

Fichten- und Kiefernkarte für Bayern

Identifikation anpassungsnotwendiger Fichten- und Kiefernbestände auf Basis von digitalen Satellitendaten

Markus Immitzer, Clement Atzberger, Kathrin Einzmann, Sebastian Böck, Matteo Mattiuzzi, Adelheid Wallner, Rudolf Seitz, Nicole Pinnel, Andreas Müller und Matthias Frost

Durch den Klimawandel werden sich die Wachstumsbedingungen für die verschiedenen Baumarten verändern. Die im Zuge des LWF-Projekts »KLIP 4« erstellten Risikokarten einzelner Baumarten weisen Bereiche mit zukünftig hohem Gefährdungspotenzial auf. Da aber bisweilen keine verlässlichen Informationen mittlerer räumlicher Auflösung über die Verbreitung einzelner Baumarten vorhanden sind, wurde das Fernerkundungsprojekt »Treident_Fi/Kie« gestartet. Das Ziel war die Erstellung von Verbreitungskarten der Fichte- und Kiefernorkommen in Bayern auf Basis von Satellitendaten in Hektarzellen. Die nun flächenhaft vorliegenden Karten können in weiterer Folge mit den Risikokarten verschnitten werden, um Schwerpunktgebiete für Waldumbauprojekte zu identifizieren.

Die Fichte zählt in Bayern zu den am stärksten von den Folgen des Klimawandels betroffenen Baumarten. In mehreren Regionen (z. B. Mittelfranken) wird bereits ein deutlicher Rückgang ihrer Verbreitungsfläche beobachtet. Im Rahmen der forstlichen Beratung wird anhand der Klimarisikokarten des LWF-Projektes »KLIP 4« auf die Gefährdungssituation der Fichte in den kommenden Jahrzehnten hingewiesen (Kölling et al. 2009). Es fehlen jedoch verlässliche, flächendeckende Daten in mittlerer Auflösung (Flächengröße 1 ha) über die Verbreitung dieser Baumart für den Gesamtwald Bayerns, die sowohl für die forstliche Beratung als auch als Grundlage für langfristige Monitoringvorhaben dienen können. Ähnliches gilt für die Kiefer.

Um der besonderen Rolle von Fichte und Kiefer im Rahmen der Klimawandeldiskussion gerecht zu werden, ist es notwendig, ihr tatsächliches Vorkommen in Bayern mit ausreichender Genauigkeit festzustellen – und dies auf objektive und reproduzierbare Art. Prinzipiell ließe sich diese Information aus räumlich sehr hoch aufgelösten (VHR) satellitengestützten Fernerkundungsdaten ableiten. Aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten für die Daten (bei Verwendung von kommerziellen Satelliten mit entsprechender räumlicher Auflösung) und der benötigten Prozessierungskapazität scheiden solche Verfahren jedoch aus. Im vorliegenden Projekt wurde daher eine kostengünstigere Alternative entwickelt und bayernweit umgesetzt. Als Ergebnis stehen nun flächenhafte Verbreitungskarten für Fichte und Kiefer zur Verfügung, die den Gesamtwald in Bayern umfassen. Die Methodik wurde umfangreich validiert und ist prinzipiell für andere Regionen, wie auch für weitere Baumarten, anwendbar. Ein regelmäßiges Monitoring ist ebenfalls möglich.

Methode

Zur Kartierung der prozentualen Anteile von Fichte und Kiefer in 1 ha-Zellen wurde ein zweistufiges Verfahren entwickelt. Der erste Schritt beinhaltet die objektbasierte Klassifikation von WorldView-2 (WV2) Satellitendaten. Dabei handelt es sich um sehr hoch aufgelöste, qualitativ hochwertige Satellitenda-

ten zu vergleichsweise hohen Preisen. Bei diesem Schritt wurden über ganz Bayern verteilt für circa 20 % der Landesfläche Baumartenkarten erstellt.

