Dokumentation der Methodik zur Auswertung der Bestandsdaten an MoMoK Standorten

Inhaltsverzeichnis

[1 Zielsetzung/ Zielergebnisse 1](#_Toc137711747)

[2 Methodik 2](#_Toc137711748)

[2.1 Baumbestand 2](#_Toc137711749)

[2.1.1 Schätzen fehlender Höhen 3](#_Toc137711750)

[2.1.2 Schätzung der fehlenden Durchmesser 7](#_Toc137711751)

[2.1.3 Einteilung in die Baumartengruppen der Biomassefunktionen 9](#_Toc137711752)

[2.1.4 Umgang mit fehlender Kompartimentierung in den Biomassefunktionen von Röhling et al 9](#_Toc137711753)

[2.1.5 Berechnung unterirdische Biomasse 15](#_Toc137711754)

[2.1.6 Berechnung Kohlenstoff 16](#_Toc137711755)

[2.1.7 Berechnung Stickstoffvorrat / andere Elemente 16](#_Toc137711756)

[2.2 Totholz 20](#_Toc137711757)

[2.2.1 Volumen 20](#_Toc137711758)

[2.2.2 Artengruppen 22](#_Toc137711759)

[2.2.3 Zersetzungsgrad 22](#_Toc137711760)

[2.2.4 Totholzdichte 23](#_Toc137711761)

[2.2.5 Relative Totholzdichte für TapeS Biomasse in Kompartimenten 24](#_Toc137711762)

[2.2.6 Kohlenstoffgehalt Totholz 24](#_Toc137711763)

[2.2.7 Nährelementgehalte Totholz 24](#_Toc137711764)

[2.3 Verjüngung 28](#_Toc137711765)

[2.3.1 Verjüngung Biomasse 28](#_Toc137711766)

[2.3.2 Kompartimentierung Biomasse Verjüngung 28](#_Toc137711767)

[2.3.3 Artengruppen Verjüngung 29](#_Toc137711768)

[2.3.4 Verjüngung Stickstoff 30](#_Toc137711769)

[2.4 Biodiversität 32](#_Toc137711775)

[2.5 Bestandesbeschreibung 32](#_Toc137711776)

[3 Ergebnisse 32](#_Toc137711777)

[3.1 Mögliche Ergebisstabellen 32](#_Toc137711778)

[4 Plausibilitätprüfung 32](#_Toc137711779)

[4.1 Lebender Bestand 32](#_Toc137711780)

[4.1.1 Höhe-Durchmesser Verhältnis 32](#_Toc137711781)

[4.1.2 Vergleichsdaten 33](#_Toc137711782)

[4.1.3 KOHLENSTOFF VERGLEICH 33](#_Toc137711783)

[4.1.3.1 KOHLENSTOFF VERGLEICH Pseudo Reinbestände 38](#_Toc137711784)

[4.2 Totholz 40](#_Toc137711785)

[4.2.1 Vergleichsdaten 40](#_Toc137711786)

# 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. Desweiteren soll dementsprechend der Stickstoffvorrat ermittelt werden.

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

## Biomasse Baumbestand

### Auswahl der Biomassefunktionen

Um den Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat zu berechnen, wird die Biomasse der Einzelbäume in den jeweiligen Kompartimenten (Stamm, Rinde, Äste, Blätter, Wurzeln) benötigt. Diese kann über Biomassenfunktionen berechnet werden, welche in der Regel auf Eingangsparametern wie dem Brusthöhendurchmesser und der Baumhöhe beruhen.

Zu den Einschränlungen allre Verfügung stehenden Biomassenmodellen zählen unter anderem,:

* *Artspezifische Aussagen zu Biomasse*: Alle Biomassenmodelle sind Baumartengruppenspezifisch, die Funktionsparameter gelten also für eine ganze Baumartengruppe bzw. Baumgattungengruppe. Hierdurch können eventuellen Baumartenspezifischen Besonderheiten in der Biomassenakkumulation oder Abweichngen von der Biomassenakkumulation der Baumartengruppe für die die Funktion Parameterisiert nicht abgebildet werden. Für MoMok sind Ki (BKi,GKi), GFi, SErl, MBi, , relevante Baumarten, welche nicht oder nur teilweise durch die Baumartengruppen der Biomasse Rechnungen abgedeckt werden. Bei der Nadel/Blattbiomasse wird nur nach Laub- und Nadelholz unterschieden, was zu noch größeren Ungenauigkeiten beiträgt.
* Schätzfehler und Ungenauigkeiten die bei der Schätzung von Eingangsdaten für die Biomassenfuntionen entstehen können sich akkumulieren und in der Berechnung der Biomasse wiederspiegeln. Im Rahmen der Bestandesaufnahme wird gemäß der Anleitung zu Bestandeserhebung für jede Durchmesserklasse mind. eine Baumhöhe gemessen. Mindestens sind fünf repräsentative Bäume pro Baumart und Schicht zu erfassen (sofern vorhanden). Die Höhen der Bäume, deren Höhe nicht gemessen wurde, müssen somit geschätzt werden. Hierfür finden verschiedene Modelle Anwendung (siehe 2.1.2.), was mit Unsicherheiten einhergeht, die folgerichtig auch in die Biomassenberechnung einfließen. Selbiges gilt für die Schätzung des Brusthöhendurchmessers. Der Durchmesser des Einzelbaumes kann gemäß der Anleitung zu Bestandeserhebung in einer Stammhöhe von 50 – 200 cm erfasst werden kann. Demgemäß müssen Durchmesser welche nicht in Brusthöhe (1.3m) erfasst werden, zunächst durch Allometrische Funktionen in den Durchmesser in 1.3m Höhe umgerechnet werden. Hierbei entstehen zusätzliche Schätzfehler und Unsicherheiten.
* Die Berechnung der Oberirdischen Biomasse bezieht die Blattmasse bei Nadelbäumen bereits mit in die Berechnung ein bzw. Funktionen für die Berechnung der Blattmasse von Nadelbäumen sind in den zur Auswahl stehenden Biomassefunktionen-Sets vorhanden, im Falle von Laubbäumen jedoch nicht. Um die Biomasse- und Nährstoffvorräte in diesem Kompartimentn ausgeben zu können, muss die Nadel-/Blattbiomasse mit *Funktionen außerhalb der zur Auswahl stehenden „Funktionen-Sets“* geschätzt werden.

#### Biomassenfunktionen der Bundeswaldinventur (BWI) & Treibhausgasinventur (THGI)

Im Rahmen der Bundeswaldinventur (BWI) und Nationalen Treibhausgasberichterstattung wurden für die Hauptbaumarten (Buche, Eiche, Kiefer, Fichte, sonstiges Laubholz) entwickelt wurden. Die *BWI & THGI* Berechnung der Biomasse über baumartenspezifische Biomassenfunktionen löst das vorhergehende Berechnungsverfahren der *BWI & THGI* ab. Beim vorhergehenden Verfahren berechnete man zunächst das Volumen des Stammes am Einzelbaum, um dieses dann mit der Holzdichte und weiteren Umrechnungsfaktoren in die oberirdische und unterirdische Biomasse umzurechnen. Die Entwicklung der Biomassefunktionen kann in RÖHLING et al. (2016) und RIEDEL UND KÄNDLER (2017) nachvollzogen werden. Die Biomassenfunktionen der *BWI & TGH* sind nicht nur Baumartengruppenspezifisch, sondern setzen sich aus einem Segmentierten Modell zusammen. Dieses wird abhängig von der Durchmesserklasse (und Höhe) angewandt wird und somit den Unterschieden in der Biomasseakkumulation abhängig von der Entwicklungsstufe des Einzelbaumes gerecht. Jedoch erlauben die Biomassefunktionen der BWI & TGH keine direkte Berechnung der Biomasse in den jeweiligen Baumkompartimenten.

* 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>

#### Biomassesfunktionen aus TapeS

Bei TapeS handelt es sich um eine Set aus Alometrischen Funktionen und Biomassenfunktionen, welche unter anderem in einem R Packet zusammengefasst sind. TapeS stellt eine Erweiterung zu TapeR dar und wird das Packet BDat bei der Auswertung der BWI ablösen.

Die in TapeS Biomassefunktionen wurden auf der Grundlage von Biomassedaten aus unterschiedlichen Studien mit unterschiedlichen Beprobungsmethoden erstellt, wobei ein Großteil der tatsächlich verwendeten Biomassedaten mittels „randomized branch sampling“ oder „full main axis mesurements with sampled branches“ beprobt wurde. Fehlende Daten sowie der Unterschiede in der Kompartimentierung und das Auslassen bestimmter Kompartimente wurden durch mulitple imputations ausgeglichen.

Die Formeln beruhen auf den Biomassefunktionen nach Marklund, deren original Paper in Swedish nicht verfügbar ist. Aber laut der Rpackage Documentation zur Anwendunf der Marklund Funktion (<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 Modelle für die einzelnen Kompartimente wurden mittels non-linear seemingly unrealted regressions gefittet.

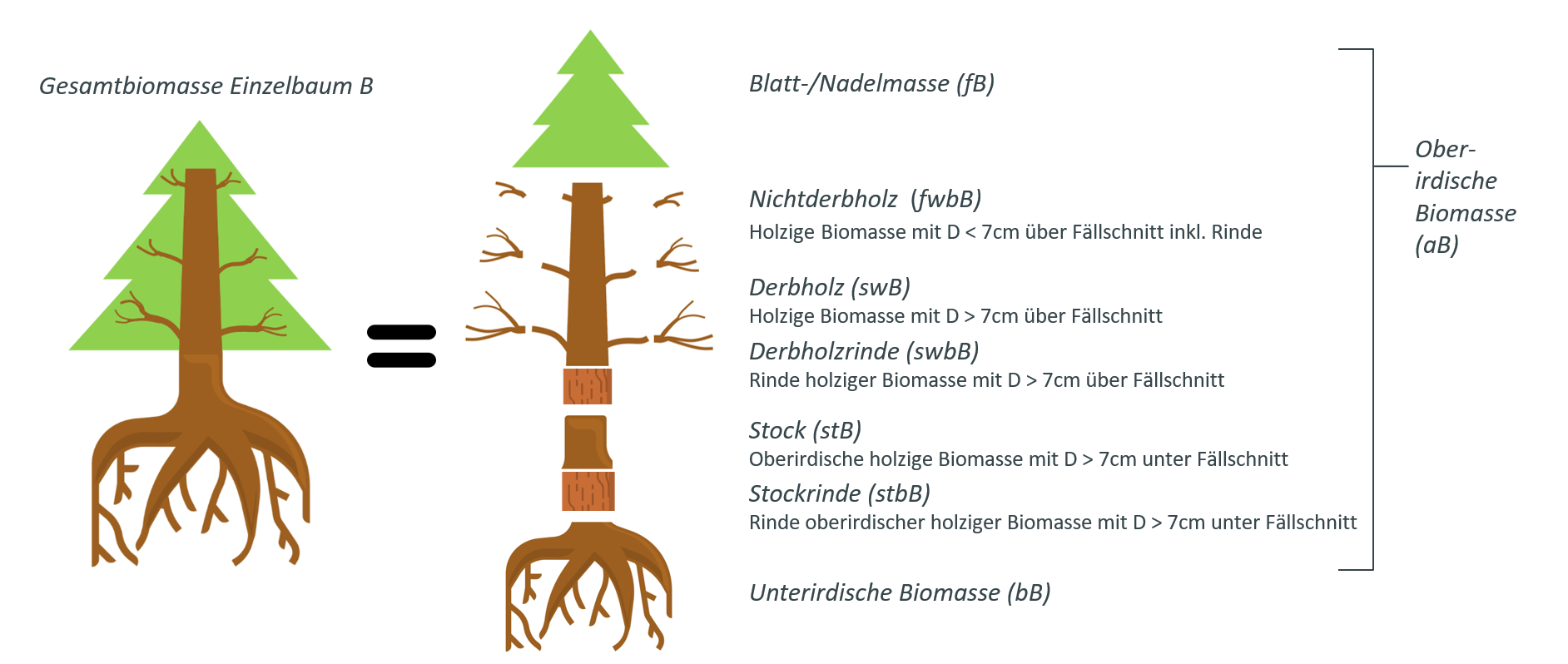
TapeS erlaubt die Berechnung der Biomasse in den jeweiligen Komponenten, für die Baumartengruppen Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Buche, Eiche, Esche und Ahorn, jedoch nur sofern alle Eingangsdaten vorhanden und Korrekt formatiert sind. Hierzu zählen die Höhe des Einzelbaumes, der BHD, die Messhöhe des BHDs sowie die Artenkürzel in für TapeS lesbarer Form. TapeS verfügt, im Gegensatz zu dem Segmentierten Modell der BWI&THGI nicht über Durchmesser oder Höhenspezifische Funktionen, wodurch die Berechnung der unterirdischen Biomasse sowie die Biomasse an Bäumen unterhalb der Klubschwelle für eine BHD Messung (Bäume der Verjüngung) nicht möglich ist.

