

Die Holzvorratskarte der FVA Baden-Württemberg – verständlich und praxisnah

Eisnecker, P., Wiestler, L., Kirchhöfer, M., Adler, P.

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

02/2026

Die Holzvorratskarte (HVK) der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) liefert erstmals jährlich großflächig aktualisierte, flächendeckende und praxistaugliche Informationen zum Holzvorratsvolumen für alle Waldflächen im Bundesland. In diesem Beitrag wird erläutert, wie die Karte entstanden ist und wie sie praxisnah eingesetzt werden kann. Sie ist bereits verfügbar und unterstützt Forstpraktizierende direkt bei Entscheidungen.

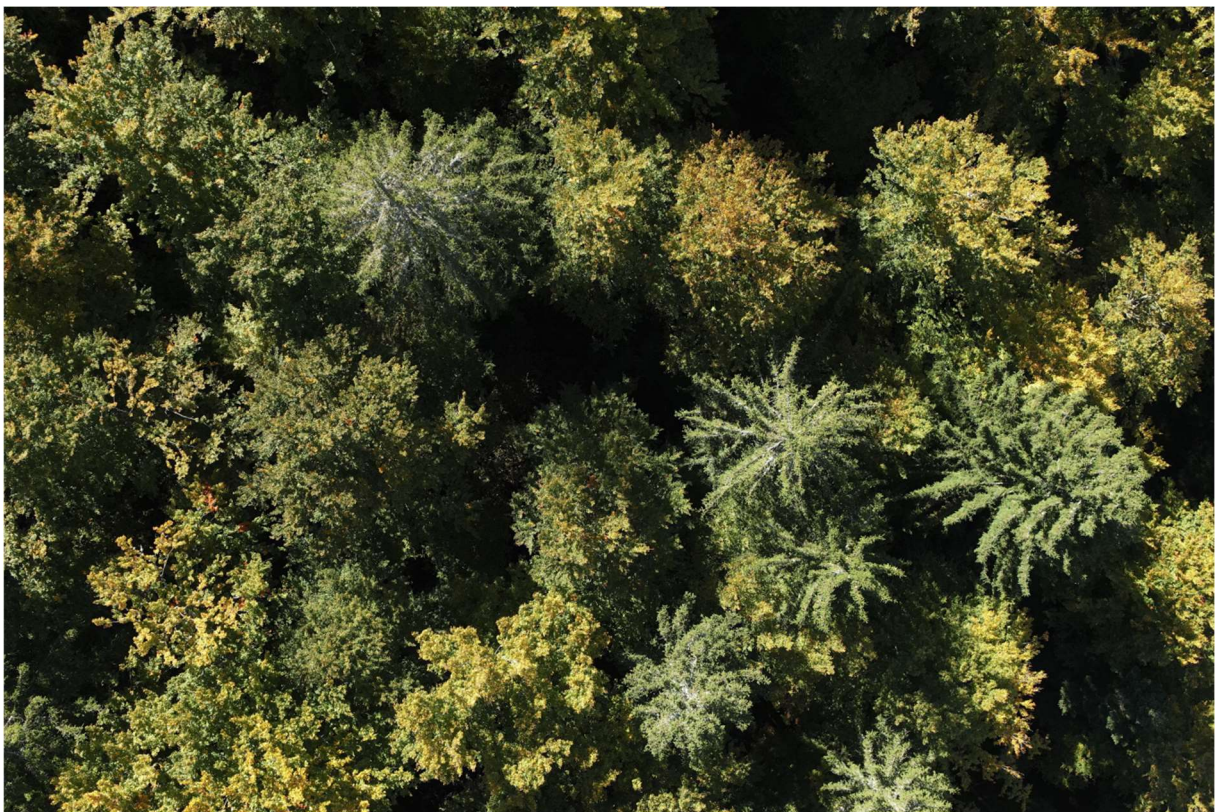


Abbildung 1: Der Wald aus der Vogelperspektive.

Wie hängen terrestrische Messungen und Satellitendaten zusammen?

