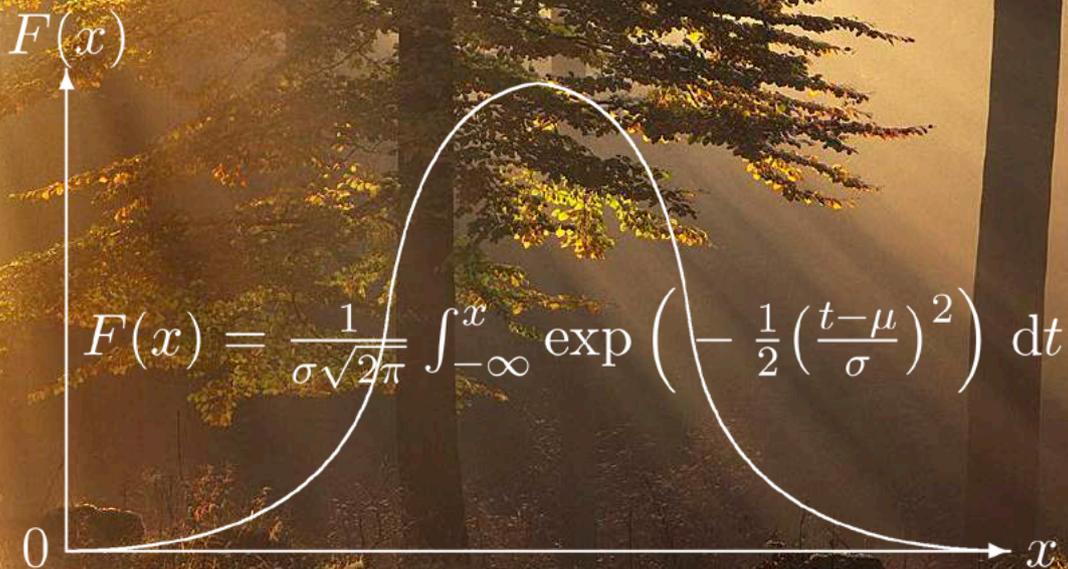




Die dritte Bundeswaldinventur BWI 2012

Inventur- und Auswertungsmethoden



Die dritte Bundeswaldinventur BWI 2012

Inventur- und Auswertungsmethoden

Eberswalde, November 2017



Die dritte Bundeswaldinventur

BWI 2012

Inventur- und Auswertungsmethoden

Autoren: Dr. Thomas Riedel*, Petra Hennig*, Franz Kroihner*, Dr. Heino Polley*,
Friedrich Schmitz^o, Frank Schwitzgebel*

Stand: 08. November 2017

Institution: Johann Heinrich von Thünen-Institut,
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei,
Thünen-Institut für Waldökosysteme,
Alfred-Möller-Straße 1, Haus 41/42, 16225 Eberswalde

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

*) Thünen-Institut für Waldökosysteme

o) Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Vorwort

Die Bundeswaldinventur (BWI) erfasst die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten in Deutschland in allen Ländern und Eigentumsarten nach dem gleichen Verfahren.

Dieser Band dokumentiert die Methoden der Inventurdurchführung und der Auswertung der dritten Bundeswaldinventur (BWI2012). Er richtet sich an Inventurspezialisten und soll ihnen die angewandten Methoden nachvollziehbar machen sowie bei der Bewertung der Auswertungen helfen. Außerdem soll er die Vorbereitung von Folgeinventuren erleichtern. Anderen Erhebungen mag dieser Band als Vergleich dienen. Die Herleitung der Schätzprozeduren ist nicht Gegenstand dieses Werkes. Dazu sei einerseits auf SCHMITZ ET AL. (2008) sowie auf die Standardwerke von COCHRAN (1977) und MANDALLAZ (2008) verwiesen.

Im Internet präsentiert sich die BWI unter www.bundeswaldinventur.de inkl. vieler weiterer Hintergrundinformationen. Die vielschichtigen Ergebnisse der BWI sind in Tabellenform und neu auch als Karte oder Diagramm abrufbar unter <https://bwi.info>

Einen Überblick und Vergleich zu anderen nationalen Waldinventuren liefern die Bücher von TOMPPÖ ET AL. (2010) und VIDAL ET AL. (2016).

Viele haben zum Gelingen der BWI und ihrer Beschreibung beigetragen. Sie alle hier aufzuzählen, würde den Rahmen sprengen und müsste doch unvollständig bleiben. Ausdrücklich danken möchte ich dennoch den Ländervertretern für die Bundeswaldinventur und der BWI-Gutachterkommission für Waldinventur am BMEL. Ohne deren aktive Mitarbeit und ohne die vielen konstruktiven Diskussionen zwischen den Beteiligten innerhalb beider Gremien wäre die BWI2012 nicht so erfolgreich gewesen und auf soviel Interesse und Akzeptanz gestoßen. Die hier vorliegende Methoden-Dokumentation ist ein weiteres Ergebnis ihrer Arbeit.

Dr. Thomas Riedel
Eberswalde, 08. November 2017

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Tabellenverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
1 Ziele und gesetzliche Grundlagen der Bundeswaldinventur 2012	1
1.1 Ziele der BWI	1
1.2 Gesetzliche Grundlagen	2
1.3 Geschichtliche Entwicklung	3
2 Stichprobenkonzept	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Erhebungen auf dem Trakt	6
2.3 Netze und Regionalisierungen	9
3 Inventurdurchführung	15
3.1 Zuständigkeiten	15
3.2 Inventurtrupps	16
3.3 Schulung	16
3.4 Übergabe und Prüfung von Daten	17
3.4.1 Datenübergabe	17
3.4.2 Qualitätskontrolle durch Inventurtrupps	18
3.4.3 Qualitätskontrolle durch die Landesinventurleitung	18
3.4.4 Qualitätskontrolle durch die Bundesinventurleitung	18
4 Auswertungs- und Softwarekonzept	19
4.1 Herangehensweise bei der Datenauswertung	19
4.2 Software	20
5 Ableitung von Merkmalen	21
5.1 Überblick	21
5.2 Ableiten von Merkmalen auf Objektebene für einen BWI-Zeitpunkt	24
5.2.1 BHD bei Probebäumen mit geänderter Messhöhe	24
5.2.2 Repräsentierte Stammzahl von Probebäumen ab 7 cm BHD	25
5.2.3 Repräsentierte Stammzahl von Bäumen < 7 cm BHD	27
5.2.4 Baumhöhen von Probebäumen ab 7 cm BHD	28
5.2.5 Stammhöhe	30

5.2.6	Oberer Durchmesser	33
5.2.7	Volumen von Probestämmen ab 7 cm BHD	33
5.2.8	Oberirdische Biomasse	35
5.2.9	Unterirdische Biomasse	38
5.2.10	Standfläche von Bäumen	39
5.2.11	Totholzvolumen	41
5.2.12	Biomasse von Totholzstücken	44
5.2.13	Waldrandlänge/Bestandesrandlänge	44
5.2.14	Exposition des Waldrandes	46
5.3	Ableiten von Merkmalen auf Trakteckenebene für einen BWI-Zeitpunkt	48
5.3.1	Flächenanteile ideell/reell	48
5.3.2	Bestockungstypen	49
5.3.3	Naturnähe der Baumartenzusammensetzung	51
5.3.4	Spezifische Strukturen und Funktionen von Waldlebensraumtypen	51
5.4	Modellierung von Einzelbaumwerten für andere Zeitpunkte	53
5.5	Merkmalsdifferenzen zwischen zwei Zeitpunkten	55
5.5.1	Differenzen von binären Trakteckenmerkmalen	55
5.5.2	Nettoveränderungen	56
5.5.3	Bruttoveränderungen	56
6	Aggregation der Objektwerte zu Trakteckenwerten	59
6.1	Zustand zu einem Inventurzeitpunkt	59
6.2	Nettoveränderungen (Bilanzen) in einer Inventurperiode	61
6.3	Bruttoveränderungen in einer Inventurperiode	62
6.3.1	Zuwachs in einer Inventurperiode	62
6.3.2	Abgang in einer Inventurperiode	63
7	Einphasige Hochrechnung von Zustandsgrößen	67
7.1	Überblick zur Aggregation	67
7.2	Berechnung der lokalen Dichte	67
7.3	Aggregation von Zustandsgrößen	69
7.3.1	Aggregation pro Sampling Stratum	69
7.3.2	Aggregation über Sampling Straten hinweg	71
8	Veränderungen zwischen zwei Inventurzeitpunkten	73
8.1	Grundsätzliches	73
8.1.1	Zusammenhang von Bilanz, Zugang und Abgang	73
8.1.2	Bilanzen	74
8.1.3	Zugang und Abgang	75
8.1.4	Differenzierung zwischen Vereinigungsmenge und Schnittmenge	79
8.1.5	Umgang mit Datenlücken und Dateninkonsistenzen	82
8.1.6	Fehlerbetrachtung nach Anwendung des Mittelwertverfahrens	84
8.2	Aggregation von Veränderungsgrößen	86
8.2.1	Aggregation pro Sampling Stratum	86
8.2.2	Aggregation über Sampling Straten hinweg	88

9	Veränderungen zwischen zwei Inventurperioden	91
9.1	Besonderheiten bei der Differenzschätzung von Veränderungen	92
9.2	Differenzschätzung von Veränderungen bei der BWI	94
	Literaturverzeichnis	97
	Abkürzungen	101
	Glossar	105
	Notation	109

Tabellenverzeichnis

2.1	Aggregationsebenen	6
2.2	Vergleich der Aufnahmeverfahren BWI2002 und BWI2012	8
2.3	Verdichtungsgebiete	10
2.4	Rasterkennung	11
5.1	Auswahlverfahren für Subpopulationen (Objekte) u. Erfassung der Merkmale	22
5.2	Bezeichnungen, Maßeinheiten und Notation	23
5.3	Bogenmaß zum Ableiten des BHD mit Hilfe der Tangenzfunktion	25
5.4	Koeffizienten für die Einheitshöhenkurven	29
5.5	Koeffizienten der logistischen Funktion zur Stammhöhenermittlung	32
5.6	Standardwerte für das Volumen nach FAO-Definition für Bäume < 7 cm BHD	35
5.7	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume ≥ 10 cm BHD	36
5.8	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume $\geq 1,3$ m Höhe u. < 10 cm BHD	37
5.9	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe	38
5.10	Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktionen	38
5.11	Koeffizienten der Standflächenformel	40
5.12	Gepaarter t-Tests zur \emptyset -Messung aller Totholzstücken	43
5.13	Gepaarter t-Tests zur \emptyset -Messung aller Totholzstücken mit $\emptyset \geq 20$ cm	43
5.14	Holzdichten nach Totholzgruppen und Zersetzungsgrad	45
5.15	Überprüfung des Faktors 2 zur Schätzung der Waldrandlängen	47
5.16	Bestockungstypen und führende Baumart	50
5.17	Bewertungsschema für die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung	52
5.18	Parameter der Trendfunktion nach Sloboda	54
5.19	Beispiele für Zuwachsgrößen überlebender bzw. eingewachsener Bäume	57
5.20	Beispiele für Zuwachs- u. Nutzungsgrößen ausgefallener Bäume	58
6.1	Beispiele für Zustandsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung	60
6.2	Beispiele für Klassifizierungen im Divisor und Dividend	61
6.3	Beispiele für Bilanzgrößen pro Traktecke	62
6.4	Beispiele für Zugangsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung	64
6.5	Beispiele für Abgangsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung	65
7.1	Beispiele zu Hochrechnungen für verschiedene Klassifizierungen	68
8.1	Anzahl WZP-Bäume für Zuwachs, Abgang, Nutzung (BWI1987–BWI2002)	77
8.2	Anzahl WZP-Bäume für Zuwachs, Abgang, Nutzung (BWI2002–BWI2012)	78
8.3	Codierung der Traktecken zur Verwendung für Veränderungsrechnungen	80

8.4	Anzahl Traktecken für Hochrechnungen von Veränderungsgrößen je Verdichtungsgebiet zwischen BWI 1987 und BWI 2002	85
8.5	Anzahl Traktecken für Hochrechnungen von Veränderungsgrößen je Verdichtungsgebiet zwischen BWI 2002 und BWI 2012	85
8.6	Überblick über Bilanz-Hochrechnungen für unterschiedliche Klassifizierungen	90
C.1	Notation für die Aggregierung	109
C.2	Notation für die Zielgrößen auf der Objektebene	111
C.3	Baumarten und deren Gruppierung in der BWI	114

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufnahmen an der Traktecke	7
2.2	Technik der Netzverdichtung und Traktaufbau	9
2.3	Verdichtungsgebiete zu den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten	13
3.1	Zuständigkeitsebenen bei der BWI 2012	15
3.2	Aufnahmegerate der BWI 2012	16
3.3	Schema zum Workflow	17
5.1	WZP/ZF4-Plotskizze am Waldrand zur Verdeutlichung der Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probebaumes	26
5.2	XY-Plot der Stammhöhe über dem BHD, der Baumhöhe und dem Alter	31
5.3	Logistische Funktion zur Bestimmung der Stammhöhe	31
5.4	Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse	39
5.5	Anwendung des Strahlensatzes an einem Totholzstück	41
5.6	Totholzvorrat in Abhängigkeit der Durchmesser-Ermittlung	44
5.7	Erhebung der Waldrandlinie innerhalb und außerhalb Wald	45
5.8	Differenzbildung von Merkmalen	56
8.1	Schematischer Zusammenhang von Veränderungen	74
8.2	Vereinigungs- und Schnittfläche des Waldes	80
8.3	Umgang mit fehlenden oder nicht vergleichbaren Daten zweier Inventurzeitpunkte	84
9.1	Schnitt- und Vereinigungsmenge zu drei Zeitpunkten	92

Kapitel 1

Ziele und gesetzliche Grundlagen der Bundeswaldinventur 2012

1.1 Ziele der BWI

Die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes und eine Politik, die diese Bewirtschaftung fördert, verlangen Kenntnisse über Zustand, Struktur, Dynamik und Leistungsfähigkeit der Wälder auf betrieblicher, regionaler und nationaler Ebene. Sie sind nicht nur Basis für Arbeits- und Finanzplanungen, sondern haben auch Einfluss auf viele andere Bereiche, wie z. B. die Wirtschafts-, Verkehrs-, Umwelt- und Strukturpolitik. Die BWI liefert diese wichtigen Informationen über die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten des deutschen Waldes. Darüber hinaus erlauben diese Informationen, den wachsenden Verpflichtungen Deutschlands im internationalen Klimaschutz nachzukommen, forstliche Belange in der Europäischen Union zu vertreten sowie durch aktuelle und umfassende Kenntnisse über die nationalen Ressourcen den internationalen Handel zu bedienen.

Im Detail verfolgt die BWI 2012 folgende Ziele:

- Schaffung einer umfassenden Informationsquelle über den deutschen Wald durch eine methodisch einheitliche Erfassung des Waldes,
- Beschreibung des Waldes durch klassische Inventurergebnisse, z. B. Waldfläche, Vorkommen der Baumarten, Holzvorrat, Holznutzung, Zuwachs. Bisher gab es auf nationaler Ebene keine umfassenden Informationen über den Zuwachs und die Holznutzung. Die BWI 2002 lieferte hierzu lediglich Angaben für die alten Bundesländer und die Inventurstudie 2008 hatte als Unterstichprobe der BWI einen zu geringen Stichprobenumfang für detaillierte Auswertungen. Nationale Informationen werden jedoch benötigt, um die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung ausreichend genau beurteilen zu können.
- Beurteilung der ökologischen Stabilität des Waldes auf Grundlage wiederholt aufgenommener und daraus abgeleiteter Inventurmerkmale wie Naturnähe der Baumartenzusammensetzung, Totholzmenge, Waldränder oder Ausbildung der Bodenvegetation,
- Erfassung des Erhaltungszustandes der weitverbreiteten Waldlebensraumtypen als Beitrag zum EU-weiten Lebensraummonitoring gemäß der FFH-Richtlinie,
- Darstellung der Entwicklung von Waldfläche, Baumartenanteilen, Holzvorräten etc. durch die deutschlandweite Wiederholung der BWI,

- Schätzung des Kohlenstoffspeichers und dessen Veränderung für die Kohlenstoffschlus-
bilanz zum Ende der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls am 31.12.2012
sowie zur Eröffnung der zweiten Verpflichtungsperiode am 01.01.2013,
- Bereitstellung von Bezugswerten für Waldforschung, Klimafolgenforschung und forst-
liches Umweltmonitoring,
- Datengrundlage für die Schätzung des Rohholzpotenzials für die nächsten Jahrzehnte
sowie für die Entwicklung von Szenarien der Waldentwicklung,
- Ergebnisdarstellung für Deutschland und für die einzelnen Länder, ggfs. auch Aussa-
gen für andere räumliche Einheiten.

Die BWI-Ergebnisse werden von unterschiedlichen Nutzern erwartet. Internationale Be-
richtspflichten haben dabei eine hohe Priorität, da diese einerseits zum Teil sanktionsbe-
wehrt sind und andererseits einen hohen Organisations- und Koordinationsaufwand er-
fordern. Zusätzlich erfordern komplexe Auswertungen einen hohen Rechenaufwand, auf-
wändige Kontrollen und Analysen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Ergebnisse nach
Prioritäten gestaffelt zu berechnen. Folgende Gesichtspunkte sollen dabei gelten: Vermei-
dung von Sanktionen bei internationalen Berichtspflichten, rasche Bereitstellung wichtiger
Kenngrößen zu Zustand und Veränderung, Vermeidung von Inkonsistenzen bei komplexen
Auswertungen. Daher wird generell bei der Auswertung und Staffelung der Hochrechnungs-
prozesse die Reihenfolge

- Zustand zu einem Inventurzeitpunkt,
- Veränderungen zwischen zwei Inventurzeitpunkten (= Veränderungen innerhalb einer
Inventurperiode) differenziert nach Bilanz (Vereinigungsmenge oder Schnittmenge),
Zuwachs, Abgang und Nutzung sowie
- Differenzen von Veränderungen zwischen zwei Inventurperioden für Schnittmengen

angewandt.

1.2 Gesetzliche Grundlagen

In Deutschland sind die Länder für die Forstwirtschaft zuständig (Art. 30 Grundgesetz,
GG). Nur wenige Länder haben Landeswaldinventuren durchgeführt, um forstpolitische
Aufgaben und holzmarktpolitische Maßnahmen zu planen. Es existieren zu wenige Landes-
inventuren und zu unterschiedliche Erhebungsverfahren für ein befriedigendes, ausreichend
belastbares Bundesergebnis. Auf Grund der gemeinsamen forstpolitischen Absichten von
Bund und Ländern und der Notwendigkeit, sich hierfür auf eine belastbare Datenbasis zu
stützen, entschlossen sich Bund und Länder, eine bundesweite Großrauminventur durchzu-
führen.

Der Bund hat bei der konkurrierenden Gesetzgebung eine Gesetzgebungskompetenz im
forstlichen Bereich. Er macht nach Art. 72 Abs. 2 GG von dieser Kompetenz Gebrauch,
soweit ein Bedürfnis für eine bundesgesetzliche Regelung besteht. Die konkurrierende Ge-
setzgebung erstreckt sich u. a. auf die Förderung der land- und forstwirtschaftlichen Erzeu-
gung (Art. 74, Nr. 17 GG). Das Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), das
zuletzt durch das Gesetz vom 31. Juli 2010 (BGBl. I S. 1050) geändert worden ist, definiert

Ziele zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft. Sein Zweck (§ 1) ist es u. a., die ordnungsgemäße und nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes zu sichern und die Forstwirtschaft zu fördern.

Die Kenntnis der Waldfläche und weitere Informationen zum Wald sind unentbehrlich für sämtliche umwelt- und waldbezogenen Statistiken, Planungen und für eine aktive Forstpolitik. Eine periodische Erhebung ist somit unerlässlich. Daher wurde 1984 der § 41 a in das Bundeswaldgesetz eingefügt und damit die Grundlage der ersten Bundeswaldinventur gelegt.

1.3 Geschichtliche Entwicklung

Forsterhebungen vor der Bundeswaldinventur sind beschrieben in BMELV (2005b) und POLLEY ET AL. (2010).

Die erste Bundeswaldinventur (BWI1987) wurde in den Jahren 1986 bis 1988 (Stichjahr 1987) durchgeführt. Die Inventur war gem. § 41 a bei Bedarf zu wiederholen. Eine Wiederholung wurde notwendig zur Erfassung der Veränderungen im Wald und wegen der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland mit der Deutschen Demokratischen Republik im Jahr 1990 und der damit verbundenen Vergrößerung der Waldfläche Deutschlands. Die zweite Bundeswaldinventur (BWI2002) wurde 15 Jahre nach der ersten BWI zum Stichjahr 2002 vorgenommen.

Durch die im Dezember 2006 von der Bundesregierung getroffene Entscheidung, die Waldbewirtschaftung im Rahmen der Verpflichtungen zur Emissionsreduktion von Treibhausgasen anzurechnen, ist die Quell- oder Senkenwirkung der deutschen Wälder in der ersten Verpflichtungsperiode (2008 — 2012) nachzuweisen (SCHWITZGEBEL ET AL., 2009). Aus diesem Grund wurde zum Beginn der Verpflichtungsperiode die Inventurstudie 2008 durchgeführt und damit grundlegende Daten zum Wald und speziell der Kohlenstoffvorrat und seine Änderung erhoben (OEHMICHEN ET AL., 2011).

2010 wurde mit Änderung des Bundeswaldgesetzes die Wiederholung der Inventur alle 10 Jahre festgeschrieben.

Die dritte Bundeswaldinventur, die BWI2012 folgt nun zum Ende der ersten Verpflichtungsperiode. Die BWI2012 ist die erste vollständige Wiederholungsinventur und gibt somit Aufschluss über vielfältige Veränderungen im deutschen Wald. Die nach § 41 a Abs. 4 erlassene Verordnung über die Durchführung einer dritten Bundeswaldinventur (Dritte Bundeswaldinventur-Verordnung) vom 23. Mai 2007 (BGBl. I S. 954) legt den Zeitpunkt (Stichtag 1. Oktober 2012), das Stichprobennetz und die zu erhebenden Grunddaten fest. Auf die Verabschiedung einer Verwaltungsvorschrift mit der detaillierten Beschreibung der Außenaufnahmen, wie dies noch bei der BWI2002 erfolgte, wurde verzichtet. Diese Details sind in der Aufnahmeanweisung für die BWI2012 (BMELV, 2011) festgehalten. Sie gibt einen Überblick über die Organisation der Bundeswaldinventur, erläutert das Inventurverfahren, beschreibt die vor den Geländearbeiten durchzuführende Traktvorklärung, legt fest, wie die Erhebungseinheiten im Wald eingemessen werden und bestimmt, wie die Daten im Wald zu erheben sind. Weitere Hinweise hierzu finden sich in der Nutzeranleitung für die BWI2012-Datenerfassungssoftware.

Kapitel 2

Stichprobenkonzept

2.1 Allgemeines

Die Bundeswaldinventur (BWI) ist als eine permanente, einphasige, stratifizierte Trakt-Stichprobe konzipiert. Die terrestrischen Stichproben sind in einem systematischen Stichprobenraster mit regional unterschiedlicher Stichprobendichte (Verdichtungsgebiete, engl. Sampling Strata) angeordnet. Die BWI 2012 ist für ganz Deutschland die erste vollständige Wiederholungsinventur.

Aus den Stichprobendaten werden über die verschiedenen Aggregationsebenen (Objekt, Traktecken, Trakte, Sampling Straten, Gebiete; vgl. Tabelle 2.1) Schätzwerte für die Grundgesamtheit in einem Gebiet ermittelt.

Die Stichproben — die kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt — liegen auf den Schnittpunkten eines bundesweiten Gitternetzes im $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ -Quadratverband (Grundnetz). Das quadratische Netz orientiert sich in seiner Nord-Süd- und Ost-West-Ausrichtung am Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Grundlage ist das Bessel-Ellipsoid. Das BWI-Netz ist gegen das Netz der Waldzustandserhebung verschoben, da letzteres offen markiert ist und damit bewirtschaftungsbedingte Einflüsse auf dem Netz der Waldzustandserhebung nicht auszuschließen sind. Das Stichprobennetz der BWI 1987 wurde mit der BWI 2002 auf die neuen Länder ausgedehnt. An den Meridiansprüngen variiert der Abstand der Trakte im Grundnetz zwischen 1,6 km und 6 km.

Jeder Trakt ist mit der südwestlichen Ecke in dieses Netz eingehängt. Er ist als Quadrat mit einer Seitenlänge von 150 m definiert. Grenztrakte entstehen entlang von Grenzlinien an der Staatsgrenze und an Grenzen zwischen den Bundesländern bzw. den Verdichtungsgebieten. Bei diesen kann die Traktgröße, also die Anzahl der Traktecken pro Trakt, zwischen 1 und 3 variieren.

Trakte, bei denen mindestens eine Traktecke im Wald liegt, sind „Waldtrakte“. Nur auf diesen wurden terrestrisch Daten erhoben. Die Stichprobenpunkte im Wald sind verdeckt dauerhaft markiert. Die Permanenz der BWI-Stichprobe ist dadurch gesichert. Zudem liegen für die Punkte GNSS-Koordinaten vor. Auf jeder im Wald liegenden Traktecke werden in verschiedenen Aufnahmeeinheiten (Probekreise oder Winkelzählproben) Daten an unterschiedlichen Objekten erhoben (siehe Abb. 2.1). Die bei früheren Inventuren bereits eingemessenen Traktecken wurden wieder aufgesucht und erneut erfasst.

Die Auswertung erfolgt nach den Algorithmen einer Zufallsstichprobe (siehe Kapitel 7). Für eine systematische Stichprobe ist dies zulässig unter der Annahme, die Zielgröße sei im Inventurgebiet zufällig verteilt. Als Maß für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse

2 Stichprobenkonzept

Tabelle 2.1: Aggregationsebenen

Ebene	Beschreibung	Index
Objekt	z. B.: Baum, Totholzstück, Weg, Baumart, Waldrand	$z = 1, \dots, Z$
Traktecke, Plot	Ort, an dem die ausgewählten Objekte in Probekreisen oder Winkelzählproben erhoben werden.	$(x_m) = 1, \dots, M$
Trakt, Cluster	Ein Trakt besteht aus vier Traktecken (Traktgröße = 4). Bei einem Trakt an der Grenze zum Ausland ist die Anzahl Traktecken und damit die Traktgröße kleiner vier. Für die Hochrechnung werden Trakte an den Grenzen zwischen Bundesländern, Verdichtungsgebieten oder räumlichen Einheiten geteilt, so dass mindestens zwei Trakte mit einer Traktgröße kleiner vier entstehen. In diesem Fall wird synonym der Begriff Traktabschnitt verwendet.	$(x) = 1, \dots, n_2$
Sampling Stratum	Ein Sampling Stratum ist ein Verdichtungsgebiet (Wald und Nichtwald) mit einheitlicher Stichprobendichte innerhalb eines Landes und bekannter Fläche A_h . Obwohl innerhalb Deutschlands nur 3 unterschiedliche Raster verwendet werden, wird mit zwanzig disjunkten Verdichtungsgebieten gearbeitet. D. h., pro Bundesland existiert mindestens ein Verdichtungsgebiet, um bei jeder Bundesauswertung gleichzeitig auch Zwischenergebnisse für die Bundesländer erzeugen zu können.	$h = 1, \dots, H$
Gebiet	Gesamtfläche A (Wald und Nichtwald) mit bekannter Fläche der innen-liegenden Verdichtungsgebiete, z. B. Deutschland, Land (= Bundesland), Wuchsgebiet, Region	$A = \sum_{h=1}^H A_h$

werden Varianzen geschätzt. Ist die Zielgröße im Inventurgebiet zufällig verteilt, steigt bei systematisch angelegten Großrauminventuren deren geschätzte Varianz im Vergleich zu einer Zufallsstichprobe. Dies führt zu einer konservativen Schätzung des Stichprobenfehlers. Das aus dem Stichprobenfehler abgeleitete einfache Vertrauensintervall (\pm des prozentualen Stichprobenfehlers) gibt die Spanne an, innerhalb derer der wahre Wert der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % liegt. Das 95 %-ige Vertrauensintervall ergibt sich durch Multiplikation des prozentualen Stichprobenfehlers mit dem vom Stichprobenumfang abhängigen t -Wert. In die Hochrechnung fließen immer alle Stichprobeneinheiten (Trakte) ein, unabhängig ob sie im Wald oder im Nichtwald liegen. Somit ist — außer für das Saarland und die drei Stadtstaaten — ein Stichprobenumfang größer 1000 für die Standardauswertungsgebiete Bundesländer und Bund immer gegeben, weshalb das 95 %-ige Vertrauensintervall vereinfacht mit einem t -Wert von 1,96 berechnet wird.

2.2 Erhebungen auf dem Trakt

Das Aufnahmeverfahren mit Traktvorklärung und terrestrischer Erhebung ist in der Aufnahmeanweisung (BMELV, 2011) für die dritte Bundeswaldinventur beschrieben. Die Abbildung 2.1 illustriert die unterschiedlichen Probekreise, die WZP sowie die innerhalb dieser Einheiten aufgenommenen Merkmale. Die wichtigsten Unterschiede gegenüber der zweiten Bundeswaldinventur zeigt Tabelle 2.2. Die Messung des oberen Durchmessers war den Län-

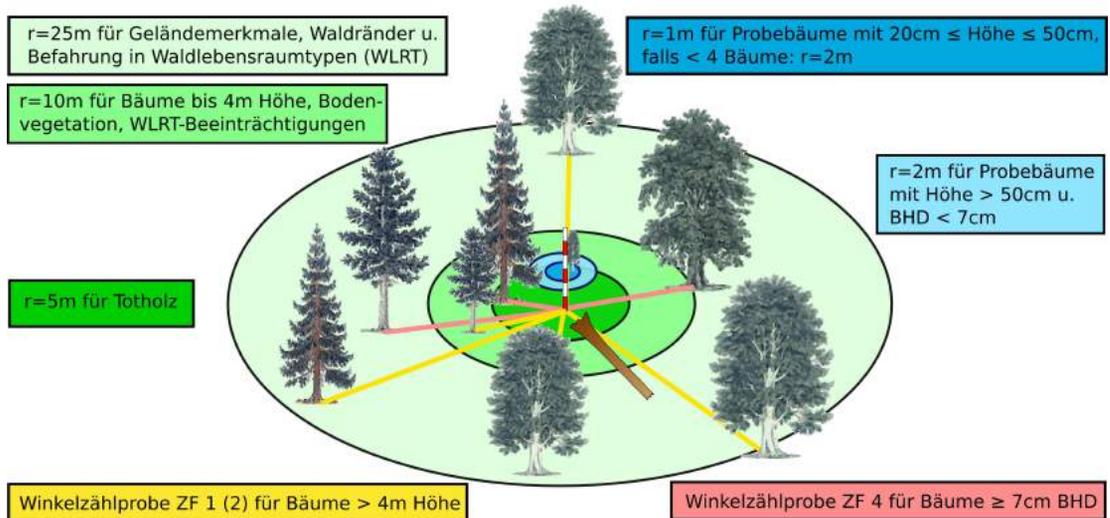


Abbildung 2.1: Aufnahmen an der Traktecke

den freigestellt. In den Bundesländern Brandenburg + Berlin und Niedersachsen + Bremen und Hamburg erfolgte keine Messung des oberen Durchmessers.

Individuen bspw. Bäume oder Objekte, z. B. Totholzstücke, die sich innerhalb einer definierten kreisförmigen Probefläche befinden oder auf Grund ihrer individuellen Abstand-Durchmesser-Beziehung und den daraus abgeleiteten Grenzkreisen (A_z) von der Winkelzählprobe nach Bitterlich (WZP, siehe BITTERLICH (1947) und ZÖHRER (1980)) erfasst werden, werden hinsichtlich der gewünschten Parameter begutachtet oder vermessen. Die Bäume der WZP/ZF4, welche zur letzten Inventur bereits erfasst wurden, werden wiederholt vermessen. Identifizieren lassen sich diese Bäume anhand ihrer Polarkoordinaten. Aus den Messungen zu beiden Zeitpunkten lassen sich Veränderungen der erfassten Parameter direkt am Objekt ableiten, die später z. B. der Schätzung des Zuwachses im verbleibenden Bestand dienen.

Auf einer Waldfläche, auf der mehrere Altersklassen in etwa gleich verteilt sind, stehen viele Bäume mit geringen Durchmessern und wenige Bäume mit großen Durchmessern. Bei konstanter Auswahlwahrscheinlichkeit $\pi_z = A_z/A$ aller Individuen gelangen kleine Bäume mit der gleichen Wahrscheinlichkeit in die Stichprobe wie große Bäume, wobei A_z die Fläche des Probekreises respektive des Grenzkreises und A die Gesamtfläche repräsentieren. Das Vorrats-Total auf einer Waldfläche würde geringer ausfallen, als es tatsächlich ist. Zur Vermeidung dieser Verzerrung wurden unterschiedliche Baumauswahlverfahren entwickelt, welche bspw. LANZ (2001) oder RIEDEL (2008) aufführen.

Ideal wäre die Auswahl der einzelnen Individuen proportional zur Ausprägung der jeweiligen Zielgröße. Dieses Ideal kann bei forstlichen Aufnahmen für zwei Zielgrößen erreicht werden; a) Bei der WZP werden Probebäume stufenlos proportional zu ihrer Grundfläche ausgewählt und b) die Auswahl an Bäumen (Stammzahl) erfolgt proportional zur Größe des Probekreises. BHD, Höhe und Volumen korrelieren mit der Grundfläche und werden ebenfalls nahezu verzerrungsfrei in der WZP/ZF4 erfasst. Bäume der Verjüngung (Probebäume $\leq 7\text{cm}$ BHD) können nicht durch eine Winkelzählprobe, sondern nur auf Probekreisen erfasst werden. Die meisten Zielgrößen zur Verjüngung beziehen sich auf die Stammzahl oder auf daraus abgeleitete Merkmale, so dass deren Erfassung ebenfalls verzerrungsfrei erfolgt.

Tabelle 2.2: Vergleich der Aufnahmeverfahren BWI 2002 und BWI 2012

Merkmal	BWI 2002	BWI 2012
Erfassung der Probebäume < 50 cm Höhe	Probekreis $r = 1$ m i. d. R. um 5 m nach Norden verschoben	Probekreis $r = 1$ m i. d. R. um 5 m nach Norden verschoben, wird auf $r = 2$ m vergrößert, wenn weniger als vier Probebäume im $r = 1$ m auftreten.
Erfassung der Probebäume von 50 cm Höhe bis 6,9 cm BHD	Probekreis $r = 1,75$ m mit Zentrum an der Traktecke	Probekreis $r = 2$ m, wie $r = 1$ m i. d. R. um 5 m nach Norden verschoben
Erfassung der Probebäume ab 7 cm BHD	WZP ($ZF = 4 \text{ m}^2/\text{ha}$) nur innerhalb des Bestandes, in dem die Traktecke liegt, rechnerische Spiegelung am Bestandesrand	WZP ($ZF = 4 \text{ m}^2/\text{ha}$) über Bestandesgrenzen hinweg, auch auf Blöße (jedoch nicht auf Nichtwald oder Nichtholzboden — dort erfolgt rechnerische Spiegelung)
Messung des oberen Durchmessers	An allen Probebäumen ab 20 cm BHD — jedoch nur an Traktecke A in neuen Bundesländern, stets in 7 m Höhe	An allen Höhenmessbäumen, vorzugsweise in 30 % der Baumhöhe, auf jeden Fall zwischen 30 % der Baumhöhe und 7 m Höhe (keine Messung in BB, BE, NI, HB, HH)
Baumartenliste	Lange Baumartenliste mit 78 Arten oder Artengruppen in acht Ländern und kurze Baumartenliste mit 55 Arten oder Artengruppen in acht Ländern	Einheitliche Baumartenliste mit 51 Arten oder Artengruppen
Totholzaufnahme	Ab 20 cm Durchmesser am dicken Ende bzw. BHD bei stehendem Totholz, Wurzelstöcke ab 50 cm Höhe und 60 cm Schnittflächendurchmesser, Messung des Mittendurchmessers bei liegenden Totholzstücken	Ab 10 cm Durchmesser am dicken Ende bzw. BHD bei stehendem Totholz, Wurzelstöcke ab einem Schnittflächendurchmesser von 20 cm, Messung der Durchmesser an beiden Enden bei liegenden Totholzstücken
bei BWI2012 neu eingeführte Merkmale		Waldlebensraumtyp und sein Erhaltungszustand (mit diversen Grundlagendaten), Kurzumtriebsplantagen als zusätzliche Betriebsart, Bedingungen für die Holzernte

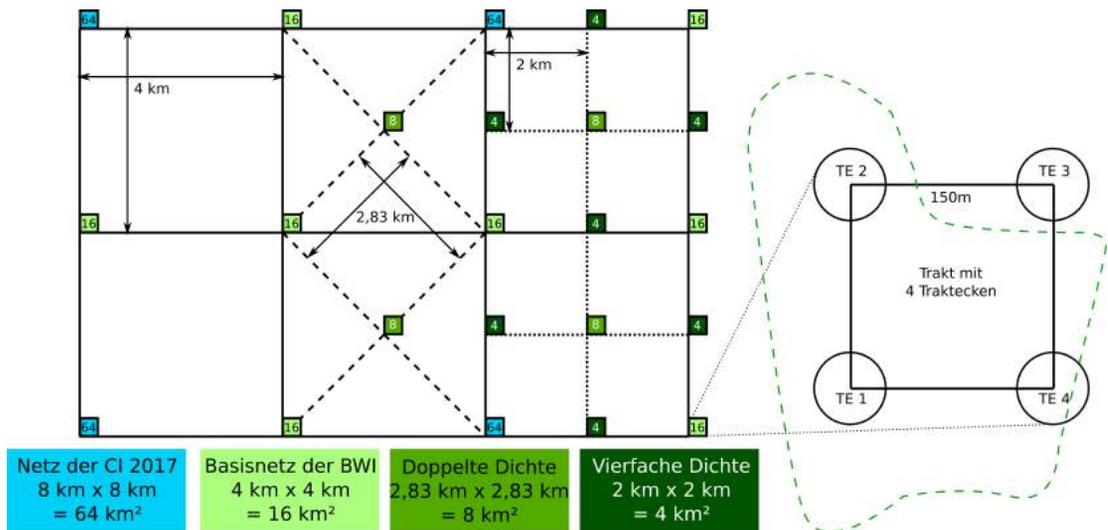


Abbildung 2.2: Technik der Netzverdichtung und Traktaufbau, - - = Waldgrenze, TE = Traktecke

2.3 Netze und Regionalisierungen

Das Grundnetz der Stichprobe ist darauf ausgerichtet, die Ansprüche an die Genauigkeit auf Bundesebene zu erfüllen. Zur Erhöhung der Aussagefähigkeit haben einige Länder das Stichprobennetz regional verdichtet, so dass schließlich die Stichprobendichte auf 21 % der Fläche verdoppelt und auf weiteren 32 % vervierfacht wurde (siehe Tabelle 2.3). Für jeden Trakt ist dabei ersichtlich, ob er zum Grundnetz gehört, oder zu einem engeren Raster, welches durch die zusätzliche Verdichtung entstanden ist (siehe Tabelle 2.4). Die Technik der Netzverdichtung illustriert die Abbildung 2.2.