Die Entwicklung der Funktionen kann in KÄNDLER & BÖSCH (2012) nachvollzogen werden.

* 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

#### Vergleich Biomasseberechnung & Kompartimentierungsmöglichkeiten

Die Biomasse eines Baumes wird klassischerweise in die folgenden Kompartimente unterteilt:



Die Aufschlüsselung der Biomasse in den einzelnen Baumbestandteilen ist notwendig, da der Stickstoffgehalt, im Gegensatz zum Kohlenstoffgehalt, von Kompartiment zu Kompartiment variiert.

Die Biomassefunktionen der BWI & THGI 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 musst die Biomasse in den Kompartimenten auf anderem Wege geschätzt werden. Hierfür standen folgende Optionen zur Auswahl:

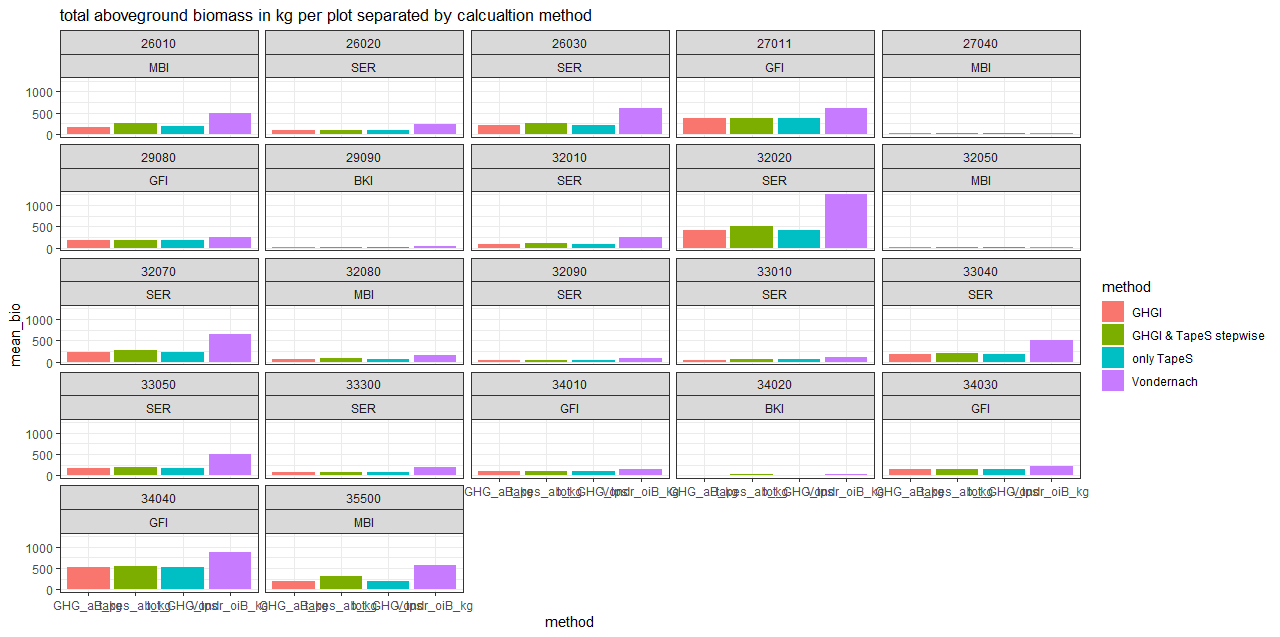
* Vollständige Berechnung durch TapeS:
  + oberirdischen holzigen Biomasse und Nadelmasse wird durch TapeS berechnet da die Funktionen die Biomasse Kompartimentspezifisch ausgeben können
  + Blattmasse an Laubbäumen muss durch „externe“ Funktion ermittelt werden
  + Unterirdische Biomasse wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt
  + Biomasse der Verjüngung unter <1.3m wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt
* Berechnung der Biomasse mittels einer Kombination aus BWI & THG Funktionen & TapeS
  + Biomasse in den Kompartimenten wird mit TapeS ermittelt und dann schrittweise von der Gesammtbiomasse gemäß BWI &THG Funktionen abgezogen
  + Blattmasse an Laubbäumen muss durch „externe“ Funktion ermittelt werden
  + Unterirdische Biomasse wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt
  + Biomasse der Verjüngung unter <1.3m wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt
* Berechnung der Biomasse in den Kompartimenten über VONDERNACH et. al. (2018)
  + 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)
  + Blattmasse an Laubbäumen muss durch „externe“ Funktion ermittelt werden
  + Unterirdische Biomasse wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt
  + Biomasse der Verjüngung unter <1.3m wird weiterhin durch BWI & THG Funktionen geschätzt

Für die schrittweise Berechnung der Biomasse in den jeweiligen Kompartimenten bei Option 2 wurde 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** |

Ein Vergleich der Biomasse in den drei Methoden zeigte deutlich, dass die Funktionen von Vondernach die Biomasse deutlich überschätzen im Vergleich zu den Ergebnissen der BWI & THG Funktionen. Dies würde im Verlgeich mit vorrangegangenen Kohlenstoffinventuren zu deutlichen Sprüngen im Vorrat geführt. Die Methode wurde damit verworfen. Der Vergleich pro Plot bzw. pro Baumart pro Plot wird in den folgenden Graphiken dargestellt:







Demnach blieb der genauer Vergleich zwischen vollständiger Kompartimentierung durch TapeS und schrittweise nachträglicher Kompartimentierung durch BWI&THG und TapeS.



Vor- und Nachteile des jeweiligen Ansatz werden in der folgenden Tabelle aufgelistet:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Vorteile | Nachteile |
| BWI&THG und TapeS | * Geringste Unterschiede in der Berechnung der Gesamtbiomasse bestehen zwischen GHGI & TapeS * Prinzipiell ist schrittweise Berechnung der Kompartiment Biomasse über GHGI Funktionen & TapeS möglich * Vergleichbarkeit der Gesamtbiomasse & Kohlenstoffgehalte mit anderen GHGI bleibt | * Ein Kompartiment wird dabei systematisch unterschätzt („Rest“) * für einzelne kleindimensionierte Bäume bleiben negative Derbholzmassen |
| TapeS | * Sieht mehr Artengruppen vor, daher Berechnung evtl. genauer * Nächste GHGI & BWI werden mit TapeS ausgewertet * Vergleichbarkeit mit zukünftigen C- & N-Inventuren gegeben | * Vergleichbarkeit mit Vergangen GHGI & BWI eingeschränkt * Auswertungsalgorithmus ist abhängig von TapeS package * Einheitlichkeit der Berechnung eingeschränkt, da Verjüngung und unterirdische Biomasse weiterhin mit BWI&THGI Funktionen berechnet werden |

Nach genaueren Vergleichen der Biomasse in den beiden Berechnungsmethoden und unter Rücksprache mit Nicole Wellbrock und dem Momok Team wurde sich schlussendlich für die vollständige eine Biomassenenbrechnung sowie die Kompartimentierung über TapeS entschieden. Ein Kombinierter Ansatz wie aus GHGI Formeln für die gesamte Biomasse und TapeS Kompartimenten wird nicht angewendet

Die Biomasse von Bäumen der Verjüngung mit einer Höhe unter 1.3m sowie die Biomasse des Totholzes, ebenso wie die unterirdische Biomasse des Lebenden Altbestandes un der Verjüngung über 1.3m Höhe werden jedoch weiterhin über BWI&THGI Formeln stattfinden, da es für die genannten Bestandes Komponenten keine Funktionen in TapeS gibt.

### 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.



### Harmonisierung Baumartbezeichnungen zwischen TapeS und X\_bart

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 um die Anwendung von TapeS auf BZE Bestandesdaten zu ermöglichen.

Hierfür wurde in x\_bart eine Spalte aufgenommen („key variable“ / „common variable“), welche die dort gelisteten Arten in die entsprechenden TapeS Artengruppen einteilt. Durch diese Übereinstimmung können die Abkürzungen sowie die „common ID“ zunächst aus x\_bart den Daten der Bestandeserhebung zugewiesen werden und darüber die Codes aus der TapeS Artenliste in das Datenset der Bestandeserhebung eingeladen werden.

Hierfür wurden zunächst die Baumarten durch verschiedene vergleichende „joins“ aus der x\_bart Liste gefiltert, welche einen übereinstimmenden botanischen namen in der TapeS Artenliste haben (SP\_names[,bot\_name] = TapeS\_SP[, scientific]). So konnte eine Spalte in x\_bart zu erzeugt werden, die auf den BWI-Abkürzungen für die Deutschen Artnamen beruht (KI musste hierfür zu KIE, SER zu ER verändert). Diese stimmt mit einer vollständig zu Großbuchstaben veränderten Spalte der Abkürzungen für die deutschen Artnamen aus TapeS überein (tpS\_com\_ID).

Über die Einordnung der verbleibenden, nicht zuordenbaren 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)

### Schätzung der fehlenden Durchmesser

Die Schätzung des Durchmessers in 1/3 der Baumhöhe, welcher eine Einganggröße für die *BWI&TGHI* Biomassefunktionen darstellt, erfolgt durch das R package TapeS (<https://gitlab.com/vochr/tapes/-/tree/bba90ad32cf6bf7f938d79beec5adbbd8b774755>). Hierfür muss zunächst 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.

