Dokumentation der Methodik zur Auswertung der Bestandsdaten an MoMoK Standorten

# Zielsetzung/ Zielergebnisse

Die Auswertung der Bestandesdaten an MoMoK Standorten soll folgende Ergebnisse liefern:

Hauptziel der Auswertung ist die Auswertung des Kohlenstoffvorrat (1) pro Plot in Tonnen C, (2) pro Plot in Tonnen C pro Hektar, (3) pro Plot pro Baumartengruppe in Tonnen C pro Hektar.

Die Ergebnistabellen mit den Kohlenstoffvorräten werden den Kohlenstoffvorrat in folgende Kompartimente aufschlüsseln:

-          Oberirdisch:

-        Altbestand: beinhaltet alle Bäume über 7cm Brusthöhendurchmesser (BHD)

-        Stamm

-        Äste

-        Blattmasse

-        Totholz

-        Verjüngung: beinhaltet alle Bäume unter 7cm BHD

-          Unterirdisch:

-        Biomasse der Grobwurzeln des Altbestandes

Des weiteren, werden folgende bestandesbeschreibende Parameter pro Plot pro Baumart pro Bestandesschicht bereitgestellt:

-          Baumartenzusammensetzung

-        über Anteil der Baumart an gesamter Grundfläche des Plots

-          Bestandesdichte

-        über Grundfläche in m2/ ha pro Plot und Baumart

-        über Stammzahl pro Hektar

-        über Standraum pro Baum

-          mittlere Höhe

-          mittlerer Durchmesser

-          Durchschnittliches Alter

Ferner werden Informationen über Indikatoren für die Biodiversität des Baumbestandes bzw. das Potential des Waldes Biodiversität zu begünstigen pro Plot bereitgestellt.

-          Horizontal Struktur:

-        Artenanzahl

-        Bestand

-        Verjüngung

-        Bestand + Verjüngung

-          Vertikal Struktur:

-        Standartabweichung der Baumhöhen

-        Standardabweichung der Baumdurchmesser

-          Totholzanteil

-        an gesamter Biomasse

-        Anteil stehenden Totholzes an der gesamten Totholzbiomasse

-        Anteil liegenden Totholzes an der gesamten Totholzbiomasse

# Methodik

## Baumbestand

Um den Kohlenstoffvorrat zu berechnen, wird die Biomasse der Einzelbäume in den jeweiligen Kompartimenten (Stamm, Äste, Blätter, Wurzeln) benötigt. Diese kann über Biomassenfunktionen berechnet werden, welche im Rahmen der Bundeswaldinventur (BWI) und Nationalen Treibhausgasberichterstattung für die Hauptbaumarten (Buche, Eiche, Kiefer, Fichte, sonstiges Laubholz) entwickelt wurden. Wir haben uns dafür entschieden dieser Methodik zu folgen, um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der BWI, THGI und perspektivisch auch der Auswertung der Bestandesdaten zur dritten Bodenzustandserhebung (BZE 3) sicherzustellen. Die so berechnete Biomasse wird dann mit dem entsprechenden Kohlenstoffgehalt des Kompartiments und der Baumartengruppe multipliziert, um den Kohlenstoffvorrat zu erhalten.

Die Biomassefunktionen, sowie ihre Herleitung können in den folgenden Quellen nachvollzogen werden:

-        Nationale Treibhausgasberichterstattung:  <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/submission-under-the-united-nations-framework-5>

-        Bundeswaldinventur: <https://bwi.info/Download/de/Methodik/BMEL_BWI_Methodenband_Web_BWI3.pdf>

-        Röhling, S., Dunger, K., Kändler, G. *et al.* Comparison of calculation methods for estimating annual carbon stock change in German forests under forest management in the German greenhouse gas inventory. *Carbon Balance Manage* 11, 12 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0053-x>

-        Riedel, Thomas/Kändler, Gerald (2017): Nationale Treibhausgasberichterstattung: Neue Funktionen zur Schätzung der oberirdischen Biomasse am Einzelbaum. In: Forstarchiv : forstwissenschaftliche Fachzeitschrift 88, p. 31–38.<https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/Riedel2017_Biomassefunktionen.pdf>

-       Wellbrock, Nicole et al. (2017): Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests. In: Central European forestry journal 63, p. 105–112. <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058938.pdf>

-        Vonderach, C., Kändler, G. & Dormann, C. Consistent set of additive biomass functions for eight tree species in Germany fit by nonlinear seemingly unrelated regression. *Annals of Forest Science* 75, 49 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0728-4>: https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-018-0728-4

Die Berechnung der Biomasse über Baumartenspezifische Biomassenfunktionen löst das vorhergehende Verfahren ab, zunächst das Volumen des Stammes am Einzelbaum zu berechnen, um dieses dann mit der Holzdichte und weiteren Umrechnungsfaktoren in die oberirdische und unterirdische Biomasse umzurechnen.

Folgendes ist bei der Berechnung der Biomasse nach dem ausgewählten Vorgehen über die Biomassenfunktionen der BWI & TGHI zu beachten:

-        *Artspezifische Aussagen zu Biomasse und C-Vorrat:* Für MoMok sind SErl, MBi, GFi, Ki (BKi,GKi) relevante Baumarten. Biomasse Rechnungen nach THGI sehen fünf Baumartengruppen (Fi, Ki, Bu, Ei, sonst. Lbh mit niederen Umtriebszeiten) vor. Bei der Nadel/Blattbiomasse wird nur nach Laub- und Nadelholz unterschieden. Sollten sich im Rahmen der Literaturrecherche artspezifische Funktionen oder Faktoren finden, so müssen wir langfristig (also nicht bis September) darüber nachdenken, ob das zusätzlich berechnet werden soll.

-        Ferner bezieht die Berechnung der Oberirdischen Biomasse gemäß BWI & TGHI die Blattmasse bei Nadelbäumen bereits mit in die Berechnung ein, im Falle von Laubbäumen jedoch nicht. Um die Biomasse und Stoffvorräte in den jeweiligen Kompartimenten ausgeben zu können, muss die Nadel/Blattbiomasse mit nicht BWI & TGHI-eigene-Funktionen geschätzt werden und anschließend für Nadelholz abgezogen bzw. für Laubholz addiert werden.

-        *Artspezifischen Aussagen zu N-Vorrat:*Auch wenn die Biomasse mit Artengruppen berechnet wurden, lassen sich artspezifische N-Gehalte in der Literatur finden. Sollten sich im Rahmen der Literaturrecherche moor-spezifische Daten dazu finden, sollten wir diese in die Berechnung miteinbeziehen.

-        *Unsicherheiten durch Schätzung fehlender Höhen & Durchmesser in 1/3 der Baumhöhe:*Die Baumhöhe wird gemäß der Anleitung zu Bestandeserhebung für mindestens fünf repräsentative Bäume pro Baumart und Durchmesserklasse pro Plot erfasst (sofern vorhanden). Die Höhen der Bäume, deren Höhe nicht erfasst wurde, müssen somit geschätzt werden. Hierfür finden verschiedene Modelle verwendet (siehe 2.1.2.). Die so geschätzten Höhen werden daraufhin als Eingangsgröße für TapeS verwendet, um mittels dort hinterlegter Funktionen den Durchmesser in einem Drittel der Baumhöhe zu berechnen, welcher wiederum eine Eingangsgröße für die Biomassenformel darstellt. Dementsprechend akkumulieren sich potenzielle Schätzfehler und Ungenauigkeiten, was sich in der Berechnung der Biomasse widerspiegeln könnte.

*Unsicherheiten durch fehlende Kompartimentierung der BWI & THGI:* Da die Biomassenfunktionen der BWI/ THGI nicht in Baumkopartimente unterscheiden, die Berechnung der Elementvorräte am jeweiligen Standort – aufgrund Kompartimentabhängiger Elementgehalte - jedoch eine Unterteilung in die Kompartimente Stock, Stockrinde, Derbholz, Derbholzrinde, Nichtderbholz und Blattmasse bedingt, müssen diese nachträglich berechnet werden. Hierfür stehen verschiedene kompartimetspezifische Biomassenfunktionen zur Auswahl welche nachfolgend verglichen werden. Ziel der Berechnungen in den Kompartimenten ist es, die Kompartimentbiomasse so von der Gesamtbiomasse abzuziehen, dass man auf die THGI/ BWI Biomassevorräte pro Kompartiment schließen kann. Die Vor- und Nachteile dieses Vorgehens werden unter 2.1.5 näher erläutert.