In der Forsteinrichtung (FE) werden auf Basis der Betriebsinventur für einzelne Bestände mittelfristige Planungsentscheidungen getroffen. In heterogenen, strukturreichen und topografisch komplexen

Beständen ist deren Bewertung mit erhöhten Unsicherheiten verbunden, sodass fachliche Abwägungen und pragmatische Entscheidungen erforderlich sind.

Die Fernerkundung erlaubt für die Zustandserfassung die Möglichkeit eines Perspektivenwechsels (s. Abb. 1). Moderne Sensoren, befestigt an Drohnen, Flugzeugen oder Satelliten, nehmen die Erdoberfläche auf. Es entstehen eindrucksvolle Daten, aus denen sich nur selten direkt konkrete Handlungen für die Praxis ableiten lassen. Entwicklungen in Technik und Datenanalyse ermöglichen es inzwischen diese Informationen für den praktischen Einsatz aufzubereiten. Baumarten-, Schad- oder Vorratskarten, abgeleitet aus Fernerkundungsdaten, können hilfreiche Werkzeuge sein, um die Arbeit der FE und allen anderen Akteuren im Forst nachhaltig zu erleichtern und effizienter zu gestalten. Aber wie entsteht eine solche Karte? Wie sieht sie aus, wie wird sie genutzt – und warum bleiben Umfangmaßbänder trotz modernster Technik unverzichtbar?

Was ist eine digitale Karte?

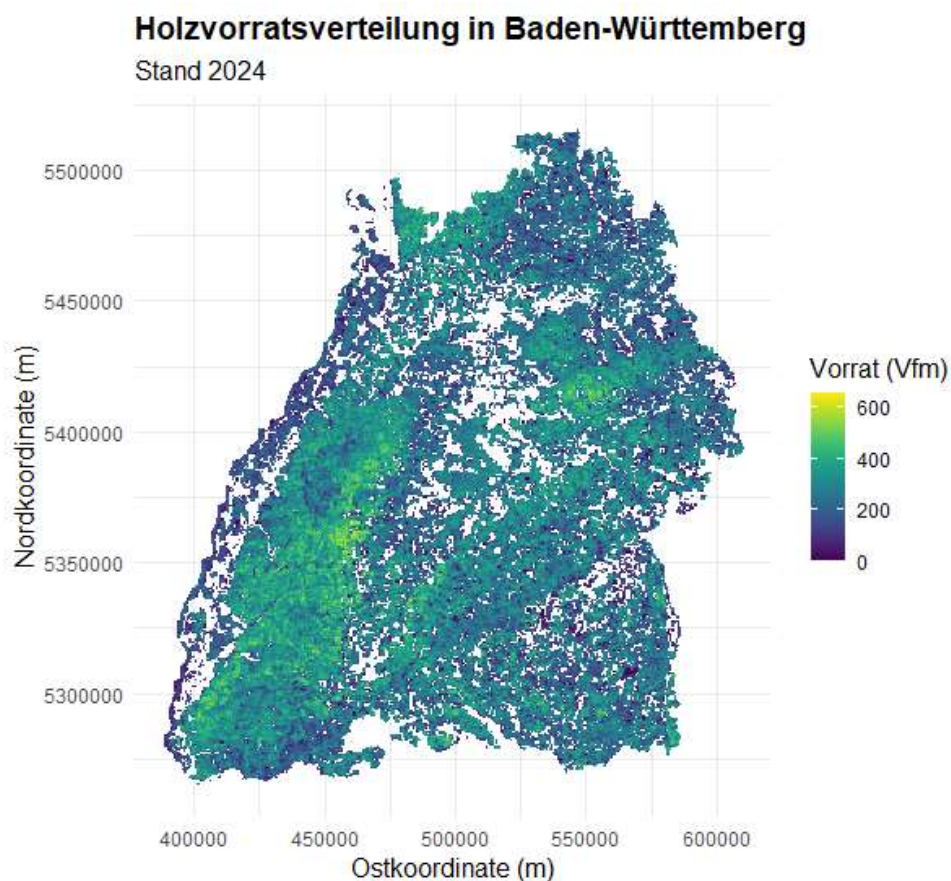


Abbildung 2: Dargestellt ist der Holzvorrat in Baden-Württemberg (Stand 2024). Die Werte wurden nur innerhalb der Waldgebiete berücksichtigt und zur Veranschaulichung auf eine Pixelgröße von 700×700 m aggregiert. Nicht bewaldete Flächen sind ausgeblendet. Farbskala in Vorratsfestmetern (Vfm).“