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

### Einteilung in die Baumartengruppen der BWI & THG 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 Platane, Edelkastanie, Esche, Hainbuche, Lindenarten, Nussbaumarten, Robinie, Rosskastanie, Speierling, Stechpalme, Ulme, Weißesche,
* Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (aLn): Birkenarten, Elsbeere, Erlenarten, Pappelarten, Traubenkirsche-Arten, Vogelkirsche, Wildobst, alle weiteren Laubbaumarten, 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 Datenset welches alle Artenkürzel und Schlüssel zu verschiedenen Artengruppen enthält (SP\_names, enstanden aus X\_bart) eine Spalte (Bio\_SP\_group) erzeugt, welche folgend dem Dataset der Bestandesdaten über deutschen Abkürzungen (SP\_codes) die entsprechende Biomassenartengruppe zuweist.

#### Blattmasse bei NH & LH

In Absprache mit Nicole Wellbrock und dem MoMoK Team wird (wie zuvor erwähnt) sämtliche Kompartimentierung und so auch die Berechnung der Blattmasse über TapeS durchgeführt. Die schätzung der Blattmasse ist aktuell (Stand 23.06.2023) jedoch nur für Nadelbäume möglich, weshalb die Blattmasse an Laubbäumen weiterhin durch „externe“ Modelle geschätzt werden muss. Hierfür wurde das Blattmassenmodell nach Wutzler (2008) angewendet.

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
* Der Methodik Daniel Ziche et al. (2019), 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.

#### 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 Höhe des Grundflächenmittelstammes 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. Um die Aufwendigere Ermittlung der Oberhöhe über Bestimmen der Bonität und das manuelle Ablesen der Oberhöhe aus Ertragstafeln oder die Anwendung weiterer Schätzfunktionen zu vermeiden, werden die Bäume die in die Oberhöhenberechnung pro Plot einfließen folgendermaßen ausgewählt:

Gegeben:

* Anzahl der Bäume pro Plotfläche in Hektar: N/ha

Radius des Plot in Hektar: 12,52m

* erforderliche Baumzahl pro Hektar für die Oberhöhenberechnung: 100 B/ha

Gesucht:

* Anzahl der auszuwählenden Bäume pro Plot

Rechnung: Dreisatz

1. Fläche des Plots in Hektar berechnen: (Radiusplot^2\*pi)/10 000
2. Dreisatz anwenden:
   1. 100 Bäume ⬄ 1 Hektar
   2. 100/(1 Hektar/Plotfläche in Hektar) ⬄ 1 Hektar/(1 Hekar/ Plotfläche in Hektar)
   3. N Bäume pro Plot ⬄ Plotfläche in Hektar

### 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 standen verschiedene Quellen als Mögliche Brechungsgrundlage zur Auswahl:

* 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>
* Rumpf, Sabine & Schönfelder, Egbert & Ahrends, Bernd. (2018). Biometrische Schätzmodelle für Nährelementgehalte in Baumkompartimenten.
* Jacobsen, Carsten & Rademacher, Peter & Meesenburg, Henning & Meiwes, K.. (2003). Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten: Literaturstudie und Datensammlung.
* Elementgehalte in Baumkompartimenten, Rademacher, Meewes, SChoenfeld, <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22015407.pdf>, S. 125
* Weis, Wendelin & Göttlein, A.. (2012). Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung/Nutrient-sustainable biomass utilization (in German). LWF aktuell. 90. 44-47.
* 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)
* 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
* [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
* 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

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

Nach dem Vergleich der Verfügbaren Daten über Nährelemente sowie zugehöriger Möglichkeiten nachträglich zu Kompartimentierung, 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 Gesamtbiomasse entsprechend der Kompartimente in denen Stickstoff gemessen wurde nachträglich aufzuteilen.

##### 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.

##### 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

#### Fehlende Stickstoffgehalte

Da für die unterirdische Biomasse sowie für die Blattmasse von Laubbäumen keine Stickstoffgehalte in Rumpf et al. 2018 gelistet werden, müssen hierfür zusätzliche Quellen herangezogen werden.

##### Fehlende Stickstoffgehalte Blattmasse an Laubbäumen

Hierfür wurden die Ergebnisse der Stickstoffgehalte der Blatt- und Nadelanalysen über alle BZE Probepunkte für die Baumartengattungen Betula, Alnus, Pinus und Picea arithmetisch gemittelt. Die Daten wurden von Marvin Gabriel geliefert. Da die Analysen gattungsspezifisch durchgeführt wurden, mussten die Baumarten noch einmal separat gemäß dem nachfolgenden Schema gruppiert werden. Die respektiven Artengruppen werden in der Spalte (N\_f\_SP\_group\_MoMoK) hinterlegt:

* Bäume des botanischen Genus „Alnus“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_f\_SP\_group\_MoMoK) Erle (ERL) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Betula“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_f\_SP\_group\_MoMoK) Birke (BI) zugeordnet
* Laubbäume die nicht dem botanischen Genus „Alnus“ oder dem botanischen Genus „Betula“ zuzuordnen sind werden mit andere Laubbäume (aLB) bezeichnet
* Bäume des botanischen Genus „Picea“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_f\_SP\_group\_MoMoK) Fichte (FI) zugeordnet
* Bäume des botanischen Genus „Pinus“ werden der Stickstoff Artengruppe (N\_f\_SP\_group\_MoMoK) Kiefer (KI) zugeordnet
* Laubbäume die nicht dem botanischen Genus „Picea“ oder dem botanischen Genus „Pinus“ zuzuordnen sind werden mit andere Nadelbäume (aNB) bezeichnet

Die Stickstoffgehalte in der Blattmasse für Bäume in den jeweiligen Gattungen wurden mittels des Mittelwertes des Stickstoffgehaltes in Blattproben der entsprechenden Gattung über alle BZE Punkte (also nicht standortspezifisch) über alle BZE Zeitpunkte hinweg berechnet.

Für Bäume der Kategorien aLB und aNB werden die Stickstoffwerte aller vorhandenen Laubbaumgattungen (Birke und Erle) bzw. aller vorhandenen Nadelbaumgattungen (Fichte und Kiefer) über alle BZE Standorte und BZE Zeitpunkte hinweg gemittelt und zur Berechnung des Stickstoffvorrates in der Blattmasse verwendet.

Die detaillierte Herleitung und der Prozess der Entscheidungsfindung für die Stickstoffgehalte in der Blattmasse kann in folgender Dokumentation von Marvin nachvollzogen werden:

**Stickstoffgehalte in Blättern und Nadeln von Bäumen auf Moorstandorten/organischen Standorten**

Frage: Wie hoch sind die Stickstoffgehalte in Blättern und Nadeln von MoMoK-Bäumen (Fichte, Kiefer, Erle, Birke) auf organischen Standorten?

Herangehensweise: Analyse der Werte der BZE-Datenbank. Auswahl aller BZE-Standorte die eindeutig einen Oberbodenhorizont haben der >10 cm mächtig ist und > 7,5 % Kohlenstoff besitzt (Definition organischer Boden).

Von 53 Standorten, die nach jeweiliger Begutachtung der Horizontierung als organisch betrachtet wurden, blieben für die betreffenden Baumtypen 25 Standorte übrig, zu denen es Stickstoffwerte für Blätter oder Nadeln gibt (Tabelle 1). Bei Mehrfachbeprobungen pro Standort, wurden Mittelwerte gebildet. Anzahl [N] entspricht hier Anzahl der BZE-Standorte.

Tabelle 1: Mittelwerte, Standardabweichung und Stichprobenzahl der Stickstoffgehalte in Blatt- und Nadelwerk von Erle, Fichte und Kiefer auf organischen Standorten

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Baumtyp auf Moor** | **Mittelw. N-Content Blatt/Nadel [g/kg]** | **STABW** | **Anzahl [N]** |
| Erle | 28,4 | 1,6 | 3 |
| Fichte | 14,2 | 2,3 | 11 |
| Kiefer | 16,9 | 5,4 | 11 |
| **Gesamtergebnis** | **17,1** | **5,9** | **25** |

Da die Datengrundlage sehr schwach ist (und im Falle der Birke für organische Standorte nicht existent), verglichen wir die Werte für Erle, Fichte und Kiefer mit denen von nicht-organischen Standorten, um zu sehen, ob es die erwarteten Abweichungen gibt. Die berechneten N-Gehalte für die betreffenden Baumtypen auf nicht-organischen Standorten gibt Tabelle 2. Anzahl entspricht hier der Anzahl der Proben insgesamt. Mittelwerte von Mehrfachbeprobungen pro Standort wurden nicht gebildet.

Tabelle 2: Mittelwerte, Standardabweichung und Stichprobenzahl der Stickstoffgehalte in Blatt- und Nadelwerk von Birke, Erle, Fichte und Kiefer auf nicht-organischen Standorten

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Baumtyp nicht-Moor** | **Mittelwert von N-Gehalt [g/kg]** | **STABW** | **Anzahl [N]** |
| Birke | 28,0 | 2,8 | 26 |
| Erle | 27,0 | 2,7 | 18 |
| Gewoehnliche Fichte | 14,1 | 2,4 | 3150 |
| Gewoehnliche Kiefer | 17,1 | 2,5 | 1762 |
| **Gesamtergebnis** | **15,3** | **3,0** | **4956** |

Sowohl, die N-Gehalte von Erlen, also auch von Fichten und Kiefern weichen auf organischen Standorten nicht signifikant von denen auf nicht-organischen Standorten ab. Daraus leiten wir die generelle Annahme ab, dass sich die Stickstoffgehalte in Nadeln und Blättern von Bäumen auf organischen und nicht-organischen Standorten **nicht** unterscheiden. Somit können wir für alle Baumtypen (inkl. Birke) für weitere Berechnungen auf die Mittelwerte aller BZE-Standorte zurückgreifen.

##### unterirdische Biomasse

Hierfür wurden, wie in „Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz“ (Thuenen Report 2016, Nicole Wellbrock, Judith Bielefeldt, Nadine Eickenscheidt, Andreas Bolte, Barbara Wolff, Joachim Block, Hans Werner Schröck, Julius Schuck, Ralf Moshammer) mittels der Mittelwerte der Stickstoffgehalte im Biomasse-Kompartiment Grobwurzeln berechnet.