### Schätzen fehlender Höhen

Fehlende Höhen werden über verschiedene selbst-gefittete nichtlineare Modelle pro Baumart und Plot geschätzt, welche Abhängig von der Modellgüte durch nichtlineare Modelle pro Baumart über alle Plots hinweg bzw. Einheitshöhenkurven von SLOBODA und CURTIS ergänzt werden. Die Koeffizienten der selbst-gefitteten nichtlinearen Modelle werden mittels der nls() Funktion (y = b0 \* (1 - exp( -b1 \* DBH\_cm))^b2)) des R Paketes „forestmangr“ pro Baumart und Plot bzw. pro Baumart für alle Plots in einem Datenset zusammengefasst.

Die Modellauswahl erfolgt nach folgenden Kriterien:

* Berechnung der Höhe mittels selbst-gefitteten nls pro Baumart und Plot:
* Wenn mindestens 3 Höhenmessungen pro Baumart und Plot vorhanden sind,
* keine Höhe für den jeweiligen Baum gemessen wurde und
* das R2 des entsprechenden Modells über 0.7 liegt, §  Die Entscheidung für die Grenze R2 = 0,7 basiert auf:….
* und es kein ein generelleres, selbst-gefittetes Model (pro Art aber über alle Plots)  für die entsprechende Baumart gibt, dessen R2 höher ist.
* Die Berechnung der Höhe mittels selbst-gefitteten nls pro Baumart, unabhängig vom Standort erfolgt wenn:
* Wenn mindestens 3 Höhenmessungen pro Baumart vorhanden sind
* Keine Höhe für den jeweiligen Baum gemessen wurde
* Es kein Modell pro Baumart und Plot für den entsprechenden Baum gibt (e.g. weil weniger als 3 Höhenmessungen pro Art und Plot verfügbar sind und so kein art- und plot-spezifisches Modell gefittet werden konnte)
* Das R2 des Modells pro Baumart höher ist als das eines zur Auswahl stehenden Modells pro Baumart und Plot
* Das R2 des Modells pro Baumart über alle Plots Höher als < 0.70 ist§  Die Entscheidung für die Grenze R2 = 0,7 basiert auf:….
* Die Einheitshöhenkurven Funktionen gemäß SLOBODA wird verwendet wenn:
  + Keine Höhe für diesen Baum gemessen wurde
  + Pro Baumart und Plot ein Durchmesser des Grundflächenmittelstammes und die Höhe des Grundflächenmittelstammes verfügbar sind, da diese die Eingangsgrößen für die Funktion darstellen
  + Kein selbst-gefittetes Model (weder pro Art & Plot, noch pro Art über alle Plots) vorhanden ist
  + Das R2 des selbst-gefitteten Models < 0.70 ist
  + Die Einheitshöhenkurven Funktionen gemäß CURTIS wird verwendet wenn:
  + Keine Höhe für diesen Baum gemessen wurde
  + Pro Baumart und Plot kein Durchmesser des Grundflächenmittelstammes und die Höhe des Grundflächenmittelstammes verfügbar sind, sodass die Input Variablen für die Einheitshöhenkurvenfunktion von SLOBODA nicht anwendbar sind
  + Kein selbst-gefittetes Model (weder pro Art & Plot, noch pro Art über alle Plots) vorhanden ist
  + Das R2 des selbst-gefitteten Models < 0.70 ist

Die Koeffizienten der Einheitshöhenkurvenfunktionen von Sloboda und Curtis differenzieren folgende Baumartengruppen: Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Lärche, Buche, Eiche. Alle anderen Nadelbäume werden der Fichte und alle anderen Laubbäume der Buche zugeordnet. Dementsprechend wurde in dem x\_bart und somit dem trees\_total dataset eine Spalte mit dem Namen H\_SP\_group erzeugt, welche die entsprechenden Arten den erforderlichen Gruppen zugeordnet.



### Schätzung der fehlenden Durchmesser

Die Schätzung der Durchmesser in 1/3 der Baumhöhe erfolgt durch das R package TapeS (<https://gitlab.com/vochr/tapes/-/tree/bba90ad32cf6bf7f938d79beec5adbbd8b774755>). Hierfür muss ein sogenanntes „object“ durch die „tprTrees“ Funktion erzeugt werden, welches die Baumart in einem in TapeS gespeichertem (1) Artencode (spp), den (2) Durchmesser in Brusthöhe in cm (Dm), die (3) Höhe in der der Durchmesser in Brusthöhe gemessern wurde m (Hm) und die (4) Baumhöhe in m (Ht) enthält.

Da die Codes und Abkürzungen die in TapeS hinterlegt sind nicht mit denen der Baumartenliste der BZE übereinstimmen in müssen zunächst Artencodes in dem Baum Datenset integriert werden, welche TapeS „lesen“ / „erkennen“ kann.

Dafür muss eine „key variable“ / „common variable“ zwischen der Artenliste von TapeS und der Artenliste der BZE (x\_bart) erzeugt werden.

Durch verschiedene vergleichende „joins“ war es möglich eine Spalte in x\_bart zu erzeugen die auf den BWI-Abkürzungen für die Deutschen Artnamen beruht (KI musste hierfür zu KIE, SER zu ER verändert) welche mit einer in zu Großbuchstaben veränderten Spalte mit den Abkürzungen für die deutschen Artnamen aus TapeS übereinstimmt (tpS\_com\_ID). Durch diese Übereinstimmung können die Abkürzungen sowie die „common ID“ zunächst aus x\_bart den Daten der Bestandeserhebungs zugewiesen werden und darüber nachfolgend die Codes aus der TapeS Artenliste in das Datenset der Bestandeserhebung zugewiesen werden.

Nachdem das TapeS Objekt erzeugt wurde, wird der Durchmesser in 1/3 der Baumhöhe erzeugt via „tprTrees“ berechnet und dem Bestandeserhebungs Datenset hinzugefügt.

Perspektivisch muss in x\_bart eine Spalte aufgenommen werden, welche die dort gelisteten Arten in die entsprechenden TapeS Artengruppen einteilt. Hierfür wurden zunächst die Baumarten aus dem x\_bart Liste gefiltert, welche einen übereinstimmenden botanischen namen in der TapeS Artenliste haben (SP\_names[,bot\_name] = TapeS\_SP[, scientific]). Über die Einordnung der verbleibenden Arten wurde Einzelfallweise entschieden. Generell sind die Arten in x\_bart zahlreicher und genauer aufgelistet. Die Einordnung erfolgte nach folgenden Kriterien:

* sollte(n) eine oder mehrere Arten in x\_bart unterschieden werden, in TapeS jedoch nur der botanische Genus gelistet sein, wurden alle Arten des Genus unter dem entsprechenden Genus zusammen gefasst e.g.: x\_bart: Ulmus minor, Ulmus laecis, etc. → TapeS: Ulmus spp.
* sollte(n) einige oder mehrere Arten in x\_bart und in TapeS unterschieden werden, andere jedoch nur in x\_bart vorkommen, wobei TapeS eine neben den einzelnen Arten eine Zusammenfassung unter dem botanischen Genus vorsieht, so wurden die entsprechend übereinstimmenden Arten gematched und alle in x\_bart verbleibenden, nicht zugeordneten Arten desselben Genus unter dem zugehörigen *Genus spp.* Eingeordnet

e.g.: x\_bart: Acer plataniodes, Acer pseudoplatanus, Acer campestre, Acer negundo, Acer opalus, etc. → TapeS: Acer plataniodes, Acer pseudoplatanus, Acer campestre, Acer spp.

* sollte(n) einige oder mehrere Arten in x\_bart und in TapeS unterschieden werden, andere jedoch nur in x\_bart vorkommen, wobei TapeS neben den einzelnen Arten keine Zusammenfassung unter dem boatnischen Genus vorsieht, so wurden die entsprechend übereinstimmenden Arten gematched und alle in x\_bart verbleibenden, nicht zugeordneten Arten desselben Genus einer der in TapeS gelisteten Arten desseleben Genus zugeordnet.

e.g. x\_bart: Abies grandis, Abies alba, Abies amabilis, Abies cilicica, Abies spp., etc. → TapeS: Abies grandis, Abies alba, Abies alba, Abies alba, …

* sollten eine oder mehrere Arten in x\_bart unterschieden werden, wobei in TapeS nur eine Art desselben Genus gelistet ist, wurden alle Arten des Genus in x\_bart unter der in TapeS gelisteten Art desselben Genus zusammengefasst:

e.g.: x\_bart : Fagus sylvatica, Fagus orientalis, Fagus moesiaca → TapeS: Fagus sylvatica, Fagus sylvatica, …

* sollte ein Genus in x\_bart nicht in Arten unterschieden werden, in TapeS jedoch schon werden alle Bäume des Genus der in TapeS gelisteten Art zugeordnet

e.g.: x\_bart: Tuja spp. → TapeS: Thuja plicata

* alle in x\_bart gelisteten Arten und Geni, welche keine übereinstimmende Art oder Familie in TapeS gelistet haben, werden den Kategorien *Magnoliopsida trees* (andere Laubholzarten) und *Coniferales trees* (andere Nadelholzarten)

### Einteilung in die Baumartengruppen der Biomassefunktionen

Die Koeffizienten für die Biomassenfunktionen beziehen sich auf die Baumartengruppen *oak, beech, soft-hardwoods, pine, spruce*. Dementsprechend werden alle repräsentierten Baumarten in die genannten Kategorien eingeordnet (BWI\_SP\_group).