Im zweiten Schritt wurden diese über Bayern verteilten Baumartenkarten auf die Gesamtfläche Bayerns überführt (upscaling). Dazu wurden kostenfreie und flächendeckend vorhandene Landsat-Satellitenszenen verwendet. Mit diesen Daten wurden Modelle erstellt, welche die Anteile der drei Klassen aus den Baumartenkarten erklären sollten. Diese Modelle wurden anschließend auf die bayernweit vorhandenen Landsat-Daten angewendet um flächendeckende Schätzungen zu erhalten. Die wichtigsten Arbeitsschritte sind in Abbildung 1 illustriert und im Folgenden detaillierter erklärt.

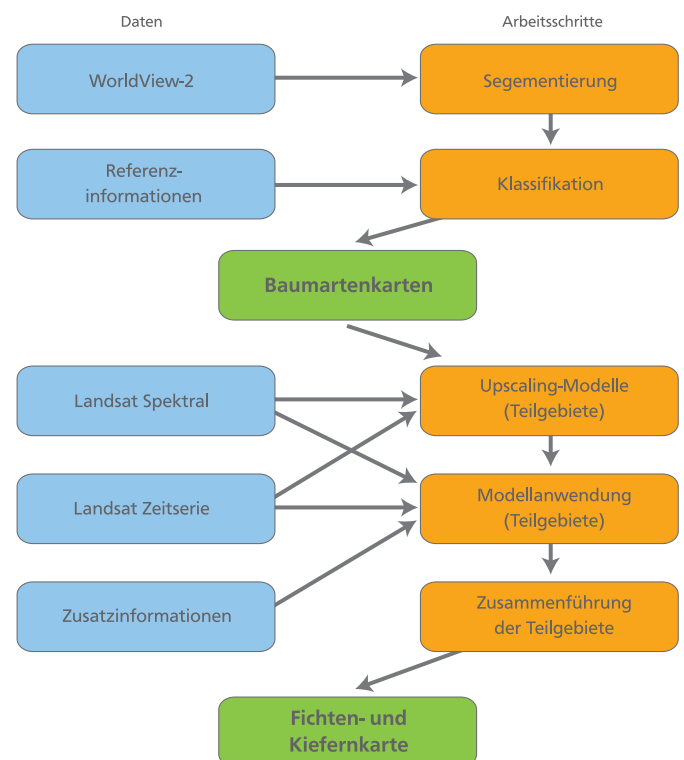
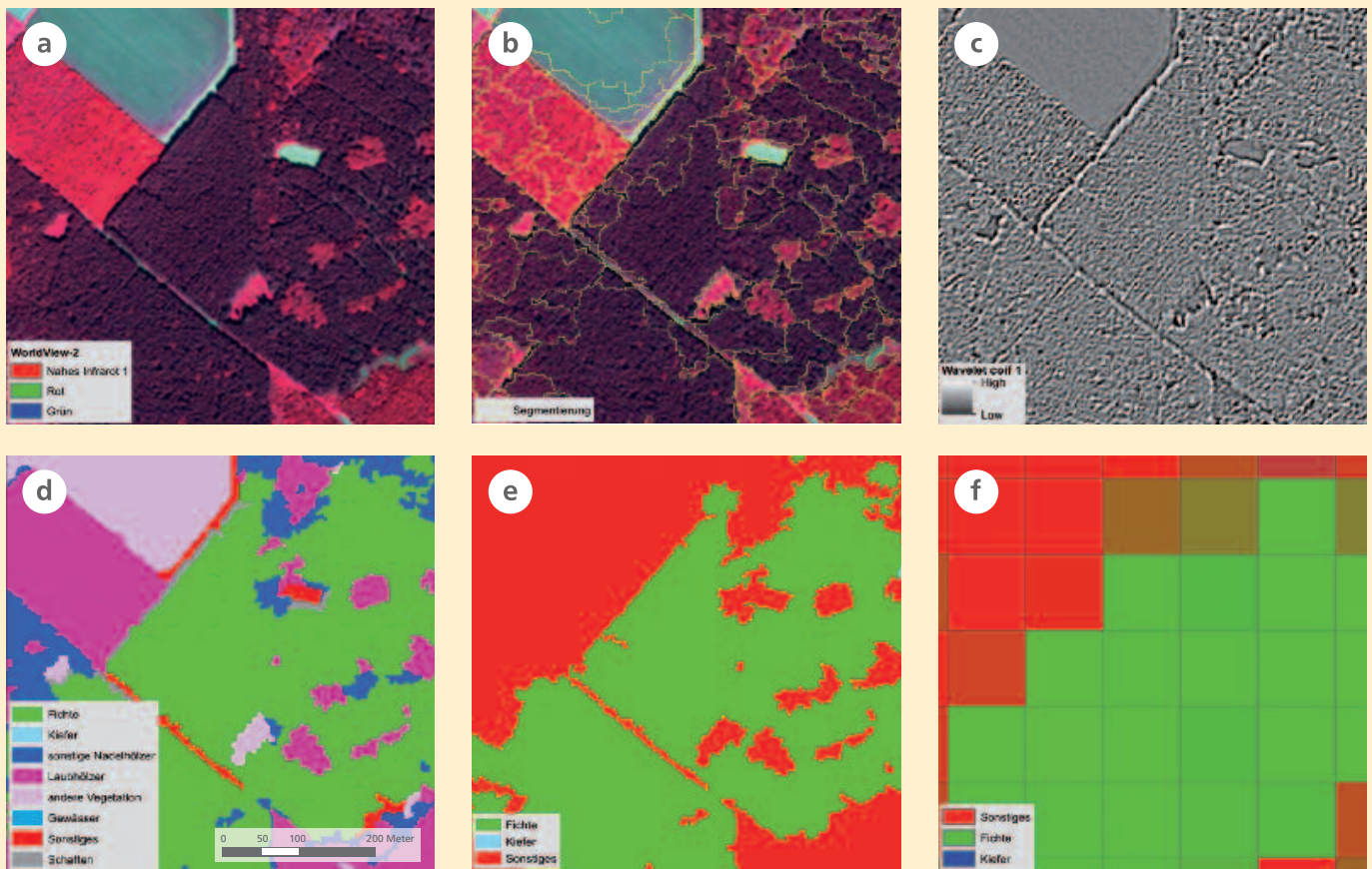