Für einen 2,83 km × 2,83 km-Quadratverband entschieden sich:

- Bayern im Bereich der ehemaligen Forstdirektionen Schwaben und Mittelfranken (Zeitpunkt BWI1987),
- Niedersachsen in den ehemaligen Wuchsgebieten Niedersächsischer Küstenraum und Mittel-Westniedersächsisches Tiefland (Zeitpunkt BWI1987),
- Thüringen, gesamtes Landesgebiet und
- Sachsen, gesamtes Landesgebiet.

Auf die vierfache Stichprobenanzahl, d. h. einen 2 km × 2 km-Quadratverband, verdichteten:

- Baden-Württemberg, gesamtes Landesgebiet
- Mecklenburg-Vorpommern, gesamtes Landesgebiet
- Schleswig-Holstein, gesamtes Landesgebiet
- Rheinland-Pfalz, gesamtes Landesgebiet.
- Sachsen-Anhalt, gesamtes Landesgebiet

Im Vergleich zur zweiten Bundeswaldinventur wird nun im Land Sachsen-Anhalt die vierfache und im Bereich des Thüringer Waldes die doppelte Stichprobendichte angewendet.

Im Land Brandenburg wird die Bundeswaldinventur im 4 km × 4 km-Grundnetz durch eine verfahrenskompatible Landeswaldinventur im 2 km × 2 km-Stichprobenetz ergänzt.

Tabelle 2.3: Verdichtungsgebiete und deren Flächen in ha (Wald + Nichtwald), fett hervorgehoben sind Veränderungen

Nr	Land	VBI ^a	Verwendete Netzdichten						zum Zeitpunkt/Periode gültige Fläche in ha			
			1987	2002	2008	2012	87–02	02–12	A _{h87} ^b	A _{h02} ^c	A _{h87–02} ^d	A _{h02–12} ^e
1.	Schleswig-Holstein	104	4	4	64	4	4	4	1.576.880	1.576.880	1.576.880	1.579.957
2.	Hamburg	216	16	16	64	16	16	16	75.533	75.533	75.533	74.770
3.	Niedersachsen	308	8	8	64	8	8	8	2.525.043	2.525.043	2.525.043	2.538.739
4.	Niedersachsen	316	16	16	64	16	16	16	2.217.035	2.236.308	2.217.035	2.231.203
5.	Bremen	416	16	16	64	16	16	16	40.423	40.423	40.423	41.137
6.	Nordrhein-Westfalen	516	16	16	64	16	16	16	3.407.986	3.407.986	3.407.986	3.409.772
7.	Hessen	616	16	16	64	16	16	16	2.111.482	2.111.482	2.111.482	2.111.480
8.	Rheinland-Pfalz	704	16	4	64	4	16	4	1.984.686	1.984.686	1.984.686	1.985.406
9.	Baden-Württemberg	804	4	4	64	4	4	4	3.575.163	3.575.163	3.575.163	3.575.148
10.	Bayern	904	4	8	64	8	8	8	749.256	749.256	749.256	748.888
11.	Bayern	908	8	8	64	8	8	8	1.004.003	1.004.003	1.004.003	999.347
12.	Bayern	916	16	16	64	16	16	16	5.301.537	5.301.537	5.301.537	5.306.784
13.	Saarland	1016	16	16	64	16	16	16	257.019	257.019	257.019	256.977
14.	Berlin	1116	16	16	64	16	16	16	48.574	89.022	48.574	89.175
15.	Brandenburg	1216		16	64	16		16	0	2.947.637	0	2.948.398
16.	Mecklenburg-Vorpommern	1304		4	64	4		4	0	2.317.104	0	2.319.318
17.	Sachsen	1408		8	64	8		8	0	1.841.282	0	1.842.002
18.	Sachsen-Anhalt	1516		16	64	4		16	0	2.044.683	0	2.045.029
19.	Thüringen	1608		8	64	8		8	0	1.438.597	0	1.441.342
20.	Thüringen	1616		16	64	8		16	0	178.573	0	175.908

^a Verdichtungsgebiet im Bundesland

^b Verdichtungsgebietsfläche A_{h87} gültig zum Zeitpunkt BWI 1987 (nur alte Bundesländer; ohne Amt Neuhaus, heutiges Niedersachsen)

^c Verdichtungsgebietsfläche A_{h02} gültig zum Zeitpunkt BWI 2002

^d Verdichtungsgebietsfläche A_{h87-02} gültig für die Periode 1987 – 2002

^e Verdichtungsgebietsfläche A_{h02-12} gültig zum Zeitpunkt 2012 und für die Perioden 2002 – 2012, 2002 – 2008, 2008 – 2012

Tabelle 2.4: Rasterkennung

Stichprobendichte	Raster-Weite	Raster-Kennung
einfach (Grundnetz)	$4,00 \text{ km} \times 4,00 \text{ km} = 16 \text{ km}^2$	≥ 16
doppelt	$2,83 \text{ km} \times 2,83 \text{ km} = 8 \text{ km}^2$	≥ 8
vierfach	$2,00 \text{ km} \times 2,00 \text{ km} = 4 \text{ km}^2$	≥ 4

Die Außenaufnahmen erfolgten bis in das Jahr 2013 hinein. Daher konnten sie nicht für die Auswertung der BWI 2012 verwendet werden.

Das Land Nordrhein-Westfalen hat im Nachgang zu den Felderhebungen der BWI 2012 eine Landeswaldinventur in den Jahren 2013 und 2014 auf dem $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ -Stichprobenetz der BWI durchgeführt. Die hierbei erhobenen Daten konnten somit nicht in die Auswertungen zur BWI 2012 einfließen. Jedoch wird das so verdichtete Netz Bestandteil künftiger Inventuren sein.

Durch die regionale Verdichtung der Stichprobe entstanden in den Ländern insgesamt 20 Verdichtungsgebiete (VBI), die von Inventur zu Inventur teilweise veränderlich sind (siehe Abbildung 2.3). Für jedes Verdichtungsgebiet ist die Gesamtfläche (Wald und Nichtwald) zu jeder Inventur (A_{h87} , $A_{h02} = A_{h12}$) und für die Schnittfläche aufeinander folgender Inventuren ($A_{hV87-02}$, $A_{hV02-12} = A_{hV02-08} = A_{hV08-12}$) aus Kartierungen oder Flächenstatistiken bekannt (siehe Tabelle 2.3). Der Vollständigkeit halber wurde in Tabelle 2.3 auch das „ausgedünnte“ $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ -Stichprobennetz der IS 2008 mit der Rasterkennung ≥ 64 aufgeführt.

Die auf Traktebene aggregierten Daten müssen wegen der unterschiedlichen Stichprobendichten im nächsten Schritt immer erst auf Verdichtungsgebietsebene hochgerechnet werden, bevor sie in der folgenden Aggregierungsstufe „Gebiet“ (siehe Tabelle 2.1) gewichtet summiert werden können. Der Zwischenschritt auf Ebene der Sampling-Straten ist notwendig, um konsistente und unverzerrte sowie gegenüber Landes-Ergebnissen additive Ergebnisse zu erhalten. Diese Vorgehensweise ermöglicht Auswertungen über unterschiedliche Verdichtungsgebiete hinweg.

Bei der Inventurstudie 2008 wurde eine bundesweit einheitliche Unterstichprobe des Grundnetzes von $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ angewandt. In diesem Falle sind bei der Auswertung keine Verdichtungsgebiete erforderlich. Sie können aber zur Stratifizierung und damit zur Minderung der Varianz genutzt werden.

Das Inventurnetz der Inventurstudie führt bei unklassifizierten Auswertungen zu statistisch abgesicherten Ergebnissen. Für abgesicherte Länderergebnisse bzw. klassifizierte Ergebnisse ist das $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ -Netz in der Regel nicht ausreichend. Aus diesem Grund wird erwogen, für die Auswertung der Kohlenstoffinventur 2017 einen zweiphasigen Hochrechnungsansatz zur Stratifizierung zu nutzen. Die Unterscheidung zwischen einphasigen und zweiphasigen Auswertungsansätzen erfordert eine einheitliche Nomenklatur, die im Kapitel 4 bereits genutzt wird ($n_2 =$ terrestrisch aufgenommenen Trakte der Stichprobe s_2 in der zweiten Phase, $n_1 =$ Trakte der Stichprobe s_1 , erhoben in der ersten Phase zur Stratifizierung).

Auswertungen beziehen sich i. d. R. auf Deutschland oder die Länder mit ihren bekannten Flächen A_h . Für spezielle Auswertungen über Teile unterschiedlicher Verdichtungsgebiete hinweg (z. B. Wuchsgebiete) sind die Teilgebietsflächen F_h der zugehörigen Verdichtungsgebiete nicht bekannt und müssen geschätzt werden mittels:

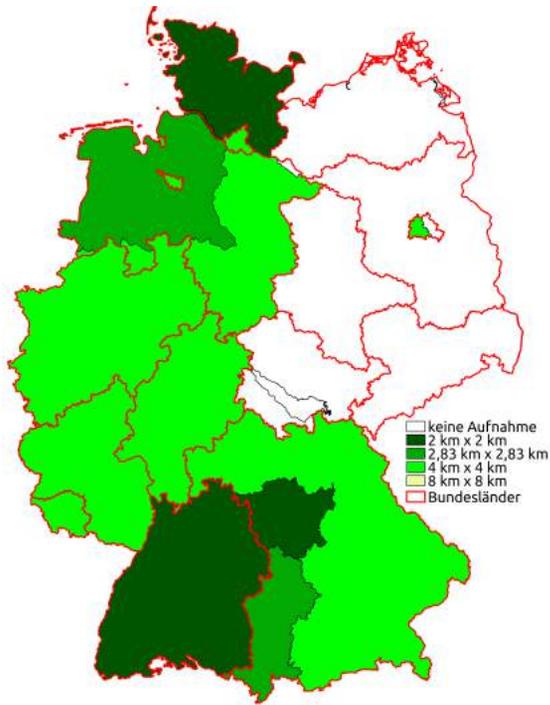
$$\hat{F}_h = Rep_h \sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) \quad (2.3.1)$$

mit $\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) =$ Anzahl der Traktecken in F_h . Die Varianz des Schätzers \hat{F}_h berechnet sich nach Formel 7.3.1.5, wobei A_h bekannt ist und die Varianz des Anteilschätzers nach Formel 7.3.1.2 ermittelt wird.

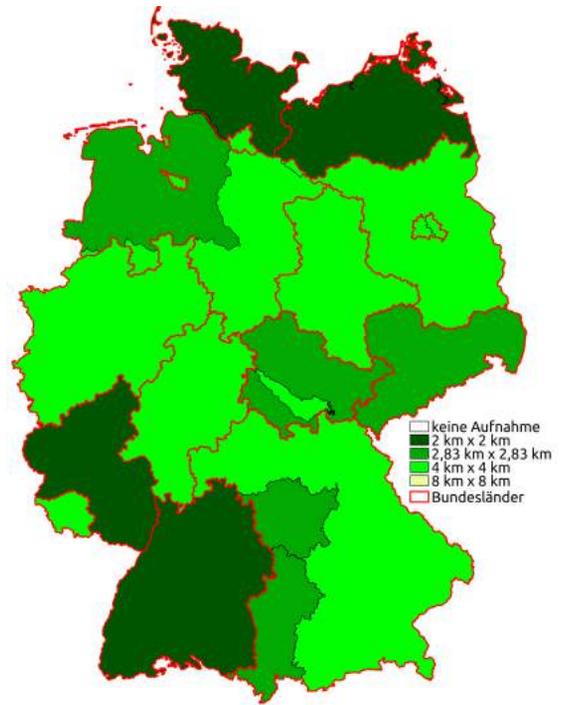
Der für die Schätzung von \hat{F}_h benötigte Repräsentationsfaktor (Rep_h) für jede Traktecke im Verdichtungsgebiet h wird über das Verhältnis der bekannten Gesamtfläche A_h und der Summe aller innenliegenden Traktecken $M(x)$ ermittelt, wenn sie die Bedingung mit $x \in A_h \cap s_2$ erfüllen:

$$Rep_h = \frac{A_h}{\sum_{x \in A_h \cap s_2} M(x)} \quad (2.3.2)$$

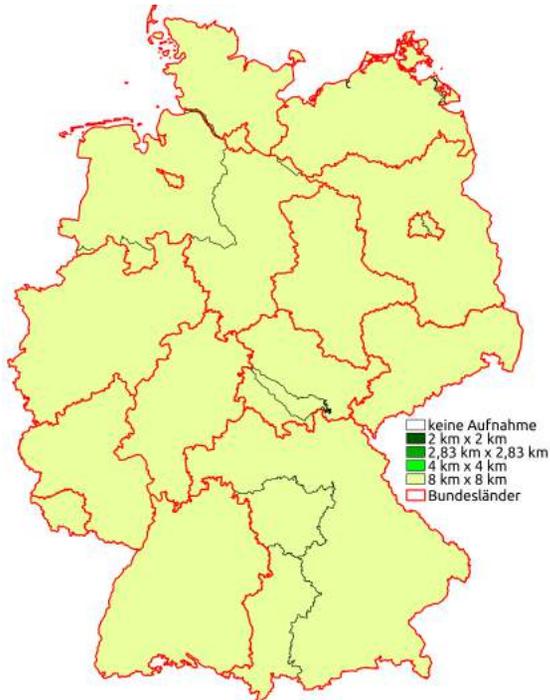
Die Repräsentationsfaktoren unterscheiden sich wegen der unterschiedlichen Größe der Verdichtungsgebiete und innenliegenden Traktecken zwischen den jeweiligen Inventurzeitpunkten bzw. -perioden (s. Tabelle 2.3).



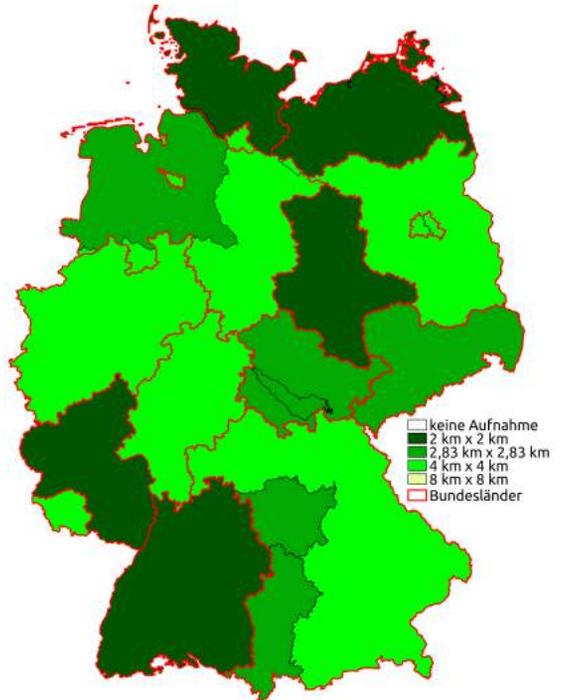
(a) BWI 1987



(b) BWI 2002



(c) IS 2008



(d) BWI 2012

Abbildung 2.3: Verdichtungsgebiete (Sampling Straten) zu den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten

Kapitel 3

Inventurdurchführung

3.1 Zuständigkeiten

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft ist für die Koordinierung der Bundeswaldinventur zuständig. Dazu bedient es sich der im Thünen-Institut für Wald-ökosysteme eingerichteten Bundesinventurleitung. Diese stellt die Daten im Auftrage des BMEL zusammen und wertet sie aus. Das umfasst technisch-methodische Arbeiten zur Vorbereitung, Schulung, Durchführung und Auswertung der BWI. So erforscht das TI-WO moderne Aufnahmemethoden. Die Entwicklung des Standes der Technik bei Erfassungsgeräten und EDV ist ständig zu verfolgen, um die Genauigkeit und die Effizienz bei Inventurwiederholungen zu verbessern. Sowohl in der Gerätemesstechnik als auch in der EDV-mäßigen Erfassung, Prüfung und Übermittlung von Daten sind Rationalisierungen von Abläufen möglich. Eine weitere Forschungsaufgabe ist schließlich die Verbesserung der Auswertungen durch neue statistische Methoden, neue Darstellungsprogramme und die Auswertung in Verbindung mit externen Datenquellen. Wegen der engen Verzahnung von komplexem, schwer zu messendem Erhebungsgegenstand (Baum, Ökosystem Wald), Messgeräten und Messmethoden, Auswertungsmethoden und Auswertungszielen sind die einzelnen Arbeitsschritte und Forschungen keinesfalls zu isolieren und getrennt zu vergeben. Die Bundesinventurleitung arbeitet unmittelbar mit den Landesinventurleitungen zusammen, um v. a. fachliche Fragen der Durchführung und Inventurkontrolle zu klären, die Daten zu prüfen und auszuwerten (siehe Abbildung 3.1).

Die Bundesinventurleitung stellt den Landesinventurleitungen alle für die Wiederholungsaufnahme notwendigen Daten der Vorgänger-Inventuren in einer zentralen Online-Datenbank sowie die speziell entwickelte Erhebungs-Software zur Verfügung. Diese enthält

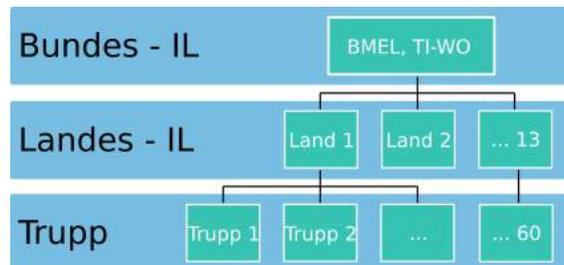


Abbildung 3.1: Zuständigkeiten bei der BWI 2012



Abbildung 3.2: Aufnahmegeräte der BWI 2012, u. a. Hochkluppe, Criterion, Feldcomputer, Kompass, Spiegelrelaskop, Vertex, GNSS-Gerät, Maßband, Kluppe

Programme für das Datenmanagement in den Landesinventurleitungen und für die Datenerfassung sowie -prüfung durch die Inventurtrupps. Nach den terrestrischen Erhebungen werden die in der Trupp-Datenbank erfassten Daten mit der Zentraldatenbank synchronisiert.

Die Datenerhebung ist Aufgabe der Länder. Dazu haben diese Landesinventurleitungen eingerichtet. Deren Aufgaben umfasst die Einsatzplanung und -koordinierung der Inventurtrupps, die Traktvorklärung, Kontrolle von Aufnahmen und Daten sowie die Freigabe der Daten für die Bundesinventurleitung.

Bund und Länder arbeiten bei der Entwicklung des Inventurverfahrens eng zusammen. Ein regelmäßiger Informationsaustausch zwischen Bundes- und Landesinventurleitungen sichert die einheitliche Klärung von Verfahrensfragen. Spezielle Probleme werden in ad hoc-Arbeitsgruppen gelöst.

3.2 Inventurtrupps

Zur Traktaufnahme setzten die Landesinventurleitungen rund 60 Inventurtrupps ein. Jedes Team besteht aus zwei Forstfachleuten (mindestens ein Diplom-Forstwirt oder vergleichbare Qualifikation). Die Inventurtrupps trugen die Daten i. d. R. im Gelände in die Erfassungsdatenbank ein. Bei der Datenaufnahme kamen mobile, robuste Feldcomputer mit Gerätetastatur und/oder mit aktivem Bildschirm zum Einsatz. GNSS-Geräte und Navigationsmodule in der Erhebungssoftware vereinfachten für die Inventurtrupps das Auffinden der Traktecken im Gelände. Die Gerätewahl war mehr als bei früheren Aufnahmen den Landesinventurleitungen und Trupps freigestellt. Die Ausstattung der Inventurtrupps umfasst u. a. Feldcomputer, GNSS-Gerät, Ultraschall-Höhen- und Entfernungsmesser, Maßband, Durchmesser-Bandmaß, Relaskop oder ein vergleichbares Gerät mit Hangkorrektur, Kompass (400 gon), Hochkluppen mit Teleskopstange für Baumdurchmesser bis 30, 40 bzw. 60 cm (siehe Abbildung 3.2).

3.3 Schulung

Die Bundesinventurleitung schulte vor Beginn der Geländearbeiten im Frühjahr 2011 rund 130 Teilnehmer (Angehörige der Landesinventurleitungen, Leiter der Inventurtrupps sowie ihre Mitarbeiter) zur Aufnahmemethodik und Erfassungssoftware. Darüber hinaus führten einige Länder eigene Schulungen z. B. zur Erkennung der natürlichen Waldgesellschaft und Pflanzenarten etc. durch.

3.4.2 Qualitätskontrolle durch Inventurtrupps

Für alle von den Vorgängerinventuren bekannten und über Koordinaten eindeutig identifizierbaren Objekte (Trakte, Traktecken, Probebäume, Bestandesränder) wurden Datensätze vorinitialisiert. Zu jedem WZP/ZF4-Probebaum der Vorgängerinventuren wurden Baumart und BHD angezeigt. Waren diese Objekte nicht mehr vorhanden, weil z. B. ein Probebaum ausgeschieden ist, wurde dies dokumentiert. Mit den in der Erfassungssoftware enthaltenen Plausibilitätsprüfungen wurde auf Vollständigkeit, zulässige Datenbereiche und Widerspruchsfreiheit miteinander verbundener Merkmale geprüft. Durch diese Plausibilitätsprüfungen konnten die erfassten Daten bereits vor Ort von den Inventurtrupps (Aufnahmetrupp = AT, Kontrolltrupp = KT) geprüft und gegebenenfalls korrigiert werden (durch erneutes Messen eines Wertes oder Erheben und Nachtragen von Fehlwerten).

3.4.3 Qualitätskontrolle durch die Landesinventurleitung

Die von den Trupps erfassten Daten wurden nach Übernahme in die zentrale Datenbank nochmals von den Landesinventurleitungen (LIL) geprüft. Die Landesinventurleitung führte die erforderlichen Korrekturen entweder selbst durch oder übergab fehlerhafte Daten zur Korrektur an die jeweiligen Inventurtrupps. Nach der Aufnahmeanweisung der BWI 2012 müssen die Landesinventurleitungen an 5% der Trakte eine Inventurkontrolle durchführen. Fehler und Abweichungen (insbesondere systematische) wurden mit dem jeweiligen Inventurtrupp geklärt. Die Landesinventurleitungen protokollierten die Kontrolle mit den festgestellten Abweichungen und sie veranlassten Korrekturmaßnahmen. Die Kontrollaufnahmen wurden in der Zentraldatenbank gespeichert und damit die Kontrolle nachgewiesen. Die Landesinventurleitungen haben anschließend die Daten für die Bundesinventurleitung freigegeben.

3.4.4 Qualitätskontrolle durch die Bundesinventurleitung

In der Bundesinventurleitung (BIL) wurden die Daten aus den Ländern abschließend nach bestem Ermessen auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft. Die geprüften Daten wurden für die Auswertung übernommen.

Kapitel 4

Auswertungs- und Softwarekonzept

4.1 Herangehensweise bei der Datenauswertung

Die bei der BWI 2002 praktizierte Abstraktion und Modularisierung von Auswertungsschritten hat sich bewährt und wurde für die Auswertung der BWI2012 beibehalten. Folgende Aufgaben wurden voneinander getrennt und sind in den folgenden Abschnitten beschrieben:

- Ableiten von Merkmalen auf Objekt- und Traktecken-Ebene (Kapitel 5),
- Übergabe von Daten an Hochrechnungen (Kapitel 6),
- einphasiges, stratifiziertes Hochrechnen von Zustands- und Veränderungsgrößen (Kapitel 7 und 8),
- Präsentation der Ergebnisse aus Ergebnisdatenbanken.

Bei der Ableitung von Merkmalen werden auf Objektebene sowohl Inputgrößen (Baumvolumen, Stammzahl, Standfläche etc.) als auch deren Klassifizierungsmerkmale (Waldrandexposition, Altersklasse, Bestockungstypen etc.) für die Hochrechnung hergeleitet. Welche Merkmale mit welcher Methode abgeleitet werden, ist im Kapitel 5 beschrieben.

Bei der Datenübergabe werden die Zielgrößen (Anteile oder Werte je Hektar) in Abhängigkeit frei wählbarer Klassifizierungsmerkmale für Traktecken berechnet und an die Hochrechnung übergeben (Kapitel 6).

Unter Hochrechnung versteht man die Aggregation von Rohdaten oder abgeleiteten Daten zu einem Schätzwert für einen Populationsparameter in einer Auswertungseinheit über die verschiedenen Aggregationsebenen Trakt, Verdichtungsgebiet und Gebiet (Kapitel 7 und 8). Auswertungseinheiten (engl. Domains) entstehen durch die Kombination von Klassifizierungsmerkmalen. Für jeden Schätzwert pro Domain erfolgt zusätzlich die Schätzung seiner Varianz.

Die Aggregation selbst erfolgt

- unabhängig von konkreten Ziel- und Klassifizierungsmerkmalen, d. h. die Ziel- (X, Y) und Klassifizierungsmerkmalen (k1 bis k7) werden kodiert und
- nach dem Algorithmus eines von drei Hochrechnungstypen (siehe Abschnitt 7.3), die sich im Wesentlichen auf der Aggregationsebene Verdichtungsgebiete unterscheiden.

Für die Datenübergabe und die Hochrechnung über alle Aggregierungsstufen entwickelte das Thünen-Institut für Waldökosysteme eine eigene Software. Mit ihr definiert bzw. selektiert der fachkundige Nutzer Ziel- und Klassifizierungsmerkmale sowie Steuer- und Metadaten. Anschließend legt das Hochrechnungsprogramm die Schätzwerte und deren Varianzen für Gebiete und Domains in Datenbanken ab. Die web-basierte Ergebnispräsentation auf <https://bwi.info> zeigt die Schätzwerte als Tabelle, Graphik oder Karte an. Die geschätzten Varianzen können als absolute oder prozentuale Stichprobenfehler bzw. Vertrauensintervalle als Maß für die Genauigkeit eines Schätzwertes dargestellt werden.

4.2 Software

Es wurde eine flexible Auswertungs-Software entwickelt, die als Baukastensystem aus drei kombinierbaren Teilen besteht. Diese Teile erledigen die Aufgaben

1. Datenbereitstellung für eine Hochrechnung (für mehrere Ergebnisse einer Fragestellung),
2. Hochrechnen von Daten und Ablegen der Ergebnisse in Ergebnisdatenbanken,
3. Präsentation der Ergebnisse aus Ergebnisdatenbanken (jeweils mit mehreren Ergebnissen aus einem Thema oder mehreren Themen).

Die Aufgabe Datenbereitstellung (1.) umfasst sowohl das Ableiten von Merkmalen auf unterster Ebene wie beispielsweise Volumen oder die Standfläche von Bäumen als auch die Datenselektion und Datenübergabe von für Traktecken voraggregierten Werten an die Hochrechnung. Diese Aufgabe ist abhängig von der konkreten Stichprobeninventur, meist auch von deren Datenmodell. Deshalb wurden für die BWI spezielle Softwaremodule entwickelt. Neben den Datenbanken mit den Inventurdaten wurde eine Schlüsseldatenbank aufgebaut, in der die nominal oder ordinal skalierten Merkmale (nominal: z. B. Eigentumsart, Baumart; ordinal: z. B. Altersklasse, BHD-Stufe, Höhenstufe) inkl. ihrer Gruppierungen definiert sind.

Ergebnisse können über Steuer- oder Metadaten abgefragt werden. Die Aufgaben Hochrechnung (2.) und Ergebnispräsentation (3.) sind nach entsprechender Abstraktion unabhängig von konkreten Fragestellungen und unabhängig von konkreten systematischen Stichprobeninventuren. Das Modul Ergebnispräsentation ist für die öffentliche Nutzung per Internet bereitgestellt (<https://bwi.info>). Das Hochrechnungsmodul ist ausgewählten Nutzern vorbehalten, da es inventur- und auswertungstechnisches Spezialwissen erfordert.

Kapitel 5

Ableitung von Merkmalen

5.1 Überblick

Vor der eigentlichen Hochrechnung ist die Datenbasis aus der Erhebung zu vervollständigen durch:

1. die Modellierung nicht gemessener Werte, z. B.
 - der Baumhöhe (sie wurde zur Verringerung des Aufwandes nur an einer Unterstichprobe gemessen),
 - des oberen Durchmessers (er wurde nach Möglichkeit nur an den Höhenmessbäumen gemessen),
2. die Berechnung abgeleiteter Größen aus den Messwerten, z. B.
 - der repräsentierten Stammzahl für Probestämme differenziert für bestandesinterne oder bestandesübergreifende Auswertungen,
 - der Standfläche, des Vorrates und des Zuwachses für Probestämme,
3. die Ableitung von Merkmalswerten an den Traktecken, z. B.
 - ideelle Aufteilung des Hauptbestandes nach dem Standflächenanteil der Baumarten sowohl für bestandesinterne als auch bestandesübergreifende Auswertungen,
 - Bestockungstypen
 - Naturnähe der Baumartenzusammensetzung
 - Erhaltungszustand des Waldlebensraumtyps.

Die Schritte wurden einmalig ausgeführt und die Ergebnisse als Grundlage für die Hochrechnung in der Hochrechnungsdatenbank abgespeichert. Einen Auszug der aufgenommenen und abgeleiteten Merkmale liefert die Tabelle 5.1. Die Tabelle 5.2 liefert einen Überblick zu den erhobenen und abgeleiteten Merkmalen pro Objekt bzw. Traktecke.

5 Ableitung von Merkmalen

Tabelle 5.1: Auswahlverfahren für Subpopulationen (Objekte) und Erfassung der Merkmale

Auswahlverfahren	Objekte	Aufgenommene Merkmale	Abgeleitete Merkmale
Trakt		Schalenwild	
Traktecke	Punkt bestandesintern und bestandesübergreifend Bestockung	Nichtwald / Wald / Blöße / Nichtholzboden, besonders geschützte Waldbiotope, natürliche Waldgesellschaft, Nutzungseinschränkung, raumbezogene Merkmale, Eigentumsart und -größenklasse, Betriebsart Alter, Aufbau, Waldlebensraumtyp	Anzahl Jahre bzw. Vegetationsperioden bezogen auf die Vorgängerinventuren, Bewertung WLRT jeweils Standfläche / Grundfläche / Vorrat / Totholzvorrat je Hektar, Standflächenanteil der Baumarten und Altersklassen Anteil der Baumarten, Naturnähe der Baumartenzusammensetzung, Bestockungstyp
WZP/ZF 4	Bäume ab 7 cm BHD	Baumart, -klasse, -alter, BHD, Bestandesschicht, Kronenbruch, Stammhöhe, Astungshöhe, Stammschäden, Lagekoordinaten, an Unterstichprobe: Baumhöhe, oberer \emptyset	Stand- u. Grundfläche, Volumen (Vorratsfestmaß, Erntefestmaß, nach FAO), Biomasse, repräsentierte Stammzahl ^b , soweit nicht in 1,3 m Höhe gemessen auch BHD, Baumhöhe, oberer \emptyset , Stammhöhe, Zuwachs an Volumen, \emptyset , Höhe etc. gegenüber Vorgängerinventur
WZP/ZF 1 o. 2	Bäume ab 4 m Höhe	Anzahl nach Baumart (bestandesunabhängig, Spiegelung an Waldrändern), Aufbau (Schichten), Alter	
Probekreis r = 10 m	Bäume bis 4 m Höhe Bodenvegetation ^a	Deckungsgrad, Anteil der Baumarten, Verjüngungsart, Beeinträchtigungen WLRT Dichteklassen der Bodenbedeckung	
WZP/ZF 1 o. 2	Bestockung + r = 10 m	Schichten, Alter, Anteile	
Probekreis r = 1 m o. 2 m	Bäume von 20 cm bis 50 cm Höhe	Anzahl nach Baumart, Bestandesschicht, Wildschäden, Schutzmaßnahme	Volumen nach FAO, Biomasse
Probekreis r = 2 m	Bäume > 50 cm Höhe u. < 7 cm BHD	Anzahl nach Baumart, -größe, Bestandesschicht, Wildschäden, Schutzmaßnahme	Volumen nach FAO, Biomasse
Probekreis r = 5 m	Totholz ab 10 cm \emptyset	Baumartengruppe, Typ (stehend, liegend ...), Durchmesser, Länge, Zersetzungsgrad	Volumen und Biomasse Totholz
Umkreis von 25 m	Gelände Waldränder	Geländeneigung, -exposition, -form, Beeinträchtigung WLRT-Befahrung Koordinaten, Art des Waldrandes, vorgelagerte Landnutzung	Waldrandlänge, Exposition

^a forstlich bedeutsame Arten d. Bodenvegetation

^b Korrektur d. Aufnahmewahrscheinlichkeit für Randbäume durch rechn. Spiegelung an Waldrändern und Grenzen zu Nichtholzboden

Tabelle 5.2: Bezeichnungen, Maßeinheiten und Notation

Merkmal und Maßeinheit Merkmale pro Individuum z auf der Traktecke (x_m)	Notation und Hinweise des Traktes (x)
Baumalter [a]	a_z
Baumhöhe [dm]	h_z
Stammhöhe [dm]	$h_{stamm,z}$
Vorratsfestmeter mit Rinde, Vfm [m^3]	$volR_z$
Erntefestmeter ohne Rinde, Efm [m^3]	$volE_z$
Baumvolumen nach FAO-Definition [m^3]	$volR_{FAO,z}$
oberirdische, lebende Einzelbaumbiomasse [kg]	$biomO_z$
unterirdische, lebende Einzelbaumbiomasse [kg]	$biomU_z$
Brusthöhdurchmesser, BHD [mm]	d_z
Oberer Durchmesser [mm]	$d_{o,z}$
Differenz von Merkmalen zweier Zeitpunkte	$\Delta Y_z = Y_z^{(2)} - Y_z^{(1)}$
Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]	$A_z = \pi * r_z^2$
Grenzkreisradius eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm] allgemein, bei Zählerfaktor 4	$r_z = \frac{50}{\sqrt{ZF}}, r_{ZF4,z} = \frac{25*d_z}{10}$
Grundfläche eines Baumes [m^2]	$g_z = \frac{\pi*d_z^2}{4*1000^2}$
Korrigierte Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]; Fläche, die im Bestand liegt	$A_z^B \leq A_z$
Korrigierte Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]; Fläche, die auf Holzboden liegt	$A_z^{HB} \leq A_z$
Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probebaumes ab 7 cm BHD im Bestand	$\pi_z^B = \frac{A_z^B}{A}$
Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probebaumes ab 7 cm BHD auf Holzboden	$\pi_z^{HB} = \frac{A_z^{HB}}{A}$
Standfläche eines Baumes [m^2]	Sfl_z
Normierte Standfläche eines Baumes [m^2] im Bestand (Normierung der Summen aller Standflächen pro Traktecke auf 10.000 m^2)	$Sfl_z^B \neq Sfl_z$
Normierte Standfläche eines Baumes [m^2] auf Holzboden (Normierung der Summen aller Standflächen pro Traktecke auf 10.000 m^2)	$Sfl_z^{HB} \neq Sfl_z$
Mittendurchmesser eines Totholzstückes [cm]	$totD_z$
Durchmesser am dicken Ende eines Totholzstückes [cm]	$totD_{max,z}$
Durchmesser am dünnen Ende eines Totholzstückes [cm]	$totD_{min,z}$
Länge eines Totholzstückes [dm]	$totL_z$
Volumen eines Totholzstückes [m^3]	$totV_z$
Biomasse eines Totholzstückes [kg]	$totB_z$
Waldrandlänge je Waldrandabschnitt [cm]	wrl_z
Merkmale pro Traktecke (x_m) des Traktes (x)	
Anteil von ...	p_m
Anzahl der Kalenderjahre [a] zwischen der letzten Vorgängerinventur und BWI2012	$t_{K,m}$
Anzahl der Vegetationsperioden [a] zwischen der letzten Vorgängerinventur und BWI2012	$t_{V,m}$
Deckungsanteil (DA) einer Baumart in 10 %-Stufen (Formel 5.3.1.4)	DA; z. B. 4 = 40 % DA vom DG
Deckungsgrad (DG) in 10 %-Stufen (Formel 5.3.1.5)	DG; z. B. 8 = 80 % DG
Exposition [gon]	$expo_m$
Fläche des 1 m-Probekreises [m^2]	$A_{100,m} = \pi * 1^2 \cong 3, 1416$
Fläche des 1,75 m-Probekreises [m^2], nur bei BWI2002	$A_{175,m} = \pi * 1,75^2 \cong 9, 6211$
Fläche des 2 m-Probekreises [m^2]	$A_{200,m} = \pi * 2^2 \cong 12, 5664$
Fläche des 4 m-Probekreises [m^2], nur bei BWI1987	$A_{400,m} = \pi * 4^2 \cong 50, 2656$
Fläche des 5 m-Probekreises [m^2]	$A_{500,m} = \pi * 5^2 \cong 78, 54$
Fläche des 25 m-Probekreises [m^2]	$A_{2500,m} = \pi * 25^2 \cong 1963, 5$
Korrigierte Fläche der Probekreise [m^2]; Fläche im Bestand	$A_{\dots,m}^B \leq A_{\dots,m}$
Korrigierte Fläche der Probekreise [m^2]; Fläche auf Holzboden	$A_{\dots,m}^{HB} \leq A_{\dots,m}$
Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probekreises im Bestand	$\pi_{\dots,m}^B = \frac{A_{\dots,m}^B}{A}$
Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probekreises auf Holzboden	$\pi_{\dots,m}^{HB} = \frac{A_{\dots,m}^{HB}}{A}$

5.2 Ableiten von Merkmalen auf Objektebene für einen BWI-Zeitpunkt

5.2.1 BHD bei Probebäumen mit geänderter Messhöhe

5.2.1.1 Regressionsverfahren

Bei Stammverdickungen oder -schäden in Brusthöhe wird ober- oder unterhalb der Verdickung der Stammdurchmesser gemessen. Laut Aufnahmeanweisung muss eine solche verschobene Durchmesser messung zwischen 0,5 m und 2,5 m Stammhöhe erfolgen.