Die HVK ist keine klassische analoge Karte, sondern ein digitales Produkt, das den Wald einheitlich und flächendeckend abbildet (s. Abb. 2). Dabei wird Baden-Württemberg wie ein Schachbrettmuster („Raster“) aufgeteilt, bei dem jedes Pixel 20×20 m (0,04 Hektar) groß ist und einen Holzvorrat (HV) in Vorratsfestmetern pro Hektar (Vfm/ha, d.h. m^3 Derbholz/ha) zugewiesen bekommt. Damit man den Vorrat auf einen Blick erkennen kann, wird jede farblich dargestellt, z. B. dunkelblau (niedriger HV) zu

gelb (hoher HV). So kann man ohne Zahlen einen ersten Überblick über die Verteilungsstruktur bekommen. Man kann sich jeden Pixel wie eine eigene kleine Einheit bzw. einen „Mini-Bestand“ vorstellen. Egal, ob der „Mini-Bestand“ homogen oder heterogen ist – ein in der Höhe, Baumart und Verteilung diverser Mischbestand oder in Reihe gepflanzte Tannen – es wird immer der Mittelwert des Vorrats der gesamten Pixelfläche angezeigt. Die Auflösung (Pixelgröße) hängt von den Eingangsdaten und der gewünschten Detailtiefe ab: Sind die Pixel zu groß, geht Struktur und Information verloren; sind sie zu klein, erkennt man viele Details, verliert aber leicht den Überblick, und die Karte somit ihren praktischen Nutzen.

Zutaten für eine erfolgreiche Holzvorratskarte

Um eine digitale, flächendeckende HVK zu erstellen benötigt man im Grunde drei Dinge:

- Punktuelle Messungen im Wald, die Referenz, auf die wir uns stützen.
- Flächendeckende Informationen für das gesamte Gebiet, die meist als Rasterdaten vorliegen.
- Ein Verfahren, das die Informationen beider Quellen verarbeitet, die Zusammenhänge erlernt und wiedergeben kann.

Als terrestrische Messpunkte werden für die HVK-Informationen der Stichprobenpunkte (SP) der Betriebsinventur in Baden-Württemberg verwendet. An diesen Punkten werden für einen Radius von 12m aus den in konzentrischen Probekreisen terrestrisch erfassten forstlichen Parametern (z. B. Baumart, BHD, Höhe) unter anderem der Holzvorrat (V/ha) berechnet. Für die Erstellung einer aussagekräftigen und robusten HVK ist es wichtig, dass die SP möglichst repräsentativ verteilt sind und die Vielfalt der Bestandesstrukturen abdecken. Die Größe der Stichprobenpunkte (SP) ist ein entscheidender Faktor für die Größe der Rasterpixel auf der Karte, da die Übertragung des Modellwissens auf das flächendeckende Raster auf vergleichbarer Größenordnung stattfinden muss.

Um die permanente Veränderung der Waldstrukturen und -zusammensetzung abzubilden, werden die Eingangsdaten der HVK regelmäßig aktualisiert. Zentral sind dabei die vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) bereitgestellten landesweiten Befliegungsdaten, aus denen Vegetationshöhenmodelle (VHM) abgeleitet werden. Die Befliegung erfolgt im Turnus, wobei jedes Jahr etwa die Hälfte der Landesfläche erfasst wird, sodass im Optimalfall alle zwei Jahre die gesamte HVK erneuert wird. Ergänzt werden diese Daten durch weitere Vorhersageparameter, z.B. einer Baumartenkarte [1], einer Wasserhaushaltskarte [2], der Regionalisierung von Bodendaten [3], Klimadaten [4] oder Reliefparameter [5].