Abbildung 1: Ablauf der zweistufigen Kartenerstellung



Baumartenkarten aus sehr hoch aufgelösten Satellitendaten

Zur Erstellung der Baumartenkarten wurden über ganz Bayern verteilt WorldView-2 (WV2) Szenen bestellt. WV2 ist ein kommerzieller Satellit, der seit Anfang 2009 räumlich und spektral hochaufgelöste Fernerkundungsdaten liefert, welche sich für viele forstliche Fragestellungen gut eignen (Immitzer et al. 2012; Wallner et al. 2015). Die räumliche Auflösung beträgt im panchromatischen Kanal 50 cm und in den acht multispektralen Kanälen 200 cm. Die räumliche Verteilung dieser relativ teuren Satellitendaten wurde an die forstlichen Wuchsgebiete von Bayern angelehnt (Walentowski et al. 2001). Gleichzeitig wurde auch auf die Verfügbarkeit von Referenzdaten in Form von Betriebsinventurdaten der Bayerischen Staatsforsten geachtet. Wenn möglich wurde bei der Bestellung der Satellitendaten auf Archivdaten zurückgegriffen, da diese kostengünstiger waren. Für Gebiete, von welchen keine Archivdaten vorhanden waren, wurden mit entsprechenden Zusatzkosten neue WV2-Szenen in Auftrag gegeben.