Da die Artengruppen in Jacobsen et al. 2002 nicht mit denen aus Rumpf et al. 2018 oder anderen bereits erstellten Artengruppen übereinstimmen, musste für die Berechnung der unterirdischen Stickstoffgehalte zunächst eine Gruppierung der Arten vorgenommen werden, damit die richtigen Stickstoffgehalte angewendet werden. Hierbei wurde sich an der Artengruppierung der BWI orientiert:

* Eiche: alle Eichenarten (einschließlich Rot-Eiche) wurden der Artengruppe Eiche (EI) zugeordnet
* Buche,  und andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer (aLh) (Ahornarten, Ahornblättrige Pla- tane, Edelkastanie, Esche, Hainbuche, Lindenarten, Nussbaumarten, Robinie, Ross- kastanie, Speierling, Stechpalme, Ulme, Weißesche) wurden der Baumartengruppe Buche (BU) zugeordnet
* 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) wurden der Baumartengruppe Birke (BI) zugeorndet
* Fichte: alle Fichtenarten und Tannenarten und sonstige Nadelbäume außer Douglasie, Kiefer, Lärche, Pinus nigra, wurden der Artegruppe Fichte (FI) zugeorndet
* Douglasie alle Douglasienarten wurden der Baumartengruppe Douglasie (DGL) zugeordnet
* Kiefer: alle Kiefernarten, außer Pinus nigra (für welche separate Werte verfügbar sind) wurden der Baumartengruppe Kiefer (KI) zugeordnet
* Bäume mit dem Lateinischen Namen „Pinus nigra“ wurden der Argtengruppe Pinus nigra (KIN) zugeordnet
* Lärche: alle Lärchenarten wurden der Artengruppe Lärche (LA) zugeordnet

## Totholz

### Volumen

Die Art des Durchmesser der erfasst wurde variiert mit dem Totholz- 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

Tabelle 1: zumessender Durchmesser je Totholztyp (Quelle: MoMoK..anleitung)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |

Abhängig von dem Code Totholztyp variieren somit die Verfahren und Funktionen zur Biomassen- und Volumenermittlung, wobei sich am Vorgehen der BWI Methodik orientiert wurde ( <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 TapeS das Volumen hergeleitet
* Bei der Totholzart 3 = **stehend oder liegend, Bruchstück (mit Wurzelanlauf)** wird ebenfalls der BHD und die Höhe erfasst und anschließend mit TapeS das Volumen für gebrochene Bäume berechnet. Für **Bruchstücke mit Wurzelanlauf < 3 m Länge** bzw. Höhe liefert TapeS 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 Volumenberechnung mit BDAT bzw. TapeS, also eine Volumenschätzung wie sie auch für lebende Bäume durchgeführt werden soll müssen die Daten des stehenden oder kaum zersetzen Totholzes in TapeS objects zusammengefasst werden.

Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Totholzstücken dieselbe Artengruppe wie die Hauptbaumart haben, werden alle Totholzstücke von Laubhölzern die nicht Eiche sind als Buche (BWI Artgengruppe BU, TapeS Artencode 15 behandelt). Alle Totholzstücke von Nadelbäumen werden als Fichte behandelt (BWI Artengruppe FI, TapeS Artencode 1) und alle Totholzstücke die Eiche (Artencode 3) sind, als Eiche (BWI Artengruppe EI, TapeS artencode 17). Totholzstück der Artengruppe 4 („unbekannt“) wurden, sollte die Hauptbaumart des Bestandes eine Laubbaumart sein, als Buche, sollte die Hauptbaumart des Bestandes eine Nadelbaumart sein als Fichte behandelt.

### Zersetzungsgrad

Um die von der BWI, und THGI genutzten Biomass extension factor für Trockenrohdichte des Totholzes anwenden zu können, welche sich auf vier anstatt fünf (wie in BioSoil und MoMoK klassifiziert) Zersetzungstypen beziehen, müssen die Zersetzungstypen 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 Zersetzungstypen 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. |

### Totholzdichte

Die Totholzdichte (deadwood bulk density) wird gemäß des Zersetzungsgrades zugewiesen (Abbildung 2). Die entsprechenden Dichten wurden der TGHI & BWI Methodik (Abbildung 1) entnommen, wobei sie ursprünglich aus Veröffentlichungen von Fraver et al. 2002 (Nadelholz) und Müller-Ursing und Bartsch (2009) entnommen wurden.

Abbildung 1: Berechnung der Totholz Biomasse (Quelle: <https://bwi.info/Download/de/Methodik/BMEL_BWI_Methodenband_Web_BWI3.pdf> Seite 44Abbildung 1



Abbildung 2: Holzdichten (g/cm³]) nach Totholzgruppe und Zersetzungsgrad (Quelle: [https://bwi.info/Download/de/Methodik/BMEL\_BWI\_Methodenband\_Web\_BWI3.pdf Seite 44](https://bwi.info/Download/de/Methodik/BMEL_BWI_Methodenband_Web_BWI3.pdf%20Seite%2044)

****

### Relative Totholzdichte für TapeS Biomasse in Kompartimenten

Um die Biomasse der durch TapeS berechneten Biomasse in den jeweiligen Kompartimenten um den Biomassenverlust durch Zersetzung reduzieren zu können, wurde die relative Dichte auf basis der Totholzdichten in den jeweiligen Zersetzungsgraden bestimmt und dann auf die berechnete Biomasse bezogen.

Die Berechnung der relativen Dichte erfolgte wie folgt:

1. die Totholzdichte in Zersetzungsgrad 1 entspricht 100% (Abbildung 2)
2. Demnach muss die Biomasse im selben Maß reduziert werden, wie die Dichte mit dem Zersetzungsgrad im Vergleich zum unzersetzten Zustand abnimmt
3. Das bedeutet, dass die berechnete Biomasse, um den prozentualen Unterschied in der Dichte zwischen Zersetzungsgrad 1 und jedem anderen Zersetzungsgrad reduziert werden muss
4. Hierfür wird zunächst der prozentuale Unterschied zwischen Zersetzungsgrad 1 und dem jeweiligen späteren Zersetzungsgrad berechnet:

*Prozentualer unterschied = (Dichte Z1 – Dichte Zx)/ Dichte Z1*

* + - So entstehen für jede Baumartengruppe und jeden Zersetzungsgrad ein Biomasse-Reduktionsfaktor

1. Hieraus wird der Dichte-Reduktionsfaktor berechnen, indem man der Prozentualen Unterschied zwischen unzersetzter und zersetzter Dichte von 100% abziehen, sodass die Prozent die von der üblichen Dichte (und daraus berechneter unzersetzter Biomasse) übrigbleiben berechnet werden:

*Biomasse Reduktionsfaktor = 1-prozentualer unterschied*

1. Nachfolgend kann die Biomasse in dem Kompartiment um den Biomasse Reduktionsfaktor reduziert werden:

*Um die Reduzierte Biomasse im Kompartiment = Biomasse Kompartiment \* Biomasse Reduktionsfaktor*

#### Nachträgliche Kompartimentierung Biomasse Totholz

Orientiert an WELLBROCK et al. (2014) wird für die Totholzzersetzungsgruppen 1&2 wie für lebende Bäume kompartimentiert. Da der Zersetzungsgrad alleine jedoch keine Auskunft über die noch vorhandenen Kompartimente des Totholzstückes gibt, muss die Kompartimentierung zunächst auf folgende Totholztypen und Kompartimente beschränkt werden:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Totholztyp | Code | Zersetzungsgrad | Kompartimente |
| stehend; ganzer Baum  liegend, ganzer Baum | 2  5 | 1 | Kompartimentierung mit TapeS in Nichtderbholz, Derbholz o.R., Derbholzrinde, Stock o.R., Stock |
| 2 | Kompartimentierung mit TapeS in Derbholz o.R., Derbholzrinde, Stock o.R., Stock |
| Stehendes Bruchstück | 3 | 1,2 | Kompartimentierung mit TapeS in Derbholz o.R., Derbholzrinde, Stock o.R., Stock |
| Liegend; starkes Totholz | 1 | egal | Keine Kompartimente, Stickstoffgehalt des Derbholzes wird verwendet |
| in Haufen vorkommendes Totholz | 6 | egal | Keine Kompartimente, Stickstoffgehalt des Derbholzes wird verwendet |
| Wurzelstock | 4 | 1, 2 | Komartimentierung mit TapeS in Stock o.R, Stockrinde |

Hierbei wird ein Kombiniertes Verfahren aus BWI &THGI Methodik und der Biomassenschätzung über TapeS angewand.

Stehendes und liegendes Totholz (2 & 5) in Zersetzngsgrad 1 & 2

Hier wird zunächst ein TapeS Objekt mittels der Eingangsgrößen Baumartengruppe (spp), BHD (Dm), BHD Messhöhe (Hm = 1.3m) und Baumlänge (Ht) erzeugt. Folgend wird die Biomasse in allen Kompartimenten, auch der Blattmasse, berechnet. Dann wird die Blatt- und Feinholzmasse auf die Biomasse die über das Volumen und die Biomasseexpansionsfaktoren berechnet wurde (B\_dw\_kg) aufsummiert. Dies ist notwendig, da die durch TapeS bestimmten Kompartimente immer für ganze Bäume mit den im Objekt hinterlegten Dimensionen gelten. Die Biomasseberechnung der BWI&THGI hingegen, berechnet nur die Biomasse von Stock und Derbholz. Will man die verbleibende Biomasse in den Kompartimetnen berechnen, muss sie von der Biomasse eines ganzen Baumes (mit allen Kompartimenten) abgezogen werden. Nachfolgend wird die schrittweise Berechung der die verbleibende Biomasse in den Kompartimenten durch Abziehen der TapeS Kompartimentmassen dargestellt:

**Derbholz.o.R.** = ((Biomasse BWI&THGI + Blattmasse TapeS + Nichtderbholz TapeS) – (Derbholzrinde TapeS + Stockmasse TapeS + Stockrinde TapeS)) \* Biomassereduktionsfaktor

**Derbholzrinde** = (Biomasse BWI&THGI + Blattmasse TapeS + Nichtderbholz TapeS) – (**Derbholz.o.R.** + Stockmasse TapeS + Stockrinde TapeS ) \* Biomassereduktionsfaktor

**Stockmasse.o.R:** = (Biomasse BWI&THGI + Blattmasse TapeS + Nichtderbholz TapeS) – (**Derbholz.o.R.** + **Derbholzrinde** + Stockrinde TapeS ) \* Biomassereduktionsfaktor

**Stockrinde** = (Biomasse BWI&THGI + Blattmasse TapeS + Nichtderbholz TapeS) – (**Derbholz.o.R.** + **Derbholzrinde** + **Stockmasse.o.R**) \* Biomassereduktionsfaktor

Für Zersetzungsgrad 1:

**Nichtderbholz m.R.** = Nichtderbholz TapeS\* Biomassereduktionsfaktor

**oberirdische Biomasse** = Biomasse BWI&THGI (= **Derbholz.o.R.** + **Derbholzrinde** + **Stockmasse.o.R + Stockrinde**) + **Nichtderbholz m.R.**

Für Zersetzungsgrad 2: Berechnung identisch jedoch wird die Nichtderbholzbiomasse nicht mitgerechnet.

**Nichtderbholz m.R.** = 0

**oberirdische Biomasse** =Biomasse BWI&THGI = **Derbholz.o.R.** + **Derbholzrinde** + **Stockmasse.o.R** + **Stockrinde**

Stehendes Bruchstück (3) in Zersetzungsgraden 1 & 2

Die Schätzung der Biomasse in den Kompartimenten Derbholz und Derbholzrinde erfolgte mittels TapeS. Die Eingangsgrößen zum erzeugen des TapeS Objektes waren:

Der als BHD wurde der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes über die Grundfläche pro Plot, Baumart und Zerstzungrad berechnet ((sqrt((mean(BA\_m2)/pi)))\*2).