Hierfür wurden die Baumartengruppen der BWI genutzt, welche alle erfassten Baumarten in die Gruppen *Eiche (Ei),Buche (Bu),* *anderes Laubholz kurzer Lebensdauer (aLn*),  *anderes Laubholz langer Lebensdauer (aLh),  Fichte (Fi), Tanne (Ta), Douglasie (Dgl), Kiefer (Ki), Lärche (Lae)* einordnen (Methodikband BWI, 2012):

* Eiche: alle Eichenarten (einschließlich Rot-Eiche)
* Buche,
* Andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer (aLh): Ahornarten, Ahornblättrige Pla- tane, Edelkastanie, Esche, Hainbuche, Lindenarten, Nussbaumarten, Robinie, Ross- kastanie, Speierling, Stechpalme, Ulme, Weißesche,
* Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (aLn): Birkenarten, Elsbeere, Erlenar- ten, Pappelarten, Traubenkirsche-Arten, Vogelkirsche, Wildobst, alle weiteren Laub- baumarten, soweit sie nicht gesondert genannt sind,
* Fichte: alle Fichtenarten und sonstige Nadelbäume außer Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne,
* Tanne: Weißtanne, Küstentanne und sonstige Tannen,
* Douglasie,
* Kiefer: alle Kiefernarten,
* Lärche: alle Lärchenarten.

Alle Baumarten welche unter die Kategorie *anderes Laubholz langer Lebensdauer* (BWI\_SP\_group == aLh) fallen, sowie Bäume des Genus *Fagus*, wurden der Biomassenfunktionsartengruppe *beech (bu)* zugeordnet (Bio\_SP\_group == bu).

Alle Bäume des Genus *Quercus* wurden der Biomassenfunktionsartengruppe *oak (ei)* zugeordnet (Bio\_SP\_group == ei).

Alle Laubbäume, welche keiner der zuvor genannten Biomassenfunktionsartengruppen zugeordnet werden können wurden der Kategorie *soft-hardwoods (shw)* zugeordnet. Nadelbäume des Genus *Pinus*und *Larix*wurden der Biomassenfunktion Baumartengruppe *pine (ki)*zugeordnet.

Die Biomasse für Fichten und alle anderen Nadelbaumarten wird mittels der Koeffizienten für *spruce (fi)*berechnet.

Hierfür wurde im SP\_names eine Spalte (Bio\_SP\_group) erzeugt, welche folgend dem trees\_total dataset - abhängig von den deutschen Abkürzungen (SP\_codes)- hinzugefügt.

### Umgang mit fehlender Kompartimentierung in den Biomassefunktionen von Röhling et al

#### Möglichkeiten zur nachträglichen Kompartimentierung

Die Biomassefunktionen der BWI & THGI hingegen erlauben nur die Berechnung der gesamte Holzige oberirdische Biomasse inklusive Rinde, Nichtderbholz und - im Falle von Nadelbäumen - auch inklusive Blattmasse. Eine Kompartimentierung sehen sie nicht vor. Dementsprechend müssen diese Kompartimente Separat über andere Modelle geschätzt werden und nachfolgend von der Gesamtbiomasse abgezogen werden. Für die Berechnung der Blatt-, Nichtderbholz- und Rindenbiomasse stehen verschiedene Modelle zur Verfügung. Unter anderem:

* die in dem BDat Nachfolger TapeS hinterlegten Biomassefunktionen:
  + Kändler, G. and B. Bösch (2012). Methodenentwicklung für die 3. Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung und Neukonzeption einer Biomassefunktion - Abschlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in Zusammenarbeit mit dem Institut für Waldökologie und Waldinventur des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, FVA-BW: 71
    - Daten die in die Modelle eingespeist werden stammen aus unterschiedlichen Studien mit unterschiedlichen sampling methods
    - Für die meisten waren keine Rohdaten verfügbar oder die verfügbaren Daten waren uneignet um weitere Kompartimente zu berechnen
    - Für die Studien mit einer besseren Datenlage wurde die Biomasse über „randomized branch sampling“ oder „full main axis mesurements with sampled branches“ erfasst
    - Fehlende Daten sowie der Grund für das auslassen bestimmter Kompartimente wurden durch mulitple imputations ausgeglichen.
    - Im Paper wird ebefalls erwähnt das „stump components“ zu den am häufigsten fehlenden Daten zählen, was sich mit unserer Beobachtung deckt, dass dieses Kompartiment nicht eindeutig in die Definition von Derbholz und / oder Baumholz miteibezogen wird, jedoch auch nicht zur unterirdischen Biomasse gehört.
    - Modelle für die einzelnen Kompartimente wurden mittels non-linear seemingly unrealted regressions gefittet
    - TapeS enthält Biomassefunktionen für die Artengruppen: Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Buche, Eiche, Esche, Ahorn
    - Ein Ergebnis dass für uns ebenfalls relevant sein könnte ist, das „additional predictors“ wie Höhe über dem Meeresspiegel etc. deutlich relevanter für Nadelholz waren, als für Laubholz. Das ist insofern relevant, als dass wir für Nadelholz verschiedene Möglichkeiten (e.g. TapeS) haben die Blattmasse zu berechnen, für Laubholz hingegen, wo wir auf die Formeln von Wutzler angewiesen sind, nicht zwingend auf eine komplexere Version der Modelle zurückgreifen müssen und trotzdem verhältnismäßig akkurate Ergebnisse zu erhalten.
    - Im Rahmen der TapeS Modellentwicklung und Analyse der Modelgüte wurden die predicten Biomassewerte in den Kompartimenten coarse wood + bark, small wood, needles mit den correspondierenden für dasselbe Datenset predicteten Biomassen nach Wirth (2004) verglichen. Hierbei zeigt sich das Wirth die Werte tendenziell leicht überschätzt, besonders für medium sized trees.
    - Die Formeln basieren auf den Biomassefunktionen nach Marklund, deren original Paper in Swedish nicht verfügbar ist. Aber lauf dieser Rpackage Documentation:<https://search.r-project.org/CRAN/refmans/sitreeE/html/biomass.birch.M1988.html> ermöglichen die Funktionen: „a data.frame with the following biomass components in kg: living.branches, dead.branches, stem.wood, stump.roots, bark, usoil, rot1, rot2, and foliage“
* Die Biomassefunktionen hervorgehend aus:
  + - Biomassefunktionen an BWI-Punkten, Christian Vonderach Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Biometrie und Informatik, 2018, [EnNa\_2018\_\_\_FFF\_H\_101\_Holznutzung\_Naehrstoffnachhaltigkeit.pdf](file:///O:\a7bze\ZZ_BZE3_Bestand_Auswertung\Literatur\EnNa_2018___FFF_H_101_Holznutzung_Naehrstoffnachhaltigkeit.pdf)
    - Problem hier: die Biomassenfunktionen kompartimentieren in Stockholz, Stockrinde, Derbholz, Derbholzrinde, Nichtderbholz, Blattmasse (nur für Nadelbäume) jedoch ist in unserem Fall die Stockhöhe, welche zur Berechnung der Stockbiomasse benötigt wird, nicht gemessen worden und müsst entweder geschätzt werden, oder von der Berechnung ausgeschlossen werden
    - Generell liegen die Biomasseschätzungen nach Vondernach leicht über denen von THGI/ BWI oder TapeS
* Blattmasse und Nichtderbholzfunktionen nach Wirth (Nadelholz, Fichte) und Wutzler (Laubbholz, Buche), wie in Daniel Ziches Paper zu Kohlenstoffbilanzen verwendet:
  + - <https://www.researchgate.net/publication/42089705_Generic_biomass_functions_for_Common_beech_Fagus_sylvatica_in_Central_Europe_Predictions_and_components_of_uncertainty>
    - <https://www.researchgate.net/publication/8959167_Generic_biomass_functions_for_Norway_spruce_in_Central_Europe_-_A_meta-analysis_approach_toward_prediction_and_uncertainty_estimation>
      * Zur Anwendung der Präzieseren Version des Modelles zur Blattmasse Berechnung von Wutzler werden site index (Oberhöhe) und altitude (Höhe über Meerespiegel) als Inputgröße verlangt. Für die Oberhöhe wird vorgegangen wie in 2.1.2.2 beschrieben
      * Die Höhe über Meeresspeicel wird aus dem DGM5 auf dem HPC Server des Thünen Institutes in Braunschweig extrahiert.