Für die Grenzstammkontrolle im Wald — gehört der Baum zur WZP/ZF4, oder nicht — muss jedoch der Durchmesser in 1,30 Meter Höhe bekannt sein. Hierfür wird seit der BWI2002 eine einfache Regression genutzt:

$$d_z = d * (1.0 + (0.0011 * (h_d - 130))) \quad (5.2.1.1)$$

mit d_z = BHD, d = Durchmesser, welcher in der Höhe h_d gemessen wurde.

Man hat sich bei der BWI2002 für diese einfache Form der Regression entschieden, da hier teilweise noch Aufnahmen mit „Zettel und Stift“ erfolgten. Nachträglich erfolgte bei der BWI2002 eine Korrektur des BHD bei verschobener Messhöhe mittels der in *BDat* implementierten Allometriefunktion (KUBLIN, 2002).

Diese benötigt als Eingangsgröße jedoch eine Baumhöhe. Für die Modellierung der Baumhöhe (siehe Abschnitt 5.2.4) wird der nach Formel 5.2.1.1 abgeleitete BHD verwendet. Ist die Baumhöhe modelliert, erfolgt die Schätzung des BHD mittels *BDat*, anschließend wird die Baumhöhe mit dem neu geschätzten BHD nochmals modelliert. Dieser iterative Prozess wird bis zum Unterschreiten einer bestimmten Differenz zwischen zwei Iterationsläufen fortgeführt. Häufig sind nur zwei Iterationsschritte bis zum Erreichen der Minimaldifferenz nötig.

Aus Konsistenzgründen wurde diese Form zur Ermittlung des BHD bei verschobener Messhöhe des Durchmessers beibehalten. Jedoch ist dieses Vorgehen problematisch: So können im Feld erfasste Bäume, welche auf Grund des mit *BDat* abgeleiteten BHD die Grenzstammkontrolle nicht mehr erfüllen, nachträglich eliminiert werden; im Feld auf Basis der verwendeten Regressionsfunktion nicht erfasste Bäume, welche aber die Grenzstammkontrolle auf Grund der *BDat*-Funktion erfüllt hätten, können nachträglich nicht mehr berücksichtigt werden. Diese Problematik wird ab der Kohlenstoffinventur 2017 umgangen, in dem der Grenzkreisradius um 2 % bei Bäumen mit einer Durchmesser messung in veränderter Messhöhe erweitert wird.

5.2.1.2 Abholzigkeitsfunktion bei BWI 2002

Der Vollständigkeit halber soll hier die Tangential-Funktion dokumentiert werden, welche bei der BWI2002 unter dem Namen „Abholzigkeitsfunktion“ zum Ableiten des BHD in geänderter Messhöhe genutzt wurde, um anschließend Merkmale, wie bspw. den D7 herzuleiten. Unterstellt man im Stammanlauf einen Kreisbogen, so lässt sich über die Beziehung $Gegenkathete = Ankathete / \tan \alpha$ die Differenz des Radius zwischen Messhöhe und 1,3 Metern berechnen. Wird diese Differenz anschließend verdoppelt und zum gemessenen Durchmesser addiert, erhält man den abgeleiteten BHD:

$$d_z = d + 2((h_d - 130)/\tan \alpha) \quad (5.2.1.2)$$

5.2 Ableiten von Merkmalen auf Objektebene für einen BWI-Zeitpunkt

Tabelle 5.3: Bogenmaß zum Ableiten des BHD mit Hilfe der Tangenzfunktion, getrennt nach den Regionen Nord (SH, HH, NI, HB, MV), Mitte (NW, HE, RP, SL, BB, BE, SN, ST, TH), Süd (BW, BY)

BWI-Baum- artengruppe ^a	BWI 1987-Baumart	$\tan \alpha$	$\tan \alpha$	$\tan \alpha$
		Nord	Mitte	Süd
aLh	AH (Ahorn spec.)	40,0	45,6	44,5
aLh	BAH (Bergahorn)	40,0	45,6	44,5
aLh	BLB (Buntlaubbaum)	37,0	42,2	40,0
aLh	EL (Elsbeere)	26,5	26,5	30,4
aLh	ES (Esche spec.)	40,1	37,9	46,7
aLh	FAH (Feldahorn)	24,3	24,3	32,5
aLh	HBU (Hainbuche)	35,6	37,3	35,4
aLh	KA (Kastanie)	26,0	36,4	36,2
aLh	LI (Linde spec.)	26,7	43,0	37,9
aLh	ROB (Robinie)	30,0	36,3	36,5
aLh	SAH (Spitzahorn)	40,0	45,6	44,5
aLh	SLB (sonstige Laubbäume)	37,0	33,2	33,5
aLh	UL (Ulme spec.)	26,0	21,9	26,5
aLn	BI (Birke spec.)	41,1	42,0	45,5
aLn	BPA (Balsampappel)	38,8	40,0	43,7
aLn	ERL (Erle spec.)	45,0	44,8	46,3
aLn	KIR (Kirsche spec.)	45,2	29,8	38,9
aLn	PA (Pappel spec.)	38,8	40,0	43,7
aLn	SLB (sonstige Laubbäume)	37,0	33,2	33,5
aLn	VB (Vogelbeere)	42,0	34,2	36,6
aLn	WEI (Weide spec.)	30,0	30,0	31,7
Buche	BU (Buche)	43,8	44,3	48,3
Douglasie	DGL (Douglasie)	52,5	45,9	52,4
Eiche	EI (Eiche spec.)	35,6	42,9	43,9
Eiche	REI (Roteiche)	35,6	42,9	43,9
Fichte	FI (Fichte spec.)	54,0	54,0	63,8
Fichte	SFI (Serbische Fichte)	50,3	45,2	70,7
Fichte	SNB (Sonstige Nadelbäume)	38,8	63,5	46,7
Fichte	THU (Thuja)	31,7	31,7	48,0
Fichte	TSU (Tsuga)	43,2	43,2	43,2
Kiefer	KI (Kiefer spec.)	52,8	54,0	60,0
Kiefer	SKI (Schwarzkiefer)	40,0	46,9	52,8
Kiefer	WEY (Weymouthskiefer)	50,7	65,5	59,6
Lärche	ELA (Europäische Lärche)	60,8	55,6	67,0
Lärche	JLA (Japanische Lärche)	60,8	55,6	67,0
Lärche	LAE (Lärche spec.)	60,8	55,6	67,0
Tanne	KTA (Küstentanne)	48,0	43,3	49,3
Tanne	TA (Tanne spec.)	49,5	61,8	62,0

^a siehe Tabelle C.3

Das entsprechende Bogenmaß $\tan \alpha$ wurde getrennt nach den Baumarten der BWI 1987 und nach drei Regionen hergeleitet, welche in Tabelle 5.3 aufgeführt sind.

5.2.2 Repräsentierte Stammzahl von Probebäumen ab 7 cm BHD

Bei der BWI 2002 wurden die Probebäume ab 7 cm BHD durch eine Winkelzählprobe mit Zählfaktor 4 *bestandesintern* (B) erfasst. D. h. nur jene Bäume wurden berücksichtigt, die sich in dem Bestand befanden, in dem auch die Traktecke vermarktet ist. Seit der IS 2008 und somit auch bei der BWI 2012 werden die Probebäume ab 7 cm BHD durch die WZP/ZF4

5 Ableitung von Merkmalen

bestandübergreifend ($HB = \text{Holzboden}$) aufgenommen. Der Zählfaktor K_z eines Probebaumes entspricht der Grundfläche je Hektar, die ein Probebaum repräsentiert.

Jedoch wurde an Traktecken im Nichtwald und auf Nichtholzboden keine Winkelzählprobe durchgeführt. Somit haben Bäume, deren Grenzkreis von einem Waldrand oder einer Grenze zum Nichtholzboden geschnitten wird, eine geringere Auswahlwahrscheinlichkeit π_z (siehe Abbildung 5.1 und Tabelle 5.2). Diese einseitige Verzerrung wird durch einen baumindividuellen Zählfaktor ausgeglichen. Dazu wird für jeden Probebaum der auf dem Holzboden liegende Anteil an der Grenzkreisfläche berechnet. Zur Vergleichbarkeit mit früheren Erhebungen gilt gleiches für Probebäume, deren Grenzkreis eine Bestandesgrenze schneidet. Hier wird der im Bestand liegende Anteil an der Grenzkreisfläche berechnet. Für jeden Probebaum wurde die „Bestandeszugehörigkeit“ — steht er innerhalb oder außerhalb des Bestandes, in dem sich auch die Traktecke befindet — während der Aufnahme vermerkt. Berechnet wurde K_z mit der Programmbibliothek *grenz.dll*.

Auf Grund des erhöhten Zeitbedarfs werden allerdings Grenzen nur bis zu einer maximalen Entfernung von 25 m bezogen auf die Traktecke eingemessen. Ein Randbaum, dessen Grenzkreis einen weiter entfernten Rand schneidet, ist somit in der Stichprobe geringfügig unterrepräsentiert.

Der baumindividuelle Zählfaktor K_z eines Baumes ergibt sich aus Formel 5.2.2.1 bzw. 5.2.2.2:

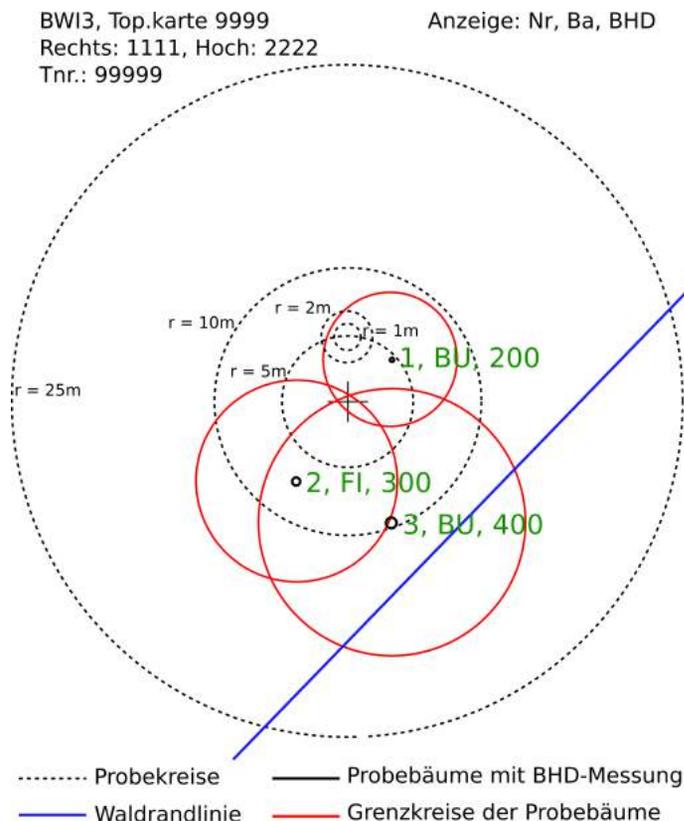


Abbildung 5.1: WZP/ZF4-Plotskizze am Waldrand zur Verdeutlichung der Auswahlwahrscheinlichkeit eines Probebaumes

$$K_z^{HB} = 4 \frac{A_z}{A_z^{HB}} \geq 4 \quad (5.2.2.1)$$

$$K_z^B = 4 \frac{A_z}{A_z^B} \geq 4 \quad (5.2.2.2)$$

mit HB = bestandesübergreifend (Holzboden) und B = bestandesintern (Bestand).

Aus dem Verhältnis des Zählfaktors K_z zur Grundfläche g_z des Einzelbaumes lässt sich die repräsentierte Stammzahl pro ha $N_z^{(ha)}$ ableiten:

$$N_z^{HB,(ha)} = \frac{K_z^{HB}}{g_z} \quad (5.2.2.3)$$

$$N_z^{B,(ha)} = \frac{K_z^B}{g_z} \quad (5.2.2.4)$$

Anschließend wird für die Auswertung die repräsentierte hektarbezogene Zielgröße durch Multiplikation des individuellen Merkmals mit der repräsentierten Stammzahl je Hektar berechnet:

$$Y_z^{HB,(ha)} = N_z^{HB,(ha)} Y_z \quad (5.2.2.5)$$

$$Y_z^{B,(ha)} = N_z^{B,(ha)} Y_z \quad (5.2.2.6)$$

5.2.3 Repräsentierte Stammzahl von Bäumen < 7 cm BHD

Junge Bäume bezeichnet die Bäume, die bei der BWI2012 in den Probekreisen $r = 1$ m bzw. $r = 2$ m erfasst wurden. Deren repräsentierte Stammzahl pro Hektar berechnet sich nach Formel 5.2.3.1:

$$N_{100}^{(ha)} = \frac{10000}{A_{100}} \cong \frac{10000}{3,1416} \cong 1039,38 \quad (5.2.3.1)$$

$$N_{200}^{(ha)} = \frac{10000}{A_{200}} \cong \frac{10000}{12,5664} \cong 795,77$$

Eine Korrektur auf Grund möglicher Bestandes- oder Waldrandgrenzen muss für die BWI2012-Aufnahme nicht durchgeführt werden, da die Kreise laut Aufnahmeanweisung (BMELV, 2011) immer vollständig im Bestand liegen. Für Veränderungsrechnungen war dies jedoch für die Probekreise A_{175} , A_{200} bzw. A_{400} der vergangenen BWI-Zeitpunkte nötig:

$$N_{175}^{(ha)} = \frac{10000}{A_{100}^{kor}} \geq \frac{10000}{9,6211} \geq 3183,10 \quad (5.2.3.2)$$

$$N_{200}^{(ha)} = \frac{10000}{A_{200}^{kor}} \geq \frac{10000}{12,5664} \geq 795,77$$

$$N_{400}^{(ha)} = \frac{10000}{A_{400}^{kor}} \geq \frac{10000}{50,2656} \geq 198,94$$

5.2.4 Baumhöhen von Probebäumen ab 7 cm BHD

Zur Reduktion des Messaufwandes wurden Baumhöhen nur an einer Unterstichprobe der Probebäume gemessen ($\approx 1/3$): Im Hauptbestand an zwei Bäumen der häufigsten Baumartengruppe und an jeweils einem Baum jeder weiteren Baumartengruppe, im Oberstand an einem Baum aus jeder vorkommenden Baumartengruppe, im Unterstand an einem Laub- und einem Nadelbaum. Für die Höhenmessung wurde nach folgenden Baumartengruppen differenziert: Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Lärche, Buche, Eiche. Alle anderen Nadelbäume werden der Fichte und alle anderen Laubbäume der Buche zugeordnet.

Die übrigen Baumhöhen von Probebäumen ab 7 cm BHD wurden mit den Einheitshöhenkurven nach SLOBODA ET AL. (1993) geschätzt:

$$h_z = 1,3 + (h_{\bar{d}} - 1,3)e^{k_0(1-\frac{\bar{d}}{d_z})}e^{k_1(\frac{1}{\bar{d}}-\frac{1}{d_z})} \quad (5.2.4.1)$$

Eingangsparameter für die Einheitshöhenkurven sind die BWI-Baumartengruppe (Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Lärche, Buche, Eiche, Laubhölzer hoher oder niederer Lebenserwartung), der BHD des Baumes, dessen Höhe abgeleitet werden soll, sowie der BHD und die Höhe des Baumes mittleren Durchmessers (Mitteldurchmesserstamm) in der entsprechenden Schicht des Bestandes. Parametrisiert wurden die Einheitshöhenkurven für den Hauptbestand und den Oberstand getrennt nach den sieben Höhenmess-Baumartengruppen, im Unterstand getrennt nach Laub- und Nadelbäumen.

Der BHD des Baumes mit mittlerem Durchmesser (\bar{d} in mm) an der Traktecke berechnet sich nach Formel 5.2.4.2:

$$\bar{d} = \frac{1}{Z} \sum_{z=1}^Z d_z \quad (5.2.4.2)$$

mit

$$Z = \sum_{z_m=1}^{Z_m} I_z \quad (5.2.4.3)$$

als Anzahl der Probebäume mit $BHD \geq 7$ cm, wobei I indiziert, ob der Punkt x innerhalb oder außerhalb des korrigierten Grenzkreises (mit der Fläche A_z^{HB} bzw. A_z^B) des Probebaumes z liegt und damit der Probebaum ein Individuum der Stichprobe ist oder nicht:

$$I_z = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A_z^{HB} \\ 0 & \text{if } x \notin A_z^{HB} \end{cases} \quad (5.2.4.4)$$

$$I_z = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A_z^B \\ 0 & \text{if } x \notin A_z^B \end{cases}$$

Wurde \bar{d} berechnet, muss nun für den Mitteldurchmesserstamm die Höhe abgeleitet werden. Die Höhe des Baumes mittleren Durchmessers wird so bestimmt, dass die entsprechende Einheitshöhenkurve möglichst genau durch die gemessenen Höhen verläuft. Die dafür notwendigen Eingangsgrößen sind die Baumartengruppe und der \bar{d} einerseits sowie der (mittlere) BHD und die (mittlere) Höhe des Baumes / der Bäume mit Höhenmessung (\bar{d}_s, \bar{h}_s) andererseits.

Mittlerer BHD und mittlere Höhe der Bäume mit Höhenmessung werden bei zwei Messungen pro Bestand, Schicht und Baumartengruppe über die Grundfläche wie folgt ermittelt:

Tabelle 5.4: Koeffizienten für die Einheitshöhenkurven und Baumartengruppen-spezifischer Abzugsfaktor bei Kronenbrüchen (Baumhöhe = Scheitelhöhe - Scheitelhöhe * Abzugsfaktor)

Baumartengruppe ^a	k ₀	k ₁	Abzugsfaktor der Scheitelhöhe
Fichte	0,183	5,688	0,290
Tanne	0,079	3,992	0,317
Douglasie	0,240	6,033	0,330
Kiefer	0,290	1,607	0,388
Lärche	0,074	3,692	0,342
Buche	0,032	6,040	0,367
Eiche	0,102	3,387	0,488
aLh	0,122	5,040	0,470
aLn	0,032	4,240	0,461

^a siehe Tabelle C.3

$$\bar{d}_s = \sqrt{\bar{g}_s \frac{4}{\pi}} 1000 \quad (5.2.4.5)$$

als BHD des Grundflächenmittelstammes der Bäume mit Höhenmessung an der Traktecke mit

$$\bar{g}_s = \frac{1}{z_s} \sum_{s=1}^z g_s \quad (5.2.4.6)$$

als arithmetisches Mittel der Grundflächen jener Probestämme mit Höhenmessung (Grundflächenmittelstamm) an der Traktecke. Die mittlere Höhe der Bäume mit Höhenmessung (Lorey'sche Höhe) an der Traktecke berechnet sich nach Formel:

$$\bar{h}_s = \frac{\sum_{z_s=1}^{Z_s} h_s g_s}{\sum_{z_s=1}^{Z_s} g_s} \quad (5.2.4.7)$$

Die Höhe $h_{\bar{d}}$ des Durchmessermittelstammes (\bar{d}) wird, wie bereits erwähnt, so bestimmt, dass die Einheitshöhenkurve (Ehk) möglichst genau durch \bar{h}_s verläuft. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn folgende Gleichung gilt:

$$f(h_{\bar{d}}) = Ehk(\text{Baumartengruppe}, \bar{d}, \bar{d}_s) - \bar{h}_s = 0 \quad (5.2.4.8)$$

Nach dem Umstellen der Funktion 5.2.4.8 bzw. 5.2.4.1 nach $h_{\bar{d}}$:

$$h_{\bar{d}} = \frac{\bar{h}_s - 1,3}{e^{k_0(1-\frac{\bar{d}}{\bar{d}_s})} e^{k_1(\frac{1}{\bar{d}}-\frac{1}{\bar{d}_s})}} + 1,3 \quad (5.2.4.9)$$

sind alle Eingangsparameter für die Einheitshöhenkurve gegeben.

Die Koeffizienten k_0 und k_1 in Tabelle 5.4 wurden aus den Daten der BWI 1987 für die Baumartengruppen geschätzt (DAHM, 2000).

Bäume mit

- Wipfelbruch (geschätzte Länge des abgebrochenen Teils bis 3 m) oder
- Kronenbruch (geschätzte Länge des abgebrochenen Teils über 3 m)

wurden während der Felderhebungen mit der Höhenkennziffer 1 oder 2 gekennzeichnet. Sofern die Baumhöhe dieser Bäume nicht im Feld gemessen wurde, erfolgte die Schätzung ihrer Scheitelhöhe (approximierte Baumhöhe ohne Bruch) ebenfalls durch Modellierung mit den Einheitshöhenkurven. Anschließend wurde die Baumhöhe durch Subtraktion eines auf Basis der BWI 1987-Daten geschätzten Abzugsfaktors abgeleitet. Für Wipfelbrüche beträgt der Abzugsfaktor pauschal 2,0 m, bei Kronenbrüchen wird von der Scheitelhöhe ein Baumartengruppen-spezifischer Prozentsatz subtrahiert (siehe Tabelle 5.4).

5.2.5 Stammhöhe

Die Stammhöhe wird als Eingangsgröße für die Berechnung des Stammvolumens mit dem Programm *BDat* benötigt. Sie hat Einfluss auf das Erntevolumen (*volE* in Efm) und die Aufteilung des Stammes in Sorten. Letzteres ist dabei nur für die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung WEHAM relevant. Das berechnete Vorratsvolumen des Stammes (*volR* in Vfm) wird von der Stammhöhe nicht beeinflusst.

Die Stammhöhe wurde bei der ersten Bundeswaldinventur (BWI 1987) an allen Laubbäumen mit einem Brusthöhendurchmesser von mindestens 20 cm gemessen, die eine Stammkennziffer = 0 aufweisen (Auflösung des Schaftes unterhalb von 70 % der Baumhöhe)¹. Bei der zweiten Bundeswaldinventur (BWI 2002) wurde die Stammhöhe nicht gemessen. Bei der BWI 2012 wurde sie an allen nicht-wipfelschäftigen Laub- und Nadelbäumen erfasst, an denen auch die Baumhöhe gemessen wurde. Die Stammhöhe wurde jedoch nicht in allen Bundesländern gemessen. Nicht gemessen wurde die Stammhöhe in NI + HH + HB, BB + BE, HE, SN und ST.

Liegen bereits Stammhöhenmessungen von anderen Inventurzeitpunkten für Bäume der WZP/ZF4 vor, so werden diese übernommen, da sich die Höhen von Zwieseln bzw. Astansätzen nicht verändern.

Für Bäume ohne Stammhöhenmessung muss diese modelliert werden. Die Abhängigkeit der Stammhöhe von BHD, Baumhöhe oder dem Alter ist jedoch so gering, dass sie für ein einfaches oder ein additives (lineares) Regressionsmodell nicht ausreicht. Offensichtlich ist die Stammhöhe darüber hinaus durch weitere, insbesondere genetische und Nachbarschaftseinflüsse (nicht nur aktuelle, sondern auch frühere) bedingt. Für diese Einflüsse finden sich in den BWI-Daten jedoch keine Merkmale, die zur Erklärung herangezogen werden könnten. Verwiesen sei hier auf die Abbildung 5.2, in welcher die Abhängigkeiten getrennt nach den BWI-Baumklassen (1 = vorherrschend, 2 = herrschend, 3 = gering mitherrschend, 4 = beherrscht u. 0 = kein Hauptbestand) aufgetragen sind.

Regressionsmodelle haben zudem den Nachteil, dass ein Großteil der Variabilität bei deren Anwendung verloren geht. Hierdurch würden sehr lange oder sehr kurze Stämme nicht modelliert, die Sortenanteile wären verzerrt. Auf Grund der genannten Gründe wird die Variabilität der Stammhöhe als zufällig hingenommen, weshalb für die Modellierung der Stammhöhe folgende Ansätze untersucht wurden:

¹ weitere Stammkennziffern: 1 = Wipfelschäftigkeit, 2 = Zwieselung, 3 = Kronenansatz unter 3 m Höhe, abgestorbene oder abgebrochene Bäume

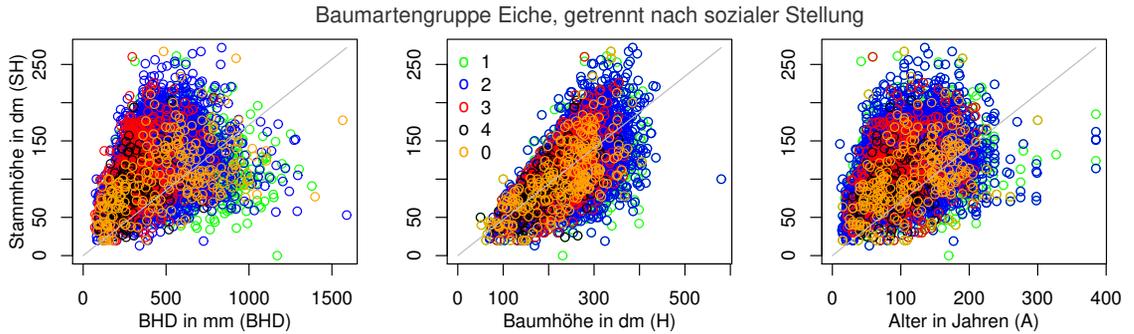


Abbildung 5.2: XY-Plot der Stammhöhe über dem BHD, der Baumhöhe und dem Alter, getrennt nach sozialer Stellung: 1 = vorherrschend, 2 = herrschend, 3 = gering mitherrschend, 4 = beherrschter Baum, 0 = nicht Hauptbestand

5.2.5.1 Logistisches Regressionsmodell mit Zufallskomponente

Ein seit der BWI2002 angewandtes Modell beschreibt die Verteilung der relativen Stammhöhen für verschiedene BHD mit einer logistischen Funktion:

$$P(h_{stamm,z}) = \frac{1}{(1 + e^{(b_0 + b_1 * d_z + b_2 * RH_z)})} \quad (5.2.5.1)$$

mit $h_{stamm,z}$ = Stammhöhe des Baumes z und RH_z = relative Stammhöhe. Die logistische Verteilungsfunktion, dargestellt in Abbildung 5.3, liefert die Wahrscheinlichkeit P für das Auftreten einer Stammhöhe $h_{stamm,z}$ (abhängige Variable) für bestimmte BHD (unabhängige Variable 1) und einer vorgegebenen relativen Stammhöhe (unabhängige Variable 2).

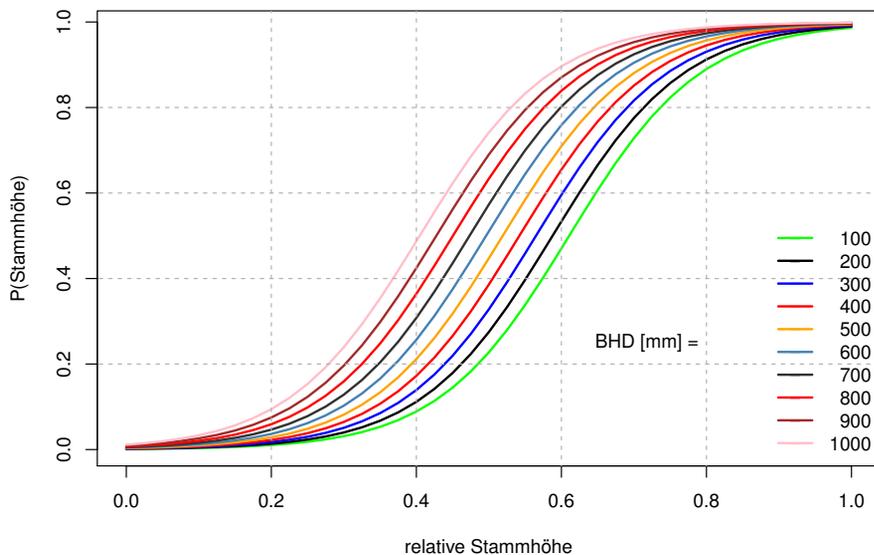


Abbildung 5.3: Logistische Funktion zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Stammhöhe bei gegebenem BHD und relativer Stammhöhe

5 Ableitung von Merkmalen

Tabelle 5.5: Koeffizienten und Kappungsgrenzen der logistischen Funktion zur Stammhöhenermittlung bei der Ziehung bestimmter Zufallszahlen (ZZ), getrennt nach Baumartengruppen (BaGr, Tabelle C.3)

BaGr	b_0	b_1	b_2	wenn ZZ < ...	dann RH_z	wenn ZZ > ...	dann RH_z
Eiche	6,9999192	-0,0025298	-11,0476159	0,02	0,4	0,98	0,6
Buche	6,9999174	-0,0033428	-11,0476168	0,02	0,4	0,98	0,6
aLh	6,9999138	-0,0043717	-11,0476190	0,02	0,4	0,98	0,6
aLn	6,9999205	-0,0019983	-11,0476152	0,02	0,5	0,98	0,7

Kehrt man diese Funktion um:

$$RH_z = \frac{\ln\left(\frac{1}{P(h_{stamm,z})} - 1\right) - b_0 - b_1 * d_z}{b_2} \quad (5.2.5.2)$$

und zieht für die Wahrscheinlichkeit $P(h_{stamm,z})$ eine gleich verteilte Zufallszahl, resultiert daraus eine relative Stammhöhe RH_z , welche mit der Baumhöhe multipliziert werden muss, um die absolute modellierte Stammhöhe $h_{stamm,z}$ zu erhalten. Die Parameter der Funktion (siehe Tabelle 5.5) werden so bestimmt, dass der Mittelwert der modellierten relativen Stammhöhen dem Mittelwert der gemessenen Stammhöhen entspricht. Da es keine relativen Stammhöhen nahe 0 oder nahe 1 gibt, wird die Anpassung verbessert, indem die logistische Funktion an den Enden gekappt und dafür zusätzliche Werte in der Mitte der Verteilung erzeugt werden (siehe Tabelle 5.5).

Dieser Ansatz birgt jedoch 3 Nachteile:

- Es können Stammhöhen < 1,3 Meter resultieren. Laut Baum-Definition entspricht dies einem Zwiesel. Es hätten somit zwei getrennte Individuen aufgenommen werden müssen. Modellerte Stammhöhen < 1,3 Meter wurden jedoch akzeptiert und für die Modellierung des Erntevolumens sowie die Sortenaufteilung in WEHAM genutzt.
- Bei extrem abholzigen Bäumen kann die modellierte Stammhöhe negativ ausfallen. Im gewählten Modelllauf trat dies nicht auf.
- Nicht jede Zufallszahlenziehung entspricht der tatsächlichen Verteilungsfunktion, so dass Modellläufe resultieren können, welche die modellierte Stammhöhe im Mittel über- oder unterschätzen. Letztlich kam ein Modelllauf zur Anwendung, welcher den Mittelwert und die Varianz der tatsächlichen Verteilungsfunktion gut widerspiegelt.

5.2.5.2 Stammhöhe nach Verteilungsfunktionen

Die genannten Nachteile sind von vornherein vermeidbar, wenn für die relative Stammhöhe Verteilungsfunktionen getrennt nach Baumarten aus den aktuellen Messdaten abgeleitet werden:

$$RH_z = f\left(\widehat{RH}, sd\langle\widehat{RH}\rangle\right) \quad (5.2.5.3)$$

Dieser Lösungsansatz wurde jedoch erst in einer späten Phase der BWI-Auswertung entwickelt und ließ sich mit dem gewählten Datenbanksystem nicht umsetzen. Deshalb wurde bei der Auswertung der BWI2012 auf methodische Kontinuität gesetzt und die Implementierung dieses Modellierungsansatzes auf einen späteren Zeitpunkt verschoben.

5.2.6 Oberer Durchmesser

Die Voluminierung der Probestämme bei der BWI und die Sortenausformung innerhalb der WEHAM basiert auf Schaftkurvenmodellen unter der Verwendung der Programmbibliothek *BDat 3.0* (KUBLIN, 2011, KUBLIN und BÖSCH, 2013). Erfasst wird die Schaftform eines Probebaumes über den BHD, der Baumhöhe und durch Messung eines oberen Durchmessers. Grundsätzlich kann die Messhöhe des oberen Durchmessers variieren. Der obere Durchmesser ist nur ausreichend weit vom Wurzelanlauf entfernt aufzunehmen. Insofern ist eine Messung zwischen der fixen Höhe von 7 m und der relativen Messhöhe von 30 % der Scheitelhöhe eine unter dem Gesichtspunkt der Allometrie sinnvolle Messhöhe. Durch die baumindividuelle Erfassung der Formigkeit konnte das bei einer Großrauminventur auftretende Problem der Wahl geeigneter Volumentafeln oder -funktionen umgangen werden (KUBLIN, 2011).

In den alten Bundesländern wurde der Durchmesser in 7 m Höhe bei der BWI1987, nicht aber bei der BWI2002 gemessen. Die Aufnahme erfolgte an allen Probestämmen mit einem BHD von 20 cm und mehr, wobei Laubbäume zusätzlich eine Stammhöhe von 7 m aufweisen mussten.

In den neuen Bundesländern wurde der Durchmesser in 7 m Höhe bei der BWI2002 bei allen Probestämmen der südwestlichen Traktecke A mit einem BHD von 20 cm und mehr gemessen. Für alle anderen Bäume wurde der obere Durchmesser mit dem Programm *BDat* ermittelt.

Bei der IS 2008 wurde der Durchmesser in 7 m Höhe an allen Höhenmessbäumen mit einem BHD ab 20 cm gemessen.

Die Messung des oberen Durchmessers war bei der BWI 2012 freiwillig. Folgende Länder unterließen die Messung des oberen Durchmessers: NI + HH + HB, BB + BE. Der obere Durchmesser wurde bei der BWI 2012 an allen Höhenmessbäumen (siehe Aufnahmeanweisung) vorzugsweise in 30 % der Baumhöhe, auf jeden Fall im Höhenbereich zwischen 30 % der Baumhöhe und 7 m Höhe gemessen. Die Messhöhe war in dm anzugeben. Für alle anderen Bäume wurde der obere Durchmesser ebenfalls mit der Programmbibliothek *BDat* modelliert.

5.2.7 Volumen von Probestämmen ab 7 cm BHD

Vorratsschätzungen basieren auf den mit der WZP/ZF4 ausgewählten Probestämmen ab 7 cm BHD. Dazu werden Schaftkurvengleichungen (Spline-Funktionen), die den BHD, den oberen Durchmesser und die Baumhöhe als Prädiktoren nutzen, baumindividuell angepasst und integriert. Das Verfahren ist beschrieben in KUBLIN und SCHARNAGL (1988) sowie in KUBLIN (2002). Mit der Programmbibliothek *BDat* von KUBLIN (2002), aktualisiert als Version *BDat 3.0* (KUBLIN, 2011, KUBLIN und BÖSCH, 2013) können sowohl das Vorratsvolumen mit Rinde in m^3 (*VolR*), das Erntevolumen ohne Rinde in m^3 (*VolE*) oder die verwertbaren Erntefestmeter ohne Rinde in m^3 (*vVolE*) hergeleitet werden.