Die Trennung nach Zersetzungsgrad und Baumartengruppe ist erforderlich, weil TapeS die Biomasse von lebenden ganzen Bäumen ausgibt, welche um die relative Dichte in Abhängigkeit des Zersetzungsgrades und der Artengruppe reduziert werden muss.

Die Länge bzw. Höhe der Bruchstücke kann nicht direkt als Höhe in das TapeS Objekt miteingehen, da TapeS das Verhältnis zwischen Abgebrochener Stammlänge und BHD als unplausibel erkennt und von der Berechnung ausschließt. Daher musste zunächst mittels der TapeS Funktion „estHeight“ über den Dg und die Artengruppe die Höhe eines Stammes mit einem BDH der dem Dg entspricht (also repräsentativ für die Zersetzungs- und Artengruppe ist) ermittelt. Die Höhenberechnung mit TapeS basiert auf der Pettersen-Function (h = 1.3 + (a + \frac{b}{dbh})^{-3}h=1.3+(a+ dbhb) −3 ) die für die BWI3 für alle Hauptbaumarten gefittet wurde (R Documentation estHeight).

Folgend wurde die Biomasse in den Kompartimenten Derbholz und Derbholzrinde ermittelt, um den Biomassereduktionsfaktor reduziert und ins Verhältnis zueinander gesetzt.

Rindenanteil = Derbholzrinde TapeS \* Biomassereduktionsfaktor / Derbholzmasse TapeS \* Biomassereduktionsfaktor)

Das daraus resultierende Rindenprozent wird dann wie folgt angewandt um die Biomasse in den Bruchstück-Kompartimenten Derbholz und Derbholzrinde zu berechnen:

**Derbholz.o.R.** = Biomasse BWI&THGI – Derbholzrinde

= Biomasse BWI&THGI – (Rindenanteil \* Biomasse BWI&THGI)

**Derbholzrinde** = Biomasse BWI& – **Derbholz.o.R.**

Wurzelstöcke (6) in Zersetzungsgraden 1 & 2

Für Wurzelstöcke wird der Rindenanteil pro Baumartengruppe und Zersetzungsgrad über die TapeS Biomasse in den Kompartimenten Stock und Stockrinde berechnet.

Für Totholz des Typen 4 (Wurzelstöcke) wird kein BHD sondern nur der durchschnittliche Schnittflächendurchmesser erfasst. Da TapeS ein vollständiges TapeS Objekt aus BHD, BHD Messhöhe, Baumhöhe und Baumartengruppe benötigt um die Biomasse in den Kompartimenten zu schätzen, muss zunächst von dem Durchmesser der Schnittfläche auf den Durchmesser in 1.3m Höhe geschlossen werden.

Dies ist mit TapeS nicht möglich, da die Höhe/ Länge hier als Inputgröße für die Durchmesserschätzung erfordert ist und der Durchmesser in 1.3m somit immer mit 0 berechnet wird, wenn man die Stocklänge als Höhe verwendet (da die Länge/ Gesamthöhe des Stammes geringer als 1.3m ist).

Daher wird der Durchmesser hier mittels des Regressionsverfahren für BHD bei Probebäumen mit geänderter Messhöhe (BWI Methodikband 5.2.1.) nach Kublin berechnet: dz = d ∗ (1.0 + (0.0011 ∗ (hd − 130))). Über den Durchmesser nach Kublin wird dann mittels TapeS estHeight die Höhe zu dem jeweiligen BHD berechnet

Die so erlangte TapeS Höhe dient dann als Input Variable für die tprDiameter Funktion, die dann einen neuen, finalen BHD zu dem Wurzelstock schätzt. Aus dem geschätzten BHD wird der Durchmesser des Grundflächenmittenstammes pro Plot, Baumartengruppe und Zersetzungstufe berechnet.

Nach Schätzung der Höhe und des BHDs wird ein tprTree Objekt erzeugt welches zur Berechnung der Biomasse in den Kompartimenten Stockmasse und – Rinde via TapeS genutzt wird.

Die so errechneten Biomassen werden dann mit der relativen Dichte multipliziert um den Einfluss des Zersetzungsgrad auf die Biomasse zu beziehen. Nachfolgend wird der Rindenanteil des Stocks eines Baumes zu dem jeweiligen Dg der Wurzelstöcke berechnet.

Rindenanteil = Stockrinde TapeS \* Biomassereduktionsfaktor / Stockmasse TapeS \* Biomassereduktionsfaktor)

Das daraus resultierende Rindenprozent wird dann wie folgt angewandt um die Biomasse in den Bruchstück-Kompartimenten Derbholz und Derbholzrinde zu berechnen:

**Stockmasse.o.R** = Biomasse BWI&THGI –Stockrinde

= Biomasse BWI&THGI – (Rindenanteil \* Biomasse BWI&THGI)

**Stockrinde** = Biomasse BWI& – **Stockmasse.o.R**

Totholz Haufen ( 6) aller Zersetzungsgrade und andere Totholztypen höherer Zersetzungsgrade (>3)

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

* 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

### 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

Die Nährelemente, bzw. der Stickstoffgehalt der zur Berechnung des Stickstoffvorrates in Totholz verwendet wurde, orientiert sich an der Möglichkeit zur Berechnung der Biomasse in einzelnen Kompartimenten. Sofern kompartimentweise Biomassenvorräte zur Verfügung stehen, wird er Stickstoffvorrat des jeweiligen Totholzstückes aus der Summe des Kompartiment spezifischen Stickstoffvorräte berechnet. Sollte keine Kompartimentierung möglich sein, wird der Stickstoffvorrat mit dem Elementgehalt der Baumartengruppe im Kompartiment „Derbholz“ berechnet.

Es werden keine Totholzspezifischen Elementgehalte verwendet, sondern dieselben Werte wir für den Lebenden bestand. Dies ist möglich, da die Eigenschaften des Totholzes, welche Unterschiede in der Biomasseakkumulation im Vergleich zu lebenden Bäumen verursachen können, bereits in die Biomassenberechnung einbezogen wurden (zersetzungsgrad, relative Dichte, etc.).

## Verjüngung

### Verjüngung Biomasse

Für Bäume der Verjüngung, die über einen BHD verfügen, also eine Höhe von > 1.3m haben, wird die Biomasse über TapeS bestimmt. Für Bäume der Verjüngung < 1.3 wird die Biomasse über die Formeln der GHGI für Bäume BHD <10cm & H < 1.3 bestimmt.

Die unterirdische Biomasse wird über den Durchmesser bestimmt. Da Bäume der Verjüngung unter 1.3m nicht mehr in Größenklassen eingeteilt werden und somit kein Durchmesser bekannt ist, beschränkt sich die Berechnung der unterirdischen Biomasse, sowie die darauf beruhende nachträgliche Kompartimentierung durch Poorters leaf-root-ratio auf größere Bäume der Verjüngung über 1.3m Höhe.

### Nachträgliche Kompartimentierung Biomasse Verjüngung

Orientiert an den Verfügbaren Quellen für Nährstoffgehalte in Bäumen der Verjüngung bzw. des Nichtderbholzes, empfiehlt sich eine Unterteilung in holzige und nichtholzige Biomasse (Nadel/ Blatt) zur berechnung der Stickstoffvorräte. Generell ist, wie bei der Berechnung der gesamten Biomasse an Bäumen der Verjüngung zu unterscheiden in:

* Bäume über 1.3m Höhe welche über einen BHD und BHD Messhöhe verfügen und damit für TapeS und die BWI & THG Formeln für die Unterirdische Biomasse geeignet sind
* Bäume unter 1.3m für die kein TprTree Object erzeugt werden kann und für die, aufgrund des fehlenden Durchmessers auch keine unterirdische Biomasse berechnet werden kann

Zunächst gilt es anzumerken, dass die Kompartimentierung in Blatt- und holzige Biomasse mittels (1) Poorter et al. auf der unterirdischen Biomasse beruht, welche über den Durchmesser bestimmt wird, welcher für Bäume < 1.3m nicht gemessen wird und mittels (2) tapeS nur für Nadelholz an Bäumen deren Durchmesser bekannt ist (also H > 1.3m) möglich ist.

Daraus ergibt sich folgendes Vorgehen bei der nachträglichen Kompartimentierung:

* Für Bäume unter 1.3m Höhe bzw. ohne einen gemessenen Durchmesser wird nicht kompartimentiert, da alle Möglichkeiten zur Kompartimentierung auf dem BHD beruhen
* Blattmasse:
  + Für Nadelbäume mit H > 1.3m und BHD > 0cm wird die Blattmasse mittels TapeS bestimmt (component = „Ndl“)
  + Für Laubbäume mit gemessenem BHD (also H > 1.3m und BHD > 0cm) wir die Blattmasse über die unterirdische Biomasse mittels Poorters root-leaf-ratio bestimmt
  + Für Bäume auf die diese Bedingungen nicht zutreffen wird die Blattmasse = 0 gesetzt
* Holzige Biomasse:
  + Für Nadelbäume mit H > 1.3m und BHD > 0cm wird die mit TapeS berechnete Blattmasse von der durch TapeS berechneten oberirdischen Gesamtbiomasse abgezogen
  + Für Laubbäume mit H > 1.3m und BHD > 0cm wird die mittels Poorters Root-leaf-ratio berechnete Blattmasse von der mittels GHGI bestimmten
  + Für Laub- und Nadelbäume mit H <= 1.3m und/ oder BHD = 0cm wird die mittels BWI&THGI Funktionen berechnete Gesamtbiomasse als holzige Biomasse behandelt

### Artengruppen Verjüngung

Verschiedene Arten ließen sich keiner der in x\_bart gelisteten Baumarten oder Artengruppen zuordnen. Dazu zählten u.a. EB, EBS, SHO, SHA, FLB, KD, MKI. Eine nachträgliche Zuordnung wurde wie folgt vorgenommen: (Ausschnitt aus E-Mail mit Julian Gärtner)

* EB und EBS sind Eberesche, hab ich jetzt in VBE für Vogelbeere geändert
* SHO ist Schwarzer Holunder, taucht nicht in der Liste auf, da es kein baumförmiges Gehölz ist. Ich habe die eigentlichen Sträucher dennoch mit aufgenommen, da die in Mooren ja auch durchaus eine gewichtige Rolle spielen können, besonders während der Degradierung/Sukzession. Dafür wird es allerdings wohl eher keine Koeffizienten geben, nehme ich an ;)
* SHA ist Strauch-Hasel, siehe SHO
* FLB ist Faulbaum, siehe SHO
* was KD sein soll, kann ich mir gerade auch nicht erklären, glaube ich habe mich da verschrieben (?) Ich werde heute nachmittag im Büro noch mal meine Feldunterlagen checken, um herauszufinden, was es damit auf sich hat
* MKI ist die Moor-Kiefer, habe ich falsch verschlüsselt, gehört zur Berg-Kiefer (BKI)

### Verjüngung Stickstoff

Um Einheitlichkeit mit der Berechnung der Stickstoffvorräte im lebenden Bestand und Totholz zu gewährleisten, werden die Stickstoffvorräte in der Verjüngung ebenfalls über RUMPF et al. (2018) berechnet.