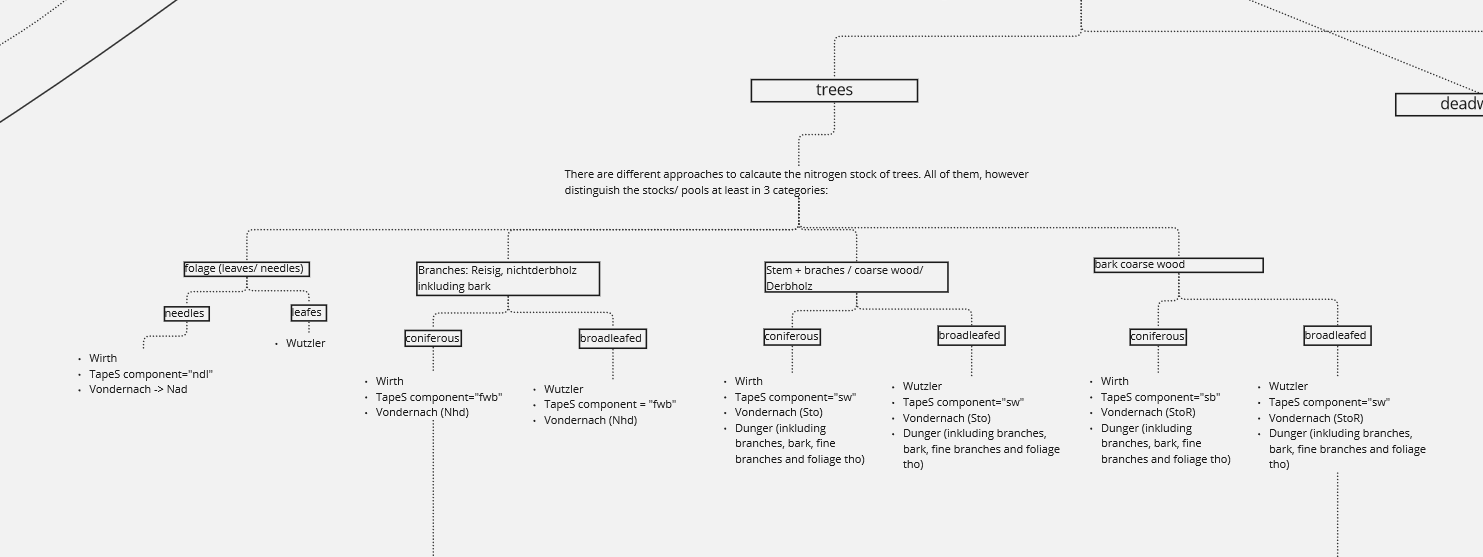


Abbildung 1 Kompartimente und Quellen für die entsprechenden Biomassefunktionen

Der Vergleich der berechneten Biomasse gemäß Treibhausgasinventur (GHGI) mit TapeS, Wutzler & Wirth und Vondernach zeigt, dass die geringsten Unterschiede zwischen TapeS und GHGI bestehen. Daher wird die Nachträgliche Kompartimentierung mittels TapeS vorgenommen.

Für die konkrete Berechnung der Biomasse in den jeweiligen Kompartimenten wird folgendermaßen vorgegangen:

* aB = Aboveground Biomass (oberirdische Biomasse)
* fB = foliage Biomass (Blattmasse)
* fwbB = fine wood including bark Biomass (Biomasse Nichtderbholz inklusive Rinde)
* swbB = solid wood bark Biomass (Biomasse Derbholzrinde)
* swB = solid wood Biomass without bark (Biomasse Derbholz ohne Rinde)
* stB = stump biomass without bark (Stock Biomasse ohne Rinde)
* stbB = stump bark biomass (Biomasse Stock Rinde )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **GHG swB** | **=** | **GHG aB** | **-** | **(TapeS fB** | **+** | **TapeS fwbB** | **+** | **TapeS swbB** | **+** | **TapeS stB** | **+** | **TapeS stbB)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **GHG swbB** | **=** | **GHG aB** | **-** | **(TapeS fB** | **+** | **TapeS fwbB** | **+** | **GHG swb** | **+** | **TapeS stB** | **+** | **TapeS stbB)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **GHG fwbB** | **=** | **GHG aB** | **-** | **(TapeS fB** | **+** | **GHG swbB** | **+** | **GHG swb** | **+** | **TapeS stB** | **+** | **TapeS stbB)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **GHG fB** | **=** | **GHG aB** | **-** | **(GHG fwbB** | **+** | **GHG swbB** | **+** | **GHG swb** | **+** | **TapeS stB** | **+** | **TapeS stbB)** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **GHG ab** | **=** | **GHG fB** | **+** | **(GHG fwbB** | **+** | **GHG swbB** | **+** | **GHG swb** | **+** | **TapeS stB** | **+** | **TapeS stbB** |

Eine Frage welche weiterhin besteht ist, ob das Kompartiment „Stock + Stockrinde“ in die Volumenberechnung der Treibhausgasinventur miteinbezogen wird und demgemäß für die nachträgliche Kompartimentierung abgezogen oder hinzugerechnet werden muss. Hierzu kann die Methodikdokumentation zur 3. BWI Auskunft geben:

Methodenentwicklung für die 3 Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung   
und Neukonzeption einer Biomassefunktion" von Kändler & Bösch

* „Eine wesentliche Erklärung des Unterschieds zwischen dem gemessenen und dem mit BDAT modellierten Derbholzvolumens liegt in der Art der Volumenberechnung. Beim vorliegenden Datenmaterial wurde versucht, das Volumen möglichst genau zu bestimmen, da die Biomasse über die  
  Umrechnung des Volumens mit Raumdichtefaktoren berechnet wurde. Daher wurde das  
  Volumen einschließlich des Wurzelstocks (also bodeneben) unter Messung eines weiteren  
  Durchmessers in 0,5 m Höhe über Grund (also im Bereich des Wurzelanlaufs) erfasst. Bei  
  den historischen Daten liegt der tiefste Durchmesser bei 1 m über Grund. Außerdem ist laut  
  Angaben in den Grundner-Schwappach’schen Volumentafeln das Wurzelstockvolumen im  
  Derbholz nicht mit enthalten; ob das Baumholz das Wurzelstockholz einschließt, ist indes  
  nicht ganz klar.1 Beim BDAT-Derbholzvolumen ist der Wurzelstock allerdings wie in dieser  
  Untersuchung ebenfalls eingeschlossen, da bei der Voluminierung des untersten Abschnitts  
  die volle 2-m-Sektion unterstellt wird.“
  + Alles was auf Grundner-Schwappach beruht, schließt somit den Wurzelstock nicht mit ein
  + Jedoch wurden diese Volumina für die Erstellung des BDat packges korrigiert:

„Für die Anpassung der Baumholzexpansionsfunktion wurde zunächst der von BDAT abwei-  
chenden Derbholzdefinition von Grundner-Schwappach Rechnung getragen (siehe Abschnitt  
3.3.1), wonach das Stockholz beim Derbholz (und vermutlich auch beim Baumholz) nicht  
enthalten ist. Daher wurden die Volumina der Grundner-Schwappach-Tafeln korrigiert. „

* Die GHGI Biomassefunktionen beruhen jedoch auf verschiedenen Studien mit tatsächlich gemessenen Biomassen und ausschließlich die Biomassen bzw. Volumina von Weichlaubhölzern (soft-hard-woods , anderes Laubholz kurzer Lebensdauer) wurden mittels sogenannter „Pseudoobervationen“ aus Grunder-Schwappbachs Ertragstafeln gefittet aufgrund des Mangels an tatsächlichen Proben. (siehe [BMEL\_BWI\_Methodenband\_Web\_BWI3.pdf](file:///O:\a7bze\ZZ_BZE3_Bestand_Auswertung\Literatur\BMEL_BWI_Methodenband_Web_BWI3.pdf), Kap. 5.2.8.)
* Die Marklund Funktionen die die Grundlage für die Biomasse Funktionen der BWI & GHGI darstellen, sind laut <https://search.r-project.org/CRAN/refmans/sitreeE/html/biomass.birch.M1988.html> jedoch in der Lage die Biomasse in den Kompartimenten: „living.branches, dead.branches, stem.wood, stump.roots, bark, usoil, rot1, rot2, and foliage.“ Zu berechnen. Dementspreched kann davon ausgegangen werden, dass die Biomasse des Stocks in der GHGI Biomasse miteinbezogen ist. Fragwürdig bleibt, ob dies auch für soft-hard-woods der Falls ist, bzw. ob es hier, sofern eine derartige Kompartimentierung vorgenommen wird zu starken Unterschätzungen des Biomassevorrates kommt. Das ist insofern relevant, dass soft-hard-woods einen Großteil der Hauptbaumarten an MoMoK Standorten darstellen.

