

Entwurf

Grundlagenstudie

Monitoringkonzept des Wald-Klimastandards

Hinweise

Entwurf für die Public Conclutation

Entwicklung

Nachfolgende Inhalte wurden von RSS GmbH in enger Kollaboration mit dem Wald-Klimastandard erarbeitet. Fragen und Anregungen können an das Sekretariat des Wald-Klima-standards gerichtet werden:
sekretariat@waldklimastandard.de

Autoren

J. Franke (RSS), F. Hildebrand (EVA), M. Vohrer (EVA)

Version

Versions-Nr.	Datum	Dokumentname	WKS-Version
0.2.01	01.08.2022	04-0201-REP-0.2.01	0.3 ff.

Änderungen der Versionen können durch das Document-Centre nachvollzogen werden.

Haftung & Copyright

Dieses Dokument kann Aussagen, Annahmen und Prognosen enthalten, die auf Informationen basieren, wie sie den Autoren zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokumentes zur Verfügung stehen. Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen keine Verpflichtung, diese Aussagen angesichts neuer Informationen oder künftiger Ereignisse zu aktualisieren. Zukunftsgerichtete Aussagen sind naturgemäß mit Risiken und Ungewissheiten verbunden.

Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen trotz sorgfältiger Ausgestaltung des Dokumentes keine Gewähr für deren Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität. Die in dem Dokument dargestellten Sachverhalte dienen ausschließlich der Illustration und lassen keine Aussagen über zukünftige Entwicklungen zu. Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen keine Verantwortung für Maßnahmen und Entscheidungen, die auf der Grundlage der bereitgestellten Informationen ergriffen werden.

Eine Vervielfältigung, Verbreitung, Veröffentlichung oder Bearbeitung des Dokumentes, insbesondere in elektronischen oder anderen gedruckten Publikationen, auch auszugsweise, ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung der EVA Service GmbH nicht gestattet.

Die EVA Service GmbH ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Ecosystem Value Association (EVA) e.V. - mit dem Vereinszweck der Förderung von Ökosystemleistungen zur Wiederherstellung und Erhalt natürlicher Ressourcen und zum Erhalt und Ausbau der Leistungsfähigkeit und Klimaresilienz von Ökosystemen.

Bildrechte

N/A

Monitoringkonzept des Wald-Klimastandards



Version 2.3

Juli 2022

Konzept entwickelt von:

Remote Sensing Solutions GmbH

Dingolfinger Str. 9

81673 München



INHALTSVERZEICHNIS

1) HINTERGRUND	3
2) ANFORDERUNGEN	3
3) DEFINITIONEN UND ABKÜRZUNGEN	3
4) MONITORING SZENARIEN	4
5) ANWENDUNGSKRITERIEN	5
6) DATEN	5
7) ÜBERSICHT DES MONITORINGKONZEPTS	5
8) MONITORINGFREQUENZ	8
9) AUSBLICK	9
10) LITERATUR	9

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Beispielhafte schematische Darstellung der Monitoring Szenarien
Wald-Wiederaufbau (links), Aufforstung (mittig) und Waldumbau (rechts) in einem Luftbild.
4

Abbildung 2: Beispiel von Oberflächen- und Geländemodell sowie abgeleitetem
Baumhöhenmodell 6

Abbildung 3: Beispiel einer Allometrie zur Ermittlung des BHD aus der Baumhöhe
(Nadelbäume) 7

Abbildung 4: Der Monitoringzyklus bei Wald-Wiederaufbau 8

1) Definitionen und Abkürzungen

Zusätzlich zu den Definitionen der Methode des Wald-Klimastandards gelten für das Monitoringkonzept die folgenden Definitionen:

Wald-Wiederaufbau: Wald-Schadflächen oder Kahlflächen (Kalamitätsflächen im Wald) welche wieder bestockt werden (bspw. durch Pflanzung oder assistierte natürliche Sukzession) und somit ein Waldbestand wiederhergestellt wird.

Aufforstung: Flächen die über längere Zeit nicht bewaldet waren, auf denen bspw. durch Pflanzung oder natürliche Sukzession Wald entwickelt werden soll.