Die Berechnung bspw. der Vorratsfestmeter mit Rinde erfolgt durch den Aufruf der *BDat*-Funktion:

```
fc_BDAT20_Vfm_mR(BDATBArtNr, D1, H1, D2, H2, H, Hxh, Hkz, SKz, AZ, Hsh, Zsh, ZAb)
Beispiel: fc_BDAT20_Vfm_mR(1, 33.0, 1.3, -0.719, 7, 13.2, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0)
```

mit *BDATBArtNr* = *BDat*-Baumartennummer (siehe Tabelle C.3), *D1* = BHD, *H1* = Messhöhe des BHD, *D2* = oberer Durchmesser, *H2* = Messhöhe des oberen Durchmessers, *H* = Baumhöhe, *Hxh* = Stockhöhe, *Hkz* = Höhenkennziffer, *Skz* = Stammkennziffer, *Az* =

5 Ableitung von Merkmalen

Grenzzopf, Hsh = Stammhöhe, Zsh = Mindestzopf für Stammholz, ZAb = Mindestzopf für oberen Stammholzabschnitt (siehe KUBLIN, 2002).

Die Parameter SKz , AZ , Zsh , ZAb werden für diese Funktion nicht verwendet und werden auf 0 gesetzt. Die Stammhöhe (Hsh) muss 0 sein. Wenn kein oberer Durchmesser gemessen wurde, ist für $D2$ der negative Formquotient $q03$ und für $H2$ der Wert 0 einzusetzen. Der Formquotient wird mit folgender $BDat$ -Funktion abgeleitet:

```
fc_FNB DAT_Q03_FTarif_MwQ03BWI(Formtarif, BDATB ArtNr, D1, ScheitelH)
    Beispiel: fc_FNB DAT_Q03_FTarif_MwQ03BWI(4, 1, 33.0, 28.0)
```

mit einem Formtarif für den jeweiligen Inventurzeitpunkt:

0 = Massentafel

1 = BWI1987

2 = BWI2002, neue Bundesländer

3 = IS 2008

4 = BWI2012

Wurde bei der BWI2002 ein oberer Durchmesser gemessen, bei der BWI2012 jedoch nicht, wird der Formquotient $q03$ von der BWI2002 für die Modellierung des Volumens zum Zeitpunkt der BWI2012 übernommen und vice versa.

Der Formquotient $q03$ berechnet sich nach:

$$q_{03} = D_{03}/D_{005} \quad (5.2.7.1)$$

$D005$ und $D03$ werden modelliert mittels:

```
fc_BDATDmRHx_Durchmesser(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, ScheitelH, H005)
fc_BDATDmRHx_Durchmesser(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, ScheitelH, H03)
```

mit $ScheitelH$ = Scheitelhöhe des Baumes ohne Kronen- oder Schaftbruch, $H005$ = Messhöhe des Durchmessers in 5% der Baumhöhe, $H03$ = Messhöhe des oberen Durchmessers in 30% der Baumhöhe

Das Erntevolumen $VolE$ eines Einzelbaumes setzt sich aus den Kompartimenten Stammholz, Industrieholz, dem nicht verwendeten Derbholz, dem oberen Abschnitt sowie dem x-Holz zusammen und wird durch folgenden Funktionsaufruf hergeleitet:

```
fc_BDAT20_StammholzEfm_oR(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, H, 0.3, Hkz, Skz, 0, Hsh, 0, 0)
+ fc_BDAT20_IndustrieholzEfm_oR(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, H, 0.3, Hkz, Skz, 0, Hsh, 0, 0)
+ fc_BDAT20_nverwDerbholz_oR(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, H, 0.3, Hkz, Skz, 0, Hsh, 0, 0)
+ fc_BDAT20_oberAbschnittEfm_oR(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, H, 0.3, Hkz, Skz, 0, Hsh, 0, 0)
+ fc_BDAT20_XHolzEfm_oR(BDATB ArtNr, D1, H1, D2, H2, H, 0.3, Hkz, Skz, 0, Hsh, 0, 0)
```

Für kleine Bäume zwischen 7 cm und 10 cm BHD liefert $BDat$ bei ungünstigen Konstellationen von BHD und Höhe negative Fehlerwerte. Zur Herleitung einer Volumenangabe für solche Bäume werden folgende Funktionen verwendet:

$$VolR = 0.000011364 * d_z^2 - 0.001065447 * d_z + 0.026079650 \quad (5.2.7.2)$$

$$VolE = 0.000008951 * d_z^2 - 0.000850412 * d_z + 0.018412163 \quad (5.2.7.3)$$

Tabelle 5.6: Standardwerte für das Volumen in Rinde in m^3 nach FAO-Definition für Bäume < 7 cm BHD

Baumarten- gruppe ^a	BHD in mm			
	0	25	55	65
Fichte	0	0,000959284	0,008075253	0,01268190
Tanne	0	0,000782400	0,007183764	0,01149135
Douglasie	0	0,000968387	0,007765834	0,01207125
Kiefer	0	0,001195477	0,008981243	0,01376877
Lärche	0	0,001265588	0,009745962	0,01501960
Buche	0	0,001146081	0,009202038	0,01430739
Eiche	0	0,001065996	0,008451154	0,01310464
aLh	0	0,001112065	0,008760558	0,01356614
aLn	0	0,001211409	0,009051539	0,01386055

^a siehe Tabelle C.3

$$vVolE = 0.000009577 * d_z^2 - 0.001205571 * d_z + 0.042557777 \quad (5.2.7.4)$$

d_z entspricht dem BHD in mm.

Ebenfalls abgeleitet wird das Volumen in Rinde, entsprechend der FAO-Definition aus dem Jahre 2000 (FAO, 2001), welches das Stammvolumen zwischen Stockhöhe und Baumspitze beinhaltet. Als Stockhöhe werden pauschal 1 % der Baumhöhe angenommen.

`fc_BDATVolABmR_Abschnittsvolumen_mR(BDATBartNr, D1, H1, D2, H2, H, StockH, H)`

mit `BDATBartNr` = *BDat*-Baumartennummer, `D1` = BHD, `H1` = Messhöhe des BHD, `D2` = oberer Durchmesser, `H2` = Messhöhe des oberen Durchmessers, `H` = Baumhöhe (als Abschnittsobergrenze), `StockH` = Stockhöhe als Abschnittsuntergrenze. Nur für das Volumen in Rinde, entsprechend der FAO-Definition werden Volumina auch für Bäume < 7 cm BHD abgeleitet. Dazu werden entsprechend der erfassten BHD-Stufen für Bäume zwischen 1,30 m Höhe und < 7 cm BHD die Standardwerte in Tabelle 5.6 herangezogen.

5.2.8 Oberirdische Biomasse

Seit 2012 stehen für die BWI und die nationale Treibhausgas-Berichterstattung neue Biomassefunktionen zur Verfügung. Diese beruhen auf rund 1600 Bäumen, vermessen und erhoben in Zusammenarbeit der Forstlichen Versuchsanstalten der Länder, koordiniert durch die FVA Baden-Württemberg (KÄNDLER und BÖSCH, 2013). Die Studie von KÄNDLER und BÖSCH (2013) bezieht sich hauptsächlich auf die vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Alle weiteren Baumarten mit Ausnahme der Weichlaubhölzer werden zu den bereits genannten Baumarten gruppiert.

Würden für die Weichlaubhölzer Funktionen und Koeffizienten der Baumart Buche angewandt, würde deren Biomasse deutlich überschätzt. Deshalb wurde über sogenannte Pseudobeobachtungen basierend auf den GRUNDNER und SCHWAPPACH (1952)-Tafeln für die Weichlaubhölzer eine Biomassefunktion gleichen Typs gefittet.

Die Funktionen zur Ableitung der oberirdischen Biomasse gliedern sich in drei Segmente:

- Bäume ≥ 10 cm BHD (Erst ab diesem Durchmesser wurden Bäume in der Studie von KÄNDLER und BÖSCH (2013) empirisch erhoben.),
- Bäume $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD (Interpolationsfunktion) sowie

- Bäume < 1,3 m Höhe (abgeleitet aus empirischem Datenmaterial).

Bei Bäumen < 1,3 m Höhe (hier kann kein BHD gemessen werden) ist eine Differenzierung nach den genannten 5 Baumartengruppen nicht mehr sinnvoll. Deshalb wird hier nur nach Nadel- und Laubholz unterschieden. In den Übergangsbereichen wurden die Funktionen mit Hilfe statistischer Verfahren geglättet, so dass die Bedingung der Stetigkeit weitestgehend erfüllt ist und Sprünge zwischen den Funktionen möglichst vermieden werden.

Detailliertere Beschreibungen und ein Vergleich zwischen den ursprünglichen synthetischen Biomassefunktionen basierend auf PISTORIUS ET AL. (2006) und den nunmehr auf empirischen Daten beruhenden Biomassefunktionen findet sich in RIEDEL und KÄNDLER (2017).

5.2.8.1 Biomasse von Prohebäumen ab 10 cm BHD

Die Baumartengruppen-spezifische Funktion zur Ableitung der oberirdischen Biomasse für Bäume ≥ 10 cm BHD ist definiert durch:

$$Biom_{o,z} = b_0 e^{b_1 \frac{dz}{dz+k_1}} e^{b_2 \frac{d_{03,z}}{d_{03,z}+k_2}} h_z^{b_3} \quad (5.2.8.1)$$

mit $Biom_{o,z}$ = oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum, $b_{0,1,2,3}$ und $k_{1,2}$ = Koeffizienten der Marklund-Funktion (Tabelle 5.7).

Das bei der Messkampagne gewonnene Datenmaterial (KÄNDLER und BÖSCH, 2013) umfasst einen BHD-Bereich von etwa 10 bis 80 cm. Die Biomasseschätzung im Rahmen der BWI muss darüber hinaus Dimensionen bis zu 2 m BHD abdecken. Wegen der nicht-linearen Natur der Biomassefunktionen besteht daher das Risiko, dass bei extrem starken Bäumen die Biomasseschätzung unrealistisch hohe Werte erreicht. Zur Reduktion dieses Effektes im Extrapolationsbereich oberhalb eines baumartenspezifischen Schwellendurchmessers wird das nicht-lineare Marklund-Modell linearisiert. D. h., der letzte Anstieg der Marklund-Funktion im empirischen Bereich wird linear extrapoliert (KÄNDLER und BÖSCH, 2013). Dieses Vorgehen entspricht einer Taylor-Linearisierung mit Abbruch nach dem Term erster Ordnung, wobei hier nur die erste Ableitung berücksichtigt wird. Die daraus resultierende Funktion zur Biomasseschätzung im oberen Extrapolationsbereich zeigt Gleichung 5.2.8.2:

Tabelle 5.7: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume ≥ 10 cm BHD

Baumart	b_0	b_1	b_2	b_3	k_1	k_2	RMSE %	BHD _s in cm
Fichte	0,75285	2,84985	6,03036	0,62188	42,0	24,0	11,2	69
Kiefer	0,33778	2,84055	6,34964	0,62755	18,0	23,0	15,6	59
Buche	0,16787	6,25452	6,64752	0,80745	11,0	135,0	18,8	86
Eiche	0,09428	10,26998	8,13894	0,55845	400,0	8,0	12,1	94
aLn	0,27278	4,19240	5,96298	0,81031	13,7	66,8	50,0 ^a	113

^a Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE % verfügbar, deshalb wurde der IPCC-Default von 50 % eingesetzt.

$$\begin{aligned}
 Biom_{o,z} = B_s \left[1 + \frac{b_1 k_1}{(BHD_s k_1)^2} (d_z - BHD_s) \right. \\
 + \frac{b_2 k_2}{(D03_s + k_2)^2} (d_{03,z} - D03_s) \\
 \left. + \frac{b_3}{H_s} (h_z - H_s) \right] \quad (5.2.8.2)
 \end{aligned}$$

mit $Biom_{o,z}$ = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum und B_s = Biomasse am Schwelldurchmesser BHD_s spezifisch für jede der 5 Baumartengruppen, aufgeführt in Tabelle 5.7. Die Baumartengruppen-spezifischen Parameter $D03_s$ und H_s am Schwelldurchmesser BHD_s werden durch die Gleichungen 5.2.8.3 u. 5.2.8.4 abgeleitet. Die entsprechenden Koeffizienten sind in Tabelle 5.8 gelistet.

$$D03_s = d_{03,z} + c_0 BHD_s^{c_1} - c_0 d_z^{c_1} \quad (5.2.8.3)$$

$$H_s = h_z + \left(a + \frac{b}{BHD_s} \right)^{-3} - \left(a + \frac{b}{d_z} \right)^{-3} \quad (5.2.8.4)$$

5.2.8.2 Biomasse von Probebäumen $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD

Die Funktion 5.2.8.5 stellt eine Interpolationsfunktion zwischen einer approximierten oberen Grenze der Funktion 5.2.8.6 für Bäume $< 1,3$ m Höhe und einer mittleren approximierten unteren Grenze der Funktion 5.2.8.1 für Bäume ≥ 10 cm BHD dar. Für Bäume < 7 cm BHD werden die Mittelwerte der erhobenen Durchmesserklassen eingesetzt, für Bäume ab 7 cm BHD die jeweiligen BHD-Werte.

$$Biom_{o,z} = b_0 + \left(\frac{b_s - b_0}{d_s^2} + b_3 (d_z - d_s) \right) d_z^2 \quad (5.2.8.5)$$

mit $Biom_{o,z}$ = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum, $b_{0,s,3}$ = Koeffizienten der Funktion, $d_s = 10$ cm = BHD_{max} (Gültigkeitsgrenze für diese Funktion).

5.2.8.3 Biomasse von Probebäumen $< 1,3$ m Höhe

Die Baumhöhe von Bäumen unter 1,3 m Höhe wird bei der Bundeswaldinventur lediglich in zwei Stufen erfasst: 20 – 50 cm und 50 bis 130 cm. In die Funktion 5.2.8.6 werden somit die jeweiligen Mittelwerte dieser Klassen — 35 cm und 90 cm — als Standardwerte eingesetzt:

Tabelle 5.8: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD, sowie die Koeffizienten zur Herleitung von $D03_s$ (c_0 u. c_1) u. H_s (a u. b)

Baumart	b_0 in kg	b_s in kg	b_3	c_0	c_1	a	b
Fichte	0,41080	26,63122	0,0136956	1,07843	0,91204	0,27407	2,22031
Kiefer	0,41080	19,99943	0,0091576	0,89009	0,95747	0,29722	1,98688
Buche	0,09644	33,22328	0,0116212	0,84014	0,9897	0,29397	1,76894
Eiche	0,09644	28,94782	0,0150089	0,87633	0,98279	0,31567	1,63335
aLn	0,09644	16,86101	-0,0055086	0,8672	0,96154	0,28064	2,40288

Tabelle 5.9: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe

Baumart	b_0	b_1	Baumart	b_0	b_1
Fichte	0,23059	2,20101	Buche	0,04940	2,54946

$$Biom_{o,z} = b_0 h_z^{b_1} \quad (5.2.8.6)$$

mit $Biom_{o,z}$ = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum, $b_{0,1}$ = Koeffizienten der Funktion 5.2.8.6, aufgeführt in Tabelle 5.9.

5.2.9 Unterirdische Biomasse

Die unterirdische Biomasse soll möglichst mit zur oberirdischen Biomasse vergleichbaren und transparenten Methoden hergeleitet werden. Daher kommen zur Modellierung der unterirdischen Biomasse ebenfalls Biomassefunktionen zum Einsatz, welche auf reviewten Artikeln für die 5 Baumartengruppen Fichte, Kiefer, Buche, Eiche und aLn basieren (siehe Tabelle 5.10). Die gewählten Funktionen folgen der Form:

$$Biom_{u,z} = b_0 d_z^{b_1} \quad (5.2.9.1)$$

mit $Biom_{u,z}$ = unterirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum, $b_{0,1}$ = Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktion.

Neben der Thünen-Institut-eigenen Kiefernfunktion (NEUBAUER ET AL., 2015) ist auch die Funktion von DREXHAGE und COLIN (2001) in BOLTE ET AL. (2003) für Eiche in Europa einmalig.

Die gewählten Funktionen für Buche und Fichte (BOLTE ET AL., 2003) decken einen wesentlich breiteren Bereich in der BHD-Verteilung ab, vor allem im stärkeren Bereich, als vergleichbare Studien von WUTZLER ET AL. (2008) und WIRTH ET AL. (2004). Die hier verwendeten Funktionen haben somit einen deutlich geringeren Extrapolationsbereich, wodurch eine Überschätzung der Biomassewerte mit zunehmender Dimension vermieden bzw. abgeschwächt wird (siehe Abbildung 5.4).

Tabelle 5.10: Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktionen

Baumart	b_0	Parameter	b_1	RMSE %	Region	Quelle
Fichte	0,003720	BHD [cm]	2,792465	34,6	Solling	(BOLTE ET AL., 2003)
Kiefer	0,006089	BHD [cm]	2,739073	26,3	Barnim	(NEUBAUER ET AL., 2015)
Buche	0,018256	BHD [cm]	2,321997	49,0	Solling	(BOLTE ET AL., 2003)
Eiche	0,028000	BHD [cm]	2,440000	50,0 ^d	Nordost Frankreich	(DREXHAGE und COLIN, 2001) in (BOLTE ET AL., 2003)
aLn ^{a,b}	0,000010	BHD [mm]	2,529000	9,6	Südschweden	(JOHANSSON und HJELM, 2012)
aLn ^{a,c}	0,000116	BHD [mm]	2,290300	15,9	Südschweden	(JOHANSSON und HJELM, 2012)

^a Der mittlere RMSE % beider Funktionen (Wurzelstumpfmasse + Wurzelmasse) beträgt 24,2 %.

^b Wurzelbiomasse

^c Wurzelstumpfbiomasse

^d keine Angabe des RMSE % verfügbar, deshalb Verwendung des IPCC-Default von 50 %

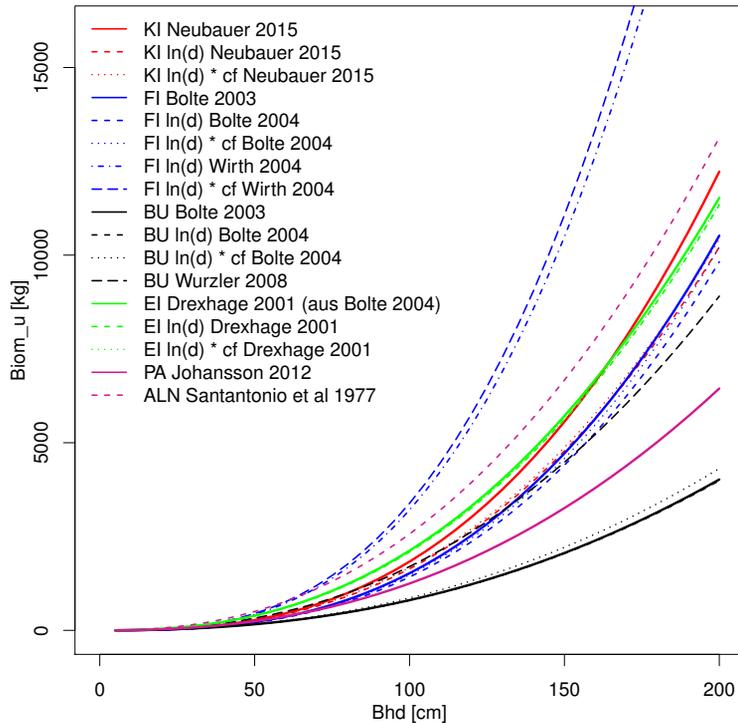


Abbildung 5.4: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse

5.2.10 Standfläche von Bäumen

Wie schon bei der Auswertung der BWI 1987 und BWI 2002 wurde der Hauptbestand an den Traktecken in rechnerische (ideelle) Reinbestände aufgeteilt. Die betrachteten Zielgrößen beziehen sich somit nicht auf die gesamte Traktecke, sondern lediglich auf die Standflächenanteile der jeweiligen Baumart bzw. Baumartengruppe auf der Traktecke mit einem Flächenanteil ≤ 1 .

Dieses Konzept wurde gewählt, a) um den Wunsch nach Vergleichswerten zu den klassischen Ertragstafeln bedienen zu können und b) um rein Baumarten- bzw. Baumartengruppen-bezogene Effekte besser zu verdeutlichen. So hat bspw. die Fichtenfläche und das Vorratstotal der Fichte bei der BWI 2012 abgenommen, der Vorrat bezogen auf die Fichtenfläche ist jedoch gestiegen.

Auswertungen des Hauptbestandes schließen den Plenterwald mit ein. Hierzu wurde für jeden Baum des Hauptbestandes — egal ob durch WZP/ZF4 oder durch 1 m- bzw. 2 m-Probekreis erfasst (siehe auch Abschnitt 5.3.1) — eine Standfläche Sfl_z geschätzt. Diese Standfläche entspricht etwa der Kronenprojektionsfläche. Die Standfläche eines Baumes beschreibt die Formel 5.2.10.1; deren Koeffizienten α und β sind in Tabelle 5.11 dargestellt:

$$Sfl_z = \alpha + \beta g_z \quad (5.2.10.1)$$

Die Konstanten α und β wurden für 13 Baumartengruppen von der FVA Baden-Württemberg für die BWI 1987 bestimmt. α orientiert sich an den Ausgangsstandflächen bei Kunstver-

5 Ableitung von Merkmalen

jüngungen, wobei $10.000 \text{ m}^2/\text{ha}$ dividiert durch die Pflanzenzahl einer Kunstverjüngung von z Bäumen pro Hektar entspricht.

Für den Hektarbezug $\dots^{(ha)}$ müssen die Einzelbaumstandflächen des Hauptbestandes so normiert werden, dass sie summarisch 10.000 m^2 ergeben. Hierzu wird die Einzelbaumstandfläche mit einem Traktecken-bezogenen Korrekturfaktor multipliziert:

$$\begin{aligned} Sfl_z^{HB} &= Sfl_z KF^{HB}(x_m) \\ Sfl_z^B &= Sfl_z KF^B(x_m) \end{aligned} \quad (5.2.10.2)$$

Der Korrekturfaktor je Traktecke $KF(x_m)$ zur Normierung der Standflächen im Hauptbestand auf 10.000 m^2 wird abgeleitet aus:

$$\begin{aligned} KF^{HB}(x_m) &= \frac{10000}{\sum_{z=1}^Z N_z^{HB,(ha)} Sfl_z} \\ KF^B(x_m) &= \frac{10000}{\sum_{z=1}^Z N_z^{B,(ha)} Sfl_z} \end{aligned} \quad (5.2.10.3)$$

Bäume im Nebenbestand bleiben unberücksichtigt, da sie sich ihre Standfläche mit dem Hauptbestand teilen. Deshalb beziehen sich Angaben zum Hektarvorrat der Baumarten oder Altersklassen nur auf den Hauptbestand (rechnerischer Reinbestand). An Traktecken ohne Probestämme im Hauptbestand wird die Fläche keiner Baumart zugeordnet. Stattdessen werden diese Flächen zugeordnet zu:

- Lücken, wenn die Waldart bestockter Holzboden ist (Waldart = 5 nach Aufnahmeanweisung)
- Blößen, wenn es sich um temporär unbestockten Holzboden (Waldart = 3 nach Aufnahmeanweisung) handelt.

Tabelle 5.11: Koeffizienten der Standflächenformel

Baumartengruppe ^a	α	β	Höchststammzahl	Zugeordnete Baumarten
Fichte	2,85	195	3500	Alle Fichten sowie Lebensbaum, Hemlockstanne, Mammutbaum, Eibe, Lawsonszyresse, sonstige Nadelbäume
Tanne	2,85	200	3500	alle Tannen außer Hemlockstanne
Douglasie	5,00	200	2000	Douglasie
Kiefer	1,00	300	10000	alle Kiefern
Europäische Lärche	5,00	285	2000	Europäische Lärche
Japanische Lärche	5,00	260	2000	Japanische Lärche (+Hybrid)
Buche	1,33	300	7500	Buche, Hainbuche (Weißbuche)
Eiche	1,11	395	9000	Stieleiche, Traubeneiche, Zerreiche, Sumpfeiche
Roteiche	2,50	350	4000	Roteiche
Esche	2,50	330	4000	Alle sonst nicht genannten Laubbäume
Erle	2,50	435	4000	Erle, Schwarzerle, Weißerle/ Grauerle, Grünerle
Birke	2,50	525	4000	Gemeine Birke, Moorbirke (+Karpatenbirke)
Pappel	23,00	320	350	Alle Pappeln

^a siehe auch Tabelle C.3

5.2.11 Totholzvolumen

Aus den aufgenommenen Merkmalen an den einzelnen Totholzstücken werden die Merkmale Volumen je Totholzstück in m^3 und in m^3/ha abgeleitet.

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 Programm-bibliothek *BDat* das Volumen hergeleitet. Bei der Totholzart 3 = stehend oder liegend, Bruchstück (mit Wurzelauftrieb) wird ebenfalls der BHD und die Höhe erfasst und anschließend mit *BDat* das Volumen für *gebrochene* Bäume berechnet. Für Bruchstücke mit Wurzelauftrieb < 3 m Länge bzw. Höhe liefert *BDat* jedoch unplausible Totholzvolumina, da es für diesen Wertebereich nicht entsprechend parametrisiert wurde. Alternativ wurde für diese Totholzstücke die Zylinderformel angewandt, wobei deren BHD als Prädiktor für den Durchmesser einfließt.

Seit der IS 2008 ist die Aufnahmeschwelle für Totholz von 20 cm am stärkeren, wurzel-seitigen Ende auf 10 cm abgesenkt worden. Dies geschah vor allem, um den Anforderungen in der Klimaberichterstattung gerecht zu werden (IPCC GPG, 2003).

Zudem wird seit der IS 2008 zusätzlich zur Längenmessung statt des Mittendurchmessers nun der Durchmesser an beiden Enden gemessen. Das Einzelstückvolumen wird nach der Volumenformel für einen Kegelstumpf abgeleitet, statt — wie früher — mit der Walzenformel. Dementsprechend lautet die Formel zur Herleitung des Volumens eines Totholzstückes in m^3 :

$$totV_{gesamt,z} = \frac{\pi * totL_z}{3 * 10} \left(\left(\frac{totD_{max,z}}{2 * 100} \right)^2 + \frac{totD_{min,z}}{2 * 100} * \frac{totD_{max,z}}{2 * 100} + \left(\frac{totD_{min,z}}{2 * 100} \right)^2 \right) \quad (5.2.11.1)$$

Die Division durch $2 * 100^2$ in Formel 5.2.11.1 folgt aus der Umwandlung des Ø-Messwertes in cm in einen Radiuswert in m. Die Division durch 10 folgt aus der Umwandlung des Höhen- bzw. Längenmesswertes von dm in m.

$totV_{gesamt,z}$ beinhaltet auch Volumenanteile, deren Durchmesser < 10 cm sind. Diese müssen für bestimmte Fragestellungen — bspw. um internationale Berichtspflichten entsprechend deren Kriterien bedienen zu können — abgezogen werden. Die Länge des abzu-ziehenden Totholzstückes $totL_{abzug,z}$ wird mit Hilfe des zweiten Strahlensatz (Abbildung 5.5) ermittelt.

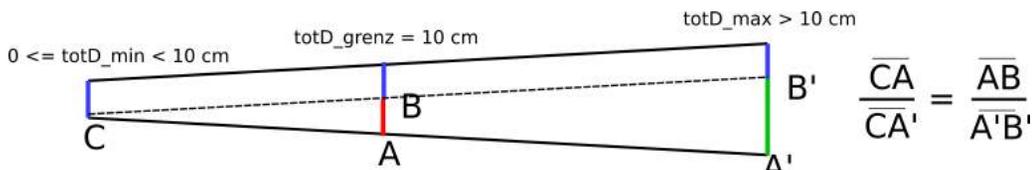


Abbildung 5.5: Anwendung des zweiten Strahlensatzes an einem Totholzstück

Dementsprechend lautet die Formel zur Berechnung der Länge des abzuziehenden Totholzstückes $totL_{abzug,z}$:

$$totL_{abzug,z} = \frac{totL_z(10 - totD_{min,z})}{(totD_{max,z} - totD_{min,z})} \quad (5.2.11.2)$$

$totL_{abzug,z}$ und die entsprechenden Durchmesser $totD_{min,z}$ und $totD_{grenz,z} = 10$ können nun zur Berechnung des in Abzug zu bringenden Volumens in Formel 5.2.11.1 eingesetzt

werden. Das Totholzvolumen mit einem Durchmesser ≤ 10 cm resultiert aus der Differenz von $totV_{gesamt,z} - totV_{grenz,z}$. Anschließend kann für jedes Totholzstück das repräsentierte Volumen pro Hektar abgeleitet werden:

$$totV_z^{(ha)} = \frac{totV_z * 10000}{A_{500}^W} \quad (5.2.11.3)$$

Das Volumen für die Totholzarten 1 = liegendes Totholz, 4 = Wurzelstöcke und 5 = Abfuhrreste wurde bei den Erhebungen vor der BWI2012 aus den Mittendurchmessern unter Verwendung der Walzenform-Formel 5.2.11.4 berechnet:

$$totV_z = \frac{\pi * totD_z^2 * totL_z}{4 * 100^2 * 10} \quad (5.2.11.4)$$

Für die Vergleichbarkeit mit früheren Inventuren, d.h. für die Anwendung der Walzenformel müssen die Messungen der BWI2012 vom dünneren und stärkeren Ende arithmetisch gemittelt und entsprechend in Formel 5.2.11.5 eingesetzt werden:

$$totV_z = \frac{\pi * totL_z}{3 * 10} \left(\frac{totD_{max,z}}{2 * 100} + \frac{totD_{min,z}}{2 * 100} \right)^2 \quad (5.2.11.5)$$

5.2.11.1 Vergleichbarkeit der Volumenformeln für Totholz

Bei den verschiedenen Inventuren wurden unterschiedliche Formeln (Walzenvolumen und Kegelstumpf-Volumen) zur Berechnung der Totholzvolumina angewandt. Mit Hilfe der Messdaten der Inventurstudie 2008 wurde geprüft, ob die mit den unterschiedlichen Formeln berechneten Volumen-Werte vergleichbar sind. Aus der Inventurstudie liegen sowohl Durchmesser-Messungen vom starken und vom dünnen Ende der Totholzstücke als auch der Mittendurchmesser vor. Beide Formeln zur Ermittlung des Volumens können daher angewandt und verglichen werden.

In einer ersten Prüfung wurden alle liegenden Totholzstücke selektiert, aus deren Durchmesser-Messungen vom starker und dünnen Ende das arithmetische Mittel gebildet und den gemessenen Mittendurchmessern in einem gepaarten t-Test gegenübergestellt. Tabelle 5.12 zeigt signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) zwischen den mittleren Durchmessern.

Ebenso gibt es signifikante Unterschiede beim Laubholz ohne Eiche und beim Eichenholz zwischen den Totholzvolumina, berechnet nach der Walzen- oder der Kegelstumpf-Formel. Signifikant verschieden sind ebenfalls die mit der Walzenformel berechneten Totholzvolumina, hergeleitet einerseits an Hand des gemessenen Mittendurchmesser und andererseits mit dem aus den Durchmessern am starken und dünnen Ende arithmetisch gemittelten Durchmesser mit Ausnahme von Laubholz ohne Eiche.

Da jedoch bei der BWI2002 nur Totholzstücke mit einem Durchmesser ≥ 20 cm am stärkeren Ende erfasst wurden, sind nur diese für die Veränderungsrechnungen relevant. Deshalb erfolgte in einem zweiten Schritt die Selektion der Totholzstücke mit ≥ 20 cm Durchmesser am stärkeren Ende. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.13 aufgeführt. Die Laubhölzer zeigen beim Vergleich beider Durchmesser-Varianten und beider Volumen-Varianten keine signifikanten Unterschiede.

5.2 Ableiten von Merkmalen auf Objektebene für einen BWI-Zeitpunkt

Tabelle 5.12: Ergebnisse des gepaarten t-Tests zur Durchmessermessung aller Totholzstücken, grün: = keine signifikanten Unterschiede, blau: signifikante Unterschiede bei $\alpha = 0,1$, schwarz: signifikante Unterschiede bei $\alpha = 0,05$

Population	n	p-value	mittlere Differenz	Konfidenzintervall	
				untere Grenze	obere Grenze
Durchmesser in cm					
alle	12504	0,0000000	-0,0944498	-0,1263805	-0,0625190
Nadelholz	8477	0,0003748	-0,0655303	-0,1016269	-0,0294336
Laubholz ohne Eiche	3411	0,0003207	-0,1285547	-0,1985364	-0,0585730
Eichenholz	616	0,0000964	-0,3035714	-0,4554442	-0,1516986
Volumen in m³ (Vergleich zw. Walzen- und Kegelstumpf-Formel)					
alle	12504	0,0002340	-0,0029853	-0,0045754	-0,0013953
Nadelholz	8477	0,0000000	-0,0023593	-0,0029184	-0,0018001
Laubholz ohne Eiche	3411	0,0735928	-0,0051410	-0,0107731	0,0004911
Eichenholz	616	0,8380573	0,0003354	-0,0028864	0,0035573
Volumen in m³ (Vergleich zw. Walzen-Formel nach gem. Mitten-\emptyset und arithmet. Mittel)					
alle	12504	0,0362637	0,0023735	0,0001519	0,0045951
Nadelholz	8477	0,0000000	0,0026579	0,0017585	0,0035573
Laubholz ohne Eiche	3411	0,9400394	0,0002959	-0,0074158	0,0080075
Eichenholz	616	0,0104641	0,0099640	0,0023442	0,0175838

Tabelle 5.13: Ergebnisse des gepaarten t-Tests zur Durchmessermessung aller Totholzstücken mit einem Durchmesser ≥ 20 cm am stärkeren Ende, grün: = keine signifikanten Unterschiede, blau: signifikante Unterschiede bei $\alpha = 0,1$, schwarz: signifikante Unterschiede bei $\alpha = 0,05$

Population	n	p-value	mittlere Differenz	Konfidenzintervall	
				untere Grenze	obere Grenze
Durchmesser					
alle	3030	0,0002631	0,1955446	0,0906006	0,3004885
Nadelholz	2117	0,0000128	0,2534247	0,1397968	0,3670525
Laubholz ohne Eiche	783	0,4553375	0,0957854	-0,1559517	0,3475226
Eichenholz	130	0,5781787	-0,1461538	-0,6648791	0,3725714
Volumen (Vergleich zw. Walzen- und Kegelstumpf-Formel)					
alle	3030	0,0008487	-0,0111084	-0,0176301	-0,0045867
Nadelholz	2117	0,0000000	-0,0083340	-0,0103859	-0,0062821
Laubholz ohne Eiche	783	0,1011385	-0,0205083	-0,0450363	0,0040198
Eichenholz	130	0,9649390	0,0003279	-0,0144006	0,0150563
Volumen (Vergleich zw. Walzen-Formel nach gem. Mitten-\emptyset und arithmet. Mittel)					
alle	3030	0,6960208	0,0018076	-0,0072632	0,0108784
Nadelholz	2117	0,0643293	0,0029922	-0,0001782	0,0061626
Laubholz ohne Eiche	783	0,7395595	-0,0056913	-0,0392859	0,0279033
Eichenholz	130	0,1199114	0,0276837	-0,0073034	0,0626708

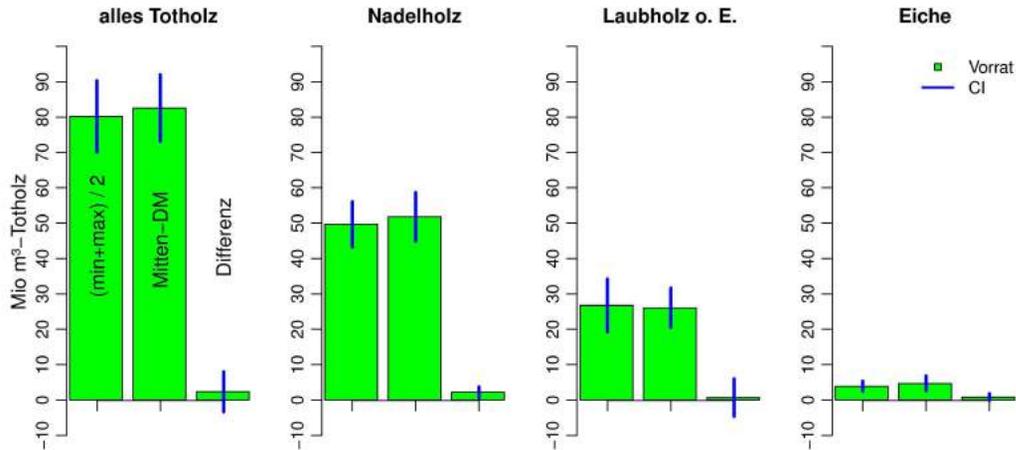


Abbildung 5.6: Totaler Vorrat in m^3 für Totholz ab 20 cm Durchmesser am stärkeren Ende inkl. Vertrauensintervall (CI) zum Zeitpunkt der IS 2008 in Abhängigkeit von der Ermittlung des Mittendurchmessers (Messung des Mittendurchmessers vs. arithm. Mittel aus Durchmesser am stärkeren und dünneren Ende) und deren Differenz

Betrachtet man die Volumina nach der Walzen-Formel, getrennt nach beiden Varianten der Durchmesser-Ermittlung, sind für alle Totholzgruppen keine signifikanten Unterschiede nachweisbar. Dieser Fakt ist entscheidend, da für die Veränderungsrechnungen zwischen BWI 2002 und BWI 2012 nur die Walzenformel angewandt werden kann. Zu welchem Unterschied die Differenzen in der Schätzung des Total-Totholzvorrates basierend auf dem Vergleich zwischen Walzen-Formel nach gemessenen Mittendurchmesser und arithmet. Mittel führen, zeigt Abbildung 5.6.