#### Blattmasse bei NH & LH

Da die Blattmasse für Nadelholz bereits in die Berechnung der oberirdischen Biomasse mit einberechnet ist, für Laubholz jedoch nicht, wird die Biomasse zunächst für beide Gruppen berechnet (aB\_kg).

Für Laubholz wird die Biomasse bereits in den jeweiligen Kompartimenten berechnet (aB\_kg = StB\_kg Stem biomass, fB\_kg = canopy biomass broadleaved) und wird um die gesamte oberirdische Biomasse in kg zu erhalten zusammengerechnet (totaB\_kg = aB\_kg + fB\_kg).

Im Falle von Nadelholz hingegen wird zunächst die gesamte Biomasse in kg pro Baum, einschließlich Blattmasse berechnet ( aB\_kg = totaB\_kg) dementsprechend muss die Blattmasse zunächst berechnet und dann von der gesamten Biomasse abgezogen werden (fB\_kg = fB\_N canopy biomass coniferous; StB\_kg = aB\_kg - fB\_kg oder StB\_kg = totaB\_kg – fB\_kg)

Grundlage für die Entscheidung (1) Funktionen von Writh und Wutzler zu verwenden und (2) nur in Laub- und Nadelholz zu gruppieren basiert auf:

Der Empfehlung von Thomas Riedel

Dem Paper von Daniel Ziche, welcher ebenfalls Wutzler 2008 und Wirth 2004 für die Berechnung der Blattmasse nutzt, bei der Berechnung jedoch in mehr Artengruppen unterscheidet (oak, spruce, beech, pine, douglas fir, larch)

die vereinfachte Unterteilung in Buche und Fichte als stellvertretende Funktionen für Laubholz- und Nadelholz liegt darin begründet , dass die Hauptbaumarten an MoMoK Standorten (Birke, Erle, Bergkiefer, etc.) ohnehin nicht in den Biomassenfunktionen Vertreten sind

Als problematisch gestaltet sich für die Berechnung der Blattmasse zum einen, dass zusätzliche Kenngrößen als Input-Daten benötigt werden, welche aktuell (Stand 13.03.2023) nicht vollständiger Teil des Inventurdatensatzes sind. Dazu zählen: Baumalter, site index = Oberhöhe = Die Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Stämme des Bestandes pro Hektar (Assmann 1961), altitude = Höhe über Meerespiegel.

Daher sind für die Schätzung der Blattmasse folgende Aspekte zu berücksichtigen/ erledigen:

* Gute Begründung & Darstellung der Wissenschaftlichen Grundlage für die Auswahl der Modelle für die Blattbiomasse
* organisieren der fehlenden Input Variablen
  + Alter → Julian Gärtner → schon angefragt
  + Oberhöhe → Forsteinrichtungswerk? Selber berechnen? Wo hat D. Ziche die herbekommen?
  + Altitude: → mittels DEM selbst ermitteln → HPC Server → DGM5 → Rstudio Server → Nikolai´s skript

#### DGM5 für die Ermittlung der Höhe über Meeresspiegel

Da die Biomassenmodelle besserer Güte für die Blattmasse von Fichten, die Höhe über den Meeresspiegel sowie die Oberhöhe mit einbezieht muss zunächst ein Skript erzeugt werden, welches die Höhen an den jeweiligen Probepunkten aus einem Digitalen Geländemodell extrahiert.

Ein solches Model ist in gekachelter Form auf dem HPC Server des Thünen Institutes hinterlegt. Der Zugriff auf diesen Ordner erfolgt über Xgo welches den HPC Server und seine Daten- bzw. Orderstrukturen in einer Windows Maschine Darstellt. Das entsprechende Rskript wird also auf dem lokalen Computer vorbereitet und nachfolgend mittels Putty auf dem Server abgelegt und dort auch gerunnt.

Da dieser Prozess nicht innerhalb des bereits erstellten Skripts ablaufen kann, muss er der Analyse weiterer/ anderer Datensätze vorgeschaltet werden.

#### Oberhöhe

Die Oberhöhe beschreibt die Durchschnittliche Höhe der 100 stärksten Bäume pro Hektar. Da die erhobenen Plots maximal 75 Bäume pro Plot haben, besteht also keine Möglichkeit die Oberhöhe direkt zu berechnen.

Will man das Bestimmen einer Bonität und das manuelle Ablesen der Oberhöhe aus ertragstafeln oder die anwendung weiterer Schätzfunktionen vermeiden, so könnte man folgendermaßen vorgehen:

* Die Anzahl der Bäume ist bekannt.
* Die Größe des Plot in Hektar ist bekannt
* Hierrüber kann die Anzahl der Bäume pro Hektar bestimmt werden
* Anschließend kann man ausrechnen wieviel Prozent der Gesamtzahl an Bäumen pro Hektar 100 Bäume repräsentieren
* Mit einem Loop per plot über die dplyr Funktion slice\_max() kann man sich die Höhe der entsprechenden oberen 100 Bäume pro Hektar repräsentierenden Prozentzahl ausgeben lassen
* Und anschließend den Mittelwert dieser top n Prozent bestimmen

### Berechnung unterirdische Biomasse

Die unterirdische Biomasse wird mittels der in THGI und BWI hinterlegten Funktion berechnet.

Zu bedenken bleibt hierbei, dass moorspezifisches Wachstumsverhalten durch Staunässe & Veränderungen des Wasserspiegels auftreten können, welche in der TGHI & BWI Methodik nicht berücksichtigt werden.

Hierzu wird seitens des MoMoK Teams bereits recherchiert.

### Berechnung Kohlenstoff

Die Berechnung des Kohlenstoffvorrates erfolgt dann durch die Multiplikation der Biomasse mit dem Kohlenstoffgehalt, welcher gemäß IPCC Methodik zur Treibhausgasinventur 2006 0.5 beträgt und so auch in der TGHI und BWI verwendet wird.

### Berechnung Stickstoffvorrat / andere Elemente

Hierfür stehen verschiedene Literaturquellen zur Auswahl. Generell kann man festhalten, dass alle Quellen mindestens in die Kompartimente Derbholz, Derbholzrinde, Nichtderbholz, Blätter unterscheiden.

Im Bereich Nährstoffkonzentrationen stehen aktuell folgende Quellen als Mögliche Brechungsgrundlage zur Auswahl, ausgehend von der Literatur die in Rumpf et al. Zitiert wird:

* Paré David, BernierPierre, LafleurBenoit, TitusBrian D., ThiffaultEvelyne, MaynardDoug G., and GuoXiaojing. Estimating stand-scale biomass, nutrient contents, and associated uncertainties for tree species of Canadian forests. *Canadian Journal of Forest Research*.2012. **43**(7): 599-608. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0454>
  + - bezieht auch Baumarten wie Birke etc. mit ein, ist allerdings für kanadische Wälder gemessen worden
* Rumpf, Sabine & Schönfelder, Egbert & Ahrends, Bernd. (2018). Biometrische Schätzmodelle für Nährelementgehalte in Baumkompartimenten.
  + - unterteilt in Haupbaumarten, für Deutschland
    - Tabllen ab Seite 42
    - Es gibt keine Daten für Laub, nur für Nadelmasse
    - Kompartiemntierung der Elementgehalte stimmt mit der durch TapeS oder Vondernach möglichen Kompartimentierung der Biomasse überein
* Jacobsen, Carsten & Rademacher, Peter & Meesenburg, Henning & Meiwes, K.. (2003). Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten: Literaturstudie und Datensammlung.
  + - Sehr umfangreiche Literurstudie mit prezisen Angaben über Elementvorräte in den einzelnen Kompartimenten und zusammengefasst über verschiedene Kompartimente hinweg
    - allerdings von 2003
* Elementgehalte in Baumkompartimenten, Rademacher, Meewes, SChoenfeld, <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22015407.pdf>, S. 125
  + - Informationen sind leider nicht in Tabellenform aufbereitet
* Weis, Wendelin & Göttlein, A.. (2012). Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung/Nutrient-sustainable biomass utilization (in German). LWF aktuell. 90. 44-47.
  + - nur für Buche & Fichte
* Im Thünen Report von 2014
  + - [ThnenReport16\_C\_und\_Nhrelementspeicherung\_Wald\_RP\_2014.pdf](file:///C:\INSTITUT\a7forum\LEVEL%20I\ZZ_Literatur_Publikationen\BZE2\ThnenReport16_C_und_Nhrelementspeicherung_Wald_RP_2014.pdf)
    - Artenspezifische Nährelemetngehalte in Kompartimenten, Brechnet
      * Tab. A-5: Nährelementgehalte der Kompartimente des Bestand (BHD <7 cm)
      * berechungsgrundlage: Jacobsen, BLOCK, J. UND SCHUCK, J. (2002): Nährstoffentzüge durch die Holzernte und ihr Einfluss auf den Nährstoffhaushalt armer Standorte in Rheinland-Pfalz. Forstliche Forschungsberichte München, 186, S. 150–151
* Herleitung von Trockenmassen und Nährstoffspeicherungen in Buchenbeständen, Landesforstanstalt Eberswalde , 2008
  + - nur für Buche
* [Pretzsch, H.; Block, J.; Böttcher, M.; Dieler, J.; Gauer, J.; Göttlein, A.; Moshammer, R.; Schuck, J.; Weis, W.; Wunn, U. (2013): Entscheidungsstützungssystem zum Nährstoffentzug im Rahmen der Holzernte - Nährstoffbilanzen wichtiger Waldstandorte in Bayern und Rheinland-Pfalz.](https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=19278&token=3666547a435508f1f0990da23976af6c254ee0af) Schlussbericht zum Projekt 25966-33/0, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 204 S. und [Anhang](https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=19279&token=a80f5609f215ad7ab270834d6e7fab906d83c066)
  + - <https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=19278&token=3666547a435508f1f0990da23976af6c254ee0af>, S. 95
    - detaillierte, Hauptbaumartenspezifische Auflistung der Elementgehalte in tabellarischer Form
* Elementgehalte Populus:
  + - https://www.iww.uni-freiburg.de/publik/pdf/Morhart%20Sheppard%202013
* https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=282882&token=c06b8e69d1289db86a33a90e429f74712400886d
  + - gemessene Elementgehalt an Hauptbaumarten auf Standorte und Biomassen Kompartimente aufgeteilt