Waldumbau: Waldbauliche Eingriffe, mit denen die Bestandesstruktur (Baumartenzusammensetzung und Altersklassenverteilung) von Wäldern in Richtung eines waldbaulichen Ziels erheblich verändert wird. Ein Beispiel wäre der Umbau einer Monokultur gleichaltriger Bäume in einen diversen, vielschichtigen Bestand

DOM: Digitales Oberflächenmodell, bildet die Höhe der Oberfläche der auf der Erde befindlichen Objekte ab (Gebäude, Vegetation ect.)

DGM: Digitales Geländemodell, bildet die Höhe der Erdoberfläche ab (ohne darauf befindlichen Objekte)

BHM: Baumhöhenmodell, entspricht dem DOM abzüglich des DGM

LiDAR: Light Detection and Ranging (Laserscanning)

2) Hintergrund

Wälder sind Biodiversitäts-Hotspots, speichern große Mengen an Kohlenstoff in ihrer ober- und unterirdischen Biomasse und bieten der Bevölkerung verschiedenste Ökosystem-Dienstleistungen. In den Jahren 2018, 2019 und 2020 sind große Schadflächen in deutschen Wäldern entstanden. Dürreperioden und Schädlinge wie der Borkenkäfer haben insbesondere Nadelbaum-Monokulturen stark getroffen.

Waldschutzmaßnahmen, naturnahe Bewirtschaftung von Waldflächen oder Wiederaufforstung können zu einer zusätzlichen Sequestrierung von Kohlenstoff im Wald führen. Aufgrund der Möglichkeit CO₂-Emissionen zu kompensieren und Wälder als Ausgleichsflächen zu veranschlagen werden immer mehr finanzielle Anreize für Unternehmen und Privatpersonen in Form von CO₂-Zertifikaten geschaffen. Für eine transparente Bilanzierung der Klimaleistung von Wäldern und von Maßnahmen in der Waldwirtschaft, ist eine exakte Inventur des Kohlenstoffbestands und deren Änderungen essentiell. Mit Hilfe transparenter und standardisierter Verfahren der Erdbeobachtung, kann nicht nur ein nachhaltigeres Waldmanagement unterstützt werden, sondern auch das Emissionsminderungspotenzial abgeschätzt werden. Durch die voll abdeckende Erfassung des Bestandes ist es möglich, die Informationen aus den Stichprobenverfahren der Waldinventuren flächendeckend zu ergänzen.

Der Wald-Klimastandard (WKS) ist bestrebt in Deutschland einen Standard für CO₂-Zertifikate aus Wäldern aufzubauen und hat bereits eine Methodik für Wald-Wiederaufbau auf entwaldeten Flächen in Deutschland entwickelt. Diese Methodik setzt den Rahmen für die Bilanzierung und Quantifizierung von Kohlenstoff-Veränderung aus Projektaktivitäten, die im Rahmen des WKS zertifiziert werden sollen. Als Teil dieser Methodik braucht es auch ein einheitliches und

effizientes System zur Messung, Berichterstattung und Verifizierung der Kohlenstoff-Veränderungen, die durch Wald-Wiederaufbau-Aktivitäten entstehen. Dieses Monitoring dient als Grundlage für die Determinierung der C-Senkenwirkung, die vom WKS legitimiert und in einem transparenten und öffentlich zugänglichen Registrierungssystem verwaltet wird.

3) Anforderungen an das Monitoring

Für die Methode des WKS soll ein Ansatz entwickelt werden, welcher mit ausreichender Genauigkeit eine einfache, kosteneffiziente und einheitliche Kohlenstoffbilanzierung von Waldbeständen ermöglicht. Der Ansatz soll weitestgehend auf bestehenden, fernerkundungsbasierten Methoden aufbauen, um das Monitoring deutschlandweit und einheitlich anwenden zu können. Ferner sollen Empfehlungen gegeben werden, wie der Deutsche Wald-Klimastandard seine Kriterien und Prozesse gestalten sollte, damit das Monitoring-Konzept umsetzbar ist.

4) Monitoring Szenarien

Prinzipiell ist im Hinblick auf technologische Erfordernisse zwischen den Monitoring Szenarien Wald-Wiederaufbau (A), Aufforstung (B) und Waldumbau (C) zu unterscheiden (Abbildung 1).