Für die Erstellung der Baumartenkarten wurde ein objektbasierter Klassifizierungsansatz gewählt. Dazu wurden die WV2-Szenen einer automatisierten Segmentierung (Baatz und Schäpe 2000) unterzogen. Ziel der Segmentierung war es, möglichst klassenreine Segmente zu erhalten, weshalb eine Übersegmentierung in Kauf genommen wurde. Für jedes Segment

Abbildung 2: Ablauf der objektbasierten Klassifikation der WorldView-2 Daten anhand eines Detailausschnittes:

- Originalszene in CIR-Darstellung,
- Segmentierung der Szene,
- aus den WorldView-2 Daten generierter Texturlayer,
- detailliertes Klassifikationsergebnis,
- thematisch aggregiertes Klassifikationsergebnis,
- räumlich in die 1 ha-Zellen aggregiertes Klassifikationsergebnis (kontinuierliche Werte)

wurden anschließend Kennwerte (z. B. Perzentile) der Spektralinformationen und der aus den WV2-Daten generierten Texturlayer (Wavelet-Transformation) ermittelt (Abbildung 2).

Anhand der Inventurdaten bzw. durch Interpretation von Orthofotos wurden danach einigen ausgewählten Segmenten Referenzinformationen zugewiesen. Bei der Identifikation geeigneter Referenzflächen wurden insbesondere die beiden Zielklassen *Fichte* und *Kiefer* beachtet, diese jedoch mit *weiteren Nadelhölzern* sowie einer *Laubholzklasse* ergänzt. Zusätzlich wurden neben den Baumartenklassen weitere Nichtwaldklassen (Wiese, Acker, Siedlung, Gewässer, etc.) ausgewiesen. Mit den szenenspezifischen Referenzdaten wurde ein *Random Forests* Klassifikationsmodell (Breiman 2001) erstellt, welches anschließend auf die gesamte WV2-Szene angewendet wurde. Dadurch wurden für diese Ausschnitte flächendeckende Informationen generiert (Abbildung 2d).