Alle verfügbaren Daten werden nun in einem Trainingsdatensatz zusammengefügt. Dafür werden an den SPs die Kreisgeometrien auf die einzelnen Raster "gelegt" und die Werte der Pixel innerhalb der SPs werden extrahiert. Jeder PK wird zu einer Zeile im Trainingsdatensatz und jede Zeile ein Beispiel, bei dem die Vorhersageparameter – etwa mittlere Höhe aus dem VHM, Hauptbaumart, Hangneigung oder Bodenparameter – mit der Zielgröße HV verknüpft sind. Je genauer die Lage des PK mit dem GNSS (ähnlich GPS) eingemessen wurden, desto höher ist die Qualität der Trainingsdaten. Bei ungünstiger Einmessung kann dem PK mit 30 m hohen Fichten beispielhaft anstatt der bei korrekter Lage zugewiesenen 400 Vfm/ha die 60 Vfm/ha der 10 m hohen Buchen im benachbarten Bestand zugewiesen werden. Fortschritte in der Lageerfassung dürften in den nächsten Jahren zu deutlichen Sprüngen in fernerkundungsbasierten forstlichen Schätzmodellen wie etwa der HVK führen.

Um diesen riesigen Datensatz zu entschlüsseln, wird ein sogenanntes Multilayer Perceptron (MLP) verwendet. Dieses neuronale Netzwerk schaut sich jede Zeile an, entschlüsselt die Zusammenhänge zwischen den Vorhersageparametern und dem HV und speichert dieses Wissen in den Verbindungen zwischen den Neuronen - seinem "Gehirn". Dieser Prozess muss theoretisch nur einmal durchgeführt werden, dennoch verbessert sich das MLP mit jährlich neuen Informationen, mit denen die Zusammenhänge nachgeschärft werden können. Diese Informationen können auf unbekannte Flächen, die nicht durch Inventurplots abgedeckt sind, übertragen werden. Da dort auch alle Vorhersageparameter bekannt sind und daraus - vereinfacht gesagt - wie bei einem überkomplexen Dreisatz die Zielvariable HV berechnet werden kann. Man kann es sich vorstellen wie eine Forstfachkraft mit viel Erfahrung. Basierend auf z. B. Höhe, Baumart und Geländeneigung kann sie direkt eine grobe Schätzung abgeben wie viel Holz dort steht, ohne jeden einzelnen Baum genau vermessen zu haben, da sie vergleichbare Bestände in ihrem Leben (dem Datensatz) schon oft vermessen hat und somit die Zusammenhänge kennt. Das MLP reproduziert diese Art von Intuition datenbasiert und objektiv: Anders als die Forstfachkraft, die vor Ort sein muss, kann das Modell für alle Flächen gleichzeitig objektive Vorhersagen treffen. So entsteht aus punktuellen Inventurdaten und flächendeckenden Informationen eine Karte, die die räumliche Struktur des Waldes realistisch abbildet.

Wie gut ist die Vorratskarte?

Die HVK zeigt auf Pixelebene gemittelte Zustände. Die Pixelgröße gibt nicht an wie detailreich die Vorratsschätzung der Karte ist, was bedeutet, dass ein kleinerer Pixel nicht zwingend mit einer genaueren Schätzung des Vorratswertes in dem jeweiligen Pixel einhergeht. Die Größe wurde aus praktischen (Kartenzellen 20×20 m, orientiert an den standardisierten 10-m-Pixeln von Sentinel-2-Satelliten) und methodischen (Fläche vergleichbar mit Inventurplots) Gründen gewählt. Wichtige Aspekte der Genauigkeit sind die Lagegenauigkeit – das Schachbrett stimmt mit den realen Standorten überein und wurde nicht verschoben – welche in der HVK sehr gut ist und die Vorhersagegenauigkeit – die Vorratsangabe des Pixels stimmt mit der Realität überein. Die geschätzten Vorräte können von den tatsächlichen Werten abweichen, was bis zu einem gewissen Grad normal ist, da in der Natur Zusammenhänge oft nicht linear sind, Bäume bei gleichen Charakteristika (Art, Höhe, Standort, ...) sehr unterschiedliche Vorräte aufweisen können und zusätzlich Unsicherheiten in den Modellen sowie Messungenauigkeiten bestehen.