Zur Berechnung des Stickstoffvorrats für das Verjüngungskompartiment „holzige Biomasse“ wird der Stickstoffgehalt des Kompartiments „Nichtderbholz“ in RUMPF et al. (2018) verwendet. Die entsprechenden Artengruppen stimmen mit denen des lebenden Altbestandes überein.

Zur Berechnung der Stickstoffvorrates des Verjüngungskompartiments „Blatt/Nadelmasse“ wird für Nadelbäume der Stickstoffgenalt des Kompartiments „Nadeln“ aus Rumpf et al. 2018 entnommen. Für die Blattmasse von Laubbäumen werden die mittleren Stickstoffgehalte aus den Blattanalysen am jeweiligen Plot verwendet.

# Ergebnisse

## Mögliche Ergebisstabellen

Siehe Excel beispiel\_ergebnisstabellen\_momok\_bestandesauswertung.csv

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

# Plausibilitätprüfung

Um die Qualität und Aussagekraft der Ergbenisse zu gewährleisten, wird die Plausibilitäte der Biomassen bzw- Volumenvorräte mit vergleichbaren Datensätzen verglichen. Es ist davon auszugehen, dass sofern die Biomasse korrekt geschätz wurde, auch die daraus hervorgehenden Ergebnisse (e.g. Kohlenstoffvorrat, Stickstoffvorrat) plausibel sind.

Bei der Plaubilitätsprüfung wird es darum gehen (1) mögliche Fehlerquellen vor der Biomassenebrechnung auf Korrektheit zu überprüfen, (2) verbleibende Abweichungen zu identifizieren und (3) zu überprüfen ob diese in einem erklärten Maß liegen.

## Lebender Bestand

### Vergleichsdaten

* <https://bg.copernicus.org/articles/17/1621/2020/>
* <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12552>
* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716302870>

### Biomasse Vergleich lebender Bestand

Der Biomassenvergleich zwischen MoMoK und der BWI erfolgte gruppiert nach Baumartengruppen der BWI, jedoch nicht nach Altersklassen getrennt.

Um den unterschiedlichen Mischprozenten der Arten pro Plot gerecht zu werden wurde der Vergleich entweder durchgeführt indem (1) der gesamte Biomassenvorrat in t/ha unter der BWI Artengruppe der Hauptbaumart des Plots zusammengefasst wurde oder (2) der Biomassenvorrat in t/ha in sogenannte „Vergleichsreinbestände“ über das Grundflächenmischprozent der jeweiligen Artengruppe zusammengefasst wurde.

Die Abweichungen zwischen der Biomasse zwischen dem Biomassevorrat der BWI und MoMoK Flächen kann verschiedenen Gründe haben. Mögliche Erklärungen für die Abweichungen sind:

* Ungenauigkeiten durch das zusammenfassen in Artengruppen, da die Parameter die Wuchsverhältnisse der in MoMoK vertretenen Arten nicht adäquat wiederspiegeln
* Unterschiede in der Biomassenberechnung zwischen BWI3 (mittels BWI & TGHI Funktionen) und MoMoK (mittels TapeS)
* Fehler oder Ungenauigkeiten welche sich durch das Schätzen fehlender Höhen insbesondere durch eigene Modelle ergeben
* Unterschiede die sich aus dem besonderen Wachstums- und Strukturdynamiken von Moorwäldern ergeben:
  + E.g. durch Abweichungen in der Stammzahl pro Hektar
  + Abweichungen der Grundfläche pro Hektar
  + Verringerte Wachstumsraten
  + Höhere Akkumulation von Biomasse in Totholz: Ein Großteil des Kohlenstoffes könnte nicht in der Oberirdischen Biomasse des lebenden Bestands gespeichert sein, sondern im Boden/ Torf und der Toten Biomasse
    - Dies kann durch einen Vergleich des Totholzvorrates in MoMok und der BWI verglichen werden

#### Fehler durch Höhenschätzung

Da die Schätzung der Höhe zu den möglichen Fehlerquellen in der Biomassenberechnung zählt, wird die Plausibilität durch den Vergleich mit anderen Möglichkeiten der Höhenschätzung verglichen. Die Vergleichsmöglichkeiten waren:

* Höhenschätzung vollständig über TapeS geschätzte Höhen
* Höhenschätzung mit Kombination ausgemessenen und mittels TapeS ermittelten Höhen
* Höhenschätzung über Kombination aus gemessenen Höhen und über Sloboda, Curtis und selbst-gefitteten Modellen geschätzten Höhen

So lassen sich (1) Unterschiede zwischen den Höhenmodellen feststellen und (2) Unterschiede zwischen Schätzungen und Messungen identifizieren, welche eventuell uskunft über die Güte der Höhenmessungen geben können.

Zunächst erfolgte der Vergleich über den HD-Wert welcher das Verhältnis zwischen Durchmesser und Höhe des Einzelbaumes beschreibt. Jedoch ist es schwierig Grenzwerte für dieses Verhältnis festzulegen, da das Verhältniss zwischen Höhe und Durchmesser stark von dem Entwicklungsstadium des Baumes abhängt. Vorläufig wurden folgende Grenzen für festgelegt, wobei nur Bäume des Hauptbestandes betrachtet wurden.

* HD\_Warnung 5,0-65 und 85-139,9
* HD\_Fehler: 0-4,9 und >140,0

Die Entscheidung für die zuvor genannten HD Warn- bzw. Fehler-Grenzen sind Schätzungen deren Eignung noch überprüft werden muss.

Vergleicht man die HD Warnungen und Fehler unter den beiden Methoden der Höhenschätzung zeigt sich, dass:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Methode | Gesammtzahl | Warnungen | Fehler | Bemerkung |
| „vollständige“ TapeS Höhen | 340 | 174 | 0 |  |
| Gemessene Höhen | 267 | 175 | 5 | Dort wo gesampelte Höhen Error haben, haben geschätzte TapeS Höhen Warning |
| Gemessen + selbst-geschätzt | 938 | 529 | 15 |  |
| Gemessen + TapeS Höhen | 1032 | 671 | 0 |  |

Vergleicht man den Biomassevorrat der aus (1) ausschließlich mittels TapeS geschätzten, (2) gemessen und TapeS geschätzten und (3) selbst geschätzen und gemessenen Höhen hervorgeht, über Vergleichsreinbestände der jeweiligen Baumarten des Plots, mit den Biomassevorräten der BWI in ideellen Reinbeständen derselben Artengruppe, so zeigt sich im Schnitt ein Unterschied von:

* +25.52 t/ha Biomasse berechnet aus ausschließlich mittels TapeS geschätzten Höhen und den zugehörigen BWI Vorräten in der Artengruppe
* + 25.42 t/ha Biomasse berechnet aus gemessen und TapeS geschätzten Höhen und den zugehörigen BWI Vorräten in der Artengruppe
* + 1.825 t/ha Biomasse berechnet aus BWI & TGHI und gemessenen und selbst-geschätzten Höhen und den zugehörgigen BWI Vorrräten in der Artengruppe

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ungeachtet der Höhenberechnungsmethode ähnliche Abweichungen zwischen der Biomasse an MoMoK Standorten und den Vergleichsdaten aus der BWI entstehen. Demnach kann die Methode der Höhenschätzung als Ursache für Abweichungen im Biomassevorrat ausgeschlossen werden.

Tatsächlich zeigt sich beim Vergleich der Biomassen, die aus den Verschiedenen Höhen- und Biomasseschätzung resultieren, dass die größten Unterschiede nicht in der Methode der Höhenschätzung bestehen, sondern in Unterschieden zwischen den Biomassefunktionen.

Gleichzeitig zeigt sich im Rahmen des Vergleiches zwischen geschätzten und gemessenen Daten, dass der HD-Wert kein adäquater Indikator für die Güte der Höhenmessung und Schätzung ist.



#### Fehler durch Baumartengruppen: Vergleichsreinbestände

Vergleicht man die Biomassenvorräte pro Plot mit dem durchschnittlichen Biomassenvorrat der BWI (über alle Baumarten und Altersgruppen hinweg) ungeachtet der Hauptbaumart, verliert man an Genauigkeit in Bezug auf die Baumartenspezifische Akkumulation von Biomasse.

Selbiges gilt für den Vergleich der Biomassenvorräte pro Plot mit dem Biomassenvorrat der BWI in der Baumartengruppe die der Hauptbaumart der Plots entspricht, da hier alle Bäume des Plots, ungeachtet ihres Anteils an der Grundfläche der Hauptbaumart zugeordnet werden.

Vergleicht man den Biomassenvorrat jeder Baumart pro Plot mit dem BWI Biomassenvorrat in der jeweiligen Artengruppe, ohne dem Mischprozent gerecht zu werden, so vergleicht man den Biomassevorrat eines ideellen Reinbestands der BWI (also den Biomassevorrat eines Hektars der vollständig mit der jeweiligen Baumartengruppe bestockt ist). Dies führt zu größeren Abweichungen des Biomassevorrat, da im Falle von Mischbeständen ideele Reinbestände mit dem partiellen Biomassevorrat der Mischbaumart pro Hektar verglichen werden.