5.2.12 Biomasse von Totholzstücken

Für die Konvertierung des Totholzvolumens in Biomasse nach Formel 5.2.12.1 werden Holzdichten (Tabelle 5.14) verwendet, welche zwischen Laubholz (MÜLLER-USING und BARTSCH, 2009) bzw. Nadelholz (FRAVER ET AL., 2002) und dem Zersetzungsgrad des Totholzes differieren.

$$totB_z^{(ha)} = totV_z^{(ha)} * \rho_{Totholzgruppe, Zersetzungsgrad} \quad (5.2.12.1)$$

5.2.13 Waldrandlänge/Bestandesrandlänge

Waldränder und Bestandesränder wurden im Probekreis $r = 25$ m mit ihren Polarkoordinaten bezüglich der Traktecken eingemessen. Es waren maximal zwei gerade oder geknickte Ränder zugelassen. Für sie wurden pro Randabschnitt die Länge innerhalb des 25-m-Probekreises und die Exposition hergeleitet. Die Länge je Wald- bzw. Bestandesrandabschnitt in cm wurde mit der bereits erwähnten Programmibliothek *grenz.dll* hergeleitet (siehe Abschnitt 5.2.2).

Tabelle 5.14: Holzdichten nach Totholzgruppen und Zersetzungsgrad

Totholzgruppe	Zersetzungsgrad	ρ
Nadelholz	1 frisch abgestorben	0,372
Nadelholz	2 beginnende Zersetzung	0,308
Nadelholz	3 fortgeschrittene Zersetzung	0,141
Nadelholz	4 stark vermodert	0,123
Laubholz	1 frisch abgestorben	0,58
Laubholz	2 beginnende Zersetzung	0,37
Laubholz	3 fortgeschrittene Zersetzung	0,21
Laubholz	4 stark vermodert	0,26

Der Hektarbezug für Waldinnenränder/Bestandesränder wird hergestellt über die Beziehung:

$$wrl^{(ha)} = \frac{wrl * 10000}{100 * A_{2500}} \cong wrl * 0,05093 \quad (5.2.13.1)$$

Der Hektarbezug für Waldaußenränder und Bestandesränder zu Nichtholzboden wird hergestellt über die Beziehung:

$$wrl^{(ha)} = \frac{2 * wrl * 10000}{100 * A_{2500}} \cong wrl * 0,10186 \quad (5.2.13.2)$$

Der Faktor 2 in Formel 5.2.13.2 steht für die Verdopplung der Waldrandlänge bei Waldaußenrändern, da bei der BWI nur Waldpunkte und keine Nichtwaldpunkte aufgenommen werden. Würde die Waldrandlänge allein auf Basis der Waldpunkte geschätzt werden, führt dies — auf Grund der Unterschlagung der Waldränder auf Probeflächen außerhalb Wald — zu einer Unterschätzung dieser Zielgröße (siehe Abbildung 5.7).

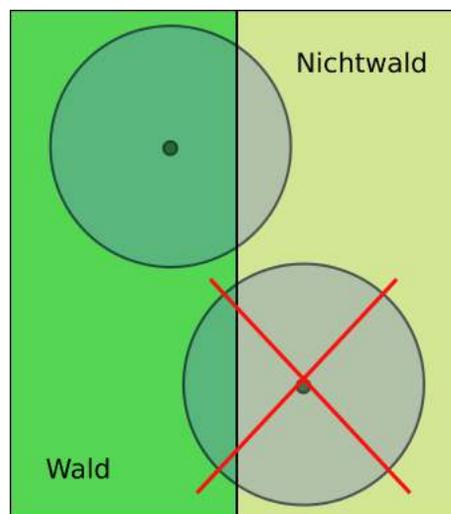


Abbildung 5.7: Erhebung der Waldrandlinie an Stichprobenpunkten innerhalb und außerhalb Wald

Der Faktor 2 in Formel 5.2.13.2 gilt jedoch nur unter folgenden Annahmen: Innerhalb und außerhalb Wald erfassen identisch viele Punkte Waldränder und die Waldrandformen (konkav, konvex) und deren Verteilungen sind innerhalb und außerhalb Wald identisch.

Ob der Faktor 2 — vor allem auf Bundesland-Ebene — auch in der Realität haltbar ist, wurde an Hand eines ATKIS-Datensatzes untersucht. Hierzu wurden alle Waldflächen aus dem Basis-DLM des ATKIS 2008 extrahiert, in eine Postgres-Datenbank eingelesen, sich überlagernde Flächen vereinigt, Sliver-Polygone entfernt und anschließend aneinander grenzende Waldflächen vereinigt. Nun konnten die Waldränder des Basis-DLM, welche durch die BWI 2002-Traktecken (Punkte, gepuffert mit einem 25 m-Radius) erfasst werden würden, extrahiert und mit der Formel 5.2.13.2 ohne den Faktor 2 in hektarbezogene Werte umgerechnet werden. Die Multiplikation mit dem Faktor 2 war nicht nötig, da in der Verschneidung der BWI 2002-Traktecken mit dem Basis-DLM sowohl Waldränder auf Waldtraktecken als auch Waldränder auf Nichtwaldtraktecken erfasst werden.

Wie viele Traktecken innerhalb und außerhalb Wald Waldränder erfassen, zeigt Tabelle 5.15 auf Seite 47. Tabelle 5.15 beinhaltet auch die Schätzung der Waldrandlänge pro Hektar sowie den mit dem Basis-DLM erzielten Korrekturfaktor. Dieser müsste mit dem Faktor 2 übereinstimmen. Der mit dem Basis-DLM erzielte Korrekturfaktor liegt im Mittel für das gesamte Bundesgebiet bei 1,98, nicht bei exakt 2. Zwischen den Bundesländern schwankt dieser Korrekturfaktor zwischen 1,73 und 2,2 für die Flächenländer.

Zusätzlich wurden die Waldrandlängen innerhalb und außerhalb Wald (für Traktecken mit Waldrandlänge pro ha > 0) mit einem t-Test verglichen. In den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Saarland und Berlin unterscheiden sich die Waldrandlängen nicht signifikant, unabhängig, ob Varianzgleichheit oder Varianzungleichheit vorausgesetzt wird. In den nicht erwähnten Bundesländern besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den erfassten Waldrandlängen innerhalb und außerhalb Wald.

Ein Vergleich der BWI 2002-Waldrandlängen (pro Hektar) mit den Basis-DLM-Waldrandlängen (pro Hektar) zeigt auf den ersten Blick moderate Unterschiede (siehe Tabelle 5.15), welche jedoch summarisch beim Totalwert (BWI 2002: rund 700.000 km) zu einem Unterschied von etwa 85.000 km Waldrandlänge führen.

Die mit Hilfe des Basis-DLM geschätzten Korrekturfaktoren selbst sollten nicht für die Berechnung der BWI-Waldrandlängen herangezogen werden, da:

- die Walddefinitionen zwischen BWI und ATKIS nicht identisch sind,
- die ATKIS-Klassen Wald und Gehölze zuweilen fließend ineinander übergehen, letztere hier jedoch nicht berücksichtigt wurden,
- ATKIS nicht unterscheidet zwischen bestockten und unbestockten Holzboden sowie zwischen begeharen und nicht begeharen Wald.

Aus all diesen Gründen ist bei der Interpretation der Waldrandlängenschätzung Vorsicht geboten.

5.2.14 Exposition des Waldrandes

Die Waldrandexposition je Wald- bzw. Bestandesrandabschnitt in gon wird ebenfalls über die *grenzkreis.dll* ermittelt. Auswertungen erfolgen anschließend klassifiziert nach den vier bzw. acht Haupthimmelsrichtungen.

Tabelle 5.15: Überprüfung des Faktors 2 zur Schätzung der Waldrandlängen (WRL), P-Value: Ist dieser Wert $> 0,05$, sind keine signifikanten Unterschiede nachweisbar zwischen den Waldrandlängen, erfasst durch Punkte innerhalb Wald und den Waldrandlängen, erfasst durch Punkte außerhalb Wald

Bl	Anzahl Traktecken	Traktecken mit WR		WRL pro ha		Ratio Nichtwald / Wald	Faktor	T-Test für Ecken P-Value	WRL/ha > 0		Vergleich Ratio		
		im Wald	im Nichtwald	im Wald	im Nichtwald				im Wald	im Nichtwald	Basis-DLM 2008	BWI 2002	Differenz
SH	15.830	438	484	74,191	58,172	0,784	1,784	0,076	287,280	203,842	132,4	117,1	-15,26
HH	203	4	8	49,435	76,223	1,542	2,542	0,623	222,457	171,502	125,7		
NI	18.310	720	817	53,287	49,974	0,938	1,938	0,000	259,330	214,331	103,3	88,2 ^a	-15,06
HB	100	0	0	0,000	0,000				0,000	0,000	0,0		
NW	8.564	478	559	54,243	53,644	0,989	1,989	0,000	249,543	211,023	107,9	75,4	-32,49
HE	5.312	241	201	22,086	18,847	0,853	1,853	0,534	204,275	209,008	40,9	47,6	6,67
RP	19.912	1.300	1.274	35,015	33,398	0,954	1,954	0,109	226,413	220,363	68,4	55,9	-12,51
BW	35.716	1.862	1.823	28,944	28,412	0,982	1,982	0,847	214,875	215,439	57,4	71,1	13,74
BY	22.026	1.299	1.370	38,392	38,542	1,004	2,004	0,005	224,824	214,006	76,9	72,1	-4,83
SL	660	59	48	53,857	39,156	0,727	1,727	0,176	236,425	211,281	93,0	81,4	-11,61
BE	232	8	3	44,990	11,868	0,264	1,264	0,241	224,952	158,243	56,9		
BB	7.476	300	412	24,155	30,752	1,273	2,273	0,032	223,435	207,128	54,9	40,5 ^a	-14,41
MV	23.092	873	954	37,067	38,009	1,025	2,025	0,002	221,680	208,014	75,1	56,7	-18,38
SN	9.222	507	570	43,664	44,483	1,019	2,019	0,002	233,135	211,254	88,1	57,6	-30,55
ST	5.128	184	186	36,562	31,536	0,863	1,863	0,000	238,846	203,797	68,1	72,2	4,10
TH	7.617	354	351	34,917	31,052	0,889	1,889	0,001	233,077	209,051	66,0	52,9	-13,07
Dtl	179.400	8.627	9.060	37,343	36,521	0,978	1,978	0,000	230,600	212,791	73,9	66,2	-7,66

^a Wert bezieht sich auf NI + HH + HB bzw. BB + BE

5.3 Ableiten von Merkmalen auf Trakteckenebene für einen BWI-Zeitpunkt

5.3.1 Flächenanteile ideell/reell

Ergebnistabellen zu Waldflächen werden i. d. R. gegliedert (klassifiziert; $1, \dots, k, \dots, K$) nach Merkmalen, die an den Aufnahmeeinheiten Trakt oder Traktecke erhoben wurden und diese als Ganzes beschreiben (z. B. Land, Höhe über NN, Eigentumsart, Bestockungstyp). Auswertungen, die nach diesen Merkmalen klassifizieren, spiegeln tatsächlich existierende, reelle Waldflächen wider.

In einigen Fällen werden diese Aufnahmeeinheiten jedoch weiter aufgeteilt: Z. B. werden Mischbestände in gleichaltrige Reinbestände (gleiche Altersklasse und Baumart) aufgeteilt. Die Aufteilung in rechnerische (ideelle) Reinbestände erfolgt bei der BWI unterschiedlich. Die real existierende Bestockung wird dazu nach Standflächen aufgesplittet (siehe Abschnitt 5.2.10), getrennt für die:

- Bäume des Hauptbestandes (Bäume aus WZP/ZF4 oder aus den Probekreisen),
- Altbestockung (Bäume ≥ 4 m aus WZP/ZF1 o. 2) nach Grundflächenanteilen einer Baumart und
- Jungbestockungen (Bäume < 4 m im 10 m-Probekreis) nach Deckungsgrad einer Baumart.

Auch hier ist bei der Auswahl der Objekte nach bestandesübergreifender oder bestandesinterner Betrachtung zu unterscheiden.

Wenn in einer Domain als Zielmerkmal ein *Wert pro Hektar* oder *Anteil an einer (Wald-) Fläche* ermittelt werden soll, handelt es sich um sogenannte Ratio-Schätzer, also Zielgrößen bezogen auf eine Fläche. Diese Bezugsfläche im Nenner kann eine reelle oder ideelle Fläche sein. Entsprechend haben auch die daraus abgeleiteten Ratio-Schätzer entweder einen reellen oder ideellen Flächenbezug. Insbesondere für Derbholz-Auswertungen werden in Deutschland meist *Werte/ha* mit einem ideellen Flächenbezug verwendet. Sie liefern v. a. Zielgrößen für gleichaltrige Reinbestände zum Vergleich mit klassischen Ertragstafeln. Ratio-Schätzer mit ideellem Flächenbezug können zum Teil aber auch Entwicklungen innerhalb einer Domain deutlicher spiegeln. So hat z. B. in der Inventurperiode BWI 2002 – BWI 2012 die Fichtenfläche und auch der Fichtenvorrat abgenommen; der Fichtenvorrat auf der verbleibenden Fichtenfläche hat jedoch weiter zugenommen.

Ein Vergleich von *Werte/ha* zwischen Derbholz-Auswertungen mit reellem und ideellem Flächenbezug zeigt: Bei reellem Flächenbezug addieren sich die Einzelergebnisse zum Gesamtergebnis einer Ergebnistabelle, bei ideellem Flächenbezug hingegen sind die Einzelergebnisse wegen der kleineren Bezugsfläche deutlich höher und addieren sich nicht zum Gesamtergebnis. Das Gesamtergebnis ist im letzteren Fall ein flächengewogenes Mittel der Einzelergebnisse.

Werden bei der Auswertung reelle Flächenanteile zu Grunde gelegt, ist der Anteil auf der Traktecke binomial definiert, d. h. die Traktecke gehört zur Domain (1) oder gehört nicht dazu (0), z. B. nach Eigentumsart oder Bestockungstypen, $k = 1, 2, \dots$:

$$p^k(x_m) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in F^k \\ 0 & \text{if } x \notin F^k \end{cases} \quad (5.3.1.1)$$

Bei vielen Derbholz-Auswertungen werden ideelle Anteile betrachtet, die aus Standflächenanteilen für Bäume des Hauptbestandes pro Traktecke m ermittelt werden:

$$p^{HB,k}(x_m) = \sum_{z=1}^Z \frac{N_z^{(ha),k} Sfl_z^{HB,k}}{10000} \quad (5.3.1.2)$$

Flächen können auch nach anderen Kriterien ideell aufgeteilt werden, z.B. für Altbestockungen nach:

$$p^{HB,k}(x_m) = \frac{\sum_{z=1}^{Z,k} g_z^{HB,k}}{\sum_{z=1}^Z g_z^{HB}} \quad (5.3.1.3)$$

und für Jungbestockungen nach:

$$p^{HB,k}(x_m) = \frac{DG^{HB,k} * DA^{HB,k}}{100} \quad (5.3.1.4)$$

wobei DG definiert ist durch:

$$p^{HB,k}(x_m) = \frac{DG^{HB,k}}{10} \quad (5.3.1.5)$$

Für die bestandesinterne Betrachtung lauten die Formeln 5.3.1.2 bis 5.3.1.5 entsprechend, in dem HB durch B ersetzt wird.

5.3.2 Bestockungstypen

Die Bestockungstypen werden aus den Aufnahmen zur horizontalen und vertikalen Struktur des Baumbestandes für die Traktecke hergeleitet (BMELV, 2011, Abschnitt 5.7.1). Die Datengrundlage bilden die Baumartenanteile in der Bestockung, die entweder mit der Winkelzählprobe (Zählfaktor 1 bzw. 2) oder im Probekreis $r = 10$ m erfasst wurden. Bestockungstypen werden durch die führende Baumartengruppe und die ggf. vorhandene Beimischung charakterisiert. Analog wurden Bestockungstypen für Jungbestockung (< 4 m Höhe im 10 m-Probekreis) und Altbestockung (≥ 4 m Höhe aus WZP/ZF1 o. 2) gebildet.

5.3.2.1 Führende Baumartengruppe

Führende Baumartengruppe ist diejenige mit dem größten Anteil in der Hauptbestockung. Sie werden auf der Basis der botanischen Gattungen gebildet. Andernfalls würden sehr viele Bestockungstypen entstehen. Zudem würden Mischungen aus nahe verwandten Arten einer Gattung zu Mischbestockungen erklärt. Selten auftretende Gattungen werden zusammengefasst. Es wurde nach zwölf führenden Baumartengruppen klassifiziert. Dies geht über die ansonsten bei der BWI üblichen neun Baumartengruppen hinaus, da Birken, Erlen und Eschen relativ häufig als führende Baumartengruppe vorkommen. Bei Tanne wurde die Liste abgeschlossen, weil dann alle der neun bei der BWI üblichen Baumartengruppen enthalten sind. Die 13. Gruppe sammelt alle Bestockungen, in denen keine Gattung überwiegt (s. Tabelle 5.16).

5.3.2.2 Beimischung

Alle anderen Baumarten außer der führenden Baumart in der Hauptbestockung sind Beimischungen. Zur Charakterisierung der Beimischung werden Laubbäume und Nadelbäume unterschieden. Jede weitere Differenzierung hätte sehr viele selten auftretende Mischungsformen zur Folge. Als Grenzwert zur Unterscheidung von Rein- und Mischbestockung wird 10 % festgelegt. Im Probekreis werden kleinere Anteile ohnehin nicht angegeben. Deshalb werden auch bei der WZP mit Zählerfaktor 1 oder 2 Anteile unter 10 % ignoriert. Unterhalb dieses Grenzwertes werden auch Laub- und Nadelbaumbeimischungen nicht angegeben. Nach diesen Regeln ergibt sich für jeden der 13 Bestockungstypen vier Mischungsformen (ohne, mit Nadelbeimischung, mit Laubbeimischung, mit Laub/Nadelbeimischung).

5.3.2.3 Laub/Nadel-Waldtypen

Bei der Fernerkundung und in der internationalen Berichterstattung wird häufig lediglich nach Laubwald, Nadelwald und Laub-Nadel-Mischwald unterschieden. Deshalb werden bei der BWI zusätzlich Laub/Nadel-Waldtypen hergeleitet. Dazu werden alle Bäume der Hauptbestockung, egal ob führende Baumart oder Beimischung, zu den Klassen Laubbäume und Nadelbäume zusammengefasst. Die überwiegende Klasse bestimmt den Laub/Nadel-Waldtyp. Das muss nicht konsistent zur führenden Baumartengruppe auf der Basis der botanischen Gattung sein: Auch wenn z. B. Fichte führende Baumartengruppe ist, kann der Anteil aller Laubbäume größer sein als der aller Nadelbäume. Daraus ergeben sich die Laub/Nadel-Waldtypen Laubwälder, Nadelwälder, jeweils in der Mischungsform mit/ohne Beimischung und Laub/Nadel-Mischwälder mit gleichen Anteilen.

5.3.2.4 Bezugsfläche der Bestockung

Bei den Aufnahmen zur horizontalen und vertikalen Struktur des Baumbestandes wird seit der BWI2002 die am Stichprobenpunkt vorhandene Waldstruktur unabhängig von Bestandsgrenzen erfasst. Demzufolge wird eine Traktecke, an der unterschiedliche Reinbestände erfasst werden, als Mischbestockung eingestuft.

Tabelle 5.16: Bestockungstypen und führende Baumart

Nr.	führende Baumart	Name des Bestockungstyps
1.	Alle Fichten und sonstige Nadelbäume	Fichten-Typ
2.	Alle Kiefern	Kiefern-Typ
3.	Buche	Buchen-Typ
4.	Alle Eichen	Eichen-Typ
5.	Sonstige Laubbäume mit hoher Lebensdauer	Typ sonstige Laubbäume mit hoher Lebensdauer
6.	Alle Birken	Birken-Typ
7.	Douglasie	Douglasien-Typ
8.	Alle Erlen	Erlen-Typ
9.	Alle Lärchen	Lärchen-Typ
10.	Alle Eschen	Eschen-Typ
11.	Sonstige Laubbäume mit niedriger Lebensdauer	Typ sonstige Laubbäume mit niedriger Lebensdauer
12.	Alle Tannen	Tannen-Typ
13.	Typ mit mehreren gleichrangigen Baumarten	Typ mit mehreren gleichrangigen Baumarten

5.3.3 Naturnähe der Baumartenzusammensetzung

Die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung an der Traktecke wird bewertet durch einen Vergleich der heutigen Baumartenzusammensetzung mit der Baumartenzusammensetzung der natürlichen Waldgesellschaft. Die natürliche Waldgesellschaft ist im Wesentlichen definiert als die heutige potentiell natürliche Vegetation (hpnV, Definition s. BMELV, 2011, Abschnitt. 5.7.4). Natürliche Waldgesellschaften mit gleicher oder ähnlicher Baumartencharakteristik wurden zusammengefasst.

Für ganz Deutschland wurde eine abschließende Liste mit 40 natürlichen Waldgesellschaften erarbeitet. Diesen Waldgesellschaften sind Baumarten zugeordnet, getrennt nach Hauptbaumarten, Neben-/Begleitbaumarten, Pionierbaumarten. Die Zuordnung erfolgte differenziert nach Wuchsgebieten, Wuchsbezirken und Höhenlage.

Die heutige Baumartenzusammensetzung an der Traktecke wird erfasst für

- Bäume > 4 m Höhe (Altbestockung) mittels Grundflächenanteilen aus der Winkelzählprobe mit Zählfaktor 1 oder 2 und für
- Bäume ≤ 4 m Höhe (Jungbestockung) durch eine Schätzung der Deckungsanteile der Baumarten im 10 m-Kreis.

Die Baumartenzusammensetzung am Stichprobenpunkt wurde ohne Berücksichtigung von Bestandesgrenzen beschrieben. Hierfür wurde die übliche forstliche, bestandesweise Sicht schon bei der BWI 2002 zugunsten einer ökologischen Sicht auf den Wald aufgegeben. Dort, wo unterschiedliche Reinbestände aneinandergrenzen, werden Mischbestockungen ausgewiesen. Damit werden die Verhältnisse insbesondere bei klein strukturierten Bewirtschaftungseinheiten zutreffender charakterisiert als mit einer Bestandesbeschreibung.

Die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung wurde getrennt nach Hauptbestockung, Jungbestockung und Altbestockung für jede Traktecke gemäß Tabelle 5.17 bewertet. Die Einstufung wird zunächst für jedes Kriterium (Kopfzeile in Tabelle 5.17) separat ermittelt. Das Kriterium mit der schlechtesten Einstufung (Vorspalte in Tabelle 5.17) ist ausschlaggebend für die Naturnähe.

Außereuropäische Baumarten bezeichnet die vom Menschen neuzeitlich eingeführten, ursprünglich außereuropäisch verbreiteten Baumarten. Haben sie sich erfolgreich etabliert, können sie laut Definition im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) neben den heimischen Baumarten auch Bestandteil der natürlichen Waldgesellschaft sein.

5.3.4 Spezifische Strukturen und Funktionen von Waldlebensraumtypen

Das Merkmal „Spezifische Strukturen und Funktionen“ ist eines von vier Parametern zur Beurteilung des Erhaltungszustandes eines FFH-Lebensraumtyps (KROIHER ET AL., 2017).

Die Erhebung und Bewertung der Waldlebensraumtypen WLRT erfolgt durch die BWI während der terrestrischen Aufnahmen mit einem dreistufigen Verfahren. Zuerst werden die potenziell möglichen WLRT mit Hilfe der Tabelle „Zuordnung natürlicher Waldgesellschaften zu Waldlebensraumtypen“ (siehe BMELV, 2011, im Abschnitt. 5.7.5 sowie in Anlage 5²) definiert. In der zweiten Stufe wird die aktuelle Baumartenzusammensetzung mit den definierten Baumartenzusammensetzungen der potenziell möglichen WLRT verglichen (BMELV, 2011, Anlage 6). Bei Übereinstimmung werden die entsprechenden WLRT mit

² Aufnahmeanweisung download-bar unter www.bundeswaldinventur.de

5 Ableitung von Merkmalen

Tabelle 5.17: Bewertungsschema für die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung

Naturnähe-Stufe	Kriterien für die Naturnähe (UND-Verknüpfung)			
	Anteil der Baumarten der nWG ^{a,b}	Anteil der Hauptbaumarten der nWG ^a	Vollständigkeit der Hauptbaumarten der nWG ^a	Anteil der außereuropäischen Baumarten
Sehr naturnah (1)	≥ 0,9	≥ 0,5	= 1,0	≤ 0,1
Naturnah (2)	≥ 0,75 u. < 0,9	≥ 0,1 u. < 0,5	< 1,0	> 0,1 u. ≤ 0,3
Bedingt naturnah (3)	≥ 0,5 u. < 0,75	< 0,1		> 0,3
Kulturbetont (4)	≥ 0,25 u. < 0,5			
Kulturbestimmt (5)	< 0,25			

^a natürliche Waldgesellschaft

^b Haupt-, Neben-, Pionierbaumarten zusammen

Hilfe der Erfassungssoftware in die Auswahl der aktuell möglichen Waldlebensraumtypen übernommen. Im dritten Schritt erfolgt unter Einbeziehung von Kennarten, Standortparametern und Baumartenmischungsanteilen die endgültige WLRT-Bestimmung. Die einzelnen Regeln sind in KROIHER ET AL. (2017), Kapitel 2 nachzulesen.

Die Auswertung hat zum Ziel, die *spezifischen Strukturen und Funktionen* eines WLRT für eine biogeographische Region (BGR) zu beschreiben und zu bewerten. Dazu werden an jeder Traktecke folgende Merkmale erfasst:

- Baumartenzusammensetzung der Altbestockung
- Baumartenzusammensetzung der Jungbestockung
- Baumartenzusammensetzung der Hauptbestockung
- Torfmoos-Bedeckungsklassen (nur bei Moor-WLRT)
- Durchschnittliche Entwicklungsphasenanteile je BGR
- Anzahl der Schichten des Bestockungsaufbaus
- Durchschnittlicher Totholzhektarvorrat je BGR
- Durchschnittliche Habitatbaumanzahl je BGR
- Anteilsklassen invasiver Gehölze
- Anteilsklassen invasiver krautiger Arten
- Deckungsgradklassen von Eutrophierungszeigern (nur bei 9110, 9190 und Moor-WLRT)
- Befahrungslinien außerhalb der regulären Erschließung
- Anzahl Feinerschließungslinien

Zur Bewertung dieser Merkmale an jeder Traktecke stehen 4 Stufen zur Verfügung:

- ROT = C = ungünstig/schlecht,
- GELB = B = ungünstig bis unzureichend,
- GRÜN = A = günstig sowie
- UNBEKANNT.

Die Zusammenführung der einzelnen A/B/C-Bewertungen pro Merkmal zu einem Ampelwert pro Traktecke erfolgt stufenweise (KROIHER ET AL., 2017).

Die Bewertung der WLRT wurde mit den Ländern auf einer Bewertungskonferenz des BMU am 28.08.2013 abgestimmt. Expertenvoten hatten dabei eine große Bedeutung. Die Bewertung des Parameters „Spezifische Strukturen und Funktionen“ im Nationalen FFH-Bericht 2013 weicht von den Ergebnissen aus dem BWI-Verfahren ab, wenn das Experten-votum der Bewertungskonferenz dies beschlossen hat.

5.4 Modellierung von Einzelbaumwerten für andere Zeitpunkte

Zu ausgeschiedenen oder eingewachsenen Bäumen liegt ein Messwert nur von einem Inventurzeitpunkt vor. Für die Berechnungen von Zuwachs und Abgang (siehe Abschnitt 5.5) müssen für diese WZP/ZF4-Bäume die Merkmale für den jeweils anderen Zeitpunkt der Inventurperiode modelliert werden. Als Grundlage für die Modellierung des ausgeschiedenen Bestandes (Abgang seit 2002) werden stets die Daten vom Beginn der Inventurperiode verwendet. Für die Modellierung des Einwuchses werden die Daten zum Ende der Inventurperiode (2012) genutzt. Die Daten der IS 2008, welche an einer Unterstichprobe von Bäumen vorhanden sind, werden für die Auswertung der Periode BWI 2002 – BWI 2012 nicht berücksichtigt.

In der Inventurperiode BWI 2002 – BWI 2012 erfolgt die Modellierung des Einzelbaumvorrates für

- aus der Stichprobe ausgefallene Bäume (cut and mortality) zur Periodenmitte³,
- in die Stichprobe eingewachsene Bäume (ingrowth) zum Periodenanfang, auch wenn sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Kluppschwelle von 7 cm BHD oder den Grenzkreisdurchmesser erreicht haben.

Das BHD-Wachstum und das Höhen-Wachstum werden mit der Trendfunktion nach SLOBODA (1971) modelliert. Die Funktion kann sowohl zum Vor- als auch Rück-Modellieren verwendet werden. Deren Parametrisierung muss für die entsprechende Inventurperiode angepasst sein. Jeder Probebaum wird mit seinem gemessenen BHD und Alter bzw. seiner gemessenen Höhe und Alter zum Zeitpunkt der BWI 2012 oder der letzten Vorgängerinventur in die Trendfunktion nach Sloboda eingehängt. Diese Wachstumsfunktionen sind bundesweit identisch. Da mit d_{a_m} bzw. h_{a_m} und a_m (Messwerte der vergangenen oder jetzigen Inventur) das bisherige Wachstum des jeweiligen Probebaumes in die Funktion eingeht,

³ Die Periodenmitte ist definiert als mittlerer Zeitpunkt zwischen der letzten Messung und dem Feststellen des Ausscheidens am Ende einer Periode

5 Ableitung von Merkmalen

Tabelle 5.18: Parameter der Trendfunktion nach Sloboda: Die Zuordnung zu Baumartengruppen erfolgte an Hand von Wachstumseigenschaften; sie entsprechen somit nicht 100 %ig der Baumartengruppierung bei der BWI-Auswertung

Parameter gültig zwischen BWI 1987 und 2002							
Baumarten- gruppe		BHD			Höhe		
		α	β	γ	α	β	γ
Fichte	1	0,1748253	0,0328433	12386091,818	0,1224396	0,3849221	86,250
Tanne	3	0,1375937	0,0300144	38867351654,829	0,0186169	0,4965890	119,460
Douglasie	4	0,2496244	0,0886171	3336,334	0,2015130	0,3853016	81,632
Kiefer	2	-0,048563	0,1662814	3763,495	0,1071929	0,3261303	102,224
Lärche	5	0,2405293	0,0874423	831,701	0,2359280	0,2262453	89,193
Buche	10	0,2659426	0,0365358	158912,797	0,4016154	0,0966222	127,102
Eiche	11	0,2130319	0,0334456	587972,022	0,4545936	0,0693881	129,436
sHL ^a	19	0,2803869	-0,0277060	0,018	0,2057269	-0,1271960	2,197
sWL ^b	29	0,0979580	0,0624390	7449,941	-0,0181260	0,0433630	30655265,224

Parameter gültig zwischen BWI 2002 und 2012							
Baumarten- gruppe		BHD			Höhe		
		α	β	γ	α	β	γ
Fichte	1	0,105638	0,053091	538820,358	-0,035506	0,644788	85,829
Kiefer	2	-0,000691	0,069576	538820,358	-0,122535	0,552345	164,690
Tanne	3	0,178222	0,052609	538820,358	0,006157	0,393813	191,956
Douglasie	4	0,267538	0,034441	538820,358	0,014499	0,414558	181,272
Lärche	5	0,163285	0,034288	538820,358	-0,101191	0,590422	110,403
Buche	10	0,171158	0,045735	538820,358	-0,035820	0,388050	163,533
Eiche	11	0,258934	0,027970	538820,358	0,049002	0,229780	261,267
Esche	12	0,276049	0,026222	538820,358	0,010792	0,266699	191,913
Ahorn	14	0,063583	0,059861	538820,358	0,021489	0,310366	118,320
sHL ^a	19	0,143829	0,035776	538820,358	-0,064219	0,162611	1233,215
Birke	20	-0,213985	0,114001	538820,358	-0,392475	0,315572	13939,856
Erle	21	0,136101	0,033840	538820,358	-0,099149	0,184925	742,219
Pappel	22	0,254440	0,027217	538820,358	0,058837	0,372844	72,175
sWL ^b	29	-0,000147	0,061978	538820,358	-0,182262	0,177717	5748,642

^a sonst. Hartlaubhölzer, siehe Tabelle C.3

^b sonst. Weichlaubhölzer, siehe Tabelle C.3

sind regionale Wachstumsbedingungen berücksichtigt. Die Wachstumskurven wurden mit Ergebnissen von langfristigen Versuchsreihen überprüft und bestätigt (NAGEL, 2003).

Der BHD (d_{a_o}) im Alter a_o ohne Messung ist definiert:

$$d_{a_o} = \gamma \left(\frac{d_{a_m}}{\gamma} \right)^e \left[-\frac{\beta}{\alpha} * ((a_o)^\alpha - (a_m)^\alpha) \right] \quad (5.4.0.1)$$

mit d_{a_m} = gemessener BHD in *cm* zum Periodenanfang oder zum Periodenende. α, β, γ sind in Tabelle 5.18 in Abhängigkeit der Baumartengruppen aufgeführt.

Die Höhe h_{a_o} zum Zeitpunkt a_o ohne Messung ist definiert:

$$h_{a_o} = \gamma \left(\frac{h_{a_m}}{\gamma} \right)^e \left[-\frac{\beta}{\alpha} * ((a_o)^\alpha - (a_m)^\alpha) \right] \quad (5.4.0.2)$$

mit h_{a_m} = gemessene Höhe in *m* zum Periodenanfang oder zum Periodenende.

Wie oben bereits erwähnt, wird bei der Auswertung der BWI2012 und vorangegangener Inventuren für eingewachsene Bäume auch der Teil des Zuwachses berücksichtigt,

den sie geleistet haben, bevor sie in die Stichprobe eingewachsen sind bzw. bevor sie die Kluppschwelle von 7 cm BHD erreicht haben. Soll für Spezialauswertungen — nicht für die BWI-Standardauswertung — bspw. nach ERIKSSON (1995a) nur der Zuwachs geschätzt werden, den der Einwuchs seit Erreichen der Kluppschwelle bzw. seit dem Einwachsen in die Stichprobe über den Grenzkreis geleistet hat, ist der Zeitpunkt a_t des Einwachsens zu bestimmen. Dafür muss die Gleichung 5.4.0.1 nach a_t umgestellt werden unter der Voraussetzung, dass d_{a_t} als Grenz-BHD über den Grenzkreis bzw. mit der Kluppschwelle von 7 cm BHD definiert ist:

$$a_t = \left((a_m)^\alpha - \frac{\alpha}{\beta} * \ln \left[\log \left(\frac{d_{a_m}}{\gamma} \right) \left(\frac{d_{a_t}}{\gamma} \right) \right] \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5.4.0.3)$$

Die korrespondierende Höhe zum Zeitpunkt a_t mit $BHD = d_{a_t}$ wird abgeleitet mittels:

$$h_{a_t} = \gamma \left(\frac{h_m}{\gamma} \right)^e \left[-\frac{\beta}{\alpha} * (a_t)^\alpha - (a_m)^\alpha \right] \quad (5.4.0.4)$$

Mit den Formeln 5.4.0.1 und 5.4.0.2 werden der BHD und die Baumhöhe zum jeweils anderen Inventurzeitpunkt unabhängig von einander modelliert. Im Gegensatz zur BWI wird das Höhenwachstum bei der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) mit der Tariffunktion nach PETERSON (1955) modelliert (BMELV, 2005a, S. 11). Hier ist das Höhenwachstum an das Durchmesserwachstum gekoppelt.

5.5 Merkmalsdifferenzen zwischen zwei Zeitpunkten

Differenzen von Merkmalen zwischen zwei Inventurzeitpunkten spiegeln Entwicklungen wider. Sie können auf verschiedenen Ebenen gebildet werden, z. B. auf aggregierten Ebenen (siehe Abschnitt 6) oder auf Objektebene (z. B. für Bäume, Traktecken). In diesem Abschnitt wird der zweite Fall behandelt.

Differenzen können für binäre Trakteckenmerkmale gebildet werden oder für stetig verteilte Merkmale auf Traktecken- bzw. Individuen-Ebene. Letztere werden nochmals nach Brutto- (Zugangs- bzw. Abgangsgrößen) und Nettoveränderungen (Bilanzen) unterscheiden. Zum tieferen Verständnis der Problematik sei hier im Vorgriff auf den Abschnitt 8.1.1 auf Seite 73 verwiesen.