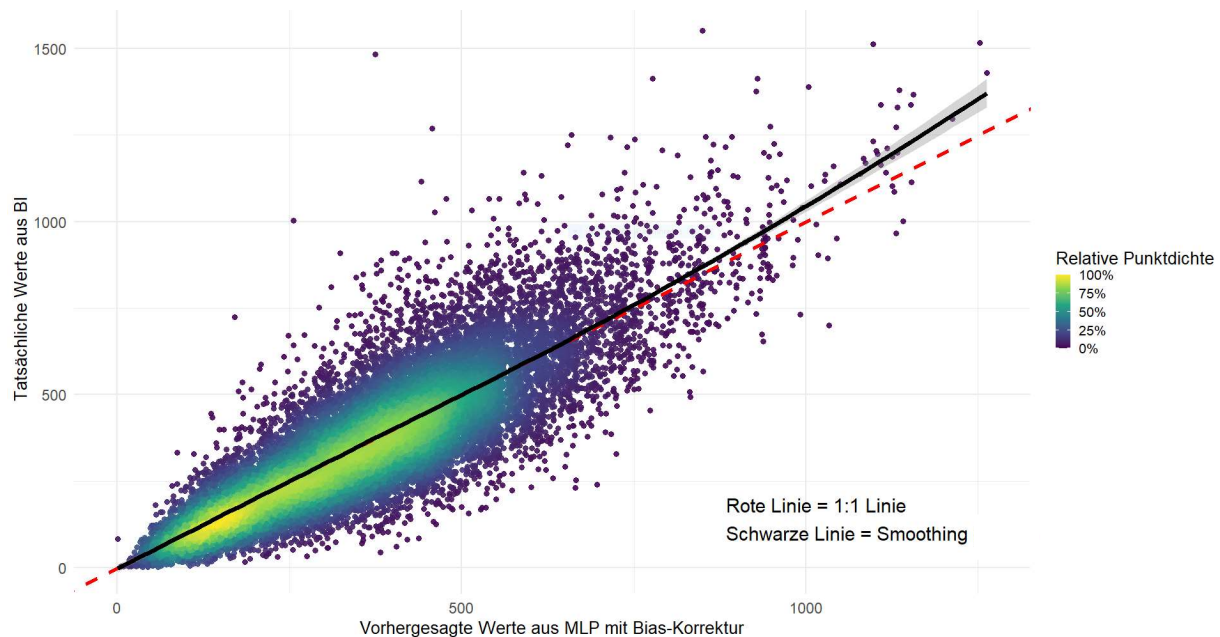


Abbildung 3: Vergleich der vorhergesagten Werte mit den tatsächlich gemessenen Werten des Holzvorratsmodells. Die Punkte zeigen die Daten, die Linie die ideale Übereinstimmung zwischen Vorhersage und Realität.

Die Aussagekraft der vorliegenden HVK ist vor allem in mehrschichtigen Beständen eingeschränkt, sofern diese Strukturtypen nicht ausreichend in den Trainingsdaten vertreten sind: In einschichtigen Beständen sind die Werte der Einzelpixel daher belastbarer, in mehrschichtigen Beständen empfiehlt sich die Aggregation mehrerer Pixel. Nadelbestände werden im Mittel genauer dargestellt als Laubbestände. Systematische Abweichungen treten vor allem in den Extrembereichen auf: Kleine Vorräte (> 100 Vfm/ha) werden tendenziell überschätzt, hohe Vorräte unterschätzt, während mittlere Vorratsbereiche gut abgebildet sind. Ab etwa 800 Vfm/ha steigen die Abweichungen deutlich (s. Abb. 3). Einschränkungen bestehen zudem bei ungünstigen Eingangsdaten, etwa ungünstigem Sonnenstand während der Befliegung oder steilem Gelände; hierfür ist eine ergänzende Zuverlässigkeitskarte vorgesehen. Trotz dieser Einschränkungen ist vor allem die aggregierte Vorratsschätzung auf Bestandesebene sehr zuverlässig.