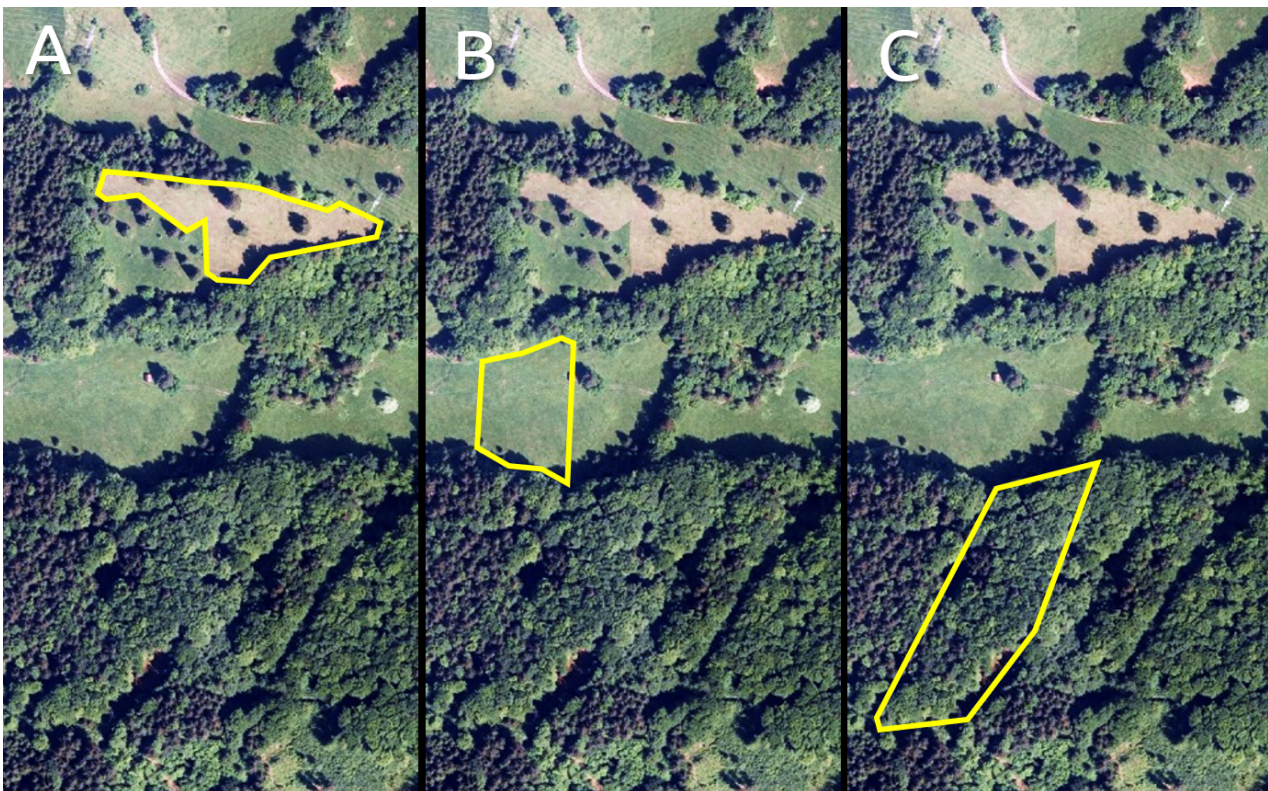


Abbildung 1: Beispielhafte schematische Darstellung der Monitoring Szenarien Wald-Wiederaufbau (A), Aufforstung (B) und Waldumbau (C) in einem Luftbild.

Der Waldumbau (C) unterscheidet sich dahingehend, dass bereits bei Beginn der Maßnahme, bzw. des Monitorings, ein meist geschlossenes Kronendach und eine hohe Biomasse auf der

Fläche vorhanden ist. Beim Wald-Wiederaufbau (A) als auch bei Aufforstung (B) ist davon auszugehen, dass es mindestens 10 Jahre dauert, bis wieder ein dichtes Kronendach entstanden ist. Bei diesen beiden Szenarien (A & B) muss jedoch zusätzlich unterschieden werden, dass auf Flächen des Wald-Wiederaufbaus noch eine Teilbestockung (Restbestand an Bäumen die ein Schadereignis überstanden haben) vorhanden sein kann, was bei Aufforstungsflächen gewöhnlich nicht der Fall ist. Der Wald-Klimastandard und das Monitoringkonzept beziehen sich zunächst nur auf das Szenario des Wald-Wiederaufbaus (A) und kann in Zukunft auf die anderen Szenarien ausgeweitet werden.