#### Rumpf et al. 2018 Stickstoffvorrat: Kompartimente & Artengruppen

Nach dem Vergleich der Verfügbaren Daten über Nährelemente sowie zugehöriger Möglichkeiten nachträglich zu kompartimentieren, ergibt Rumpf et al. 2018 als die vielversprechendste Datengrundlage, aufgrund (1) der Aktualität der Veröffentlichung, (2) der Anwendbar der Daten für Deutsche Waldökosysteme und Baumarten, (3) der Möglichkeit die Gesamtbiomassse entsprechend der Kompartimente in denen Stickstoff gemessen wurde nachträglich aufzuteilen.

2.1.7.1.1. Kompartimente

Rumpf et al. 2018 enthält Stickstoffgehalte für die Kompartimente: Nichtderbholz inkl. Rinde, Derbholz ohne Rinde, Derbholzrinde und Nadelmasse. Dementsprechend fehlen Stickstoffgehalte für Laubbäume und Stock- und Stockrinde, wobei der Stickstoffvorrat von Stock & Stockrinde über die Werte von Derbholz & Derbholzrinde berechnet werden können. Die Stickstoffgehalte in der Blattmasse von Laubbäumen erfordert weitere Literaturrecherche.

2.1.7.1.3. Artengruppen

Rumpf et al. 2013 deckt folgende Baumarten ab: Eiche, Buche, Ahorn, Esche, Birke, Erle, Kiefer, Douglasie, Fichte.

Die Artengruppierung für die Stickstoffberechnung orientiert sich an der Artengruppierung der BWI in Buche, Eiche, anderes Laubholz langer Lebensdauer, anderes Laubholz niedriger Lebensdauer, Fichte, Kiefer.

* Bäume des botanischen Genus „Quercus“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Eiche (EI) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Fagus“ und Bäume der BWI artengruppe Laubholz hoher Lebenserwartung (aLh) (siehe 2.1.3. ) werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Buche (BU) zugeordnet.
  + wobei die Arten welche in der BWI in die BWI Artengruppe anderes Laubholz hoher Lebenserwartung (aLh) fallen, jedoch in der Stickstoffdatenbank separat betrachtet werden, aus der Gruppe „herausgenommen“ und gemäß ihres botanischen Genus einer eigenen Stickstoff Artengruppe zugeordnet werden.
  + Hierzu zählen: Acer und Fraxinus
* Bäume des botanischen Genus „Acer“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Ahorn (AH) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Fraxinus“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Esche (ES) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Betula“ und Bäume der BWI Artengruppe anderes Laubholz niedriger Lebenserwartung (aLn) (siehe 2.1.3.) werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Birke (BI) zugeordnet.
  + wobei die Arten welche in der BWI in die BWI Artengruppe anderes Laubholz niedriger Lebenserwartung (aLn) fallen, jedoch in der Stickstoffdatenbank separat betrachtet werden, aus der Gruppe „herausgenommen“ und gemäß ihres botanischen Genus einer eigenen Stickstoff Artengruppe zugeordnet werden.
  + Hierzu zählt: Alnus
* Bäume des botanischen Genus „Pinus“ oder „Larix“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Kiefer (KI) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Pseudotzuga“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Douglasie (DGL) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Picea“ und alle anderen Nadelbaumarten die nicht den botanischen Genus „Pinus“, „Larix“, „Pseudotzuga“ haben, werden der Stickstoff Artengruppe (N\_SP\_group) Fichte (FI) zugeordnet

## Totholz

### Volumen

Die Art des Durchmesser der erfasst wurde variiert mit dem Torholz- bzw. Zersetzungstyp. Nächste Tabelle zeigt für welchen Totholztyp, welcher Durchmesser zu messen ist. Die Durchmesser sind in Zentimeter anzugeben. Die Messung erfolgt wie vorgefunden mit oder ohne Rinde.

* Bei stehendem Totholz und Bruchstücken mit einer Höhe > 13 dm und BHD ≥ 10 cm wer-den der BHD wie vorgefunden [cm] und die Höhe [dm] gemessen.
* Bei liegendem Totholz mit einem Durchmesser ≥ 10 cm am dickeren Ende werden Mittendurchmesser [cm] und Länge [dm] des Totholzstücks im Probekreis gemessen. Die Länge des liegenden Totholzes wird vom dicken Ende bis Ende bzw. bis zum Schnittpunkt mit dem Probekreis gemessen.
* Bei abgebrochenen Kronen (liegend; starkes Totholz) wird der Hauptschaft mit Mittendurchmesser [cm] und Länge [dm] des Hauptschaftes im Probekreis erfasst. Abzweigende Äste mit einem Durchmesser ≥ 10 cm am dickeren Ende werden separat erfasst.
* Bei liegenden ganzen Bäumen mit einem BHD ≥ 10 cm werden BHD [cm] und Länge bis zur Baumspitze (Wipfel) [dm] gemessen, sofern dieser im Probekreis liegt.
* Bei Wurzelstöcken mit einer Höhe < 13 dm und einem durchschnittlichen Schnittflächendurchmesser ≥ 10 cm deren Mittelpunkt innerhalb des Probekreises liegt, werden Höhe bzw. Länge (liegender Wurzelstock) [dm] und Durchmesser [cm] gemessen. Der Durchmesser wird in Höhe der Schnittfläche bzw. Abbruchstelle gemessen.
* Bei der Messung von TH-Länge/-Höhe mit nicht intakten Enden ist ein Volumenausgleich anzustreben.
* Schätzverfahren bei in Haufen vorkommendem Totholz: Anzugeben ist die geschätzte mittlere Länge [dm], der geschätzte mittlere Mittendurchmesser [cm] sowie die Stückzahl der Totholzelemente

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Totholztyp** | **Code Totholztyp** | **zu messender Durchmesser** |
| stehend; ganzer Baum und Bruchstück | 2, 3 | Brusthöhendurchmesser |
| liegend; ganzer Baum | 5 | Brusthöhendurchmesser |
| liegend; starkes Totholz | 1 | Mittendurchmesser |
| in Haufen vorkommendes Totholz | 6 | mittlerer Mittendurchmesser (geschätzt) |
| Wurzelstock | 4 | durchschnittlicher Schnittflächendurchmesser |

Abhänging von dem Code Totholztyp werden somit die verfahren/ functionen zur Biomassen & Volumenermittlung variieren?