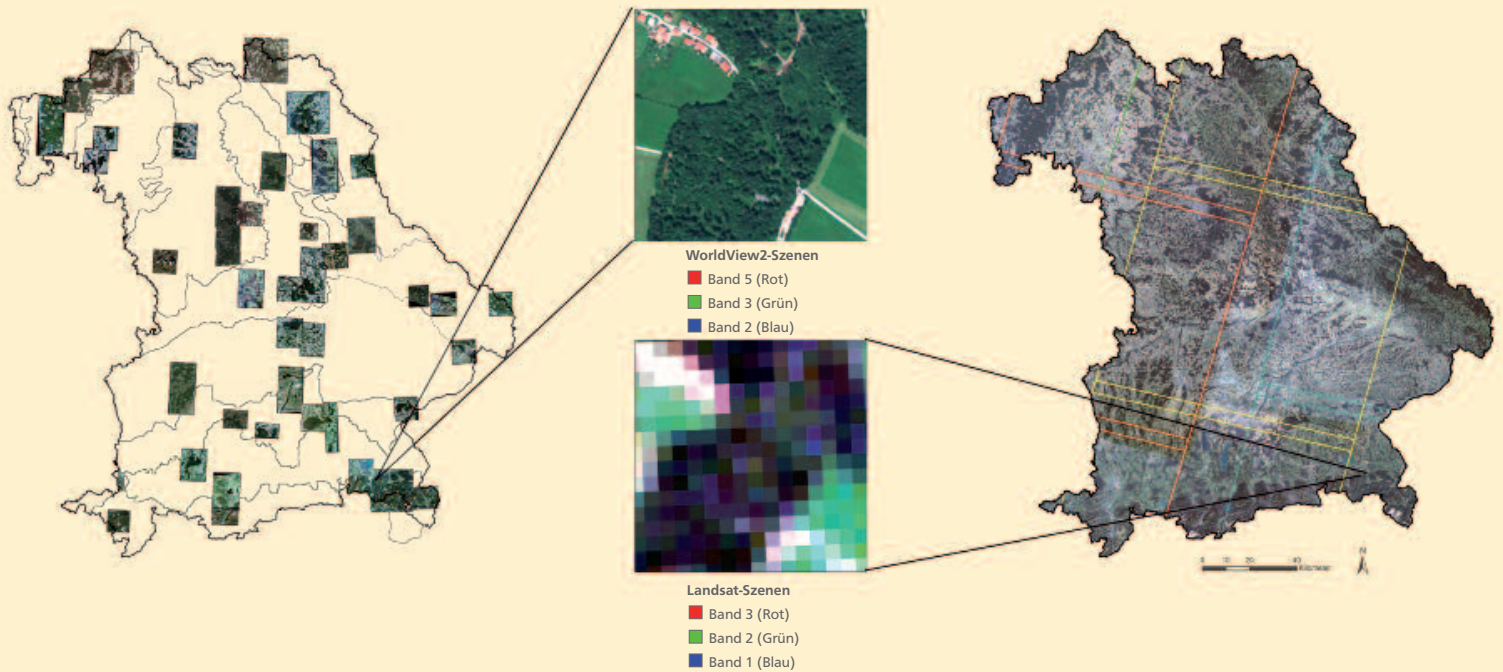


Abbildung 3: Vergleich der räumlichen Auflösung und der Flächenabdeckung der eingesetzten Satellitendaten: links die 43 WorldView-2 Szenen mit einer räumlichen Auflösung von 2 m, rechts die in stark überlappenden Streifen (grüne, orange, gelbe und blaue Linien) flächendeckend zur Verfügung stehenden Landsat-Daten

Nach einer visuellen Überprüfung wurden die Klassifikationsergebnisse thematisch zu den Klassen *Fichte*, *Kiefer* und *Sonstiges* aggregiert (Abbildung 2e). In einer nachfolgenden räumlichen Aggregation wurden die Flächenanteile dieser drei Klassen für die von der WV2-Szene abgedeckten 1 ha-Zellen eines für ganz Bayern vordefinierten Rasters ermittelt (Abbildung 2f). Diese so ermittelten Flächenanteile stellen im nächsten Schritt die zu modellierenden Zielgrößen dar. Die oben beschriebenen Prozesse wurden für alle 43 WV2-Szenen wiederholt.

Überführung der drei Klassen auf ganz Bayern

Im zweiten Teil der Methodik, dem sogenannten *upscaling*, wurden nun die Informationen aus den über Bayern verteilten Baumartenkarten auf die gesamte Landesfläche überführt. Dazu wurden in den Bereichen, die durch Baumartenkarten abgedeckt waren, Modelle erstellt und in weiterer Folge auf die Gebiete außerhalb der Baumartenkarten angewendet. Als Referenzinformation für die Modelle wurden die Flächenanteile der drei Klassen in den 1 ha-Zellen herangezogen. Als erklärende Variablen fungierten flächendeckend frei zur Verfügung stehende Landsat-Satellitenszenen bzw. daraus abgeleitete Zeitserien. Die Landsat-Satelliten der NASA liefern seit über 30 Jahren mittelaufgelöste Bilddaten mit globaler Abdeckung. Der aktuell im Orbit befindliche Landsat-8 liefert Daten mit acht Spektralkanälen und einer räumlichen Auflösung von 30 m. Die Wiederholrate der Aufnahmen liegt bei 16 Ta-

gen. Alle Daten stehen kostenfrei zur Verfügung. Sie sind jedoch vor Verwendung einer geometrischen und radiometrischen Bearbeitung zu unterziehen.

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Auflösungen und Abdeckungen sind in Abbildung 3 die beiden wesentlichen Eingangsdaten gegenüber gestellt: Einerseits die über Bayern verteilten sehr hoch aufgelösten WV2-Daten, andererseits die flächendeckend zur Verfügung stehenden Landsat-Daten; hier als Mosaik aus ursprünglich vier getrennten, jedoch stark überlappenden Streifen.

Die *upscaling*-Modelle wurden getrennt für jeden Landsat-Streifen und für jede der drei Klassen erstellt. Dabei wurde versucht, den aus den Baumartenkarten bekannten Anteil der jeweiligen Klasse bestmöglich durch die flächendeckend zur Verfügung stehenden Landsat-Daten zu erklären. Neben den Spektralkanälen mehrerer Aufnahmezeitpunkte wurden auch Zeitserien als erklärende Variablen eingesetzt. Die erstellten Modelle (*Random Forests Regression*) wurden anschließend auf den gesamten Streifen angewendet. Nachdem die Ergebnisse streifenweise zu einem Multilayer-Datensatz aller drei Klassen zusammengefügt wurden, erfolgte eine Mosaikbildung der stark überlappenden Streifenergebnisse zu einer finalen Karte. Bei allen Arbeitsschritten wurde darauf geachtet, dass jede 1 ha-Zelle in Summe genau 100 % Deckung aufweist.