5) Verfügbare Daten

Als Grundlage für das fernerkundungsbasierte Kohlenstoffmonitoring können sowohl Satellitendaten, als auch Flugzeug- oder Drohnen-basierte Luftbilder herangezogen werden: Es eignen sich grundsätzlich alle sehr hoch aufgelösten optischen Nah- und Fernerkundungsdaten die sich photogrammetrisch bezüglich der Höheninformation von Objekten auswerten lassen, sowie LiDAR-Befliegungsdaten (Light Detection and Ranging). Abhängig von der räumlichen Auflösung der verwendeten Eingangsdaten, lassen sich so verschiedene Genauigkeiten für die Kohlenstoffbilanzierung erreichen.

Aus hochaufgelösten Luftbildern lassen sich genaue Digitale Oberflächenmodelle (DOM) und Digitale Geländemodelle (DGM) ableiten, welche zur Berechnung von Baumhöhenmodellen (BHM) herangezogen werden können. Diese Baumhöhenmodelle spielen eine sehr wichtige Rolle für das Abschätzen der auf einer Fläche bestehenden Biomasse. Für den Monitoringzweck des WKS eignen sich im Besonderen die hochauflösenden Befliegungsdaten der Landesvermessungsämter zur Ableitung von aktuellen DOMs. Die Daten stehen in einigen Bundesländern kostenfrei zur Verfügung und werden regelmäßig alle zwei bis drei Jahre neu erhoben. Zur Zeit bieten die Bundesländer Berlin, Brandenburg, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein sowie Thüringen Befliegungsdaten kostenlos an (Stand: Juni 2022). Im Rahmen der Umsetzung der EU open data policy ist allerdings zu erwarten dass zukünftig alle Bundesländer Ihre Befliegungsdaten kostenfrei zur Verfügung stellen.

Für kleinere Flächen (ca. <3ha) eignen sich auch Luftbilder aus Drohnen-Befliegungen. Diese Daten liefern die höchste Auflösung und somit Genauigkeit für das Monitoring. Da sie jedoch aufwändig erhoben werden müssen, sind die Kosten nicht unwesentlich. Die DGMs können meist direkt von den Landesvermessungsämtern bezogen werden.

6) Methode des Kohlenstoffmonitorings

Beim Kohlenstoffmonitoring werden über die vorhandene oberirdische Biomasse die flächenspezifisch gebundenen CO₂-Äquivalente ermittelt. Diese entsprechen letztlich dem Umfang verifizierter Klimawirkung einer Projektfläche. Nah- oder Fernerkundungsdaten werden verwendet, um das Volumen der oberirdischen Biomasse abzuschätzen.

Digitales Oberflächenmodell: Für das Volumen der Biomasse werden zunächst Oberflächenmodelle (DOM) benötigt. Diese können mittels photogrammetrischer Verfahren vor allem aus Drohnenaufnahmen oder Luftbildern in hohem Detailgrad gewonnen werden. Die hierfür erforderlichen Daten können individuell erhoben werden, oder über Synergien mit beispielsweise regelmäßig stattfindenden Befliegungen der Landesvermessungsämter der

Bundesländer beschafft werden.

Digitales Geländemodell: Neben dem DOM ist für die Volumenberechnung der oberirdischen Biomasse ein digitales Geländemodell (DGM) erforderlich., welches das Terrain der Erdoberfläche (ohne Objekte wie Vegetation oder Gebäude etc.) wiedergibt. Dieses kann meist als fertiges Produkt, welches auf LiDAR-Daten beruht, ebenfalls von den Landesvermessungsämtern bezogen werden.

Baumhöhenmodell (BHM): Das DOM und DGM werden genutzt, um ein Differenzmodell zu erzeugen, wodurch ein Baumhöhenmodell (BHM) entsteht (Abbildung 2). Mit der Baumhöhe besteht zur Ermittlung von Bestandesdaten, z.B. Bonität/Ertragsleistung, Holzvolumen, Zuwachsermittlung, etc., eine wichtige Ausgangsgröße (Kramer & Akca 2002).