5.5.1 Differenzen von binären Trakteckenmerkmalen

Der reelle Anteil Neuwaldfläche je Traktecke zum derzeitigen Inventurzeitpunkt ergibt sich aus:

$$\Delta p^{(2)}(x_m) = p^{(2)}(x_m) - p^{(1)}(x_m) = 1 - 0 = 1 \quad (5.5.1.1)$$

mit ...⁽¹⁾ = Bezug zum Beginn der Auswertungsperiode und ...⁽²⁾ = Bezug zum Ende der Auswertungsperiode.

Der reelle Anteil Umwandlungsfläche je Traktecke an der Waldfläche des vergangenen Inventurzeitpunktes ist definiert durch:

$$\Delta p^{(1)}(x_m) = p^{(2)}(x_m) - p^{(1)}(x_m) = 0 - 1 = -1 \quad (5.5.1.2)$$

Beide Flächenentwicklungen verdeutlicht die Abbildung 5.8.

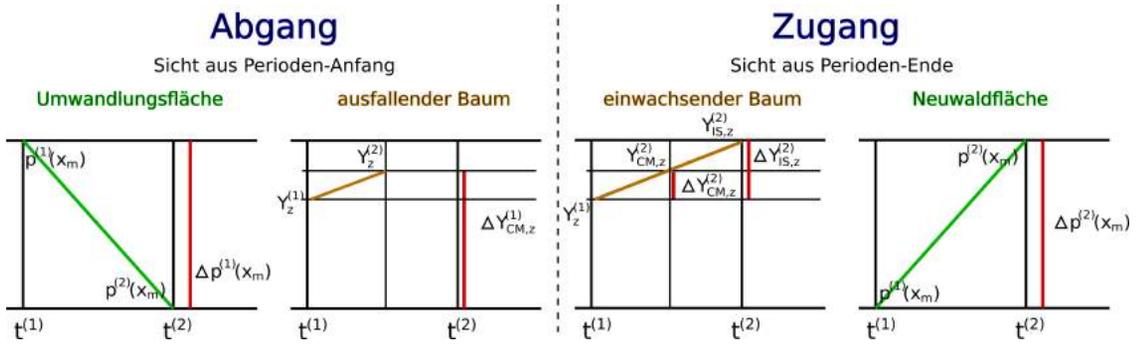


Abbildung 5.8: Differenzbildung von Merkmalen auf Plot- und Einzelbaumebene

5.5.2 Nettoveränderungen

Nettoveränderungen vergleichen lediglich Zustände miteinander. Hier interessiert nur die eigentliche Bilanz, d. h. im Gegensatz zu den Bruttoveränderungen (Zuwachs bzw. Abgang) wird bspw. der Zuwachs der ausgefallenen Bäume nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund können Nettoveränderungen auf den Aggregationsebenen Individuum, Traktecke, Trakt, Sampling Stratum gebildet werden. Dies hat weder Auswirkungen auf den Schätzer noch auf dessen Varianz.

Da sich Nettoveränderungen — im Gegensatz zu Bruttoveränderungen — direkt aus der Differenz *Zustandswert zum Zeitpunkt 2 - Zustandswert zum Zeitpunkt 1* ergeben, werden die Differenzen oft erst während des Hochrechnungsprozesses selbst aus den zwei Zustandswerten gebildet, so auch bei der BWI. Hierdurch lassen sich Zustände und Differenzen leichter zusammen und additiv darstellen.

Aus technischer Sicht sind die Nettoveränderungen somit keine abgeleiteten Merkmale; sie sind hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

5.5.3 Bruttoveränderungen

Im Gegensatz zu den Nettoveränderungen kann der Bruttozuwachs des Vorrates bzw. die Nutzung des Vorrates nicht aus der Differenz von Trakteckenwerten ermittelt werden, da auf einer Ecke sowohl Bäume gewachsen als auch ausgefallen sind bzw. entnommen wurden. Deshalb sind der Bruttozuwachs oder die Nutzung (respektive der Abgang) nur über die Schätzung von Einzelbaumdaten möglich.

Durch den großen Zeitabstand von BWI1987 und BWI2002 von ca. 15 Jahren und zwischen BWI2002 und BWI2012 von ca. 10 Jahren muss der Zuwachs der ausgefallenen Probestämme berücksichtigt werden, da ansonsten sowohl der Bruttozuwachs als auch die Nutzung unterschätzt würden. Dazu wird unterstellt, dass

- ausgefallene Bäume (cut and mortality) bis zur Mitte der Inventurperiode weiterwachsen (siehe Abschnitt 5.4) bzw.
- in die Probe einwachsende Bäume (ingrowth) einen Zuwachs über die gesamte Inventurperiode liefern (siehe Abschnitt 5.4).

Beispiele zeigen die Tabellen 5.19 und 5.20.

Ausfallende bzw. einwachsende Bäume werden bei der Differenzbildung von Baummerkmalen berücksichtigt, indem der fehlende, nicht gemessene Merkmalswert (Anfangs- bzw.

Tabelle 5.19: Beispiele für Zuwachsgrößen überlebender bzw. eingewachsener Bäume

Formel	Merkmal und Maßeinheit	Formel
5.5.3.1a	Zuwachs des Volumens mit Rinde in (m^3)	$\Delta volR_{IS,z}^{(2)} = volR_{IS,z}^{(2)} - volR_{IS,z}^{(1)}$
5.5.3.1b	Zuwachs der Grundfläche in (m^2/ha)	$\Delta g_{IS,z}^{(2)} = g_{IS,z}^{(2)} - g_{IS,z}^{(1)}$
5.5.3.1c	Zuwachs des Durchmessers in (mm)	$\Delta d_{IS,z}^{(2)} = d_{IS,z}^{(2)} - d_{IS,z}^{(1)}$
5.5.3.1d	Zuwachs der Höhe in (dm)	$\Delta h_{IS,z}^{(2)} = h_{IS,z}^{(2)} - h_{IS,z}^{(1)}$

Endwert) durch externe Modelle (Trendfunktion nach SLOBODA, 1971, Abschnitt 5.4) modelliert wird. Beide einzelbaumbezogenen Entwicklungen verdeutlicht die Abbildung 5.8.

Die Zuwächse können bei überlebenden Bäumen (survivor) im Einzelfall negativ sein, was messmethodisch bedingt und stichprobentheoretisch zulässig ist. Für den Zuwachs am eingewachsenen (ingrowth) bzw. überlebenden (survivor) Einzelbäumen gilt:

$$\Delta Y_{IS,z}^{(2)} = Y_{IS,z}^{(2)} - Y_{IS,z}^{(1)} \quad (5.5.3.1)$$

Bezogen auf einen Hektar gilt:

$$\Delta Y_{IS,z}^{(2,ha)} = N_{IS,z}^{(2,ha)} \Delta Y_{IS,z}^{(2)} \quad (5.5.3.2)$$

Für den Zuwachs eines ausgefallenen bzw. entnommenen Baumes gilt:

$$\Delta Y_{CM,z}^{(2)} = Y_{CM,z}^{(2*)} - Y_{CM,z}^{(1)} \quad (5.5.3.3)$$

mit $Y_{CM,z}^{(2*)}$ als modellierter Wert zur Periodenmitte. Bezogen auf einen Hektar gilt:

$$\Delta Y_{CM,z}^{(2,ha)} = N_{CM,z}^{(1,ha)} \Delta Y_{CM,z}^{(2)} \quad (5.5.3.4)$$

Dagegen gilt für die Nutzung von ausgefallenen bzw. entnommenen Bäumen:

$$\Delta Y_{CM,z}^{(1)} = Y_{CM,z}^{(1*)} - Y_{CM,z}^{(2)} = Y_{CM,z}^{(1*)} \quad (5.5.3.5)$$

da der Merkmalswert zum Periodenende bei vollständig entfernten Objekten gleich Null ist. Bezogen auf einen Hektar gilt:

$$\Delta Y_{CM,z}^{(1,ha)} = N_{CM,z}^{(1,ha)} \Delta Y_{CM,z}^{(1)} \quad (5.5.3.6)$$

Beispiele zeigt Tabelle 5.20.

Tabelle 5.20: Beispiele für Zuwachs- und Nutzungsgrößen der ausgefallenen bzw. entnommenen Bäume

Formel	Merkmal und Maßeinheit	Formel
Zuwachsgrößen ausgefallener bzw. entnommener Bäume		
5.5.3.3 a	Zuwachs des Volumens mit Rinde in (m^3)	$\Delta volR_{CM,z}^{(2)} = volR_{CM,z}^{(2*)} - volR_{CM,z}^{(1)}$
5.5.3.3 b	Zuwachs der Grundfläche in (m^2/ha)	$\Delta g_{CM,z}^{(2)} = g_{CM,z}^{(2*)} - g_{CM,z}^{(1)}$
5.5.3.3 c	Zuwachs des Durchmessers in (mm)	$\Delta d_{CM,z}^{(2)} = d_{CM,z}^{(2*)} - d_{CM,z}^{(1)}$
5.5.3.3 d	Zuwachs der Höhe in (dm)	$\Delta h_{CM,z}^{(2)} = h_{CM,z}^{(2*)} - h_{CM,z}^{(1)}$
Nutzungsgrößen ausgefallener bzw. entnommener Bäume		
5.5.3.5 a	genutzte Vorratsfestmeter m. R. in (m^3)	$\Delta volR_{CM,z}^{(1)} = volR_{CM,z}^{(1*)}$
5.5.3.5 b	genutzte Erntefestmeter o. R. in (m^3)	$\Delta volE_{CM,z}^{(1)} = volE_{CM,z}^{(1*)}$
5.5.3.5 c	genutzte Grundfläche in (m^2)	$\Delta g_{CM,z}^{(1)} = g_{CM,z}^{(1*)}$

Kapitel 6

Aggregation der Objektwerte zu Trakteckenwerten (Datenübergabe)

Die Aggregation von Objektwerten zu Trakteckenwerten ist dem Prozess *Ableiten von Merkmalen* unmittelbar nachgelagert. Dieser Prozess der Summierung der betrachteten Objekte zu Trakteckenwerten stellt die Basis der Hochrechnung dar. Da es viele Varianten von Aggregationen auf Trakteckenebene geben kann, werden diese nicht in der Datenbank abgelegt. Der Schritt der Trakteckenaggregation erfolgt als „dynamischer“ Prozess bei der Übergabe an die Hochrechnung, genauer in der Hochrechnungsschnittstelle (siehe Abschnitt 4.1).

In die Aggregation zu Trakteckenwerten fließen immer Hektar-bezogene ...^(ha) bzw. Anteilswerte $p(x_m)$ ein.

Objekte (z. B. Bäume, Totholzstücke, Waldrandabschnitte oder Traktecken), die nicht zu einer bestimmten Domain (z. B. Gebiet = Bayern, Eigentumsart = Privatwald, Baumart = Fichte, Durchmesserstufe = 30 — 40 cm) gehören, gehen mit dem Wert 0 für Y_z ein.

Im Anschluss an die Summenbildung für Traktecken, aber vor der Summenbildung für Trakte (Berechnung der *lokalen Dichte* im Abschnitt 7.2) werden bei Bedarf Zwischen- bzw. Gesamtsummen der Klassifizierungsmerkmale als weitere Domains erzeugt. So werden bspw. die Summen der Altersklassen $0-20$, $21-40$, \dots , $141-160$ und > 160 Jahre summiert, um in der selben Hochrechnung auch Ergebnisse über alle Altersklassen zu liefern. D. h. als zusätzlicher Input für die Hochrechnung werden durch Streichung bzw. Gruppierung von Klassifikationsmerkmalen (Hinzufügen neuer Domains) Zielmerkmale summiert oder in speziellen Fällen deren Maximum (bspw. für den reellen Flächenanteil) ermittelt.

6.1 Zustand zu einem Inventurzeitpunkt

Die Merkmale der einzelnen Objekte z werden vor der Hochrechnung zu Trakteckenwerten (Plotwerten) aggregiert, d. h. summiert:

$$Y(x_m) = \sum_{z=1}^Z Y_z \quad (6.1.0.1)$$

Je nach Datenübergabe können bei der Summierung zu $X(x_m)$ und $Y(x_m)$ in der Hochrechnung unterschiedlichste Zielmerkmale gebildet werden. Beispiele hierfür zeigt die Tabelle 6.1.

6 Aggregation der Objektwerte zu Trakteckenwerten

Tabelle 6.1: Beispiele für Zustandsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung (Nomenklatur siehe Tabelle 5.2)

Zielmerkmal	HR-Typ ^a	Input für Hochrechnung	
		$Y(x_m)$	$X(x_m)$
Themengruppe: Flächen, auch ideelle (Traktecken)			
Waldflächenanteil [%]	G	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl} o. p_{DG} o. $\sum p_{DA}$	—
Waldfläche [ha]	G	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl} o. p_{DG} o. $\sum p_{DA}$	—
Anteil an der Waldfläche [%]	R	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl} o. p_{DG} o. $\sum p_{DA}$	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl} o. p_{DG} o. $\sum p_{DA}$
Themengruppe: Derbholz, Bäume ab 7 cm BHD			
Stammzahl	G	$\sum N^{(ha)}$	—
Stammzahl pro Hektar	R	$\sum N^{(ha)}$	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl}
Vorrat [m^3]	G	$\sum N^{(ha)} volR$	—
Vorrat [m^3/ha]	R	$\sum N^{(ha)} volR$	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$ o. p_{fl}
Vorrat je Baum	R	$\sum N^{(ha)} volR$	$\sum N^{(ha)}$
mittlere Höhe [m]	R	$\sum N^{(ha)} \frac{h}{10}$	$\sum N^{(ha)}$
Mittelhöhe nach Lorey [m]	R	$\sum N^{(ha)} g \frac{h}{10}$	$\sum N^{(ha)} g$
mittleres Alter [a]	R	$\sum N^{(ha)} age$	$\sum N^{(ha)}$
flächengewogenes Alter [a]	R	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl} age$	$\sum N^{(ha)} p_{Sfl}$
Verhältnis Höhe zu Alter	R	$\sum N^{(ha)} \frac{h}{10}$	$\sum N^{(ha)} age$
Verhältnis Höhe zu Durchmesser (h/d)	R	$\sum N^{(ha)} \frac{h}{10}$	$\sum N^{(ha)} \frac{d}{10}$
Themengruppe: Junge Pflanzen (z. B. für Verbissaussagen)			
Anzahl	G	$\sum N^{(ha)}$	—
Anzahl pro Hektar	R	$\sum N^{(ha)}$	p_{fl}
Anteil an Pflanzen	R	$\sum N^{(ha)}$	$\sum N^{(ha)}$
Themengruppe: Totholz			
Totholzvorrat in [m^3]	G	$\sum totV^{(ha)}$	—
Totholzvorrat in [m^3/ha]	R	$\sum totV^{(ha)}$	p_{fl}
Anteil am Totholzvorrat	R	$\sum totV^{(ha)}$	$\sum totV^{(ha)}$

^a G = Gesamtwert, R = Ratioschätzer

6.2 Nettoveränderungen (Bilanzen) in einer Inventurperiode

Tabelle 6.2: Beispiele für Klassifizierungen im Divisor und Dividend. Das Auswerteggebiet kann ein Verdichtungsgebiet, ein Bundesland oder das gesamte Inventurgebiet sein, sowie andere Gebiete innerhalb eines Verdichtungsgebietes oder über Verdichtungsgebiete hinweg

Themengruppe	Divisor X_{k_1}	übergeordnete Domain Y_{k_1} (Zwischen- o. Gesamtsumme)	untergeordnet Domain $Y_{k_{1,2}}$ (klassifiziert)
Derbholz (inkl. dendrometr. Größen)	Jahr u./o. Eigentumsart u./o. Baumartengruppe u./o. Baumaltersklasse	wie X_{k_1}	wie Y_{k_1} + BHD-Stufe
Totholz	Jahr u./o. Eigentumsart	wie X_{k_1} + Totholzart	wie Y_{k_1} + Zersetzungsgrad
Flächen	Wald	wie X_{k_1} + Jahr u./o. Eigentumsart	
Junge Pflanzen	Jahr u./o. Eigentumsart	wie X_{k_1} + Baumart u./o. Schutz	wie Y_{k_1} + Verbiss
Nutzung Derbholz	Periode u./o. Eigentumsart u./o. Baumartengruppe u./o. Baumaltersklasse	wie X_{k_1}	wie Y_{k_1} + BHD-Stufe

Bei der Datenübergabe an die Hochrechnung werden immer Anteile (z. B. Flächenanteil, Schadanteil) oder Werte mit einer Bezugsfläche (z. B. Vorrat/ha, Stammzahl/ha, Wegelänge/ha) übergeben. Diese „pro Hektar-Werte“ sind jedoch nicht zu verwechseln mit Ratioschätzern, welche auf höheren Aggregationsebenen gebildet werden können.

Auswertungen erfolgen nur selten für den Wald insgesamt, sondern differenziert nach unterschiedlichen Domains. Bei Ratio-Schätzern können unterschiedliche Klassifizierungen für den Dividenden $\sum Y(x_m)$ und den Divisor $\sum X(x_m)$ angewandt werden. Die Klassifizierung des Dividenden ist entweder identisch zur Klassifizierung des Divisors oder sie ist eine Teilmenge der Klassifizierung des Divisors. So kann der Dividend nach Domain $\sum Y_{k_{1,2,3}}(x_m)$ differenziert werden, der Divisor dagegen nach gleichen oder übergeordneten Domains, bspw. $\sum X_{k_{1,2,3}}(x_m)$ o. $\sum X_{k_{1,2}}(x_m)$ o. $\sum X_{k_1}(x_m)$. Z. B. könnte für Y die Klassifizierung Gebiet = Bayern, Baumart = Fichte, Durchmesserstufe = 30–40 cm gewählt werden, für X jedoch Gebiet = Bayern, Baumart = Fichte. Weitere Beispiele zeigt Tabelle 6.2.

Bei der folgenden Hochrechnung bleiben diese Klassifizierungen über alle Aggregationsebenen erhalten. Dies wird an einem Beispiel für die Themengruppe Derbholz in Tabelle 7.1 auf Seite 68 veranschaulicht.

6.2 Nettoveränderungen (Bilanzen) in einer Inventurperiode

Allgemein formuliert ergibt sich die Änderung (Synonyme: Bilanz, Nettoänderung, Differenz) pro Traktecke nach:

$$\Delta Y(x_m) = Y^{(2)}(x_m) - Y^{(1)}(x_m) \tag{6.2.0.1}$$

6 Aggregation der Objektwerte zu Trakteckenwerten

Tabelle 6.3: Beispiele für Bilanzgrößen pro Traktecke

Formel	Merkmal und Maßeinheit	Formel
6.2.0.1a	Änderung des Flächenanteils je Traktecke: Reell	$\Delta p_{Fl} = p_{Fl}^{(2)} - p_{Fl}^{(1)}$
6.2.0.1b	Änderung des Flächenanteils je Traktecke: Ideell	$\Delta p_{Sfl} = \sum_{z^{(2)}=1}^Z N_z^{(2,ha)} p_{Sfl,z}^{(2)} - \sum_{z^{(1)}=1}^Z N_z^{(1,ha)} p_{Sfl,z}^{(1)}$
6.2.0.1c	Änderung des Vorrats mit Rinde je Traktecke [m^3/ha]	$\Delta vfm^{(ha)} = vfm^{(2,ha)} - vfm^{(1,ha)} = \sum_{z^{(2)}=1}^Z N_z^{(2,ha)} volR_z^{(2)} - \sum_{z^{(1)}=1}^Z N_z^{(1,ha)} volR_z^{(1)}$
6.2.0.1d	Vorratsveränderung ohne Rinde je Traktecke [m^3/ha]	$\Delta efm^{(ha)} = efm^{(2,ha)} - efm^{(1,ha)} = \sum_{z^{(2)}=1}^Z N_z^{(2,ha)} volE_z^{(2)} - \sum_{z^{(1)}=1}^Z N_z^{(1,ha)} volE_z^{(1)}$
6.2.0.1e	Grundflächenveränderung je Traktecke [m^2/ha]	$\Delta g^{(ha)} = g^{(2,ha)} - g^{(1,ha)} = \sum_{z^{(2)}=1}^Z N_z^{(2,ha)} g_z^{(2)} - \sum_{z^{(1)}=1}^Z N_z^{(1,ha)} g_z^{(1)}$

mit $Y^{(2)}(x_m)$ als Merkmalswert der Traktecke zum Ende der Periode und $Y^{(1)}(x_m)$ als Merkmalswert der Traktecke zu Beginn der Periode. Beispiele hierfür zeigt Tabelle 6.3. Positive Veränderungen werden i. d. R. als Zunahme interpretiert (z. B. Waldflächenzunahme, Vorraterhöhung), negative Veränderungen als Abnahme (bspw. Waldflächenverluste, Vorratsabnahme).

6.3 Bruttoveränderungen in einer Inventurperiode

Häufig sind Bruttodifferenzen — was ist hinzu gekommen, was ist entfallen — von Interesse, wie bspw. die Neuwaldfläche (= Erstaufforstungsfläche), der Bruttozuwachs oder die Umwandlungsfläche bzw. der genutzte Vorrat. Diese Differenzen wurden bereits in Abschnitt 5.5.3 auf der Ebene der einzelnen Individuen gebildet. Daher werden bei der Aggregation zu Trakteckenwerten diese Differenzen summiert. Der Zugang (Bruttozuwachs) auf der Traktecke ergibt sich aus der Summe der Zuwächse der eingewachsenen, der überlebenden und der ausgefallenen Bäume:

$$\Delta Y^{(2)}(x_m) = \sum_{z=1}^Z \Delta Y_{IS,z}^{(2,ha)} + \Delta Y_{CM,z}^{(2,ha)} \quad (6.3.0.1)$$

Der Abgang (Bruttoverlust, z. B. durch Nutzung oder Umwandlung) auf der Traktecke ergibt sich aus der Summe der betrachteten Zielgröße der ausgefallenen Bäume, z. B. dem Vorrat der ausgefallenen Bäume:

$$\Delta Y^{(1)}(x_m) = \sum_{z=1}^Z \Delta Y_{CM,z}^{(1,ha)} \quad (6.3.0.2)$$

6.3.1 Zuwachs in einer Inventurperiode

Als Inputgrößen werden Differenzen von Merkmalen auf der Objekt- bzw. untersten Aggregationsebene übergeben (siehe Abschnitt 5.5). Prinzipiell erfolgen Hochrechnungen von

Zugangsgrößen wie Zustandsrechnungen nach dem Endwertverfahren (s. Abschnitt 8.1.3 und Tabelle 6.4). Endwertverfahren heisst, es werden die Gewichtungsfaktoren (repräsentierte Stammzahl pro Hektar, $N_{IS,z}^{(2,ha)}$) des zweiten Inventurzeitpunktes der betrachteten Inventurperiode genutzt (siehe Abschnitt 8.1.3).

Der Bruttozuwachs (Zuwachs des Vorrates, Zuwachs der Grundfläche etc.) wird jedoch aus einer Kombination aus Anfangs- und Endwertverfahren ermittelt. Denn nur bei den eingewachsenen und überlebenden Bäumen sind am Periodenende Wichtungsfaktoren vorhanden, jedoch nicht bei den ausgeschiedenen Bäumen. Also kann nur für die Zuwachskomponenten Einwuchs und Überlebende das Endwertverfahren angewendet werden. Bei den ausgeschiedenen Bäumen ist die Wichtung nur mit dem Anfangswert möglich. Dies betrifft jedoch nur die Wichtung der Objekte, aber nicht deren Zuordnung zu Klassen. Hierfür ist ab der BWI 2012 die Merkmalsausprägung zur Periodenmitte maßgeblich (siehe Abschnitt 8.1.3). Für den Flächenbezug werden die Flächen beider Inventurzeitpunkte gemittelt. D. h., der Zuwachs bezieht sich immer auf eine Fläche, die die Bäume einer Klassifizierung in der Mitte der Inventurperiode repräsentieren. Diese mittlere Fläche einer Klasse kann auf aggregierter Ebene gebildet werden oder aber schon auf Einzelbaumebene (siehe Tabelle 6.4, Spalte $X(x_m)$).

Das Produkt aus jährlichem Zuwachs und Anzahl Jahren zwischen den Stichjahren beider Inventuren einer Periode ist nicht identisch mit dem entsprechenden periodischen Zuwachs. Der Grund hierfür ist die Verwendung der Anzahl Vegetationsperioden als Bezug zur Herleitung des jährlichen Zuwachses und nicht die Anzahl Jahre. Beispiele für Eingangsparameter in die Hochrechnung von Zugangsgrößen zeigt Tabelle 6.4.

6.3.2 Abgang in einer Inventurperiode

Als Inputgrößen werden Differenzen von Merkmalen auf der Objektebene bzw. der untersten Aggregationsebene übergeben (siehe Abschnitt 5.5). Hochrechnungen von Abgangsgrößen (Tabelle 6.5) erfolgen wie Zustandsrechnungen nach dem Anfangswertverfahren. Beim Anfangswertverfahren werden die Gewichtungsfaktoren (repräsentierte Stammzahl pro Hektar, $N_{CM,z}^{(1,ha)}$) des ersten Inventurzeitpunktes der betrachteten Inventurperiode genutzt (siehe Abschnitt 8.1.3).

Bezüglich des Flächenbezuges und der Klassifizierung sind verschiedene Ansätze denkbar. Die Standardauswertungen des Bundes zum Abgang waren bei BWI 2002 reine Anfangswertverfahren, d. h. Wichtung (Stammzahl/ha), der Flächenbezug und die Klassifizierung bezogen sich auf den Beginn der Auswertungsperiode (Zeitpunkt der Vorgängerinventur). Die Wichtung $N_{CM,z}^{(1,ha)}$ erfolgt nach wie vor als Anfangswertverfahren. Seit der BWI 2012 erfolgt die Klassifizierung (z. B. die Differenzierung nach Altersklassen bzw. BHD-Stufen) jedoch zum Zeitpunkt der Periodenmitte (siehe Abschnitt 8.1.3). Die Bezugsfläche zur Periodenmitte wird wie beim Zugang gemittelt. Beispiele für Eingangsparameter in die Hochrechnung von Abgangsgrößen zeigt die folgende Tabelle 6.5.

Tabelle 6.4: Beispiele für Zugangsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung (Nomenklatur siehe Tabelle 5.2)

Zielmerkmal	HR-Typ ^{a b c}	Y(x _m)	Input für Hochrechnung	X(x _m)
Themengruppe: Neuwaldfläche, auch ideelle (Traktecken)				
Anteil der Neuwaldfläche an der Gesamtfläche [%]	G	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	—	
Neuwaldfläche in ha	T	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	—	
Anteil an der Waldfläche [%]	R	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	
Anteil an der Neuwaldfläche [%]	R	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	$\Delta p_{fl}^{(2)}$	
Themengruppe: Derbholz, Bruttozuwachs ab 7 bzw. 10 cm BHD				
Stammzahl	G	$\sum N^{(1,ha)} + \sum N^{(2,ha)}$	—	
Zuwachs der Grundfläche [m ²]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta g_C^{(2)} + \sum N^{(2,ha)} \Delta g_{IS}^{(2)}$	—	
Zuwachs der Grundfläche [m ² /ha]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta g_C^{(2)} + \sum N^{(2,ha)} \Delta g_{IS}^{(2)}$	$(\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)} + \sum N^{(2,ha)} p_{Sfl}^{(2)})/2$ $(p_{fl}^{(1)} + p_{fl}^{(2)})/2$	
Zuwachs des Vorrates [m ³]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volR_C^{(2)} + \sum N^{(2,ha)} \Delta volR_{IS}^{(2)}$	—	
Zuwachs des Vorrates [m ³ /ha]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volR_C^{(2)} + \sum N^{(2,ha)} \Delta volR_{IS}^{(2)}$	$(\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)} + \sum N^{(2,ha)} p_{Sfl}^{(2)})/2$ $(p_{fl}^{(1)} + p_{fl}^{(2)})/2$	
Zuwachs des Vorrates [m ³ /(ha * a)]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta \frac{volR_C^{(2)}}{t_V} + \sum N^{(2,ha)} \Delta \frac{volR_{IS}^{(2)}}{t_V}$	$(\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)} + \sum N^{(2,ha)} p_{Sfl}^{(2)})/2$ $(p_{fl}^{(1)} + p_{fl}^{(2)})/2$	
Zuwachs des Durchmessers [mm]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta d_C^{(2)} + \sum N^{(2,ha)} \Delta d_{IS}^{(2)}$	—	
Zuwachs des Durchmessers [mm/a]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta \frac{d_C^{(2)}}{t_V} + \sum N^{(2,ha)} \Delta \frac{d_{IS}^{(2)}}{t_V}$	—	

^a G = Gesamtwert^b R = Ratioschätzer^c T = Totalwert

Tabelle 6.5: Beispiele für Abgangsgrößen und notwendige Inputs für die Hochrechnung (Nomenklatur siehe Tabelle 5.2)

Zielmerkmal	HR-Typ ^a	Input für Hochrechnung	
		Y(x _m)	X(x _m)
Themengruppe: Umwandlungsfläche, auch ideelle (Traktecken)			
Anteil der Umwandlungsfläche an der Gesamtfläche [%]	G	$\Delta p_{fl}^{(1)}$	—
Umwandlungsfläche [ha]	T	$\Delta p_{fl}^{(1)}$	—
Anteil an der Waldfläche [%]	R	$\Delta p_{fl}^{(1)}$	$\Delta p_{fl}^{(1)}$
Anteil an der Umwandlungsfläche [%]	R	$\Delta p_{fl}^{(1)}$	$\Delta p_{fl}^{(1)}$
Themengruppe: Derbholz, Abgang oder Nutzung ab 10 cm BHD			
Stammzahl des ausgeschiedenen Bestandes	G	$\sum N^{(1,ha)}$	—
Grundfläche des ausgeschiedenen Bestandes [m ²]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta g_C^{(1)}$	—
Grundfläche des ausgeschiedenen Bestandes [m ² /ha]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta g_C^{(1)}$	$\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)}$ $p_{fl}^{(1)}$
Vorrat des ausgeschiedenen Bestandes [m ³]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volR_C^{(1)}$	—
Vorrat des ausgeschiedenen Bestandes [m ³ /ha]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volR_C^{(1)}$	$\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)}$ $p_{fl}^{(1)}$
Vorrat des ausgeschiedenen Bestandes [m ³ /(ha * a)]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta \frac{volR_C^{(1)}}{t_K}$	$\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)}$ $p_{fl}^{(1)}$
Erntefestmeter des ausgeschiedenen Bestandes [m ³]	G	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volE_C^{(1)}$	—
Erntefestmeter des ausgeschiedenen Bestandes [m ³ /ha]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta volE_C^{(1)}$	$\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)}$ $p_{fl}^{(1)}$
Erntefestmeter des ausgeschiedenen Bestandes [m ³ /(ha * a)]	R	$\sum N^{(1,ha)} \Delta \frac{volE_C^{(1)}}{t_K}$	$\sum N^{(1,ha)} p_{Sfl}^{(1)}$ $p_{fl}^{(1)}$

^a G = Gesamtwert, R = Ratioschätzer, T = Totalwert

Kapitel 7

Einphasige Hochrechnung von Zustandsgrößen

7.1 Überblick zur Aggregierung

Wie im Abschnitt 6.1 beschrieben, bleiben bei der Hochrechnung die Klassifizierungen über alle Aggregationsebenen erhalten. Beispiele zeigt Tabelle 7.1. Zur besseren Lesbarkeit wird nur die Indizierung für die Aggregationsebenen aufgeführt, auf die Indizierung für die unterschiedlichen Klassifizierungen wird verzichtet. Bei der schrittweisen Aggregation werden zunächst die summierten Werte der Traktecken zu Traktwerten (lokale Dichte, Abschnitt 7.2) zusammengefasst, anschließend die Traktwerte zu Schätzern pro Sampling Stratum aggregiert und letztendlich die Schätzer der Sampling Straten flächengewichtet addiert.

7.2 Berechnung der lokalen Dichte

Die Bundeswaldinventur ist eine Traktstichprobe. Die kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt (Cluster) mit vier Traktecken. An der Grenze des Inventurgebietes bzw. der Sampling Straten gibt es jedoch unvollständige Trakte mit variabler Größe, d. h. die Anzahl Stichprobenpunkte (Traktecken im Wald und Nichtwald) innerhalb eines Traktes kann zwischen den Werten 1 bis 4 variieren.

Die Auswahl der kleinsten Stichprobeneinheit erfolgt durch einen stochastischen Punktprozess. Hierbei gelangen zufällig oder systematisch angeordnete dimensionslose Punkte (x) — und somit über die vorab definierte Traktgeometrie die Traktecken (x_m) — in die Stichprobe. An den Punkten (x) wird die lokale Ausprägung, die lokale Dichte der Zielgröße erfasst.

Die lokale Dichte am Punkt (x) für jeden der $1, \dots, i, \dots, n_2$ Trakte im Sampling Stratum h (Verdichtungsgebiet) wird als Traktmittelwert $Y(x)$ über die Trakteckensummen $Y(x_m)$ berechnet:

$$Y(x) = \frac{\sum_{m=1}^M I_h(x_m)Y(x_m)}{M(x)} \quad (7.2.0.1)$$

mit

Tabelle 7.1: Beispiele zu Hochrechnungen für verschiedene Klassifizierungen

Klassifizierungsmerkmale		Auswertungseinheit					Auswertungsgebiet					Ebenen			Hilfsgrößen			Zielmerkmale		
Gebiet	Zeit	K1	K2	K3	K4	K5	h	(x)	(x _m)											
Ebene Traktecke (x_m)																				
Input	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	Enr									$X(x_m)$	
aus HR-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	Tnr	Enr									$Y(x_m)$	
Ebene Trakt / Traktabschnitt (x)																				
Input	Land	—	—	—	—	—	—	Vbl	Tnr	—	$n_{2,h,x} = 1$	$M(x)$	$F_{h,x}$							
aus HR-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	—									$X(x)$	
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	Tnr	—									$Y(x)$	
Ebene Verdichtungsgebiet h																				
	Land	—	—	—	—	—	—	Vbl	—	—	$n_{2,h}$	M_h	F_h							
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	—	—									$\sum X(x)$	
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	—	—									$\sum Y(x)$	
																			\hat{X}_h	
																			$\hat{\bar{X}}_h$	
																			\hat{Y}_h	
																			$\hat{\bar{Y}}_h$	
																			\hat{R}_h	
Ebene Auswertungsgebiet																				
	Land	—	—	—	—	—	—	—	—	—	n_2	M	F							
Output	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	—	—	—									\hat{X}	
in E-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	—	—	—									\hat{Y}	
																			$\hat{\bar{X}}$	
																			$\hat{\bar{Y}}$	
																			\hat{R}	

^a Ba = Baumart^b BAlKl = Baumaltersklasse^c BhdSt = Durchmesserstufe^d Eg = Eigentumsart^e Enr = Trakteckenummer^f Tnr = Traktnummer^g Vbl = Verdichtungsgebiet innerhalb eines Bundeslandes

$$M(x) = \sum_{m=1}^M I_h(x_m) \quad (7.2.0.2)$$

als Anzahl Stichprobenpunkte eines Traktes, wobei die Indikatorvariable

$$I_h(x_m) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in F_h \\ 0 & \text{if } x \notin F_h \end{cases} \quad (7.2.0.3)$$

indiziert, ob sich die Traktecke (x_m) des Traktes (x) im Samplingstratum h befindet oder nicht.

7.3 Aggregation von Zustandsgrößen

Alle Zielmerkmale für den Zustand lassen sich mit drei Hochrechnungstypen (Schätzern) berechnen:

G = Mittelwerte, welche sich immer auf die Gesamtfläche Wald und Nichtwald beziehen,

T = Totalwerte und

R = Ratio-, Verhältnis- oder Quotienten-Schätzer.

Mittelwerte (z. B. Anteil des Waldes an der Gesamtfläche [%], Vorrat [m^3/ha], Grundfläche [m^2/ha] etc. bezogen auf die Gesamtfläche Wald und Nichtwald) haben nur eine Zufallskomponente, da die Anzahl der Traktecken M in einem Gebiet (z. B. Land, Wuchsgebiet, Bund), über welche gemittelt wird, konstant ist. Somit ist die Berechnung der Varianz bzw. des Stichprobenfehlers für diese Gesamtwerte mit den folgenden, in diesem Abschnitt präsentierten einfachen Schätzern möglich.

Die meisten Mittelwerte haben nur unter einem speziellen Blickwinkel eine Bedeutung (z. B. Waldflächenanteil, Vorrat je Hektar Wald und Nichtwald als Planungsgröße für die Logistik in der Holzindustrie). In diese Mittelwerte geht für Nichtwaldecken und Waldecken der Wert 0 ein, wenn sie nicht zu den betrachteten Domains (Auswertungsgebiete bzw. -einheiten) gehören.

Durch Multiplikation von Mittelwerten mit der Fläche A bzw. A_h (Wald + Nichtwald) können Totalwerte (Flächen oder Mengen) ermittelt werden, die wichtige Inventurergebnisse sind. Außerdem können zwei Mittelwerte oder Totalwerte zueinander ins Verhältnis (Ratio-Schätzer, ratio of means) gesetzt werden (z. B. Vfm/ha oder h/d -Verhältnis in einer Domain, Anteil von ... in einer übergeordneten Domain o. ä.) und somit Schätzwerte errechnet werden, die forstlich relevant sind.