Die Vorhersagegenauigkeit unterstreicht die generelle Aussagekraft: Der Zusammenhang zwischen beobachteten und modellierten Vorräten liegt aktuell bei einem R^2 von 0.72 (d.h. 72% der Unterschiede in den Vorräten werden durch das Modell erklärt), die Abweichungen bei Einzelpixeln betragen im Mittel etwa 110 Vfm/ha (rund 30%). Diese Werte verbessern sich jedoch deutlich, sobald mehrere Pixel aggregiert und Bestandesmittel betrachtet werden. Bei Gesprächen mit Praktiker*innen wurden 50 Vfm/ha maximale Abweichung vom Bestandesmittel als noch vertretbar angesehen. Dieser Wert wird bei der Aggregation auf Bestandesebene meistens unterschritten. Da die HVK ständig optimiert wird, werden sich auch die Genauigkeitswerte mit der Zeit weiter verbessern.

Anwendungsfälle

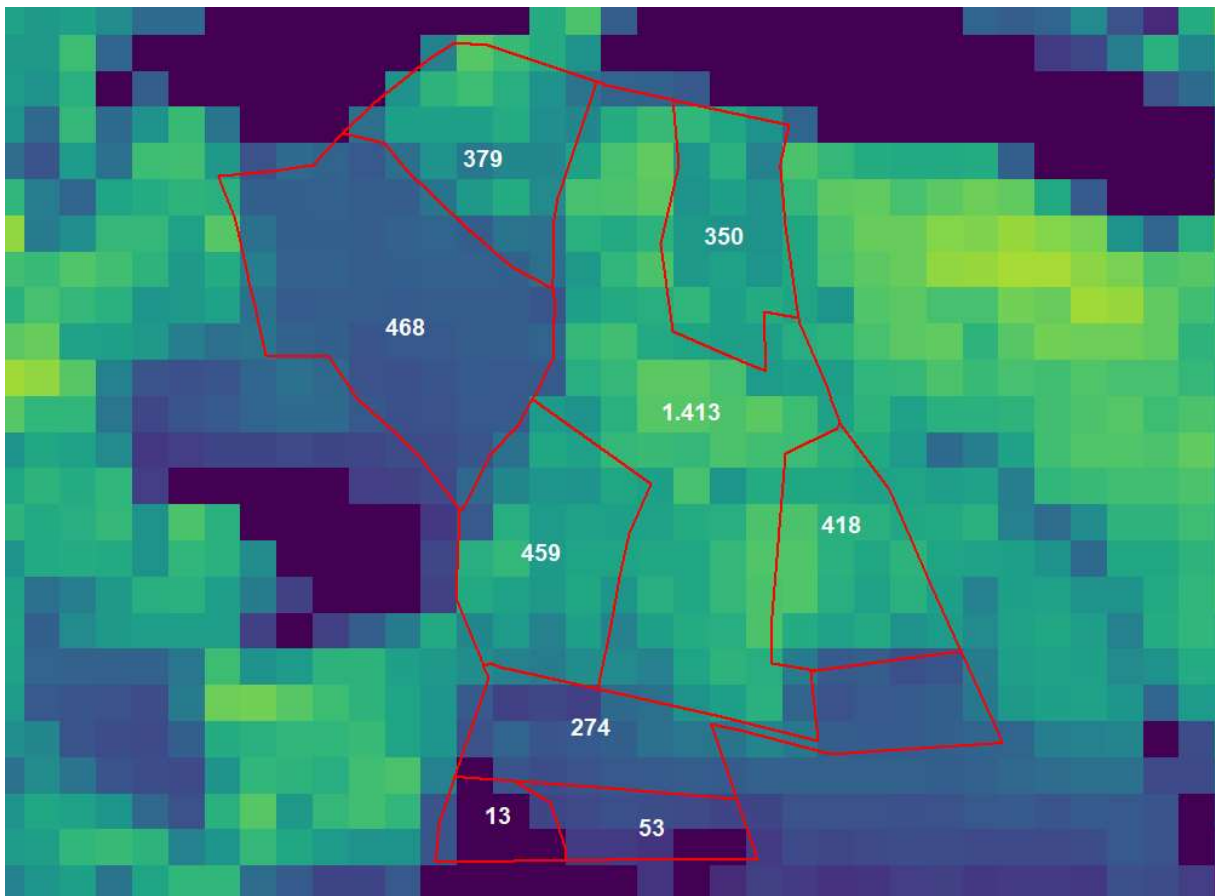


Abbildung 4: Anwendung der Vorratskarte in der Forsteinrichtung. Dargestellt sind Bestandesgrenzen der letzten Forsteinrichtung (rot) mit den daraus abgeleiteten absoluten Vorratswerten je Bestand (weiß, Vfm) auf Basis der aktuellsten Befliegung. Die Einfärbung der Rasterpixel folgt derselben Farblogik wie in Abbildung 1 (blau = niedriger, gelb = hoher Vorrat), ist jedoch aufgrund der abweichenden Aggregationsebene nicht direkt mit der dortigen Legende vergleichbar.

Digitalisierung im Wald bedeutet nicht, menschliche Erfahrung oder Arbeitskraft zu ersetzen, sondern sie zu unterstützen. HVKs bieten eine visuell leicht verständliche Darstellung (s. Abb. 4), die die operative Planung unterstützt, indem Entscheidungen und Dokumentation erleichtert werden. Forsteinrichtende, Revierleitende oder Privatwaldbesitzende können so bereits vor Betreten des Gebiets markieren, welche Bestände interessant, problematisch