* Der BWI Methodikband geht folgendermaßen vor: <https://bwi.info/Download/de/Methodik/BMEL_BWI_Methodenband_Web_BWI3.pdf>, S.41
* Das Volumen für die Totholzarten 1 = **liegendes Totholz, 4 = Wurzelstöcke und 5 = Abfuhrreste** wurde bei den Erhebungen vor der BWI 2012 aus den Mittendurchmessern unter Verwendung der Walzenform-Formel 5.2.11.4 berechnet
* Das Volumen der Totholzart 2 = **stehend oder liegend, ganzer Baum** wird wie ein lebender Baum behandelt, d. h. es werden BHD und Höhe gemessen und über die Programmbibliothek BDat das Volumen hergeleitet
* Bei der Totholzart 3 = **stehend oder liegend, Bruchstück (mit Wurzelanlauf)** wird ebenfalls der BHD und die Höhe erfasst und anschließend mit BDat das Volumen für gebrochene Bäume berechnet. Für **Bruchstücke mit Wurzelanlauf < 3 m Länge** bzw. Höhe liefert BDat jedoch unplausible Totholzvolumina, da es für diesen Wertebereich nicht entsprechend parametrisiert wurde.
* Alternativ wurde für **Bruchstücke mit Wurzelanlauf < 3 m Länge** bzw. Höhe die Zylinderformel angewandt, wobei deren BHD als Prädiktor für den Durchmesser einfließt

### Artengruppen

Für die Volumenberechung mit BDAT bzew. TapeS, also eine Volumenschätzung wie sie auch für lebende Bäume durchgeführt werdfen soll müssen die Daten des stehenden oder kaum zerstezen Totholzes in TapeS objects zusammengefasst werden. Hierfür könnte man die Hauptbaumarten verwenden, da die Kategorisierung der Totholzinventur nur sehr grobe Kategorien vorsieht (Nadel-, Laub- oder Eichentotholz). Würden wir diese Kategorisierung beibehalten und , wie an anderer stelle alle Nadelhözer über Fichten und alle Laubhölzer über Buche berechnen, verlieren wir präzision obwohl wir es an dieser stelle nicht müssten. Da zu erwarten ist, dass das entstehende Totholz (insbesondere bei MoMoK wo es sich um Reinbestände handelt) durch die dominante Baumart produziert wird.

Wir könnten zudem eine zusätzliche Kontrolle einfügen indem wir vergleichen ob die Artengruppe des Totholzstückes (Laub/Nadel) mit der der Hauptbaumart übereinstimmt. Sollte dies nicht der Fall sein, können wir immer noch auf eine allgemeinere Form ausweichen.

Dadurch würde sich zudem ein weiteres Problem lösen lassen, welches sich aus der Artengtuppe 4 („unbekannt“) ergibt. Hier könnten wir, wenn wir mit der Hauptbaumart rechnen, die Totholzdichte der entsprechenden Artengruppe der Hauptbaumart anwenden (Laub-/Nadelholz/ Eiche).

### Zersetzungstypen

Um die von der BWI, und THGI genutzten BEF (Biomass extension factor, bulk density/ Trockenrohdichte des Totholzes) anwenden zu können, welche sich auf vier anstatt fünf (wie in BioSoil und MoMoK klassifiziert) Zersetzungstypen beziehen, müssen diese zunächst harmonisiert werden. Hierfür müssen zwei der MoMoK & Biosoil Zersetzungsklassen zusammengefasst werden. Hierfür wurden die Zersetzungsgrade 1&2 wie in [ThnenReport16\_C\_und\_Nhrelementspeicherung\_Wald\_RP\_2014.pdf](file:///C:\INSTITUT\a7forum\LEVEL%20I\ZZ_Literatur_Publikationen\BZE2\ThnenReport16_C_und_Nhrelementspeicherung_Wald_RP_2014.pdf) zusammengefasst.

Totholz Zersetungstypen gemäß MoMok & BioSoil

|  |  |
| --- | --- |
| **Kurzzeichen** | **Zersetzungsgrad** |
| 1 | keine Anzeichen von Zersetzung. |
| 2 | festes Holz; weniger als 10 % des Holzes zeigt eine veränderte Struktur, das Holz hat eine feste Oberfläche. Das Totholzobjekt ist nur zu einem sehr geringen Anteil von holzzersetzenden Organismen besiedelt. |
| 3 | leichte Zersetzung; 10-25 % des Holzes zeigen aufgrund der Zersetzungsprozesse eine veränderte Struktur. Dies kann durch das Hereinstecken eines scharfen Gegenstandes in das Totholzobjekt getestet werden. |
| 4 | zersetztes, angerottetes Holz; 26 %-75 % des Holzes sind weich bis sehr weich. |
| 5 | stark zersetztes, angerottetes Holz; 76 %-100 % des Holzes sind weich. |

Totholz Zersetzungstypen gemäß BWI & TGHI

****

### Totholzdichte

Die Totholzdichte/ biomass extension factor/ deadwood bulk denstiy witd gemäß des Zersetzungsgrades zugewiesen. Die Entsprechenden Dichten wurden der TGHI & BWI Methodik entnommen, wobei sie ursprünglich aus Veröffentlichungen von Fraver et al. (Nadelholz) und Müller-Ursing entnommen wurden.

### Kohlenstoffgehalt Totholz

Laut IPCC Methodik 2006 kann ein Kohlenstoffgehalt von 0,5 für Totholz angenommen werden, was kohärent mit den in Ziche et al. (2019) und Wellbrock et al. (2017) ist.

### Nährelementgehalte Totholz

Eine Möglichkeit hier wäre, mit den Stickstoffgehalten für Derbholzkompartimente lebenden Holzes zu rechnen. Theoretisch sollte das möglich sein, weil die Totholzmasse ja bereits auf die verbleibende Biomasse unter Einbezug des Zersetzungsgrades und des Totholztypen reduziert wurde.

Eine andere Möglichkeit wäre, Totholzspezifische Stickstoffgehalte zu recherchieren. Einige Quellen sind hiergelistete.

* Kahl, Tiemo. (2008). Kohlenstofftransport aus dem Totholz in den Boden.
  + <https://www.researchgate.net/publication/29758018_Kohlenstofftransport_aus_dem_Totholz_in_den_Boden> :
  + „Die mittlere C-Konzentration im Totholz lag bei 45,15 ± 1,28 % und die mittlere N-Konzentration bei 0,145 ± 0,076 %. Der Variationskoeffizient der N-Konzentration lag mit 0,52 deutlich über dem der C-Konzentration mit 0,03. Auf eine Angabe des C/N Verhältnisses im Totholz wird verzichtet, da dieses Verhältnis fast ausschließlich von der N-Konzentration abhängig war.“
* Wellbrock, N. & Bielefeldt, Judith & Eickenscheidt, Nadine & Bolte, Andreas & Wolff, Barbara & Block, Joachim & Schröck, Hans-Werner & Schuck, Julius & Moshammer, Ralf. (2014). Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz [Carbon and nutrient storage in forest sites of the forest monitoring program (BZE) of Rhineland-Palatinate (Germany)]. 10.3220/REP\_16\_2014.
  + Nährelementvorräte von stehenden und liegenden ganzen Bäumen, liegenden und stehenden Totholzstücken und Wurzelstöcken (ZG: 1–2);
    - Für stehende und liegende ganze Bäume ermöglichen die Kompartimente aus SILVA die Berücksichtigung von unterschiedlichen Biomassen in Holz und Rinde. Dem soll auch bei der Berechnung von liegenden und stehenden Totholzstücken sowie Wurzelstöcken Rechnung getragen werden. Dazu wird das Verhältnis zwischen Derbholz und Derbrinde des lebenden Bestandes aus dieser Untersuchung auf die Totholzstücke/Wurzelstöcke übertragen (Tab. A-9 im Anhang).
    - Die Totholzstücke wurden so wie vorgefunden (also mit oder ohne Rinde) gemessen. Die Berechnung unterstellt eine Vermessung ohne Rinde. Es wird in Kauf genommen, dass sich die Biomasse der Totholzstücke gegebenenfalls um die Biomasse der Rinde erhöht.
    - Für die Zersetzungsgrade 1 und 2 wird unterstellt, dass die Nährelementgehalte denen der lebenden Bäume entsprechen. Es werden die Gehalte der Kompartimente Stamm-Rinde und Stamm-Holz verwendet.
    - Für Totholzstücke der Kategorie Nadelholz wurde ein Mittelwert aus Douglasie, Kiefer und Fichte gebildet und für die Kategorie Laubholz die Buchenwerte verwendet (Tab. A-4 im Anhang).
  + Nährelementvorrat von stehenden und liegenden ganzen Bäumen, liegenden und stehenden Totholzstücken und Wurzelstöcken (Zersetzungsgrad ≥3)
    - Um eine Größenordnung von möglichen Nährelementvorräte in stark zersetztem Totholz (ZG >3) zu erhalten, wurden die Nährstoffgehalte für Frischholz mit den Abschlägen aus DOBBERTIN UND JÜNGLING (2009) reduziert.
      * DOBBERTIN, M. UND JÜNGLING, E. (2009): Totholzverwitterung und C-Gehalt. Zwischenergebnisse. Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, 3 S.
    - Eventuelle Rindenanteile wurden hier nicht berücksichtigt.
      * + keine Kompartimentierung
        + Heißt dass, dass die Nähstoffgehalte des Derbholzes ohen Rinde verwendet werden?
* Greyce C. B. Maas, Carlos R. Sanquetta, Renato Marques, Sebastião Do A. Machado, Mateus N. I. Sanquetta, Ana P. Dalla Corte, Luciane N. Schmidt. (2021) [Combining Sample Designs to Account for the Whole Necromass Carbon Stock in Brazilian Atlantic Forest](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10549811.2020.1796710). *Journal of Sustainable Forestry* 40:7, pages 639-655.
  + Tables with nitrogen content depending on degree of decay
  + Allerdings für brasilianischen antlantik forest
* Kajar Köster, Marek Metslaid, Jeroen Engelhart, Egle Köster,Dead wood basic density, and the concentration of carbon and nitrogen for main tree species in managed hemiboreal forests,Forest Ecology and Management, Volume 354, 2015, Pages 35-42, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.039>.
  + The objective of this study was to assess the CWD density, and C and N concentration changes per decay class for Scots [pine](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/pinus) ([*Pinus sylvestris*](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/pinus-sylvestris) L.), [Norway spruce](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/picea-abies) (Picea abies (L.) Karst.), silver and [downy birch](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/betula-pubescens) ([*Betula pendula*](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/betula-pendula) Roth. and Betula pubescens Ehrh.), black [alder](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/alnus) ([*Alnus glutinosa*](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/alnus-glutinosa) (L.) Gaertn.), [grey alder](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/alnus-incana) (Alnus incana (L.) Moench.) and [European aspen](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/populus-tremula) (Populus tremula L.) in managed hemiboreal forests. The dead wood density and C concentration were provided only for logs lying on the ground.
  + Tabellen mit N & C Konzentrationen aufgeteilt in die Baumarten Birke, Fichte, Kiefer, Erle, Pappel
  + Allerdings für skandinavische Wälder