Ergebnisse und Validierung

Die beiden Karten in den Abbildungen 4 und 5 zeigen den prozentualen Anteil von Fichte und Kiefer in ha-Auflösung. Je dunkler die Farbe desto höher ist der Anteil der jeweiligen Klasse in der gegebenen Zelle.

Da die Klassifikationsergebnisse der einzelnen Streifen völlig unabhängig voneinander waren, konnten die Überlappungsgebiete zur Überprüfung der Modellstabilität herangezogen werden. Dabei zeigte sich, dass die jeweiligen Klassenergebnisse aus den einzelnen Streifen sehr hoch korrelierten. Dies indiziert eine hohe Stabilität und räumliche Konsistenz der erstellten *upscaling*-Modelle, da jeder Landsat-Streifen mit anderen Daten völlig unabhängig »trainiert« wurde.

Um eine Aussage über die absolute Genauigkeit der erstellten Karten treffen zu können, wurde zusätzlich eine unabhängige Validierung durch visuelle Orthofotointerpretation vorgenommen. Dazu wurde ein regelmäßiges Raster mit 2,5 km x 2,5 km erstellt und für alle Punkte innerhalb der Waldmaske die drei Klassen in 5%-Schritten für die jeweilige 1 ha-Zelle geschätzt. Der Vergleich dieser Validierungsdaten mit den *upscaling*-Ergebnissen zeigte ebenfalls sehr gute Übereinstimmung. Der mittlere absolute Fehler der beiden Zielklassen betrug für Fichte 10 % und für Kiefer 7 %.

Zusammenfassung

Verteilungskarten für einzelne Baumarten sind eine wichtige Information für die Steuerung der Waldentwicklung wie auch für Modellierungsansätze im Rahmen des Klimawandels. Im vorgestellten Projekt wurde ein kostengünstiges Verfahren entwickelt, das sich auch auf andere Baumarten anwenden lässt und gegebenenfalls regelmäßig wiederholt werden kann. Die für die Detail-Kartierung verwendeten WV2-Satellitendaten zeichnen sich durch eine relativ hohe radiometrische Stabilität und teilweise hohe Wiederholungsfrequenz aus. Die Eignung dieser Daten zur Bearbeitung der oben erläuterten Fragestellung hat sich bereits in einschlägigen Vorstudien der Kooperationspartner angedeutet. Nachteilig sind jedoch die damit verbundenen vergleichsweise hohen Datenkosten. Die Kostenreduktion wird durch ein mehrstufiges Verfahren erreicht. In dem entwickelten Verfahren werden relativ teure WV2-Daten lediglich zur kleinflächigen Kalibrierung kosten-