oder auffällig erscheinen. Durch die jährliche Aktualisierung lassen sich Trends bei Zuwächsen, Abgängen oder Veränderungen in der Struktur beobachten, was die zukunftsorientierte Planung und ein dynamisches, reaktives Management erleichtern. In Kombination mit Risiko- oder Schadflächenkarten können kritische Bestände identifiziert werden, sodass situationsgerechte Maßnahmen gezielt priorisiert werden können. Neben anderen etablierten Karten der FVA, wie der Waldhöhenstruktur- oder der Baumartenkarte, wird die HVK seit einigen Jahren erfolgreich in die FE der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (LFV) und von ForstBW integriert - dank eines kontinuierlichen Austauschs mit dem Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 8 „Forstdirektion“. Erste Rückmeldungen von Forsteinrichtenden sind durchweg positiv und zeigen sowohl den aktuellen Nutzen als auch Möglichkeiten für zukünftige Weiterentwicklungen.

Für die Forschung bietet die HVK eine interdisziplinäre und flächendeckende Grundlage, um ökologische, ökonomische, soziale oder politische Fragestellungen und Entwicklungen des Waldes in Baden-Württemberg zu untersuchen. So wurden z. B. die Vorratsstrukturen für Fledermaus-Habitatsstudien [6] genutzt. Weitere Karten zu Biomasse, Kohlenstoffspeicherung und nachhaltiger Waldbewirtschaftung auf Basis der HVK sind im Laufe des nächsten Jahres geplant. Auch private Waldbesitzende, forstwirtschaftliche Unternehmen, Naturschutzorganisationen, Bildungsprojekte oder Planungsbüros können von der HVK profitieren. Alle Nutzenden - egal ob staatlich, privat oder beruflich tätig - können auf denselben Datensatz zurückgreifen, was Orientierung, Vergleichbarkeit und Entscheidungsfindung erleichtert.