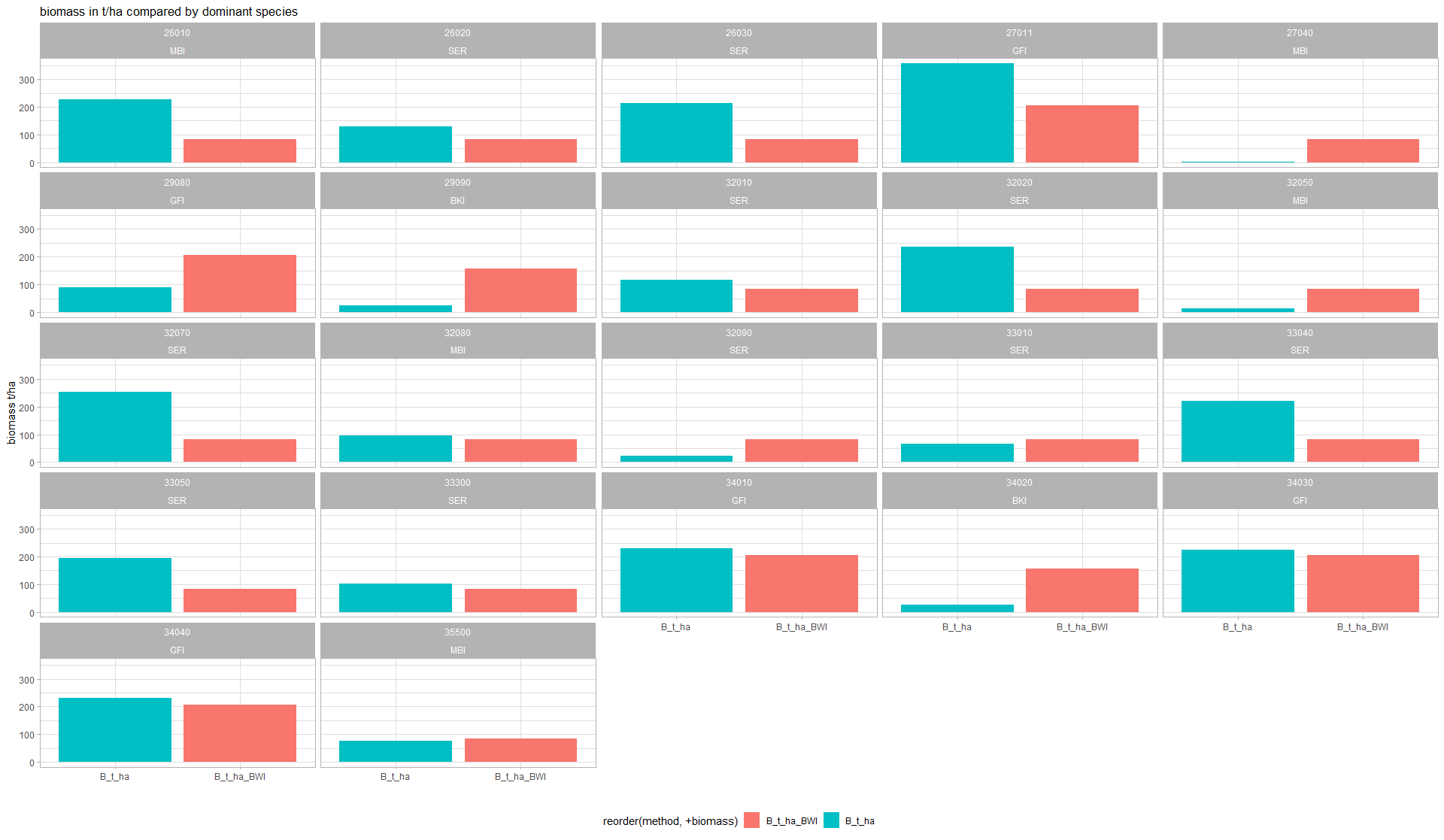
Sofern man auch die Biomassevorräte der Mischbaumarten/ Nebenbaumarten arten- bzw. artengruppenspezifisch vergleichen möchte, muss man daher den Flächenbezug zur Berechnung des Kohlenstoffvorrates pro Hektar dahingehen ändern, dass er der Fläche entspricht die tatsächlich von der jeweiligen Baumart bestockt ist. Dies kann über das Mischprozent erfolgen, wobei hierfür das Grundflächenmischprozent und das Biomassenmischprozent zur Verfügung stehen.

Die Berechnung der Bestockungsbezogenen Biomassenvorräte pro Baumarten erfolge folgendermaßen:

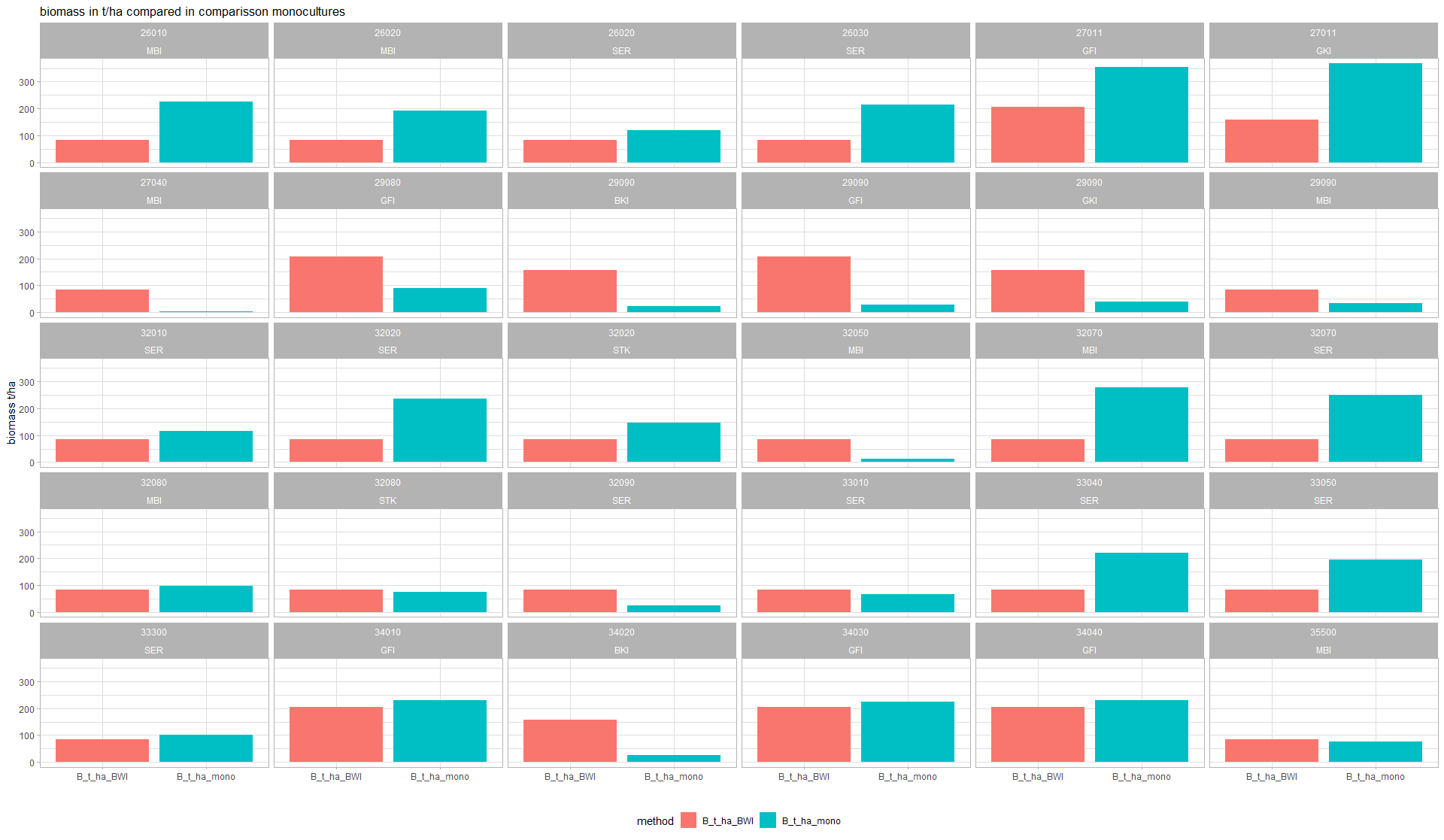
B Bestockungsbezogen = tatsächlicher B Vorrat der Baumart pro Hektar/ (1 Hektar \* Mischprozent)

Diese Datenstruktur erlaubt einen möglichst akkuraten Vergleich zwischen MoMoK und BWI Daten, wobei zu beachten bleibt, dass die Baumartengruppen der BWI in denen die Biomassenvorräte verglichen werden, nicht zwischen einzelnen Arten oder Gattungen unterscheidet. Die für MoMoK häufigsten Baumartengattungen Erle und Birke z.B. werden nicht separat, sondern mit dem durchschnittlichen Biomassenvorrat aller Baumarten, die in die Gruppe „andere Laubhölzer niedriger Lebenserwartung“ fallen, verglichen.

1. Vergleicht man die Biomasse in t/ha zusammengefasst unter der jeweiligen Hauptbaumart des Plots, zeigt sich eine mittlere Abweichung von + 25.22 t/ha.



1. Vergleicht man die Biomasse in t/ha zusammengefasst in Vergleichsreinbeständen der Baumarten des Plots, zeigt sich eine mittlere Abweichung von + 25.42 t/ha.



#### Abweichungen durch Unterschiede in der Stammzahl & Grundfläche: Lineare Modelle

Sollten sich trotz des Vergleichs des Biomassevorrats der BWI mit Baumartengruppenspezifischen, Bestockungsbezogenen Biomassevorräten der MoMoK Probeflächen signifikante Unterschiede zeigen , werden diese Plots ausgewählt und auf Plausibilität der Abweichungen untersucht.

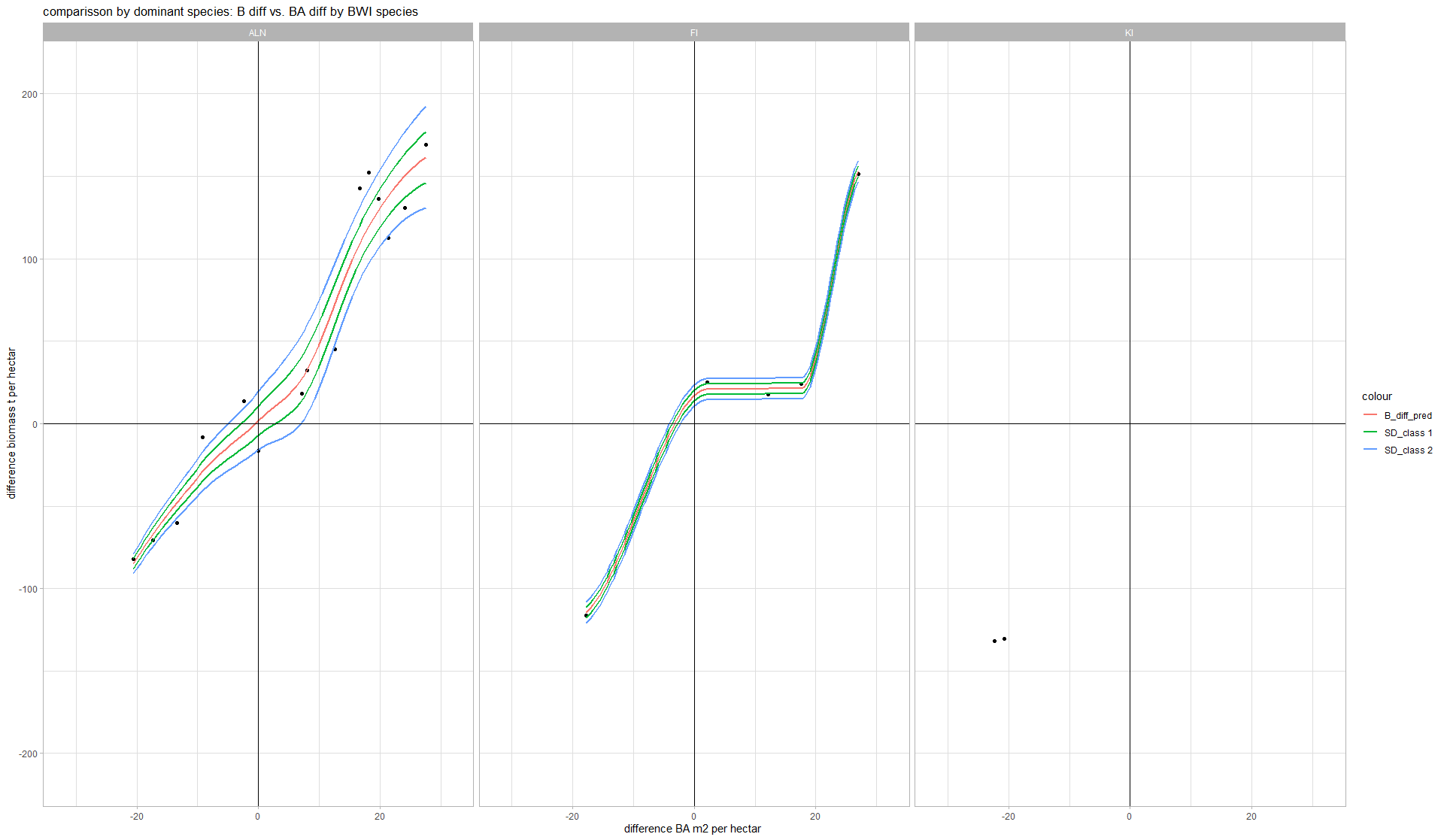
Hierfür wird eine lineare Regression pro Baumart gefittet, welche die Abweichungen des Biomassenvorrates mit der Abweichung der Baumartenspezifischen Bestockungsbezogenen Grundfläche und Stammzahl pro Hektar im Vergleich zur BWI erklärt (Unterschied Biomasse t/ha = b0 + b1\*Unterschied Stammzahl N/ha + b2\*Unterschied Grundfläche m2/ha).