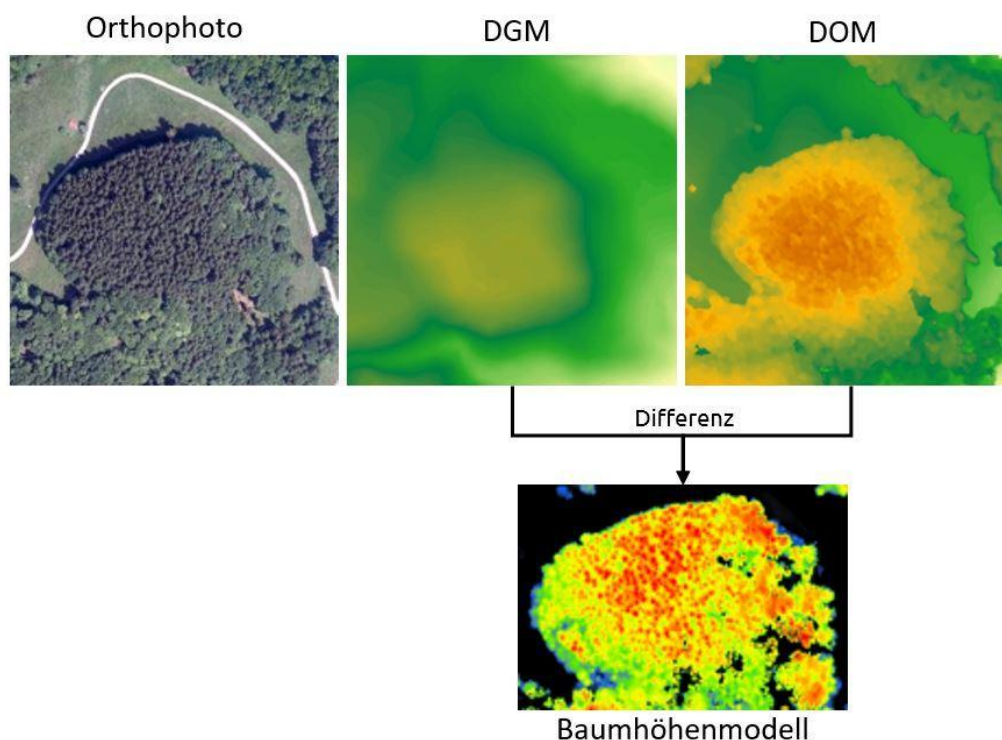


Abbildung 2: Beispiel von Oberflächen- und Geländemodell sowie abgeleitetem Baumhöhenmodell

Biomassen-Schätzung: Die Bestimmung der oberirdischen Wald-Biomasse bzw. des Bestandesvorrats auf der Monitoringfläche erfolgt grundsätzlich unter Berücksichtigung der vorkommenden Baumarten, der Baumhöhen und der Bestandesgrundfläche. Die Information der Baumarten verbessert die Genauigkeit der Berechnung des Kohlenstoffvorrats, da unterschiedliche Holzdichten berücksichtigt werden können. Die Bestandesgrundfläche besteht aus der Summe der Grundflächen sämtlicher Einzelbäume (Fläche des Stammes per Brusthöhendurchmesser (BHD)), gemessen in m^2ha^{-1} . Das Bestandesalter ist bei Maßnahmen zum Wald-Wiederaufbau bekannt (Jahr der Pflanzungen) und kann als konstanter Faktor für die Fläche berücksichtigt werden. Die Schätzung des Bestandesvorrats erfolgt über die Bestimmung der Vorratsfestmeter nach folgender Gleichung:

$$V_{\text{fm}} = G \times \text{FH}$$

,wobei V_{fm} sind die Vorratsfestmeter, G die Bestandesgrundfläche in m^2 und FH der Formhöhentarif, dessen Wert sich nach der Baumart und der jeweiligen Bestandesmittelhöhe richtet (Beispiel: [Link](#))