So nutzen Sie die Holzvorratskarte im Wald

Auf Anfrage stellen wir Ihnen für Ihre Waldfläche die HVK digital zur Verfügung. Sie können uns einfach kontaktieren und erhalten den digitalen Rasterdatensatz für Ihr Gebiet. Dazu gibt es eine benutzerfreundliche Schritt-für-Schritt-Anleitung, wie Sie die Daten in eine kostenlose App auf Ihrem Endgerät laden und direkt im Feld nutzen können oder erste Analysen durchführen. Alles, was Sie benötigen, ist Internetzugang, ein mobiles Gerät für die Feldarbeit und einen Computer für Analysen – kostenpflichtige Software oder spezielle Geräte sind nicht erforderlich. Wir beantworten gerne Fragen, unterstützen beim Verständnis der Karte und sind für Rückmeldungen dankbar.

Fazit

Mit der HVK wird die Forstplanung gezielt durch digitale Methoden und Daten unterstützt. Sie kombiniert traditionelle, auf terrestrischen Messungen basierenden, punktuellen Inventurdaten mit modernen, flächendeckenden Fernerkundungsinformationen von Satelliten und Flugzeugen und liefert so ein Werkzeug, das sowohl die räumliche Struktur als auch die Entwicklung des Waldes über die Zeit abbildet. Durch die potentiell jährliche Aktualisierung und die objektive Darstellung ermöglicht die Karte Forsteinrichtenden, aber auch anderen Akteuren wie privaten Waldbesitzenden, fundierte Entscheidungen zu treffen, Nutzungspotenziale zu erkennen und Risiken gezielt zu priorisieren. Darüber hinaus eröffnet die HVK neue Möglichkeiten für die Forschung. Sie liefert konsistente, unabhängige Daten für ökologische, sozioökologische und nachhaltigkeitsbezogene Analysen und dient als Schnittstelle zwischen wissenschaftlicher Modellierung und praktischer Waldbewirtschaftung. Grundsätzlich gilt: Die Karte ersetzt nicht den Menschen, sondern unterstützt ihn, indem sie Transparenz schafft, Entscheidungsgrundlagen bereitstellt und die Basis für eine zukunftsorientierte, nachhaltige Waldplanung bildet.

Literatur

- [1] Költzow, J., Schiller, C., Stöckigt, B., & Fassnacht, F. (2026). Combining Sentinel-2 time-series and SITS-BERT for area-wide mapping of eight Central European tree species. *Forestry: An International Journal of Forest Research*.
- [2] Habel, R., Puhlmann, H., & Müller, A.-C. (2023). Wasserhaushaltsmodellierung für die Standortskartierung in Baden-Württemberg. In W. Weis, B. Ahrends, J. Böhner, W. Falk, S. Fleck, R. Habel, H.-J. Klemmt, H. Meesenburg, A.-C. Müller, H. Puhlmann, J.-A. Wehberg, A. Wellpott & T. Wolf (Hrsg.), *Standortsfaktor Wasserhaushalt im Klimawandel* (Bd. 224, S. 156–178). Freising: Forstliche Forschungsberichte München.
- [3] Hartmann, P., Niethammer, M., Habel, R., & Zirlewagen, D. (2024). *Regionalisierung von Bodendaten für die Waldfläche Baden-Württembergs*. Manuskript, auf Anfrage bei den Autoren.
- [4] Deutscher Wetterdienst (DWD). (2024). *Klimadaten und Wetterinformationen*. Abgerufen am 2. August 2024 von <https://www.dwd.de>
- [5] Bock, M., Czech, C., & Graaf, F. (2023). *Kurzdokumentation zur Reliefanalyse für die Vorhersage vereinfachter Standortsinformationen in Baden-Württemberg*. Göttingen: Scilands GmbH. Vergabenummer 446-1864-1-2023.
- [6] Hendel, A.-L., Ganz, S., Dohrmann, M., Zielewska-Büttner, K., Eisnecker, P., Coppes, J., Adler, P., & Braunisch, V. (2026). Benefit for some, harm for others: Forest structural changes following recent drought years have contrasting effects on bat habitats. *Forest Ecology and Management*, 600, 123277. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.123277>.