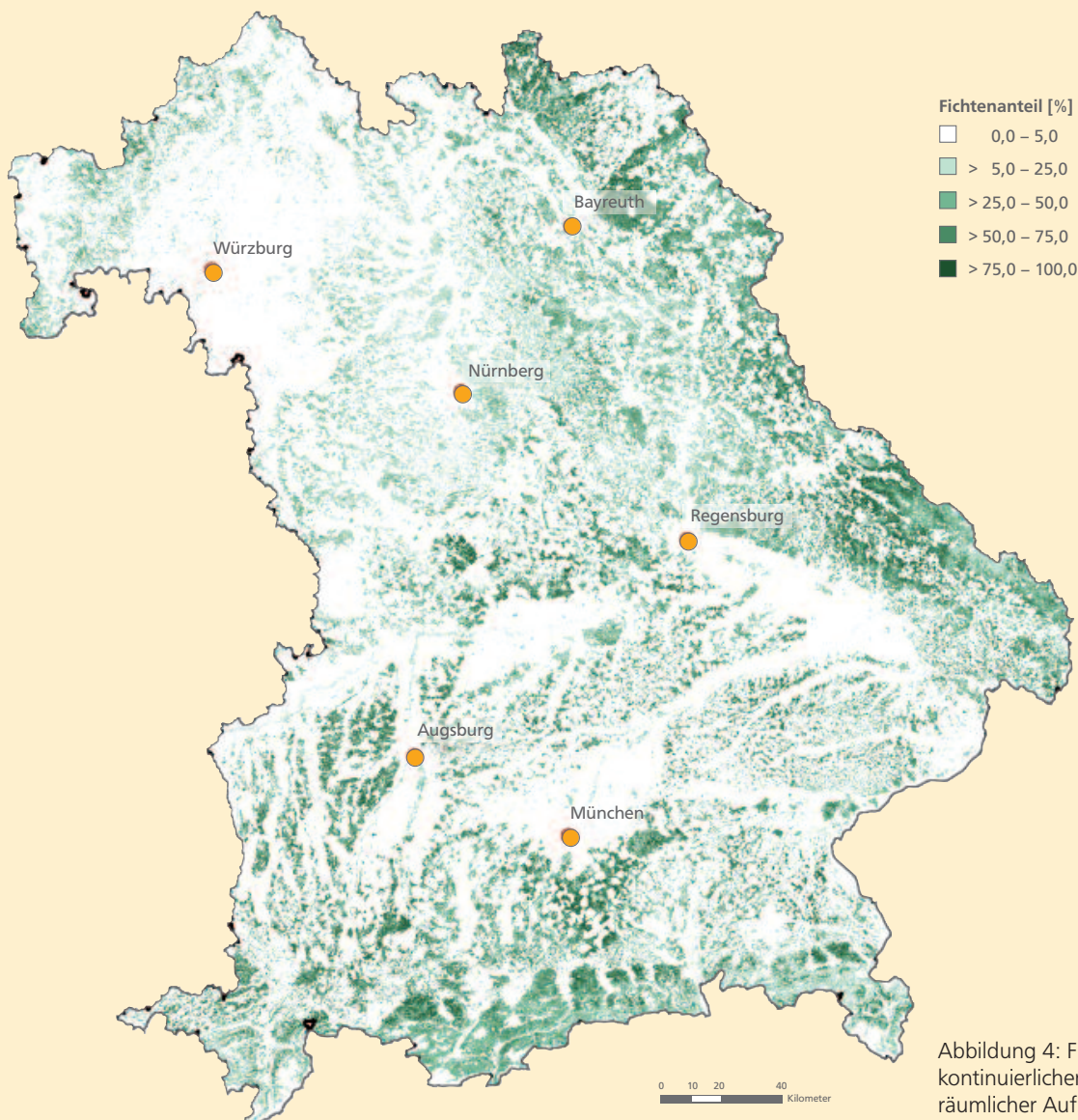


Abbildung 4: Finale Fichten-Karte mit kontinuierlichen Fichtenanteilen in 1 ha räumlicher Auflösung für Bayern