Vorratsfestmeter ist eine Volumenangabe für den stehenden Vorrat in m^3 mit Rinde inkl. allem Derbholz (Holz ≥ 7 cm Durchmesser; Riedel et al. 2017). Anhand der Baumhöhen aus dem Baumhöhenmodell lassen sich für die Bestände die Bestandesmittelhöhe ableiten und unter der Verwendung von Allometrien (Abbildung 3) der Brusthöhendurchmesser (BHD) ermitteln. Diese können mittlere Werte für die Monitoringfläche sein, bei Flächen größer 1ha sollten diese Werte für Teil-Flächen mit einer Größe von $100m^2$ bestimmt werden um die Variabilität auf der Gesamtfläche besser abbilden zu können. Diese Allometrien können auf unterschiedlichen Datengrundlagen basieren, sollten aber nur auf Daten aus Deutschen Wäldern beruhen. Die genaueste, jedoch auch aufwändigste Methode ist, eine Baumarten- und Gebietsspezifische Allometrie individuell zu erheben. Ohne eine Neuerhebung der Daten durchzuführen ist es aber auch möglich, bestehende Allometrien zu verwenden. Hier kann weiter unterschieden werden, ob artspezifische Allometrien verwendet werden, oder lediglich eine durchschnittliche Allometrie für Koniferen oder Laubholz. Je genauer die Allometrien, desto genauer können Informationen über den flächenspezifischen Kohlenstoffspeicher abgeleitet werden (Chave et al. 2005, Ehlers et al. 2022).

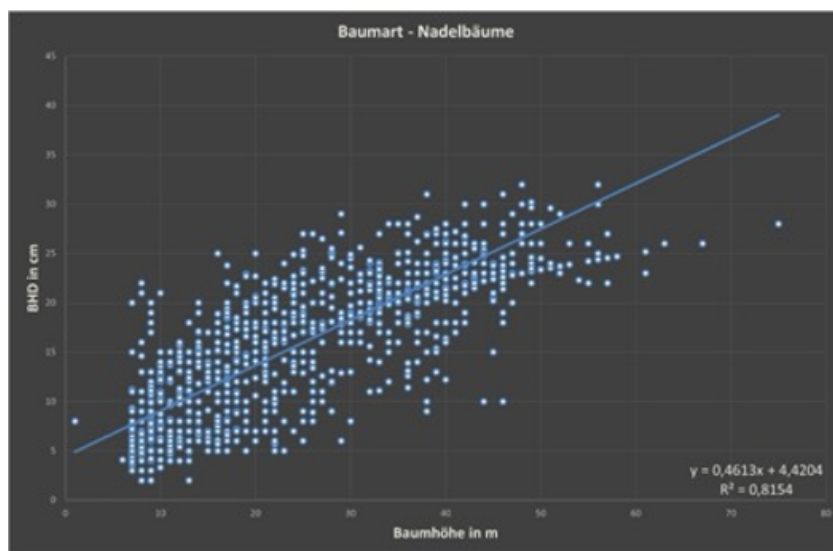


Abbildung 3: Beispiel einer Allometrie zur Ermittlung des BHD aus der Baumhöhe (Nadelbäume)

Um die Bestandesgrundfläche zu schätzen, werden die Werte des mittleren BHD mit der Anzahl auf der Fläche stehender Bäume verrechnet (Stammzahl). Zur Annahme der Anzahl der Bäume pro Fläche sind unterschiedliche Optionen möglich, die sich allerdings in Ihrer Genauigkeit unterscheiden. Die am höchsten generalisierte Option ist die Verwendung von Stammzahl-Standardwerten pro Baumart. Eine weitere Option ist die Ableitung der Stammzahl aus den digitalen Modellen oder Luftbildern über eine Einzelbaumerkennung, welche allerdings zur Zeit noch häufig mit einer großen Unsicherheit verbunden ist. Die genaueste Option ist die Verwendung von auf der Fläche erhobener Stammzahlen. Grundsätzlich kann festgehalten

werden, dass ohne Zusatz- oder Referenzdaten aus den Projekten (Baumartenzusammensetzung, Stammzahlen etc.) eine reine Nah- oder Fernerkundungs-basierte Biomasse- und Kohlenstoffschätzung möglich ist, allerdings würden Zusatz- oder Referenzdaten die Schätzungen auf Bestandesebene in Ihrer Genauigkeit wesentlich verbessern.

Für die hier beschriebene Biomasseschätzung soll eine Genauigkeit entsprechend der von UNFCCC erreicht werden ([Link](#)).

Umrechnung von Biomasse zu CO₂: Die Umrechnung der erfassten Biomasse-Volumina in CO₂-Äquivalente erfolgt analog zur Methode des Wald-Klimastandards (siehe Anforderungen des Prinzips 4 “Klimawirkung”).