Die Zielgröße im Zähler des Ratioschätzers wird folgend mit Y bezeichnet, die Zielgröße im Nenner des Ratioschätzers mit X . Die Klassifizierungen können sich für Y und X unterscheiden. Die Klassifizierung von Y muss jedoch immer eine Teilmenge oder eine identische Menge von X sein (siehe Abschnitt 6.1).

7.3.1 Aggregation pro Sampling Stratum

Mittelwertschätzungen:

Pro Sampling Stratum werden die lokalen Dichten zu Mittelwerten aggregiert nach Formel 7.3.1.1:

$$\hat{Y}_h = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)Y(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)} \quad (7.3.1.1)$$

$x \in F_h \cap s_2$ bedeutet, dass alle Trakte, bei denen mindestens eine Traktecke in F_h liegt und alle anderen Ecken außerhalb F_h , berücksichtigt werden. Oder anders formuliert: Ein quadratischer Trakt, so wie er bei der BWI terrestrisch aufgenommen wird, splittet sich somit in mehrere Trakte (auch Traktabschnitte genannt), wenn er von einer oder mehreren Stratengrenzen geschnitten wird. Hieraus resultieren Trakte unterschiedlicher Größe ($M(x)$), welche durch eine proportional zur Traktgröße entsprechende Traktgewichtung ($M(x)/\bar{M}$) in den Hochrechnungsschritten zu beachten ist.

Daraus abgeleitet ergibt sich die Varianz des Mittelwertes (Formel 7.3.1.1) im Sampling Stratum h nach MANDALLAZ und YE (1999):

$$v\langle \hat{Y}_h \rangle = \frac{1}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{\bar{M}} \right)^2 (Y(x) - \hat{Y}_h)^2 \quad (7.3.1.2)$$

mit

$$\bar{M} = E\langle M(x) \rangle = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)}{n_{2,h}} \quad (7.3.1.3)$$

Totalwertschätzungen:

Totalwerte, wie z. B. das Vorratstotal, werden durch Multiplikation des Mittelwertschätzers mit der Fläche (Wald + Nichtwald) geschätzt. Ist die Fläche (Wald + Nichtwald des Verdichtungsgebietes) bekannt, dann berechnet sich das Total und dessen geschätzte Varianz nach:

$$\hat{Y}_h = F_h \hat{Y}_h \quad (7.3.1.4)$$

$$v\langle \hat{Y}_h \rangle = F_h^2 v\langle \hat{Y}_h \rangle \quad (7.3.1.5)$$

Wurde dagegen eine Fläche \hat{F}_h (Wald + Nichtwald) innerhalb des Verdichtungsgebietes geschätzt (z. B. über das Verhältnis der Anzahl Traktecken im Auswertungsgebiet eines Verdichtungsgebietes zur Anzahl Traktecken im gesamten Verdichtungsgebiet = \hat{p}_h), muss deren Varianz bei der Schätzung der Varianz des Totals berücksichtigt werden. Die Varianz der geschätzten Fläche berechnet sich nach Formel 7.3.1.5 und lautet:

$$v\langle \hat{F}_h \rangle = A_h^2 v\langle \hat{p}_h \rangle \quad (7.3.1.6)$$

wobei die Varianz des Anteils $v\langle \hat{p}_h \rangle$ mit der Formel 7.3.1.2 wie folgt geschätzt wird:

$$v\langle \hat{p}_h \rangle = \frac{1}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \sum_{x \in A_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{\bar{M}} \right)^2 (p_h(x) - \hat{p}_h)^2 \quad (7.3.1.7)$$

Das Total ergibt sich nun aus dem Produkt der geschätzten Fläche \hat{F}_h und dem geschätzten Mittelwert von \hat{Y}_h :

$$\hat{Y}_h = \hat{F}_h \hat{Y}_h \quad (7.3.1.8)$$

Dessen Varianz wird geschätzt durch

$$v\langle \hat{Y}_h \rangle = \hat{F}_h^2 v\langle \hat{Y}_h \rangle + v\langle \hat{F}_h \rangle \hat{Y}_h^2 \quad (7.3.1.9)$$

Ratioschätzungen:

Ein Ratioschätzer wird geschätzt nach

$$\hat{R}_h = \frac{\hat{Y}_h}{\hat{X}_h} = \frac{\hat{Y}_h}{\hat{X}_h} \quad (7.3.1.10)$$

Von MANDALLAZ (2008) wird der entsprechende Varianzschätzer gegeben:

$$v\langle \hat{R}_h \rangle = \frac{1}{(\hat{X}_h)^2} \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{M}\right)^2 (Y(x) - \hat{R}_h X(x))^2}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (7.3.1.11)$$

Die Varianz eines Schätzers wird nur bei ausreichend großem Stichprobenumfang (DAHM, 2006) zuverlässig geschätzt. Insbesondere bei Ratioschätzern ist bei zu geringem Stichprobenumfang (< 30 Trakte) der Stichprobenfehler nicht aussagekräftig.

7.3.2 Aggregation über Sampling Straten hinweg

Mittelwertschätzungen:

Der Mittelwertschätzer für eine Zielgröße über Sampling Straten hinweg ergibt sich durch Summation der Stratenschätzer, gewichtet mit den Flächenanteilen der Straten F_h/F :

$$\hat{Y}_{st} = \sum_{h=1}^H \frac{F_h}{F} \hat{Y}_h \quad (7.3.2.1)$$

mit der Varianz des gewichteten Stichprobenmittelwertes:

$$v\langle \hat{Y}_{st} \rangle = \sum_{h=1}^H \left(\frac{F_h}{F}\right)^2 v\langle \hat{Y}_h \rangle \quad (7.3.2.2)$$

Totalwertschätzungen:

Totalwerte beruhend auf bekannten Flächen (Wald + Nichtwald) und deren geschätzte Varianzen berechnen sich nach:

$$\hat{Y}_{st} = F \hat{Y}_{st} = \sum_{h=1}^H \hat{Y}_h \quad (7.3.2.3)$$

$$v\langle \hat{Y}_{st} \rangle = F^2 v\langle \hat{Y}_{st} \rangle \quad (7.3.2.4)$$

Totalwerte basierend auf unbekanntem Flächen (Wald + Nichtwald) berechnen sich dagegen nach:

$$\hat{Y}_{st} = \hat{F} \hat{Y}_{st} = \sum_{h=1}^H \hat{Y}_h \quad (7.3.2.5)$$

mit $\hat{F} = \sum_{h=1}^H \hat{F}_h$. Deren Varianzen werden geschätzt durch:

$$v\langle \hat{Y}_{st} \rangle = \hat{F}^2 v\langle \hat{\bar{Y}}_{st} \rangle \quad (7.3.2.6)$$

wobei die Schätzung der Varianz des Flächenschätzers \hat{F} bereits in $v\langle \hat{\bar{Y}}_{st} \rangle$ enthalten ist.

Ratioschätzungen:

Ein Ratioschätzer über Samplingstraten hinweg berechnet sich aus dem Quotienten zweier Totalwerte:

$$\hat{R}_{st} = \frac{\hat{Y}_{st}}{\hat{X}_{st}} = \frac{\hat{\bar{Y}}_{st}}{\hat{\bar{X}}_{st}} \quad (7.3.2.7)$$

Von WILLIAMS (2006) wird der entsprechende Varianzschätzer für einen stratifizierten, kombinierten Ratioschätzer gegeben, welcher um den Traktgewichtungsfaktor $(M(x)/\bar{M})^2$ erweitert wurde, so dass die Formel nun lautet:

$$v\langle \hat{R}_{st} \rangle = \frac{1}{(\hat{\bar{X}}_{st})^2} \sum_{h=1}^H \left(\frac{F_h}{F}\right)^2 \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{\bar{M}}\right)^2 (Y(x) - \hat{R}_{st} X(x))^2}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (7.3.2.8)$$

Kapitel 8

Einphasige Hochrechnung von Veränderungsgrößen zwischen zwei Inventurzeitpunkten

8.1 Grundsätzliches

8.1.1 Zusammenhang von Bilanz, Zugang und Abgang

Unter Veränderungen im engeren Sinne werden *Bilanzen*, also Differenzen zweier Zustände, d. h. zwischen zwei Inventurzeitpunkten (= innerhalb einer Periode) verstanden. Das sind beispielsweise die Zielmerkmale Veränderung der Waldfläche [ha], Veränderung des Vorrates [m^3] innerhalb einer Periode.

Im weiteren Sinne werden unter Veränderungen bei der BWI aber auch Aussagen zum *Zugang* (z. B. Neuwaldfläche, Zuwachs des Vorrates) und zum *Abgang* (z. B. Umwandlungsfläche, Vorrat des ausgeschiedenen Bestandes) verstanden.

Eine Auswertungsperiode für Veränderungen ist der Zeitraum zwischen zwei Inventuren mit einem Anfangs- und einem Endzeitpunkt (Stichjahr), beispielsweise zwischen der aktuellen Inventur (Endzeitpunkt) und einer gewählten Vorgängerinventur (Anfangszeitpunkt).

Bei der Berechnung von Bilanzen sowie von Zu- und Abgängen dürfen nur vergleichbare Mengen (Datensätze) herangezogen werden. So beziehen sich Veränderungsschätzungen für das Derbholz zwischen der BWI 2002 und nachfolgenden Inventurzeitpunkten generell auf Bäume mit einem BHD ≥ 7 cm. Diese Aussagen können für ganz Deutschland erbracht werden. Dagegen können Zuwachs- und Abgangsschätzungen für das Derbholz gegenüber der BWI 1987 lediglich für das Baumkollektiv in den alten Bundesländern mit einem BHD ≥ 10 cm erfolgen, da bei der BWI 1987 die Bäume mit einem BHD von 7 cm bis 10 cm nicht durch die WZP/ZF4 erfasst wurden, sondern in einem 4 m Probekreis ohne Angaben der Polarkoordinaten, so dass ihre individuelle Entwicklung unbekannt ist.

Für die Berechnung von Bilanzen, Zugängen und Abgängen wurden rückwirkend alle abgeleiteten (transformierte und aggregierte) Daten der Vorgängerinventuren mit den neuen oder neu parametrisierten Methoden der aktuellen Inventur nochmals berechnet. Somit wurden Dateninkonsistenzen und auswertungsmethodische Unterschiede zwischen den Inventuren weitestgehend vermieden, um verlässliche, aussagekräftige Zahlen für die Veränderungen liefern zu können.

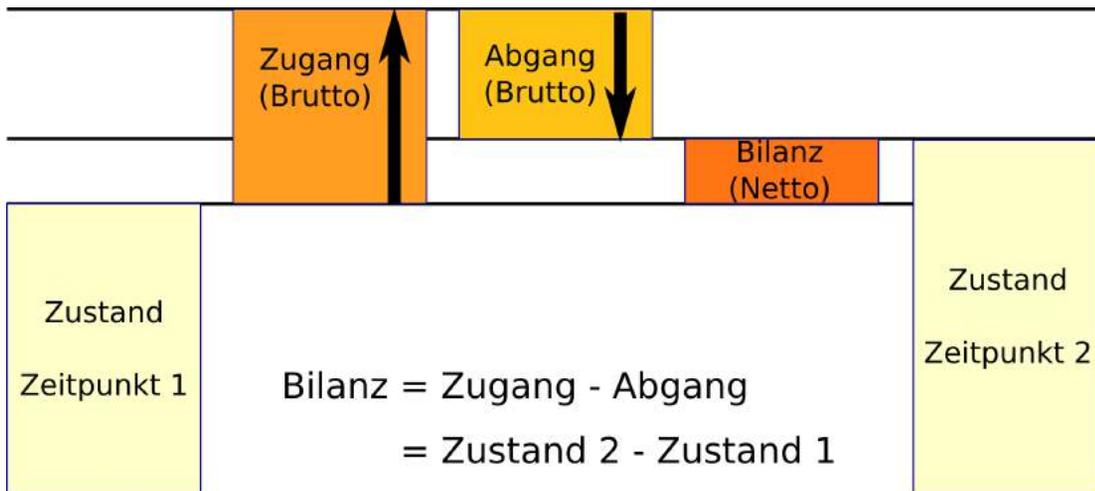


Abbildung 8.1: Schematischer Zusammenhang von Veränderungen (Bilanz, Zugang und Abgang)

Folgende Zusammenhänge bestehen zwischen den Zustandsgrößen und den Veränderungsgrößen (s. Abb. 8.1):

- $\text{Zustand}^1 + \text{Zugang} - \text{Abgang} = \text{Zustand}^2$,
- $\text{Bilanz} = \text{Zustand}^2 - \text{Zustand}^1$,
- $\text{Bilanz} = \text{Zugang} - \text{Abgang}$.

Bei der Hochrechnung von Vorräten darf jedoch nicht erwartet werden, dass die Gleichung $\text{Zustand}^1 + \text{Zugang} - \text{Abgang} = \text{Zustand}^2$ exakt aufgeht, da der Zugang (hier Bruttozuwachs) und der Abgang (hier Vorrat des ausscheidenden Bestandes) aus unterschiedlichen Probestaumkollektiven hochgerechnet werden (Anfangswert-Verfahren vs. Endwert-Verfahren) und dabei auch regressionsanalytische Modelle zum Einsatz kommen. Als weiterführende Literatur zu dieser Problematik sei hier auf MARTIN (1982), VAN DEUSEN ET AL. (1986), ROESCH ET AL. (1989) und ERIKSSON (1995a) verwiesen.

Diese „Bilanzlücke“ betrug bei der Auswertung der Veränderungen zwischen BWI1987 und BWI2002 $1,4 \text{ m}^3/\text{ha}$, bzw. 0,5% des Anfangsvorrates. In der Periode 2002 – 2012 ist eine Lücke von $4 \text{ m}^3/\text{ha}$ zu verzeichnen. Dies entspricht 1,4% des Anfangsvorrates. Bei der Hochrechnung von Flächen tritt dieses Problem nicht auf.

8.1.2 Bilanzen

Für Bilanzen sind Ausprägungen einer Zielgröße zu zwei Inventurzeitpunkten zu vergleichen. Jedoch unterscheiden sich Aufnahmeverfahren und Auswertungsalgorithmen zwischen BWI1987 und BWI2002, im geringen Maße auch zwischen BWI2002 und BWI2012. Zusätzlich haben einige Bundesländer die Flächenangabe zu den Verdichtungsgebieten aktualisiert, oder sie haben ihre Netzverdichtungen geändert (siehe Tabellen 2.3, 8.4 u. 8.5). Zwischen zwei Inventuren abweichende Gesamtflächen und differierende Verdichtungen führen zu unterschiedlichen Stichprobenzahlen, die für Zustandsrechnungen einerseits und Veränderungsrechnungen andererseits herangezogen werden dürfen (siehe Abschnitt 8.1.4). Auch die Behandlung von Datenlücken und -inkonsistenzen spielt eine wichtige Rolle (siehe Abschnitt 8.1.5).

Hierdurch weichen Zustandsgrößen für den Zeitpunkt 1 (...⁽¹⁾) und Zeitpunkt 2 (...⁽²⁾) als Zwischenergebnisse für Bilanzrechnungen u. U. von denen der reinen Zustandsrechnungen ab. Bilanzen dürfen, um Verzerrungen zu vermeiden, aus den o. g. Gründen nicht aus der Differenz zwischen BWI 2012-Zustandsergebnissen und damals veröffentlichten Zustandsergebnissen einer Vorgängerinventur gebildet werden.

Für die Berechnung von Bilanzen werden die Algorithmen des Abschnittes 8.2 genutzt. Ähnlich wie beim Aggregieren von Zustandsgrößen bleiben die Klassifizierungen erhalten, die Ebenen werden schrittweise zusammengefasst (s. Tabelle 8.6). Prinzipiell erfolgt die Differenzierung nach Domains für jeden Inventurzeitpunkt getrennt.

8.1.3 Zugang und Abgang

Zugangs- und Abgangsgrößen werden als Zustandsgrößen aufgefasst, d. h. die Aggregation erfolgt mit den Algorithmen für die Zustandsrechnungen nach einem der drei Hochrechnungstypen (siehe Abschnitt 7.3). Für $Y(x_m)$ werden allerdings Differenzen übergeben, die schon vor der Hochrechnung auf Objektebene ermittelt wurden. Auch beim Zu- und Abgang sind — wie bei Bilanzen — Besonderheiten bezüglich der Gesamtflächen, dem Inventurraster, Datenlücken u. ä. zu beachten (siehe Abschnitte 8.1.4 und 8.1.5).

Zwei Themengruppen zum Zugang sind bei der BWI von Bedeutung:

- Neuwaldfläche (Fläche, die sich von Nichtwald zu Wald entwickelt hat),
- Zuwachs (des Vorrates, der Grundfläche usw.).

Zum Abgang sind bei der BWI drei Themengruppen von Bedeutung:

- Umwandlungsfläche (Flächennutzung wechselt von Wald zu Nichtwald),
- Vorrat des ausgeschiedenen Bestandes (von genutzten und abgestorbenen Bäumen) ab 7 cm BHD,
- Vorrat des genutzten Bestandes (nur von flächig oder selektiv genutzten sowie nicht wiedergefundene Bäumen, nicht aber von abgestorbenen Bäumen) ab 7 cm BHD.

Da für diese Objekte nur zu jeweils einem Zeitpunkt einer Auswertungsperiode Daten bekannt sind, können — wie bereits in den Abschnitten 6.3.2 und 6.3.1 erwähnt — Zugänge nur mit dem Endwertverfahren und Abgänge nur mit dem Anfangswertverfahren berechnet werden (DAHM, 2006, SCHIELER, 1997, HRADETZKY und POKORNY, 1996, HRADETZKY und KÄNDLER, 2004). Dabei bedeutet

- Anfangswertverfahren: objektbezogene Merkmale, insbesondere die Wichtungsfaktoren von Objekten (bspw. die repräsentierte Stammzahl), sind nur zu Beginn der Auswertungsperiode bekannt, weshalb nur diese bei der Aggregation verwendet werden können.
- Endwertverfahren: objektbezogene Merkmale, insbesondere die Wichtungsfaktoren von Objekten (bspw. die repräsentierte Stammzahl), sind nur zum Ende der Auswertungsperiode bekannt, weshalb nur diese bei der Aggregation verwendet werden können.

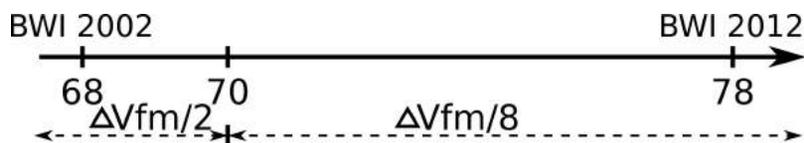
Anfangs- und Endwertverfahren können aber auch Klassifizierungen und Flächenbezüge (für Werte/ha) betreffen, so bspw. Auswertungen nach Eigentumsarten oder Altersklassen.

8 Veränderungen zwischen zwei Inventurzeitpunkten

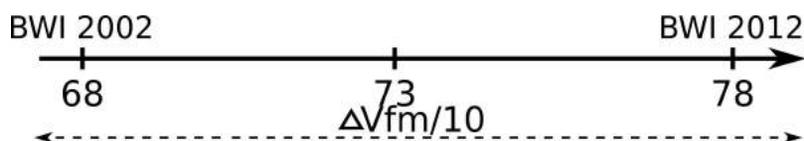
Die Zuordnung von Objekten zu Klassen ist im Falle von Eigentumsarten, Eigentumsgrößenklassen oder anderen Klassifizierungsmerkmalen, welche einem *nicht kontinuierlichen, ungerichteten Prozess* unterliegen, einfach zu realisieren: Wird das Ende der Inventurperiode, also der aktuelle Zustand und Veränderungen hin zu diesem Zustand betrachtet, erfolgt die Klassifizierung nach dem Endwertverfahren, im anderen Fall nach dem Anfangswertverfahren.

Dagegen unterliegen Klassenzuordnungen wie Alters- oder Durchmesserklassen im Verlauf der Inventurperiode einem *gerichteten, kontinuierlichen Prozess*. Bei der Auswertung der BWI 2002 wurden Objekte, welche nur zum Beginn der Periode vorhanden waren nach dem Anfangswertverfahren zugeordnet, alle anderen Objekte nach dem Endwertverfahren. Hieraus resultiert eine Vermischung beider Verfahren, welche im Nachgang der BWI 2002 nicht als optimal angesehen wurde. Aus diesem Grund wurden zwei alternative Vorschläge untersucht:

1. Die Zuordnung der Objekte zu einer Klasse erfolgt dynamisch, d.h. auf Basis linearer Fortschreibung der Klassifizierungsgröße innerhalb der Inventurperiode. Überschreitet ein Objekt innerhalb dieses Inventurzeitraumes eine Klassengrenze (z. B. eine Altersklassengrenze), wird der in der gesamten Inventurperiode geleistete Zuwachs, ähnlich dem Ansatz nach ERIKSSON (1995a,b), proportional zum Verbleiben in der jeweiligen Klasse aufgeteilt.



- Vorteil: Die Veränderungen (Zuwächse) werden auf die einzelnen Klassen verteilt, in denen sie tatsächlich stattgefunden haben.
 - Nachteil: Diese Methode ist technisch schwierig umzusetzen. Die Zuordnung der Veränderungen zu Klassen, die vom jeweiligen Nutzer variabel definiert werden könnten, führt zu einem zusätzlichen Ableitungsprozess, der erst bei der Hochrechnung selbst und nicht schon bei dem Ableiten der Merkmale erfolgen kann.
2. Die Zuordnung der Objekte zu Klassen erfolgt entsprechend ihrer Merkmalsausprägung zur Periodenmitte. Man unterstellt hierbei, dass im Mittel sowohl der Abgang der Objekte als auch der Zugang von Objekten in der Periodenmitte stattfindet. Dadurch sind die Bezugsflächen von Zugang und Abgang identisch. Zudem werden Klassifizierungsmerkmale zwischen Zugang und Abgang einheitlich zugeordnet. Bei der BWI 2002 wurde ein genutzter Baum bspw. der Altersklasse zugeordnet, in der er zum Zeitpunkt 1 der Periode war; ein entsprechend alter Einwuchs dagegen wurde der gleichen Altersklasse zugeordnet, jedoch bezogen auf den Zeitpunkt 2 der Periode.



- Vorteil: Die Klassen können schon beim Ableiten der Merkmale zugeordnet werden.

- Nachteil: Veränderungen werden Klassen zugeordnet, in denen sie (dynamisch gesehen) nicht immer stattgefunden haben.

Der pragmatischere Ansatz ist die Zuordnung der Objekte zur Periodenmitte (Alternative 2), da hier auf zusätzliche Fortschreibungsmodelle verzichtet werden kann. Dieser Ansatz wird bei der Auswertung der BWI2012 verfolgt, was von der Gutachterkommission für Waldinventuren beim BMEL bestätigt wurde.

Die Zuordnung eines Objektmerkmals zu einem dynamischen Klassifizierungsmerkmal in der Periodenmitte hat jedoch keinen Einfluss auf die Wahl des Objektgewichtes. Die Wahl des Objektgewichtes erfolgt weiterhin nach dem Anfangs- bzw. Endwertverfahren, d. h. ist das Objekt lediglich zum Beginn der Periode vorhanden oder zum Ende.

Zugang und Abgang des Vorrates werden anhand einer aufgenommenen Probebaumkennziffer (PK) differenziert, die für jeden in der WZP/ZF4 erfassten Probebaum (Bäume ab 7 cm BHD) erhoben worden ist. Die Anzahl so differenziert erfasster Bäume zeigt Tabelle 8.1 für die Periode BWI1987–BWI2002. 24,9% (77.140 Bäume) aller bei BWI1987 und BWI2002 erfassten Bäume sind während der Periode ausgefallen (Abgang), 30,5% (94.569 Bäume) sind eingewachsen (PK = 0). Der Anteil ausgefallener und eingewachsener Bäume (171.709) liegt bei 55,4%. Für nur 44,6% (138.218 Bäume) liegen Zweifachmessungen vor (PK = 1). Für die Periode BWI2002–BWI2012 ist die Anzahl Bäume differenziert nach der Probebaumkennziffer in Tabelle 8.2 aufgeführt.

Da der Auswertzeitraum mit 15 bzw. 10 Jahren sehr lang ist, muss das Wachstum der eingewachsenen bzw. ausgefallenen Bäume berücksichtigt werden. Beim Zuwachs, genauer beim Bruttozuwachs, sind drei Komponenten zu unterscheiden:

- Zuwachs eingewachsener Bäume (ingrowth)
- Zuwachs überlebender Bäume (survivor)
- Zuwachs ausgeschiedener Bäume (cut and mortality)

Bäume der Komponente b (survivor) weisen Messwerte von zwei Zeitpunkten auf.

Tabelle 8.1: Anzahl der WZP/ZF4-Probeebäume für Zuwachs, Abgang, Nutzung in der Periode BWI1987–BWI2002

PK	Beschreibung	Zuwachs	berücksichtigt für ...		AnzBäume
			Abgang	Nutzung	
0	neuer Probebaum	*			94.569
1	wiederholt aufgenommener Probebaum	*			138.218
2	selektiv entnommener Probebaum	*	*	*	57.867
3	bei Kahlschlag entnommen	*	*	*	12.819
4	nicht stehend, am Ort verblieben	*	*		3.370
5	abgestorben (o. Feinaststruktur)	*	*		2.598
9	nicht auffindbar	*	*	*	486
Σ	Gesamt	309.927	77.140	71.172	309.927

^a Nur Traktecken mit Use12 = 100 (Schnittmenge des Inventurgebietes beider Inventuren mit vergleichbaren Daten)

8 Veränderungen zwischen zwei Inventurzeitpunkten

Tabelle 8.2: Anzahl der WZP/ZF4-Probeebäume für Zuwachs, Abgang, Nutzung in der Periode BWI 2002 – BWI 2012

PK	Beschreibung	Zuwachs	berücksichtigt für ...		AnzBäume
			Abgang	Nutzung	
0	neuer Probebaum	*			103.819
1	wiederholt aufgenommener Probebaum	*			270.447
2	selektiv entnommener Probebaum	*	*	*	71.786
3	bei Kahlschlag entnommen	*	*	*	12.103
4	nicht stehend, am Ort verblieben	*	*		5.022
5	abgestorben (o. Feinaststruktur)	*	*		7.105
9	nicht auffindbar	*	*	*	978
Σ	Gesamt	471.260	96.994	84.867	471.260

^a Nur Traktecken mit Use23 = 100 (Schnittmenge des Inventurgebietes beider Inventuren mit vergleichbaren Daten)

Für die Bäume (Probebaumkennziffer Pk=0) der Komponente a (ingrowth) wurden BHD und Baumhöhe für den Zeitpunkt der Vorgängerinventur modelliert und dies unabhängig davon, ob der Baum damals die Derbholtzgrenze (≥ 7 cm BHD) überschritten hatte und im Grenzkreisradius lag (s. Abschnitt 5.4). Die modellierten Messwerte für den Periodenbeginn wurden auf 0 korrigiert, wenn sich rechnerisch ein Alter von weniger als 1 Jahr ergeben hat.

Die entsprechenden Werte (BHD, Baumhöhe) für Bäume der Komponente c (cut and mortality) wurden mit den identischen Methoden für die Periodenmitte modelliert.

Für alle drei Komponenten wurden anschließend weitere Größen wie Grundfläche, Volumina etc. abgeleitet und die Differenz von Werten zweier Zeitpunkte — also verschiedene Zuwachsmerkmale — hergeleitet (s. Abschnitt 5.5). Bei den Komponenten *ingrowth* und *survivor* berechnet sich der Zuwachs aus den Werten vom Periodenende (aktuelle Inventur) und Periodenbeginn (Vorgängerinventur). Bei der Komponente *cut and mortality* bildet sich der Zuwachs aus der Differenz zwischen den Werten zur Periodenmitte und zum Periodenbeginn.

Die zur Periodenmitte modellierten Baumwerte zusammen mit den Gewichtungsfaktoren zum Periodenbeginn der Komponente *cut and mortality* sind Ausgangsbasis für die Berechnungen zum Abgang von Derbholtz.

Bäume, die nach der Vorgängerinventur die Derbholtzgrenze überschritten haben, aber vor der aktuellen Inventur (Periodenende) ausgeschieden sind, werden nicht berücksichtigt. Diese werden methodisch bedingt von keiner periodischen Inventur erfasst.

Aus dem periodischen Einzelbaumzuwachs wurde der jährliche Einzelbaumzuwachs durch Division mit der Anzahl der Vegetationsperioden zwischen den beiden Aufnahmen ermittelt. Angenommen wurde eine jährliche Vegetationsperiode vom 1. Mai bis 15. September. Aus den periodischen Abgangswerten des ausgeschiedenen Bestandes, modelliert zur Periodenmitte, wurden die jährlichen Werte durch Division mit der Anzahl der Kalenderjahre vom Periodenbeginn bis zum Periodenende ermittelt.

8.1.4 Differenzierung zwischen Vereinigungsmenge und Schnittmenge

8.1.4.1 Schnittfläche der Inventurgebiete (Wald+Nichtwald)

Die Gesamtfläche A_h eines Verdichtungsgebietes (Sampling Stratum) ist u. U. zwischen zwei Inventurzeitpunkten nicht konstant. So vergrößert bspw. das Amt Neuhaus nach 1990 die Fläche von Niedersachsen, da es ehemals zur DDR gehörte. Zudem änderte sich die Fläche des Verdichtungsgebietes Berlin durch den Zusammenschluss beider Stadtteile bei der Wiedervereinigung. Aus diesen Gründen darf nur die Schnittfläche der Verdichtungsgebiete beider Inventurzeitpunkte bei Veränderungsrechnungen berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 2.3, Spalte $A_{h87-02} = A_{h87} \cap A_{h02}$).

8.1.4.2 Schnittmenge der Stichprobenpunkte

Neben den Flächen der Verdichtungsgebiete sind auch die Netzverdichtungen in einzelnen Verdichtungsgebieten nicht konstant. So hat bspw. Rheinland-Pfalz das $4\text{ km} \times 4\text{ km}$ -Netz der BWI 1987 auf ein $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ -Netz seit der BWI 2002 verdichtet. Gleiches erfolgte in Sachsen-Anhalt im Vorfeld der BWI 2012, sowie in Nordrhein-Westfalen und in Brandenburg im Nachgang zur BWI 2012 für die jeweiligen Landeswaldinventuren (vgl. Tabelle 2.3, Spalten **Verwendete Netzdichten**). Somit darf bei Veränderungsschätzungen nur die Schnittmenge der Trakte oder Traktecken beider Inventurzeitpunkte berücksichtigt werden: $(x_m) \in s_2^{(1)} \cap s_2^{(2)}$

8.1.4.3 Nomenklatur von Schnitt- und Vereinigungsmenge der Stichprobenpunkte

Zur Dokumentation dieser möglichen Änderungen in der Flächenzugehörigkeit, Netzzugehörigkeit etc. und für die Organisation der Hochrechnung wurde die in Tabelle 8.3 aufgezeigte Nomenklatur eingeführt. Diese gilt für alle Perioden. Für jede Inventurperiode wird eine separate *Use*-Spalte in der Datenbank geführt. Bspw. gehören alle mit *Use23* > 30 kodierte Traktecken zum Stichprobennetz der BWI 2002 und BWI 2012. Die Berücksichtigung der entsprechend kodierte Traktecken im Hochrechnungsprozess von Veränderungsrechnungen wird im Abschnitt 8.1.5 detailliert dargelegt.

8.1.4.4 Verwendung von Vereinigungs- oder Schnittmenge des Waldes

Bei Veränderungsrechnungen bedingen sich Fragestellung und in die Rechnung einzubeziehende Teilmengen der Stichproben im Wald gegenseitig, so dass folgende Bedingungen (siehe Abb. 8.2) zu beachten sind:

- Soll die Entwicklung insgesamt z. B. für Deutschland oder ein Land beschrieben werden, so ist die Vereinigungsmenge WALD beider Inventurzeitpunkte in die Hochrechnung einzubeziehen (z. B. Veränderung der Waldfläche in Deutschland).
- Soll dagegen die Entwicklung innerhalb einer konstanten Einheit ermittelt werden, so ist die Schnittmenge des Waldes beider Inventurzeitpunkte in die Hochrechnung einzubeziehen.

Folgende Aspekte können nur aus der Vereinigungsmenge, nicht aus der Schnittmenge analysiert werden:

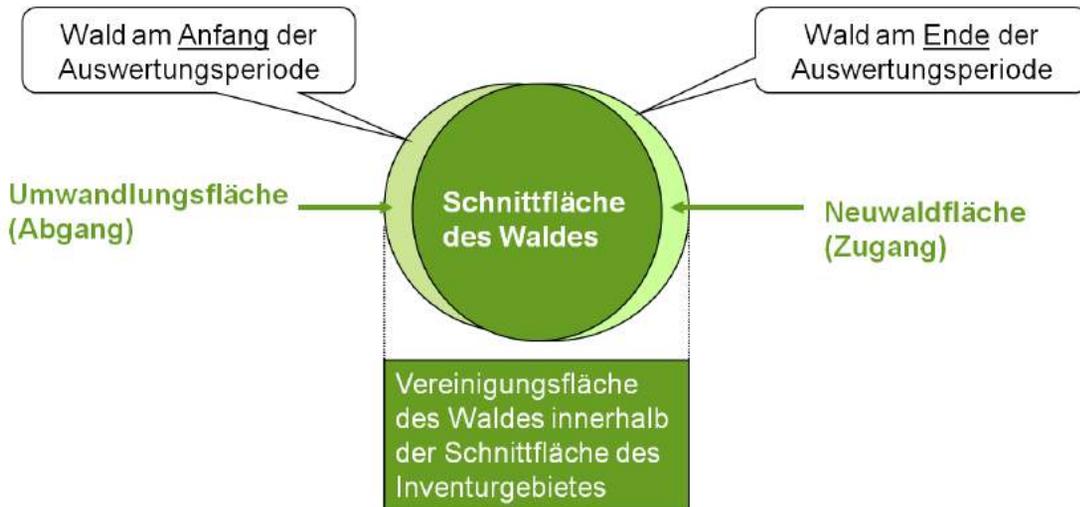


Abbildung 8.2: Vereinigungs- und Schnittfläche des Waldes

- Veränderung der Baumartenanteile im gesamten Wald (inkl. Waldumwandlungs- und Neuwaldflächen mit ggf. höheren Nadelholzanteil auf den Umwandlungsflächen und deutlich höherem Laubanteil auf den Neuwaldflächen),
- summarische Nutzungsmenge auf Wald gebliebenen Flächen und Waldumwandlungsflächen,
- Waldflächenveränderung.

Es können Schnittmengen des Waldes insgesamt oder nur einer Domain (z. B. bestockter Holzboden, naturnaher Wald) gebildet werden. Darüber hinaus können aber auch Klas-

Tabelle 8.3: Codierung der Traktecken bezüglich ihrer Verwendung für Veränderungsrechnungen am Beispiel der BWI 1987 und BWI 2002. Die Codierung gilt entsprechend auch für andere Perioden (Use-Spalten in Tabelle b0_ecke)

Codierung	Beschreibung
10	unberücksichtigt: gehört nicht zum BWI-Netz 1987
20	unberücksichtigt: gehört nicht zum BWI-Netz 2002
30	unberücksichtigt: gehört weder zum Netz der BWI 2002 noch zur BWI 2012
40	Daten modelliert: nicht der gleiche Erhebungsort bei Inventuren BWI 1987 und BWI 2002
47	Daten modelliert: nachträglich für BWI 1987 zu Wald erklärt; KEINE Datenaufnahme bei BWI 1987
51	Daten modelliert: bei BWI 1987 nicht begehbar, aber bei BWI 2002 begehbar; KEINE Datenaufnahme bei BWI 1987
52	Daten modelliert: bei BWI 1987 begehbar, aber bei BWI 2002 nicht begehbar; KEINE Datenaufnahme bei BWI 2002
53	nachträglich für BWI 2002 zu Wald erklärt, nicht begehbar
63	berücksichtigt / meistens ausgeblendet: bei BWI 1987 und BWI 2002 nicht begehbar; keine Datenaufnahme
100	berücksichtigt: Daten verwendet so wie aufgenommen

sifizierungsmerkmale wie Eigentumsart, Altersklasse etc. konstant gehalten werden (z. B. Veränderung im Privatwald). Je mehr Parameter konstant gehalten werden, umso kleiner wird der Stichprobenumfang innerhalb einer Domain.

Die Veränderung der Waldfläche innerhalb Deutschlands beispielsweise ist aus der Vereinigungsfläche WALD inklusive der Umwandlungs- und Neuwaldflächen zu ermitteln. Die Veränderung der Baumartenfläche kann entweder aus der Vereinigungsfläche oder aus der Schnittfläche berechnet werden. In der Vereinigungsfläche entsprechen die Flächengewinne [ha] der Laubbäume nur teilweise den Flächenverlusten [ha] der Nadelbäume, weil die Waldfläche [ha] insgesamt zugenommen hat.