#### Nachträgliche Kompartimentierung Biomasse Totholz

Laut *Wellbrock, N. & Bielefeldt, Judith & Eickenscheidt, Nadine & Bolte, Andreas & Wolff, Barbara & Block, Joachim & Schröck, Hans-Werner & Schuck, Julius & Moshammer, Ralf. (2014). Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz* wird für die Totholzzersetzungsgruppen 1&2 wird wie für lebende Bäume mittels TapeS kompartimentiert.

Hierbei gilt es jedoch verschiedene Apekte zu beachten

* Der Zersetzunggrad sagt nichts über die noch erhaltenen Teile des Baumes. Eine Kompartimentierung mittels TapeS wie für Lebende Bäume mach somit nur für ganze Bäume in geringen Stadien der Zersetzung Sinn. Demnach kann nur Totholz des Totholztypen 1, 2, 5 (ganze Bäume) in Kombination mit den Zersetzungsstadien 1 & 2 vollständig kompartimentiert werden.

Dies ist wichtig, weil für Zerstungsgrad 1 & 2 keine Reduktion der Holzdichte vorgenommen wird, für andere Zerstzungrade hingegen schon. Demensprechend wäre die Biomasseberechnung mit TapeS über Biomasseformeln nicht möglich oder würde zur Überschätzung der Biomasse in den Kompartimenten führen.

* Ein zu klärender Aspekt in diesem Zusammenhang ist, wie mit Totholzstücken geringer Zersetzunggrade zu verfahren ist, die nicht als vollständiger Baum erhalten sind. Soll hier trotzdem noch in Derbholz & Derbholzrinde kompartimentiert werden? 🡪 Meiner Meinung nach könnte es Sinnvoll sein, die nachträgliche Kompartimentierung des Totholzes auf Grundlage einer Kombination aus Zersetzungrad und Totholztyp vorzunehmen:
  + ganze Bäume (Totholztypen 2, 5) in Zersetzungstadien 1 & 2 --> Kompartimentierung mit TapeS in Nichtderbholz, Derbholz o.R., Derbholzrinde, Stock o.R., Stock
  + ganze Stämme/ starkes Totolz & Bruchstücke (Totholztypen 3, 1) in Zersetzungstadien 1 & 2 --> Kompartimentierung mit TapeS in Derbholz o.R., Derbholzrinde, Stock o.R., Stock
  + Wurzelstock (Totholztyp 4) in Zersetzungstadien 1& 2 --> Komartimentierung mit TapeS in Stock o.R, Stockrinde
  + im Haufen vorkommendes Totholz (Totholztyp 6) in allen Zersetzungstadien & alle anderen Totholztypen in Zersetzungsstadien >= 3 --> keine Kompartimentierung
* TapeS erfordert den BHD für die Biomassenberechnung oder einen Durchmesser und die Angabe, in welcher Höhe dieser Genommen wurde
  + Der BHD wird aber nur für die Totholzgruppen 2, 3, 5 erfasst wird.
  + Für Totholztyp 1 & 6 wird der Mittendurchmesser erfasst, sodass die Durchmessererfassungshöhe mit der Häfte der Stammlänge übereinstimmen sollte
    - So muss für Totholzgruppe 1 und 6 zunächst die Höhe/ Länge an der der Durchmesser erfasst wude zugewiesen werden, damit TapeS daraus den BHD interpolieren kann.
  + Für Totholztyp 4 (Wurzelstock) wird der Schnittflächendurchmesser erfasst. Dementsprechend sollte die Höhe der Durchmessererfassung der Länge des Wurzelstockstückes entsprechen.

Für Totholzzersetzungsgruppen >= 3 und Totholztyp 6 wird nicht Kompartimentiert und die Nährelementgehalte des Derbholzes ohne Rinde mit der gesamten Biomasse multipliziert

* Im Zuge der Nachträglichen Kompartimentierung werden Totholzelemente des Types starkes Totholz Type 1 wie Nichtderbholz behandelt, in Bezug auf ihren Stickstoffgehalt, sie werden jedoch nicht kompartimentiert, demnach wird ihre gesamte Biomasse dem Kompartiment nichtderbholz (fine wood) zugewiesen
* Ganze Bäume liegend oder stehend (typ 2 & 5) werden in alle Kompartimente unterteilt
* Bruchstücke mit einer Länge von min. 3 m werden in Stumpf und Derbholz unterteilt
* Wurzelstöcke werden in Stumpf und Stumpfrinde unterteilt
* Ale Totholzelemente mit Zersetzungstufen => 3 und/ oder einer Länge unter 3m werden in Bezug auf den Stickstoffgehalt wie Derbhlolz ohne Rinde behandelt

## Verjüngung

### Verjüngung Biomasse

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Biomasse der Verjüngung zu berechnen.

* Laut Ziche et al. 2019 besteht die möglichkeit die oberirdische gesamtbiomasse mittels der Biomassenfunktionen nach Annighöfer zu berechnen.
  + Diese haben den root collar diameter (Wurzelhalsdurchmesser) und die Höhe als Eingangsgröße.
    - Erstere kann über eine Allometrische Funktion zu berechnet werden, sofern die Höhe in der der Durchmesser gemessen wurde/ geschätzt wurde bekannt ist
* Gemäß GHGI kann die Biomasse von Bäumen <1.3m Höhe bzw. <10cm Durchmesser mittels der hinterlegten Biomassefunktionen berechnet werden

### Kompartimentierung Biomasse Verjünung

Orientiert an den Verfügbaren Quellen für Nährstoffgehalte in Bäumen der Verjünung/ Nichtderbholz, zumindest eine Unterteilung in holzige und nichtholzige Biomasse (Nadel/ Blatt) vorgenommen werden.

* Blattmasse:
  + mittels eine Kombination aus TapeS (Nadeln) und Wutzler (Laub)
  + mittels Poorters Root to leafe ratio
* Holzige Biomasse
  + Mittels Gesammtbiomasse via Annighöfer, GHG oder Wulff (welche alle keine Blattmasse miteinbeziehen)
  + Mittels TapeS? 🡪 funktioniert kaum für kleine Dimensionen
  + Mittels Poorters Root to Shoot ratio

### Verjüngung Stickstoff

Derzeit bestehen zwei mögliche Quellen für die Nährelementgehalte im Nichtderbholz. Beide sehen eine Kompartimentierung in Holzige vs nicht-holzige Biomasse vor.

* Wolff et al. 2008 modifiziert (Mittelwert der STO-Mischproben beide Größenklasse (<1 m; >1 m) zusammengefasst; i.d. Vegetationszeit), wie in ThnenReport16\_C\_und\_Nhrelementspeicherung\_Wald\_RP\_2014.pdf
  + Erforderliche Kompartimente: Stamm (inkl. Rinde), Äste (inkl. Rinde), Nadel/Blatt
* Nichtderbholz & + Blattmassenelementgehalte aus Rumpf et al. 2018 (sofern möglich):
  + Erforderliche Kompartimente: Holzige Kompartimente (Zweige +Stamm inkl. Rinde), Blatt/Nadel

## Biodiversität

## Bestandesbeschreibung

# Ergebnisse

## Mögliche Ergebisstabellen

Siehe Excel beispiel\_ergebnisstabellen\_momok\_bestandesauswertung.csv

O:\a7bze\ZZ\_BZE3\_Bestand\_Auswertung