7) Monitoringfrequenz

Für die Überprüfung der Zusätzlichkeit in Bezug auf die C-Senkenleistung der Projekte, ist eine geeignete zeitliche Ausgestaltung des Monitorings wichtig. Es ist zu berücksichtigen, dass in den ersten Jahren nach dem Wald-Wiederaufbau die Biomassewerte der Setzlinge noch zu gering sind, um sie mit fernerkundlichen Mitteln genau genug zu bestimmen.

Ein fernerkundliches Kohlenstoffmonitoring kann bei ausreichender Biomasse und verfügbaren Daten ab dem 5. bis 10. Jahr als sinnvoll erachtet werden. Dies kann abhängig von der Verfügbarkeit geeigneter Daten in einem Intervall von drei bis fünf Jahren fortgeführt werden. Abbildung 4 zeigt schematisch den Monitoringzyklus für die Felddatenerhebung sowie dem Monitoring der C-Senkenleistung. Die Felddatenerhebung meint die Erfassung der Pflanzparameter wie Pflanzzahl und Baumarten.

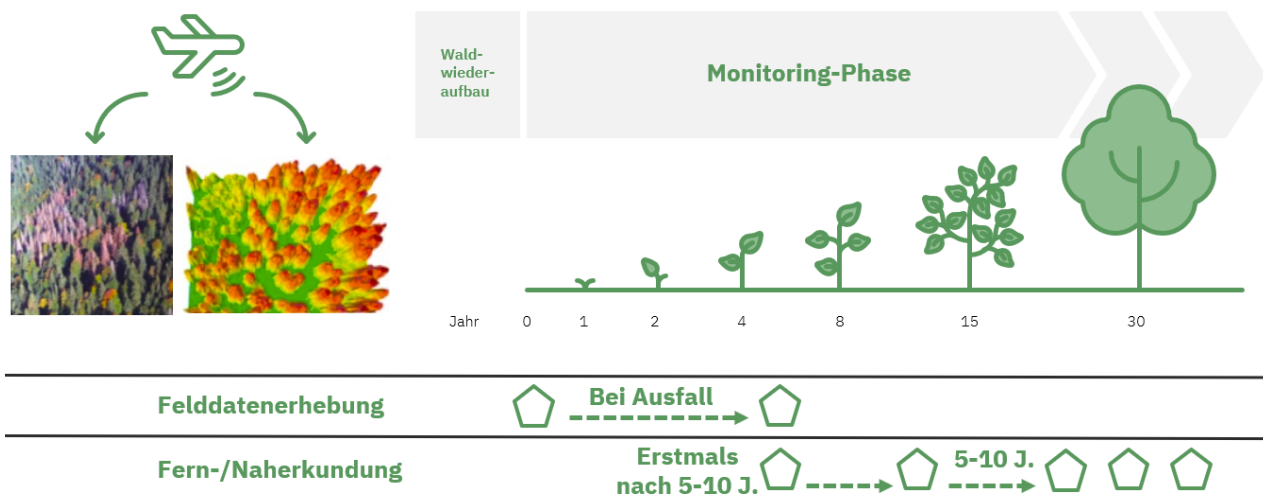


Abbildung 4: Der Monitoringzyklus bei Wald-Wiederaufbau

8) Anwendungskriterien und Empfehlungen

Zusammenfassend müssen folgende Bedingungen erfüllt sein, um ein Monitoring mit den Methoden der Fernerkundung im Rahmen des WKS anwenden zu können:

- Das Monitoringkonzept gilt ausschließlich für Flächen des Wald-Wiederaufbaus (Wiederaufforstung auf Schad- oder Kahlfächen) in Deutschland. Im Falle einer zukünftigen Legitimierung durch den WKS, kann das Monitoring auch auf Aufforstungsflächen angewendet werden.
- Die kleinste zusammenhängende Flächengröße muss $\geq 0,5$ Hektar betragen
- Bei Flächen $> 1\text{ha}$ sollen Teilflächen $\hat{=} 100\text{m}^2$ (Raster) gebildet werden, um die Variabilität der Bestände besser abzubilden.
- Bei Baumarten für die bisher nicht ausreichende Referenzwerte vorhanden sind, sollen Mittelwerte ähnlicher Baumartengruppen verwendet werden (Laub- und Nadelbäume)
- Wenn vorhanden, sollen bevorzugt auf den Projektflächen oder auf vergleichbaren Referenzflächen erhobene Parameter als Referenzwerte verwendet werden

