbildung 1: Vergleich der Satelliten-basierten Klassifikation der dominanten Hauptbaumarten (links) mit Forsteinrichtungsdaten rechts (Hauptbaumart pro Abteilungsgrenzen)

### Ist die Karte in Bezug auf die Flächenangaben der Baumarten vergleichbar zu der BWI?

Als weitere Plausibilitätsprüfung wurden die Flächen der Hauptbaumarten zwischen den Klassifikationsergebnissen und den Ergebnissen der dritten Bundeswaldinventur (BWI) für jedes Bundesland verglichen. Die Ergebnisse des Vergleichs und deren Abweichungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Konkret wurden die prozentualen Anteile jeder Hauptbaumart an der Waldfläche in den einzelnen Bundesländern verglichen. Dabei steht BWI für Bundeswaldinventur und DBA für klassifizierte dominante Hauptbaumart. Diff. steht für Differenz zwischen BWI und DBA.

*Tabelle 1: Flächenvergleich der Hauptbaumarten zwischen der Satelliten-basierten Klassifikation und der Daten der Bundeswaldinventur pro Bundesland*

| Dominierende Hauptbaumart | Kiefer |      |      | Fichte |      |      | Douglasie |     |      | Lärche |     |      | Buche |      |      | Eiche |      |      | Andere LBA |      |      |
|---------------------------|--------|------|------|--------|------|------|-----------|-----|------|--------|-----|------|-------|------|------|-------|------|------|------------|------|------|
|                           | BWI    | DBA  | Diff | BWI    | DBA  | Diff | BWI       | DBA | Diff | BWI    | DBA | Diff | BWI   | DBA  | Diff | BWI   | DBA  | Diff | BWI        | DBA  | Diff |
| BW                        | 5.8    | 7.6  | 1.8  | 41.4   | 47.7 | 5.3  | 3.3       | 2.9 | -0.4 | 1.7    | 0.0 | -1.7 | 21.5  | 19.0 | -2.5 | 7.5   | 8.5  | 1.0  | 17.1       | 15.3 | -1.9 |
| BY                        | 16.8   | 17.3 | 0.5  | 43.2   | 56.0 | 12.8 | 0.8       | 0.0 | -0.8 | 2.1    | 0.0 | -2.1 | 13.6  | 13.3 | -0.3 | 6.6   | 3.6  | -3.0 | 14.7       | 9.8  | -4.9 |
| BB & BE                   | 70.1   | 72.4 | 2.3  | 1.8    | 3.2  | 1.4  | 1.0       | 0.2 | -0.8 | 1.2    | 0.8 | -0.4 | 3.3   | 3.0  | -0.3 | 6.6   | 4.6  | -2.0 | 14.6       | 15.8 | 1.2  |
| HE                        | 9.3    | 8.4  | -0.9 | 21.8   | 28.3 | 6.5  | 3.6       | 1.8 | -1.8 | 4.6    | 0.3 | -4.3 | 30.1  | 31.9 | 1.8  | 13.2  | 14.2 | 1.0  | 14.2       | 15.2 | 1.0  |
| MV                        | 36.7   | 38.5 | 1.8  | 7.7    | 8.5  | 0.9  | 1.4       | 0.5 | -0.9 | 3.1    | 1.0 | -2.1 | 12.3  | 12.2 | 0.1  | 9.4   | 6.6  | -2.8 | 27.2       | 32.6 | 5.4  |
| NI                        | 28.6   | 33.5 | 4.9  | 16.8   | 18.8 | 2.0  | 2.4       | 1.1 | -1.3 | 4.7    | 0.9 | -3.7 | 13.5  | 13.0 | -0.5 | 12.3  | 9.8  | -2.5 | 19.1       | 22.8 | 3.7  |
| NW                        | 6.7    | 11.6 | 4.9  | 29.5   | 30.0 | 0.5  | 1.7       | 1.0 | -0.7 | 3.3    | 1.1 | -2.2 | 18.3  | 16.7 | -1.6 | 16.0  | 16.3 | 0.3  | 20.7       | 23.3 | 2.6  |
| RP                        | 9.9    | 9.5  | -0.4 | 20.2   | 26.9 | 6.8  | 6.4       | 5.5 | -0.9 | 2.4    | 0.1 | -2.3 | 21.8  | 23.3 | 1.5  | 20.2  | 18.0 | -2.2 | 16.8       | 16.6 | -0.2 |
| SL                        | 5.1    | 2.4  | -2.7 | 12.4   | 22.7 | 10.3 | 3.7       | 5.2 | 1.5  | 2.5    | 0.0 | -2.5 | 19.8  | 22.9 | 3.1  | 19.8  | 16.7 | -3.1 | 34.4       | 30.1 | -4.3 |
| SN                        | 28.2   | 27.9 | -0.3 | 34.5   | 44.7 | 10.2 | 0.2       | 0.1 | -0.1 | 3.4    | 0.5 | -2.9 | 4.2   | 4.5  | 0.3  | 8.6   | 5.5  | -3.1 | 18.7       | 16.8 | -1.9 |
| ST                        | 42.6   | 48.0 | 5.4  | 9.9    | 12.3 | 2.4  | 0.5       | 0.3 | -0.2 | 2.4    | 0.9 | -1.5 | 6.7   | 9.3  | 2.6  | 12.3  | 8.5  | -3.8 | 21.2       | 20.7 | -0.5 |
| SH                        | 7.7    | 12.9 | 5.2  | 17.4   | 17.9 | 0.5  | 2.0       | 1.4 | -0.6 | 7.4    | 0.8 | -6.6 | 19.3  | 12.2 | -7.0 | 15.8  | 16.4 | 0.6  | 28.9       | 38.4 | 9.5  |
| TH                        | 14.1   | 23.3 | 9.2  | 38.5   | 37.5 | -1.0 | 0.4       | 0.1 | -0.3 | 3.2    | 0.2 | -3.0 | 19.8  | 21.5 | 1.7  | 6.8   | 7.9  | 1.1  | 15.5       | 9.5  | -5.9 |
| HH & HB                   | 10.6   | 26.5 | 15.9 | 2.2    | 10.7 | 8.5  | 0.9       | 0.5 | -0.4 | 2.4    | 1.2 | -1.2 | 11.2  | 2.8  | -8.4 | 18.9  | 11.5 | -7.4 | 44.4       | 46.8 | 2.5  |