Die Koeffizienten ermöglichen, die erwartbare Abweichung des Biomassenvorrates zu bei gegebener Abweichung der Stammzahl und Grundfläche zu berechnen. Sollte signifikante Unterschiede zwischen der Berechneten Abweichung des Biomassenvorrates und den geschätzten Abweichungen des Biomassenvorrates bestehen, kann darauf geschlossen werden, dass die Abweichung des Vorrates nicht durch Unterschiede in der Grundfläche oder Stammzahl erklärbar ist, und somit als unplausibel bewertet werden muss.

Als signifikant Unterschiedlich zählen in diesem Zusammenhang Vergleichsreinbestände, deren Unterschiede zwischen erwarteter und beobachteter Abweichung der Biomasse die zweifache Standartabweichung der Unterschiede zwischen erwarteter und beobachteter Abweichung der Biomasse überschreitet.

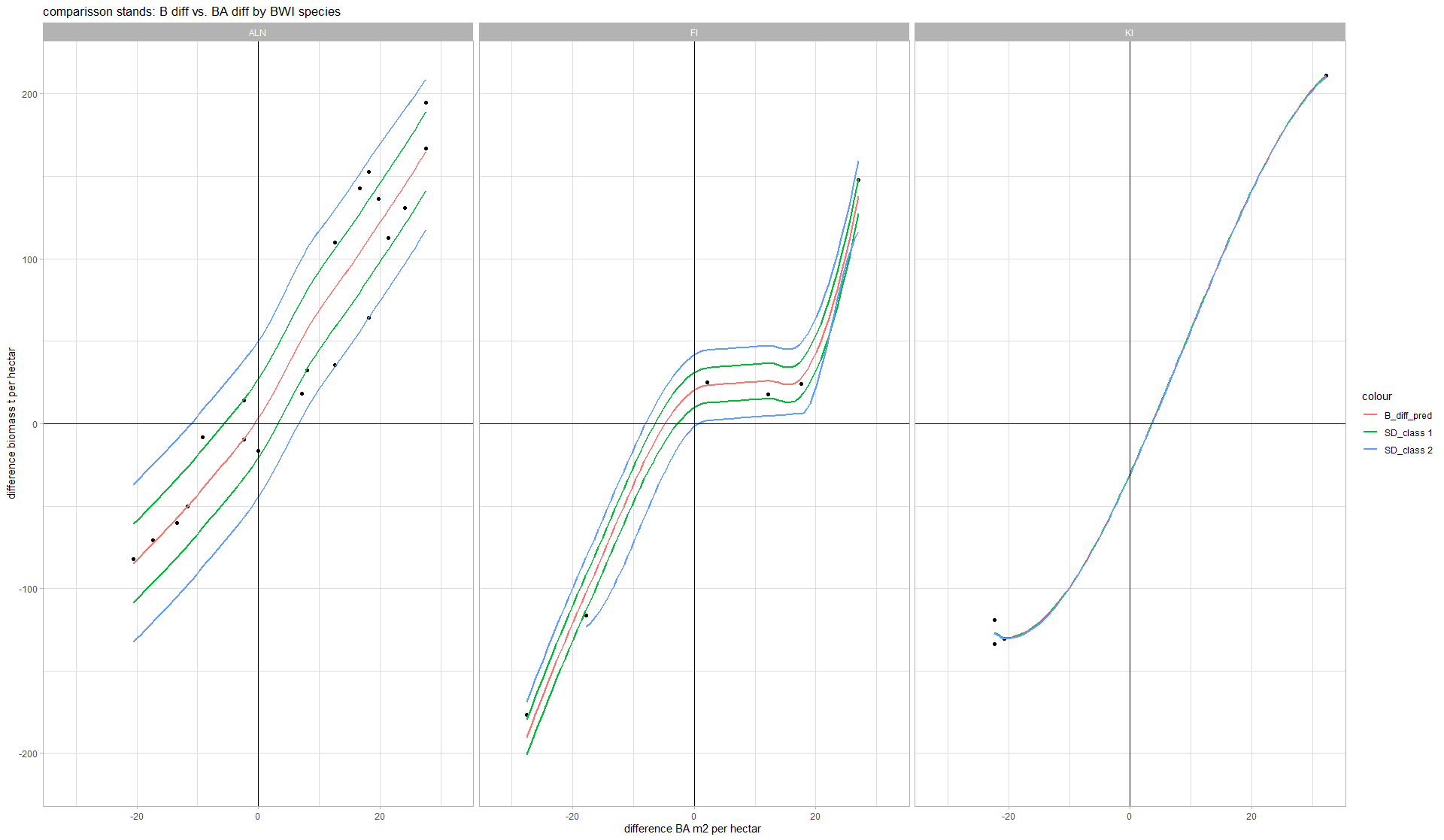
Sofern sich der tatsächliche Unterschied innerhalb des Intervalls der zweifachen Standartabweichung des Unterschiedes zwischen erwartetem und tatsächlichen Biomasseunterschieden befindet, gelten die Biomassevorräte als Plausibel, bzw. die Unterschiede zwischen BWI und MoMoK als erklärt und dadurch akzeptabel.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Unterschiede im Biomassenvorrat in Tonnen pro Hektar pro Plot verglichen mit den BWI Biomassevorräten in der Artengruppe der Hauptbaumart des Plots, aufgetragen gegen die jeweiligen Unterschiede in der Grundfläche.



Modelliert man die Abweichungen des Kohlenstoffvorrates pro Hektar pro Vergleichs-Reibestand der jeweiligen am Plot vertreten BWI Baumartengruppen als lineare Funktion aus dem jeweiligen Unterschied in der Stammzahl und der Grundfläche und bestimmt anschließend die Abweichung den beobachteten Unterscheide mit den durch das Model vorhergesagten, zeigt sich, dass die meisten Abweichungen im Bereich der zweifachen Standartabweichung von der Vorhergesagten Abweichung des Biomassevorrates befinden.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Unterschiede im Biomassenvorrat in Tonnen pro Hektar pro Vergleichsreinbestand verglichen mit den BWI Biomassevorräten in derselben Artengruppe, aufgetragen gegen die jeweiligen Unterschiede in der Grundfläche.



Obwohl über die Vergleichsreinbestände einen möglichst ähnlicher Datensatz erzeugt wird, der eine gute Grundlage für den Vergleich mit der BWI darstellt, bestehen weiterhin limitierungen für die Aussagekraft des Vergleiches:

* Systematische Fehler können so nicht erkannt werden. Wenn z.B. der Flächenbezug falsch wäre oder es einen Einheitsfehler gäbe wären die Abweichungen immer gleich stark oder niedrig, und würden sich somit weiterhin modeliieren lassen.
* Es muss festgelegt werden was eine Sigifikanten Unterschied zwischen berechneter und geschätzer abweichun des Kohlenstoffvorrates darstellt
* Möglicherweise ist die Datenlage (22 plots, mit 1-2 Baumarten pro plot 🡪 30 Kohlenstoff-, Grundflächen und Stammzahlwerte die in die Modelle einfließen können 🡪 ca. 5 pro Baumart) zu gering um ein overfitting der Modelle zu verhindern.
  + Dies wurde durch die Einteilung in BWI Artengruppen und das Erzeugen der BWI Artengruppen Vergleichs-Reinbestände etwas umgangen, da sich hierraus mehr „Vergleichsreinbestände“ oder „Pseudoplots“ ergeben.

## Totholz

### Volumenvergleich

Da das Volumen die Grundlage für den Biomassen- und damit auch Kohlenstoff- und Stickstoffvorrat darstellt, zielt der Plausibilitätscheck für Totholz vor allem darauf ab, Fehler, Unsicherheiten und Unplausibilität in der Berechnung des Totholzvolumens zu identifizieren.

Totholzvorräte werden entweder pro Totholztyp mit den Typspezifischen Totholzvorräten pro Hektar für das jeweilige Bundesland verglichen, in dem der Plot liegt (Daten aus BWI 2012) oder mit den Totholzvolumnia die im rahmen der Totholzinventur 2017 veröffentlicht wurden. Hierfür stehen keine Daten pro Bundesland zur Verfügung.

Mögliche Fehlerquellen in der Volumenberechnung des Totholzes sind:

#### Fehler durch einfachen Vergleich in Totholztypgruppen

<https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=8.02%20Vorr%C3%A4te/Massen%20nach%20Totholztyp%20(ZIELMERKMALSTABELLE)&prRolle=public&prInv=THG2017&prKapitel=8.02>

Vergleicht man die Totholzvorräte über alle Zersetzungsstufen, Totholztypen, Artengruppen und Bundesländer hinweg, so verliert der Vergleich an Genauigkeit und Aussagekraft.

Vergleicht gruppiert nach Totholztyp an MoMok Standorten mit den BWI Totholzvorräten des Bundeslandes in dem der Plot liegt, kann ein mehr an die regionalen Bedingungen angepasster Vergleich stattfinden.

Da die Daten der BWI beziehen sich auf den „reelen Flächenbezug gemäß des Trakteckenanteils“ beziehen, sollte dies bei dem Verlgeich mit MoMoK Daten berücksichtig werden. Demnach kann ein akkuraterer Vergleich mit MoMoK Daten hergestellt werden, indem man „Vergleichsplots“ bildet, bei denen der Flächenbezug an das Volumenmischprozent der Totholztypgruppe angepasst ist.

Es gestaltet sich als schwierig erklärende Variablen für die Abweichung der Totholzvorräte zu finden. Geeignete Informationen wären:

* Die Durschnittliche Masse pro Stück
* Die Durchschnittliche Stückzahl pro Hektar.

Die Verfügbaren Daten

Im Vergleich mit den BWI Daten, zeigt sich, dass die MoMoK Totholzvorräte pro Hektar um ca. +19 m3 pro ha von denen der BWI abweichen

#### STICKSTOFF

* Ewa Błońska, Jarosław Lasota & Wojciech Piaszczyk (2020) Carbon and nitrogen stock in deadwood biomass in natural temperate forest along a soil moisture gradient, Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 154:2, 213-221, DOI: [10.1080/11263504.2019.1587538](https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1587538); <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11263504.2019.1587538>
  + Veröffentlichung über Stickstoff und Kohlenstoffvorrat in liegendem Totholz
  + Untersuchungsgebiet sind verschiedene temperate mixed forests in Polen