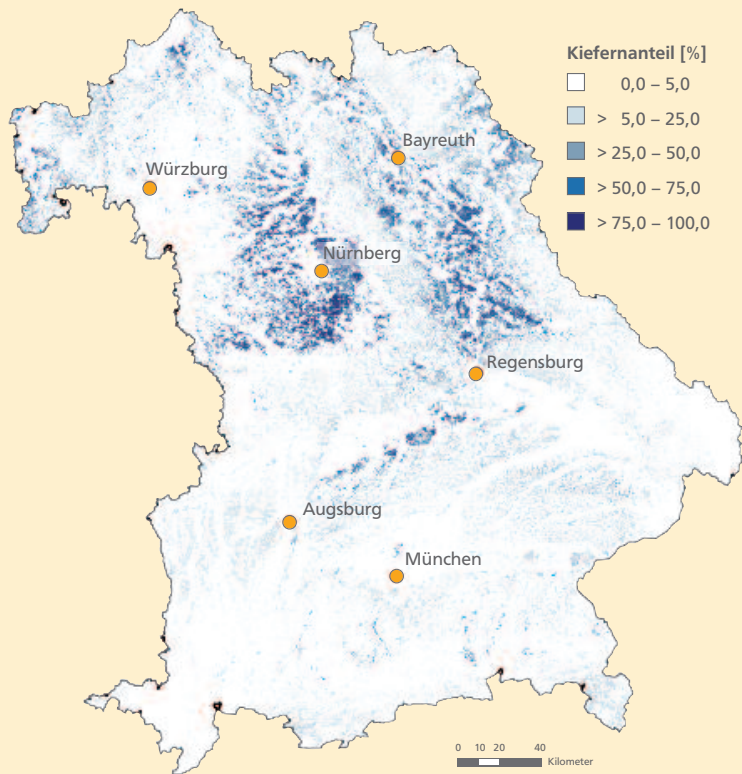


Abbildung 5: Finale Kiefern-Karte mit kontinuierlichen Kiefernanteilen in 1 ha räumlicher Auflösung für Bayern

freier Landsat-Satellitendaten in 30 m Auflösung verwendet. Damit ist eine kostengünstige, bayernweite Kartierung der Verbreitung von Fichte und Kiefer möglich. Die erstellten digitalen Karten haben eine räumliche Auflösung von 1 ha und geben die prozentualen Anteile von Fichte und Kiefer in jeder Zelle an. Die Karten decken den gesamten Waldbestand Bayerns ab. Die Überprüfung der Ergebnisse mit verschiedensten Validierungsverfahren bescheinigt den erstellten Karten eine gute Genauigkeit. Eine Verschneidung mit anderen Geodaten – beispielsweise den aus dem Projekt »KLIP 4« erarbeiteten digitalen Standortinformationen – ist ohne Probleme möglich.

Literatur

Baatz, M.; Schäpe, A. (2000): Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg, S. 12–23

Breiman, L. (2001): Random forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32. doi:10.1023

Immitzer, M.; Atzberger, C.; Koukal, T. (2012): Tree species classification with Random Forest using very high spatial resolution 8-band WorldView-2 satellite data. *Remote Sens.* 4, 2661–2693. doi: 10.3390/rs4092661

Kölling, C.; Dietz, E.; Falk, W.; Mellert, K.-H. (2009): Provisorische Klima-Risikokarten als Planungshilfen für den klimagerechten Waldumbau. *LWF-Wissen* 63, S. 31–39

Walentowski, H.; Gulder, H.-J.; Kölling, C.; Ewald, J.; Türk, W. (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns, *LWF-Wissen*. Bayer. Landesanst. für Wald u. Forstwirtschaft, Freising

Wallner, A.; Immitzer, M.; Koch, V.; Tian, J.; Reinartz, P.; Seitz, R. (2015): Waldstrukturbeschreibung aus dem All. *LWF aktuell* 104, S. 37–41

Das Forschungsvorhaben »Treeldent_Fi/Kie« wurde von der Bayerischen Forstverwaltung finanziell unterstützt und von einem deutsch-österreichischen Projektkonsortium bestehend aus folgenden Partnern durchgeführt:

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Abteilung 1 Informationstechnologie: Adelheid Wallner, Rudolf Seitz

Bayerische Staatsforsten AÖR (BaySF), Bereich Informations- und Kommunikationstechnik: Matthias Frost, Bernhard Müller

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) - Abteilung Landoberfläche: Andreas Müller, Dr. Nicole Pinnel, Anne Reichmuth

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU): Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL): Prof. Dr. Clement Atzberger, Markus Immitzer, Kathrin Einzmann, Sebastian Böck, Gerald Lindner, Matteo Mattiuzzi, Wai-Tim Ng

Prof. Dr. Clement Atzberger, Markus Immitzer, Kathrin Einzmann, Sebastian Böck, Gerald Lindner, Matteo Mattiuzzi, Wai-Tim Ng

Korrespondierender Autor:

Markus Immitzer, markus.immitzer@boku.ac.at