**Naturwald  
Akademie**

### **Gibt es Hinweise wo die Karte die meisten Ungenauigkeiten aufweist?**

Die verschiedenen Validierungen und Plausibilitätsprüfungen haben gezeigt, dass die Karte der dominanten Hauptbaumarten gute Klassifikationsgüten aufweist und quantitativ und qualitativ belastbare Aussagen trifft. Dennoch kann es insbesondere in Bereichen mit nicht walddtypischem Untergrund (inner-urbane Baumbestände oder entlang Verkehrswegen) sowie in Gebieten mit einer sehr komplexen Waldstruktur (mit kleinräumig diversen Mischbeständen und stark unterschiedlich geneigtem Terrain wie beispielsweise im Nord-Schwarzwald und in Teilen des Pfälzer Wald) zu gewissen Ungenauigkeiten kommen.

***Wir laden alle Interessensgruppen ein, bei der weiteren Validierung zu unterstützen und freuen uns diesbezüglich auf Ihr feedback: [support@remote-sensing-solutions.com](mailto:support@remote-sensing-solutions.com)***

### **Gibt es zukünftig noch mehr Informationen dieser Art über die Wälder?**

Unser System zur Satelliten-basierten Beobachtung der Wälder wird ständig verbessert, erweitert und aktualisiert. Die Palette an Informationen, die wir so Waldbesitzenden, Kommunen und Ministerien anbieten können sollen ständig fortgeschrieben werden. So können nicht nur schnell Schadflächen gefunden, sondern auch der Fortschritt der Waldentwicklung und der Aufforstungsaktivitäten verlässlich dokumentiert werden. Unser Ziel ist es die Zukunft des Waldes auch digital zu verfolgen und zu dokumentieren.

### **Kann man die Daten erwerben oder das Monitoringsystem auf regionaler oder kommunaler Ebene implementieren?**

Bitte kontaktieren Sie uns, um individuelle Möglichkeiten der Datennutzung oder Datenimplementierung zu besprechen.

### **Bei weiteren Fragen kontaktieren Sie uns bitte unter:**

Naturwald Akademie gGmbH, Dr. Torsten Welle: [welle@naturwald-akademie.org](mailto:welle@naturwald-akademie.org)

Remote Sensing Solutions GmbH, Dr. Jonas Franke: [franke@rssgmbh.de](mailto:franke@rssgmbh.de)