Ausblick: Mögliche zukünftige Zusatzdaten

Zusatzdaten wie die GPS-Positionen der gepflanzten Bäume, oder aus Luftbildern abgeleitete Positionen der Baummittelpunkte, könnten die Verfahren in Bezug auf Genauigkeit weiter verbessern, da Allometrien räumlich explizit angewendet werden könnten (Dalponte et al. 2018). Während die Positionen der Bäume (beim Pflanzen) aufwendig per GPS erfasst werden müssten, könnten neue Verfahren der Bilderkennung mittels künstlicher Intelligenz zukünftig helfen die Information aus Luftbildern abzuleiten. Dazu gibt es bereits einige Entwicklungen, die in Zukunft für das Monitoring im Rahmen des WKS in Wert gesetzt werden können.

Ein Beispiel ist das Open-Source-Softwarepaket “DeepForest”, welches zur Abgrenzung von Baumkronen in RGB-Bildern genutzt werden kann (Weinstein et al. 2019). Dieses Modell kann unter Verwendung zusätzlicher Wald-spezifischer Trainingsdaten (z.B. aus Deutschen Wäldern) neu trainiert werden um auf bestimmte Waldtypen zugeschnittene Vorhersagen zu verbessern.

Zudem können auch Laserscanning Daten zur Identifikation von individuellen Bäumen und zur Abgrenzung von Baumkronen verwendet werden (Dalponte et al. 2018). Weitere nützliche Zusatzdaten, welche die Genauigkeit von Biomasseschätzungen verbessern können, sind räumliche Informationen über die Baumarten. Welle et al. (2022) haben erstmals eine Satelliten-basierte Karte der dominanten Hauptbaumarten für Deutsche Wälder entwickelt. Die Ergebnisse sind online im Waldmonitor Deutschland dargestellt (waldmonitor-deutschland.org)

Eine weitere Möglichkeit der fernerkundlichen Biomasseschätzung ohne direkte Berechnung der Bestandesgrundfläche, ist die Nutzung von Referenzflächen in denen Forstinventurdaten als auch die nah-oder fernerkundlich abgeleiteten Daten existieren (BHM). Fast alle bisherigen fernerkundlichen Verfahren zur Biomasseschätzung von Waldbeständen basieren auf diesem Verfahren. Über Modelle werden dabei die Relation zwischen den Biomassewerten aus Forstinventuren und den fernerkundlichen Parametern auf den Referenzflächen abgeleitet. Diese können anschließend auf andere Flächen angewendet werden. Dazu ist allerdings eine repräsentative Anzahl an Inventurplots auf Aufforstungs- bzw. Jungwaldflächen nötig, die im Moment noch nicht zur Verfügung stehen.

9) Literatur

Riedel T., Hennig P., Kroihner F., Polley H., Schmitz F., Schwitzgebel F. (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertemethoden, 124 S.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145. 87-99. [10.1007/s00442-005-0100-x](https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x).

Dalponte, M., Frizzera, L., Gianelle, D. (2018). How to map forest structure from aircraft, one tree at a time. *Ecol. Evol.* 8, 5611–5618. <https://doi.org/10.1002/ece3.4089>

Ehlers, D.; Wang, C.; Coulston, J.; Zhang, Y.; Pavelsky, T.; Frankenberg, E.; Woodcock, C.; Song, C. (2022). Mapping Forest Aboveground Biomass Using Multisource Remotely Sensed Data. *Remote Sens.* 2022, 14, 1115. <https://doi.org/10.3390/rs14051115>

Kramer, H., Akca, A. (2002): Leitfaden zur Waldmesslehre.

Riedel T., Hennig P., Kroihner F., Polley H., Schmitz F., Schwitzgebel F. (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertemethoden, 124 S.

Weinstein, B.G., Marconi, S., Bohlman, S., Zare, A., White, E., 2019. Individual Tree-Crown Detection in RGB Imagery Using Semi-Supervised Deep Learning Neural Networks. *Remote Sens.* 11, 1309. <https://doi.org/10.3390/rs11111309>

Welle, T., Aschenbrenner, L., Kuonath, K., Kirmaier, S., Franke, J. (2022) Mapping Dominant Tree Species of German Forests. *Remote Sens.* 2022, 14, 3330. <https://doi.org/10.3390/rs14143330>