Die Waldfläche innerhalb einer Domain kann absolut mehr zunehmen als die gesamte Waldfläche und umgekehrt. In der Schnittmenge hingegen ist die Summe aller absoluten Veränderungen 0, sie gleichen sich gegenseitig aus. Die Summe der Veränderungen von Laub- und Nadelwaldflächen ist somit bei der Betrachtung der Schnittmenge 0 — im Gegensatz zur Betrachtung der Vereinigungsmenge.

Die Aussagen für Veränderungen beider Varianten (Schnitt- oder Vereinigungsmenge WALD) unterscheiden sich nur wenig, wenn relative Zielmerkmale wie Veränderung der Flächenanteile [%-Punkte] anstatt absoluter Zielmerkmale wie Veränderung der Waldfläche [ha] ausgewiesen werden.

Die Standard-Veränderungshochrechnungen des Bundes haben für unterschiedliche Perioden folgende Bezugsbasis des Waldes (bzw. einer Waldkategorie):

- Periode 2002 – 2012: Vereinigungsfläche WALD, meistens aber nur des Holzbodens (oft inkl. Blöcke),
- Periode 2008 – 2012: Schnittfläche WALD, meistens aber nur des Holzbodens (oft inkl. Blöcke),
- Periode 2002 – 2008: Schnittfläche WALD, meistens aber nur des Holzbodens (oft inkl. Blöcke),
- Periode 1987 – 2002: Vereinigungsfläche WALD, meistens aber nur des produktiven Waldes (oft inkl. Blöcke), da bei der BWI 1987 eine Datenerfassung nur im produktiven Wald erfolgte.

Auch die Standardauswertungen zum Zuwachs beziehen sich auf die Vereinigungsfläche. Dagegen wird die Wuchsleistung als Ausdruck der Produktivität (z. B. einer Baumart je Hektar und Jahr) ermittelt, indem man den Zuwachs auf die Schnittfläche WALD in einer Domain bezieht. Die Unterschiede zwischen beiden Varianten sind gering. Das Zuwachstotal [m^3] auf der Schnittfläche ist gegenüber dem Zuwachstotal [m^3] auf der Vereinigungsmenge etwas geringer, der flächenbezogene Zuwachs [m^3/ha] dagegen knapp 1 % höher.

Folgende Aspekte können unterstützend zur Entscheidung herangezogen werden, ob nach Schnitt- oder Vereinigungsmenge WALD ausgewertet werden soll:

- Gesamt-Waldflächenveränderungen können nur auf der Vereinigungsmenge WALD ermittelt werden (Zustand¹ + (Brutto-)Zuwachs - Abgang/Nutzung = Zustand²).
- Für eine Gesamtschau nach Abbildung 8.1 muss für alle drei Varianten Bilanz, Zugang und Abgang die gleiche Entscheidung getroffen werden: Vereinigungsmenge oder Schnittmenge WALD.

- Die „forstlich relevanteren“ Ergebnisse beziehen sich häufig auf die Schnittmengen, z. B. der Bruttozuwachs, bei dem die Wuchsleistung im Vordergrund steht (Vergleich zu Ertragstafeln oder Vergleiche mit den Zahlen anderer Nationalinventuren, ...).
- Die Ergebnisse der Veränderung der Baumartenflächen auf der Vereinigungsmenge WALD sind politisch wichtig. Jedoch ist bei der Interpretation zu beachten, dass sie nicht additiv sind bzw. in der Summe nicht 0 ergeben.
- Die Arbeit mit Schnittflächen des Waldes lässt mehr Flexibilität bei der Klassifizierung zu, z. B. die Betrachtung reeller Flächenattribute wie der Eigentumsart zum Anfangs- oder Endzeitpunkt oder identisch zu beiden Zeitpunkten. Häufig ist das Ergebnis für die aktuelle Eigentumsart interessant, also die Betrachtung für den Endzeitpunkt.

Auf Grund der zuvor genannten Aspekte wurde für die BWI 2012 folgendes Vorgehen gewählt:

- Zuwächse beziehen sich zumeist auf die Vereinigungsmenge WALD. Einige Auswertungen betrachten die Zuwächse auch auf der Schnittfläche WALD; die Bruttozuwächse sind hier höher.
- Der Abgang wird über das Anfangswertverfahren quantifiziert und bezieht sich auf die Vereinigungsmenge WALD.
- Die Bilanz wurde zumeist für die Vereinigungsmenge WALD berechnet. Veränderungen in den Baumartenflächen sind je nach Auswertungsziel ggf. auf der Schnittfläche WALD zu schätzen.

8.1.5 Umgang mit Datenlücken und Dateninkonsistenzen

Überall dort, wo viele Daten zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst werden, treten trotz Datentests und Plausibilitätskontrollen Datenfehler oder Datenlücken auf.

Dateninkonsistenzen zwischen den Inventurzeitpunkten sind in folgenden Varianten aufgetreten (Tabellen 8.4 und 8.5):

- Zum Anfangszeitpunkt (Beginn der Auswertungsperiode) wurde eine Traktecke im Wald vergessen bzw. übersehen. Für diese Punkte liegen keine Anfangsdaten vor, es wurde lediglich zum Endzeitpunkt (Ende der Auswertungsperiode) festgestellt, dass Daten hätten aufgenommen werden müssen (Use... = 47 = rückwirkend als Wald deklariert, Daten fehlen).
- Die Datenerhebung beim Anfangs- und Endzeitpunkt erfolgte nicht am selben Ort, weil die Traktecke nicht wiedergefunden wurde (Use... = 40 = unterschiedliche Erhebungsorte, nicht vergleichbar).
- Eine Traktecke ist zu einem Inventurzeitpunkt begehbar, zum anderen aber nicht (Use... = 51 = zum Anfangszeitpunkt begehbar, zum Endzeitpunkt aber nicht; bzw. Use... = 52 = zum Endzeitpunkt begehbar, zum Anfangszeitpunkt aber nicht).
- Eine Traktecke war zu keinem der beiden Inventurzeitpunkte begehbar (Use... = 63 = niemals begehbar).

Traktecken, deren Daten sich zu den Inventurzeitpunkten nicht vergleichen lassen — Traktecken mit Dateninkonsistenzen oder Datenlücken — werden als „Wald ohne Aufnahme“ (WoA) bezeichnet.

Würden diese Traktecken ohne Aufnahme bei den Hochrechnungen berücksichtigt, indem die Ecken

1. aus dem Inventurgebiet ausgeblendet oder
2. wie Nichtwald mit Trakteckenwerten von 0 einbezogen werden,

würden daraus unrealistische Verzerrungen resultieren, i. d. R. Unterschätzungen der Mittel- und Totalwerte und somit zu falschen Differenzen zwischen zwei Inventurzeitpunkten führen. Die Ergebnisse werden um so verzerrter, desto größer das Ungleichgewicht der Verteilung der Datenlücken zwischen zwei betrachteten Zeitpunkten ist. Bei der BWI 1987 waren es in der Periode BWI 1987–BWI 2002 mehr Datenlücken beim Anfangszeitpunkt, bei der Periode BWI 2002–IS 2008 der Inventurstudie mehr Lücken beim Endzeitpunkt. Ohne Sonderbehandlung der inkonsistenten Daten kam es für die Periode BWI 1987–BWI 2002 bspw. in Rheinland-Pfalz und Hessen zur falschen Bilanzierung der Waldflächenveränderung: Waldabnahme trotz nachweislicher Waldzunahme.

Zur Vermeidung dieser Unterschätzung von Mittel- und Totalwerten wird eine Korrektur mit Hilfe des Mittelwertverfahrens bei Bilanz-, Zuwachs- und Abgangs-Hochrechnungen durchgeführt: Für Traktecken ohne vergleichbare Datenaufnahme (WoA) werden im Mittel die gleichen Verhältnisse angenommen wie für Traktecken mit vergleichbaren Datenaufnahmen (WmA) in der gleichen Domain.

Dazu werden in der Hochrechnung in einem ersten Schritt nur die Daten von Traktecken berücksichtigt, bei denen vergleichbare Daten zu beiden Inventurzeitpunkten vorliegen (WmA), um unverzerrte Differenzen bilden zu können. Anschließend wird innerhalb der Hochrechnungen eine Korrektur vorgenommen. D. h., für die Traktecken ohne vergleichbare Daten-Aufnahmen (WoA) werden die gleichen Verhältnisse angenommen wie für die Traktecken mit vergleichbaren Daten-Aufnahmen (WmA, Use... = {63,100}). Die Summen für die Verdichtungsgebiete werden entsprechend proportional erhöht (s. Abbildung 8.3); die Zähler für X und Y der Formeln 8.1.5.1 bzw. 8.1.5.3 oder einfacher, die Mittelwerte selbst (Formeln 8.1.5.2 bzw. 8.1.5.4) sind zu korrigieren:

$$\hat{X}_h^+ = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)X(x) + \frac{M_{h,WoA}}{M_{h,WmA}} \sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)X(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)} \quad (8.1.5.1)$$

$$= \hat{X}_h + \frac{M_{h,WoA}}{M_{h,WmA}} \hat{X}_h \quad (8.1.5.2)$$

$$\hat{Y}_h^+ = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)Y(x) + \frac{M_{h,WoA}}{M_{h,WmA}} \sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)Y(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)} \quad (8.1.5.3)$$

$$= \hat{Y}_h + \frac{M_{h,WoA}}{M_{h,WmA}} \hat{Y}_h \quad (8.1.5.4)$$

mit $M_{h,WoA}$ = Anzahl Traktecken im Wald ohne vergleichbare Aufnahme innerhalb des Verdichtungsgebietes und $M_{h,WmA}$ = Anzahl Traktecken im Wald mit vergleichbarer Aufnahme innerhalb des Verdichtungsgebietes. Durch diese Form der Daten-Imputation

NW	Nichtwald	Use12 = Use23 = {100}	Bei beiden Inventurzeitpunkten Nichtwald, weshalb keine Datenübergabe an die Hochrechnung erfolgt, sondern die Übergabe von 0-Werten.	
WoA	Wald	Use12 = Use23 = {40, 47, 51, 52, 53}	"Zuschlag"	Formel zur Korrektur
WmA	Wald	Use12 = Use23 = {63, 100}	Formeln für Gesamtwerte	

Abbildung 8.3: Umgang mit fehlenden oder nicht vergleichbaren Daten zweier Inventurzeitpunkte

können bei der Hochrechnung für die Vereinigungsfläche WALD realistische Differenzen oder Zuwächse zwischen zwei Zeitpunkten ermittelt werden.

Diese interne Korrektur während der Hochrechnung für die Schnittflächen WALD birgt aber die Gefahr, dass die Fläche bei den Zustandsrechnungen kleiner ist als die der Schnittfläche. Ursache hierfür ist das Ausblenden der „nicht begehbaren Flächen“ bei Zustandsrechnungen. Das ist nicht vermittelbar, weswegen bei der Inventurstudie 2008 für die Periode BWI 2002 – IS 2008 auf die interne Korrektur verzichtet wurde. Damit wurden die Gesamtwerte unterschätzt. Alternativ kann auch bei Zustandsrechnungen für den nicht begehbaren Wald eine interne Korrektur mit mittleren Verhältnissen vorgenommen werden. Dies wurde bei der Auswertung der BWI 2012 jedoch nicht umgesetzt, da gerade bei „nicht begehbaren Flächen“ (Truppenübungsplätze, felsiges Gelände, Steilhänge bzw. Feuchtgebiete) anzunehmen ist, dass deren Vorrat im Mittel niedriger ausfällt als der „begehbarer Flächen“.

Die Anteile der Traktecken ohne vergleichbare Datenaufnahmen (WoA) erscheinen für beide Inventurperioden BWI 1987 – BWI 2002 und BWI 2002 – BWI 2012 mit insgesamt ca. 1 % gering, erreicht aber in einzelnen Ländern mehr als 3 % (Maximum BWI 1987 – BWI 2002: Rheinland-Pfalz, Maximum BWI 2002 – BWI 2012: Brandenburg). Die Tabellen 8.4 bzw. 8.5 zeigen den Stichprobenumfang für die Veränderungsrechnungen und den jeweiligen Anteil von WmA- und WoA-Traktecken.

8.1.6 Fehlerbetrachtung nach Anwendung des Mittelwertverfahrens

Bei der Fehlerrechnung ist — auf Grund der bewussten und gerichteten Korrektur — zusätzlich zur Varianz die gerichtete Verzerrung (Bias) zu beachten. Als Fehlerwert ist somit der Root Mean Square Error anzugeben und nicht der Stichprobenfehler (engl. Sampling Error). Der RMSE setzt sich aus der Varianz und der systematischen Verzerrung zusammen:

$$rmse\langle \hat{X}_h^+ \rangle = \sqrt{v\langle \hat{X}_h \rangle + (\hat{X}_h - \hat{X}_h^+)^2} \tag{8.1.6.1}$$

$$rmse\langle \hat{Y}_h^+ \rangle = \sqrt{v\langle \hat{Y}_h \rangle + (\hat{Y}_h - \hat{Y}_h^+)^2} \tag{8.1.6.2}$$

Tabelle 8.4: Anzahl Traktecken für Hochrechnungen von Veränderungsgrößen je Verdichtungsgebiet zwischen BWI 1987 und BWI 2002; für die Codierung von Use12 siehe Tabelle 8.3

Land	VBI	BWI	BWI	Schnitt- menge ^a >30	WoA				WmA bzw. Nichtwald	
		1987	2002		=40	=47	=51	=52	=63	=100
Use12										
SH	104	15791	15840	15791	28	36	0	6	0	15721
HH	216	197	197	197	0	0	0	0	0	197
NI	308	12682	12698	12682	33	131	0	0	0	12518
NI	316	5565	5623	5565	31	65	0	1	0	5468
HB	416	97	97	97	0	7	0	0	0	90
NW	516	8555	8555	8555	53	72	1	9	0	8420
HE	616	5282	5282	5282	38	14	0	3	0	5227
RP	704	4971	19931	4971	72	72	1	5	0	4821
BW	804	35743	35743	35743	43	158	0	15	0	35527
BY	904	7500	3747	3747	5	23	0	1	0	3718
BY	908	5025	5025	5025	6	24	0	7	0	4988
BY	916	13267	13267	13267	7	60	0	7	4	13189
SL	1016	650	650	650	1	23	0	0	0	626
	∑	115325	126655	111572	317	685	2	54	4	110510

^a im Inventurgebiet von BWI 1987 und BWI 2002**Tabelle 8.5:** Anzahl Traktecken für Hochrechnungen von Veränderungsgrößen je Verdichtungsgebiet zwischen BWI 2002 und BWI 2012; für die Codierung von Use23 siehe Tabelle 8.3

Land	VBI	BWI	BWI	Schnitt- menge ^a >30	WoA				WmA bzw. Nichtwald		
		2002	2012		=40	=47	=51	=52	=53	=63	=100
Use23											
SH	104	15844	15844	15844	6	67	6	7	2	17	15739
HH	216	193	193	193		13	1			1	178
NI	308	12733	12733	12733	16	106	3	6		14	12588
NI	316	5620	5620	5620	9	45	3		4	10	5549
HB	416	100	100	100		3					97
NW	516	8574	8574	8574	66	35	5	11	3	13	8441
HE	616	5280	5280	5280	4	27	3	3	2	17	5224
RP	704	19944	19944	19944	108	70	13	35	7	61	19650
BW	804	35732	35732	35732	3	99	4	12	4	71	35539
BY	904	3755	3755	3755		26		4	8	2	3715
BY	908	5026	5026	5026	5	30	15	3	4	60	4909
BY	916	13264	13264	13264	13	95	17	5	4	95	13035
SL	1016	656	656	656	3	12	2		1	2	636
BE	1116	230	230	230		5					225
BB	1216	7463	7463	7463	4	162	48	20	14	72	7143
MV	1304	23346	23346	23346	6	227	35	60	44	99	22875
SN	1408	9241	9241	9241	5	74	9	14	12	76	9051
ST	1516	5126	20524	5126	57	58	2	4	9	8	4988
TH	1608	7188	7188	7188	32	110	7	16	12	8	7003
TH	1616	446	917	446	3	3		3		6	431
	∑	179761	195630	179761	340	1267	173	203	130	632	177016

^a im Inventurgebiet von BWI 2002 und BWI 2012

8.2 Aggregation von Veränderungsgrößen

Zur Schätzung der MITTELWERTE und TOTALWERTE von Bilanzen, Zugängen oder Abgängen werden die Algorithmen für Zustandsgrößen angewandt. Zulässig ist dies, da

1. sich diese Berechnungen immer auf eine Schnittmenge beziehen, bei der
2. die Differenz zweier Summen gleich der Summe der einzelnen Differenzen ist:

$$\sum Y^{(2)}(x) - \sum Y^{(1)}(x) = \sum (Y^{(2)}(x) - Y^{(1)}(x))$$

Aggregiert werden somit Zustandsmerkmale, die allerdings selbst Differenzen zwischen zwei Inventurzeitpunkten — hier aber auf unterster Aggregationsebene — darstellen.

Bei der Berechnung von RATIO-SCHÄTZERN gilt dies jedoch nicht prinzipiell! Hier sind Unterschiede zwischen den Zustands-Ratio-Schätzern des Abschnittes 7.3 und den Algorithmen zur Berechnung von Veränderungen zweier Ratioschätzer dieses Abschnittes zu beachten, je nachdem, ob sich die Veränderung des Ratio-Schätzers auf die Schnittmenge oder auf die Vereinigungsmenge bezieht.

Bezieht sich die Veränderung des Ratioschätzers auf die Schnittmenge beider Inventuren, ist die Bezugsfläche im Nenner für beide Zeitpunkte identisch. Der Ratioschätzer wird hier aus der Summe der Differenzen auf Traktebene im Zähler und der zu beiden Zeitpunkten identischen Fläche im Nenner gebildet. Soll dagegen die Veränderung des Ratioschätzers bezogen auf die Vereinigungsmenge beider Inventuren berechnet werden, sind die Bezugsflächen zu beiden Zeitpunkten unterschiedlich. Hierdurch ergeben sich andere Schätzer. Würden in diesem Fall bereits auf Traktecken- bzw. Traktebene die Differenz der Ratios gebildet werden, welche anschließend in die Hochrechnung einfließen, würde man ein sogenanntes „Mean of Ratios“ berechnen. Der Mittelwert aus mehreren Quotienten ist jedoch verzerrt.

Beide Varianten zur „Veränderung des Ratioschätzers“, a) auf der Schnittfläche und b) auf der Vereinigungsfläche, sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

8.2.1 Aggregation pro Sampling Stratum

Mittelwertschätzungen:

Innerhalb eines Sampling Stratum h ergibt sich der Schätzer für die Veränderungsgröße wie folgt:

$$\Delta \hat{Y}_h = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) \Delta Y(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)} \quad (8.2.1.1)$$

Die geschätzte Varianz der Veränderungsgröße im Sampling Stratum h ergibt sich nach MANDALLAZ und YE (1999) aus:

$$v \langle \Delta \hat{Y}_h \rangle = \frac{1}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{\bar{M}} \right)^2 \left(\Delta Y(x) - \Delta \hat{Y}_h \right)^2 \quad (8.2.1.2)$$

Totalwertschätzungen:

Veränderungen von Totalwerten, wie z. B. die Veränderung des Vorratstotal, werden durch Multiplikation des Mittelwertschätzers mit der Fläche geschätzt. Ist die Fläche bekannt, dann berechnet sich das Total und dessen geschätzte Varianz nach:

$$\Delta\hat{Y}_h = F_h * \Delta\hat{Y}_h \quad (8.2.1.3)$$

$$v\langle\Delta\hat{Y}_h\rangle = F_h^2 v\langle\Delta\hat{Y}_h\rangle \quad (8.2.1.4)$$

Wurde dagegen die Fläche \hat{F}_h geschätzt (z. B. über das Verhältnis der Anzahl Traktecken im Auswertungsgebiet eines Verdichtungsgebietes zur Anzahl Traktecken im gesamten Verdichtungsgebiet), muss deren Varianz bei der Varianzschätzung der Veränderung des Totals berücksichtigt werden. Die Schätzalgorithmen lauten hierfür entsprechend dem Abschnitt 7.3.1:

$$\Delta\hat{Y}_h = \hat{F}_h \Delta\hat{Y}_h \quad (8.2.1.5)$$

$$v\langle\Delta\hat{Y}_h\rangle = \hat{F}_h^2 v\langle\Delta\hat{Y}_h\rangle + v\langle\hat{F}_h\rangle \Delta\hat{Y}_h^2 \quad (8.2.1.6)$$

Ratioschätzungen:

Bezieht sich die Änderung des Ratioschätzers auf die Schnittfläche zwischen beiden Inventurzeitpunkten in einem Sampling Stratum, d. h. die Flächen beider Ratioschätzer sind identisch, ergibt sich die Schätzung wie folgt:

$$\Delta\hat{R}_h = \frac{\Delta\hat{Y}_h}{\hat{X}_h^{(2)}} = \frac{\Delta\hat{Y}_h}{\hat{X}_h^{(1)}} = \frac{\Delta\hat{Y}_h}{\hat{X}_h^{(2)}} = \frac{\Delta\hat{Y}_h}{\hat{X}_h^{(1)}} \quad (8.2.1.7)$$

Von MANDALLAZ (2008) wird der entsprechende Varianzschätzer gegeben:

$$v\langle\hat{R}_h\rangle = \frac{1}{\left(\hat{X}_h^{(2)}\right)^2} \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{M}\right)^2 \left(\Delta Y(x) - \Delta\hat{R}_h X^{(2)}(x)\right)^2}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (8.2.1.8)$$

Die Veränderung zweier Ratioschätzer bezogen auf die Vereinigungsfläche pro Sampling Stratum berechnet sich nach:

$$\Delta\hat{R}_h = \hat{R}_h^{(2)} - \hat{R}_h^{(1)} \quad (8.2.1.9)$$

Die Varianz kann geschätzt werden durch:

$$v\langle\Delta\hat{R}_h\rangle = v\langle\hat{R}_h^{(2)}\rangle + v\langle\hat{R}_h^{(1)}\rangle - 2cov\langle\hat{R}_h^{(2)}, \hat{R}_h^{(1)}\rangle \quad (8.2.1.10)$$

wobei der Kovarianzterm geschätzt wird mittels:

$$cov\langle\hat{R}_h^{(2)}, \hat{R}_h^{(1)}\rangle = \frac{1}{\hat{X}_h^{(2)} \hat{X}_h^{(1)}} \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{M}\right)^2 \left(d^{(2)}(x) - \hat{d}_h^{(2)}\right) \left(d^{(1)}(x) - \hat{d}_h^{(1)}\right)}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (8.2.1.11)$$

mit $d^{(2)}(x) = (Y^{(2)}(x) - \hat{R}_h^{(2)} X^{(2)}(x))$ und $\hat{d}_h^{(2)} = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) d^{(2)}(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)}$ zum Zeitpunkt 2

sowie $d^{(1)}(x) = (Y^{(1)}(x) - \hat{R}_h^{(1)} X^{(1)}(x))$ und $\hat{d}_h^{(1)} = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) d^{(1)}(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)}$ zum Zeitpunkt 1.

8.2.2 Aggregation über Sampling Straten hinweg

Mittelwertschätzungen:

Der Gesamtschätzer für eine Zielgröße über alle Samplingstraten hinweg ergibt sich durch Summation der Stratenschätzer gewichtet mit den Flächenanteilen der Sampling Straten F_h/F :

$$\Delta \hat{Y}_{st} = \sum_{h=1}^H \frac{F_h}{F} \Delta \hat{Y}_h \quad (8.2.2.1)$$

mit der Varianz des gewichteten Stichprobenmittelwertes:

$$v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle = \sum_{h=1}^H \left(\frac{F_h}{F} \right)^2 v \langle \Delta \hat{Y}_h \rangle \quad (8.2.2.2)$$

Totalwertschätzungen:

Veränderungen von Totalwerten beruhend auf bekannten Gesamtflächen und deren geschätzte Varianzen berechnen sich nach:

$$\Delta \hat{Y}_{st} = F \Delta \hat{Y}_{st} \quad (8.2.2.3)$$

$$v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle = F^2 v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle \quad (8.2.2.4)$$

Veränderungen von Totalwerten beruhend auf unbekanntem Gesamtflächen und deren geschätzte Varianzen berechnen sich dagegen nach:

$$\Delta \hat{Y}_{st} = \hat{F} \Delta \hat{Y}_{st} \quad (8.2.2.5)$$

$$v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle = \hat{F}^2 v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle \quad (8.2.2.6)$$

Siehe hierzu auch Abschnitt 7.3.2. Die Varianz der Flächenschätzung für \hat{F} ist bereits in $v \langle \Delta \hat{Y}_{st} \rangle$ enthalten.

Ratioschätzungen:

Bezieht sich die Änderung des Ratioschätzers auf die Schnittfläche zwischen beiden Inventurzeitpunkten, d. h. die Flächen beider Ratioschätzer sind identisch, ergibt sich die Schätzung nach:

$$\Delta \hat{R}_{st} = \frac{\Delta \hat{Y}_{st}}{\hat{X}_{st}^{(2)}} = \frac{\Delta \hat{Y}_{st}}{\hat{X}_{st}^{(1)}} = \frac{\Delta \hat{Y}_{st}}{\hat{X}_{st}^{(2)}} = \frac{\Delta \hat{Y}_{st}}{\hat{X}_{st}^{(1)}} \quad (8.2.2.7)$$

mit dem entsprechenden Varianzschätzer für einen stratifizierten, kombinierten Ratioschätzer nach WILLIAMS (2006):

$$v \langle \Delta \hat{R}_{st} \rangle = \frac{1}{\left(\hat{X}_{st}^{(2)} \right)^2} \sum_{h=1}^H \left(\frac{F_h}{F} \right)^2 \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{\hat{M}} \right)^2 \left(\Delta Y(x) - \Delta \hat{R}_{st} X^{(2)}(x) \right)^2}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (8.2.2.8)$$

Die Veränderung zweier kombinierter Ratioschätzer auf der Vereinigungsfläche beider Inventuren berechnet sich nach:

$$\Delta \hat{R}_{st} = \hat{R}_{st}^{(2)} - \hat{R}_{st}^{(1)} \quad (8.2.2.9)$$

Die Varianz kann geschätzt werden durch:

$$v \langle \Delta \hat{R}_{st} \rangle = v \langle \hat{R}_{st}^{(2)} \rangle + v \langle \hat{R}_{st}^{(1)} \rangle - 2 \text{cov} \langle \hat{R}_{st}^{(2)}, \hat{R}_{st}^{(1)} \rangle \quad (8.2.2.10)$$

wobei der Kovarianzterm geschätzt wird mittels:

$$\text{cov} \langle \hat{R}_{st}^{(2)}, \hat{R}_{st}^{(1)} \rangle = \frac{1}{\hat{X}_{st}^{(2)} \hat{X}_{st}^{(1)}} \sum_{h=1}^H \left(\frac{F_h}{F} \right)^2 \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} \left(\frac{M(x)}{M} \right)^2 \left(d^{(2)}(x) - \hat{d}_h^{(2)} \right) \left(d^{(1)}(x) - \hat{d}_h^{(1)} \right)}{n_{2,h}(n_{2,h} - 1)} \quad (8.2.2.11)$$

mit $d^{(2)}(x) = (Y^{(2)}(x) - \hat{R}_{st}^{(2)} X^{(2)}(x))$ und $\hat{d}_h^{(2)} = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) d^{(2)}(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)}$ zum Zeitpunkt 2

sowie $d^{(1)}(x) = (Y^{(1)}(x) - \hat{R}_{st}^{(1)} X^{(1)}(x))$ und $\hat{d}_h^{(1)} = \frac{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x) d^{(1)}(x)}{\sum_{x \in F_h \cap s_2} M(x)}$ zum Zeitpunkt 1.

Einen Überblick zum Umgang mit Klassifizierungs- und Eingangsgrößen in Hochrechnungen von Veränderungen zeigt Tabelle 8.6 am Beispiel von Bilanzen.

Tabelle 8.6: Überblick über Bilanz-Hochrechnungen für unterschiedliche Klassifizierungen

Klassifizierungsmerkmale						Ebenen			Hilfsgrößen			Zielmerkmale					
Auswertungseinheit																	
Auswertungsgebiet																	
Gebiet	Zeit	K1	K2	K3	K4	K5	h	(x)	(x _m)								
Ebene Traktecke (x_m)																	
Input aus	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	Enr				$X(x_m)$			
HR-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	Tnr	Enr				$Y(x_m)$			
Ebene Trakt / Traktabschnitt (x)																	
Input aus	Land	—	—	—	—	—	—	Vbl	Tnr	—	$n_{2,h,x} = 1$	$M(x)$	$F_{h,x}$				
HR-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	—				$X(x)$			
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	—				$\Delta X(x)$			
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	Tnr	—				$Y(x)$			
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	Tnr	—				$\Delta Y(x)$			
Ebene Verdichtungsgebiet h																	
	Land	—	—	—	—	—	—	Vbl	—	—	$n_{2,h}$	M_h	F_h				
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	—	—				$\sum X(x)$	\hat{X}_h	$\hat{\bar{X}}_h$	
	Land	Periode	Eg	Ba	BAlKl	—	—	Vbl	—	—				$\sum \Delta X(x)$	$\Delta \hat{X}_h$	$\Delta \hat{\bar{X}}_h$	
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	—	—				$\sum Y(x)$	\hat{Y}_h	$\hat{\bar{Y}}_h$	\hat{R}_h
	Land	Periode	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	Vbl	—	—				$\sum \Delta Y(x)$	$\Delta \hat{Y}_h$	$\Delta \hat{\bar{Y}}_h$	$\Delta \hat{R}_h$
Ebene Auswertungsgebiet																	
Output in	Land	—	—	—	—	—	—	—	—	—	n_2	M	F				
E-DB	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	—	—	—	—	—				$\Delta \hat{X}$	$\Delta \hat{\bar{X}}$		
	Land	Jahr	Eg	Ba	BAlKl	BhdSt	—	—	—	—				$\Delta \hat{Y}$	$\Delta \hat{\bar{Y}}$	$\Delta \hat{R}$	

^a Ba = Baumart^b BAlKl = Baumaltersklasse^c BhdSt = Durchmesserstufe^d Eg = Eigentumsart^e Enr = Trakteckennummer^f Tnr = Traktnummer^g Vbl = Verdichtungsgebiet innerhalb eines Bundeslandes

Kapitel 9

Einphasige Hochrechnung von Veränderungen zwischen zwei Inventurperioden

Im vorangegangenen Kapitel wurden Veränderungen zwischen zwei Zuständen und damit die Veränderungen innerhalb einer Periode behandelt. In diesem Kapitel sollen dagegen die Schätzverfahren für Veränderungen zwischen zwei Perioden, d. h. die Schätzung von Differenzen von Veränderungen zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Perioden (engl.: consecutive periods) betrachtet werden. Im Rahmen der Klimaberichterstattung wird häufig der englische Begriff „net net accounting“ für die Schätzung einer Differenz aus zwei periodischen Veränderungsschätzungen benutzt. Die Schätzung von Differenzen zwischen zwei Veränderungsschätzungen aus zwei unmittelbar aufeinander folgenden Perioden ist bspw. relevant für Fragestellungen, wie:

- Hat sich der Bruttozuwachs zwischen zwei Perioden verändert?
- Hat die Waldmehrung zu- oder abgenommen?
- Ist die Waldumwandlungsrate rückgängig oder steigt sie an?
- Wie hat sich die Nutzung der aktuell betrachteten Periode gegenüber einer Referenz-Periode verändert?

Der Fokus liegt bei diesen Fragestellung auf Veränderungen von jährlichen Veränderungsraten, da die Perioden zwischen den einzelnen Inventurzeitpunkten unterschiedlich lang sind und somit der Vergleich periodischer Werte nur bedingt Rückschlüsse zulassen würde.

Die Differenzen von Veränderungen zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Perioden werden somit aus drei Zustandsschätzungen zu drei Zeitpunkten abgeleitet. Folgen beide Perioden nicht unmittelbar aufeinander, basieren die Differenzen von Veränderungen auf vier Zustandsschätzungen. Hieraus resultierenden einige stichprobentheoretische Besonderheiten, welche folgend näher betrachtet werden sollen.

9.1 Besonderheiten bei der Differenzschätzung von Veränderungen

Die Differenz von Mittel- und Totalwerten für Veränderungen zwischen zwei aufeinander folgenden Perioden wird geschätzt durch:

$$\Delta \hat{Y}_h^{(321)} = \Delta \hat{Y}_h^{(32)} - \Delta \hat{Y}_h^{(21)} = (\hat{Y}_h^{(3)} - \hat{Y}_h^{(2)}) - (\hat{Y}_h^{(2)} - \hat{Y}_h^{(1)}) \tag{9.1.0.1}$$

$$\Delta \hat{X}_h^{(321)} = \Delta \hat{X}_h^{(32)} - \Delta \hat{X}_h^{(21)} = (\hat{X}_h^{(3)} - \hat{X}_h^{(2)}) - (\hat{X}_h^{(2)} - \hat{X}_h^{(1)}) \tag{9.1.0.2}$$

$$\Delta \hat{Y}_h^{(321)} = \Delta \hat{Y}_h^{(32)} - \Delta \hat{Y}_h^{(21)} = (\hat{Y}_h^{(3)} - \hat{Y}_h^{(2)}) - (\hat{Y}_h^{(2)} - \hat{Y}_h^{(1)}) \tag{9.1.0.3}$$

$$\Delta \hat{X}_h^{(321)} = \Delta \hat{X}_h^{(32)} - \Delta \hat{X}_h^{(21)} = (\hat{X}_h^{(3)} - \hat{X}_h^{(2)}) - (\hat{X}_h^{(2)} - \hat{X}_h^{(1)}) \tag{9.1.0.4}$$

An dieser Stelle ist jedoch noch nicht geklärt, auf welches Gebiet sich diese Veränderungsschätzungen zwischen zwei aufeinander folgenden Perioden beziehen. Das Auswertungsgebiet ist nicht zu jedem Zeitpunkt identisch. Bspw. wurde das Amt Neuhaus Niedersachsen angegliedert, West- und Ostberlin vereinigten sich zu Berlin, die Grenzen zwischen den Wuchsgebieten ändern sich. Möglicherweise beziehen sich damit die

- Zustände aller drei Zeitpunkte auf jeweils andere Flächen,
- Zustände auf andere Flächen als die Veränderungen in der ersten bzw. zweiten Periode,
- Veränderungen in der ersten Periode auf andere Flächen als in der zweiten Periode,
- Veränderungen zwischen zwei Perioden auf andere Flächen als a) die Veränderungen innerhalb beider Perioden oder b) die Bezugsflächen der Zustände.

Verdeutlichen soll diese Fragestellung Abbildung 9.1.

Folglich kann eine Differenz zwischen zwei Veränderungen nur gebildet werden, wenn sie sich auf ein identisches Inventurgebiet (Schnittfläche der Inventurgebiete zwischen den 3 Zeitpunkten) bezieht. So sind Vergleiche zwischen den Perioden BWI1987–BWI2002 und BWI2002–BWI2012 nur möglich für die alten Bundesländer, speziell:



verbleibende Fläche
 neu hinzukommende Fläche
 wegfallende Fläche
 Fläche kommt in einer Periode hinzu, in der anderen fällt sie weg

Abbildung 9.1: Schnitt- und Vereinigungsmenge zu drei Zeitpunkten

- Niedersachsen in den Grenzen vor 1990,
- Westberlin
- Flächen, die zu allen drei Zeitpunkten zum selben Wuchsgebiet gehörten.

Die Varianz einer Differenz zweier Veränderungen innerhalb der Schnittfläche der Inventurgebiete zu den drei Zeitpunkten kann für Gesamt- und Totalwerte geschätzt werden durch:

$$v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(321)}\rangle = v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(32)}\rangle + v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(21)}\rangle - 2cov\langle\Delta\hat{Y}_h^{(32)}, \Delta\hat{Y}_h^{(21)}\rangle \quad (9.1.0.5)$$

$$v\langle\Delta\hat{X}_h^{(321)}\rangle = v\langle\Delta\hat{X}_h^{(32)}\rangle + v\langle\Delta\hat{X}_h^{(21)}\rangle - 2cov\langle\Delta\hat{X}_h^{(32)}, \Delta\hat{X}_h^{(21)}\rangle \quad (9.1.0.6)$$

$$v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(321)}\rangle = v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(32)}\rangle + v\langle\Delta\hat{Y}_h^{(21)}\rangle - 2cov\langle\Delta\hat{Y}_h^{(32)}, \Delta\hat{Y}_h^{(21)}\rangle \quad (9.1.0.7)$$

$$v\langle\Delta\hat{X}_h^{(321)}\rangle = v\langle\Delta\hat{X}_h^{(32)}\rangle + v\langle\Delta\hat{X}_h^{(21)}\rangle - 2cov\langle\Delta\hat{X}_h^{(32)}, \Delta\hat{X}_h^{(21)}\rangle \quad (9.1.0.8)$$

Dagegen ist der Ratioschätzer für eine Differenz zweier Veränderungen nur theoretisch definiert:

$$\Delta\hat{R}_h^{(321)} = \Delta\hat{R}_h^{(32)} - \Delta\hat{R}_h^{(21)} = \left(\hat{R}_h^{(3)} - \hat{R}_h^{(2)}\right) - \left(\hat{R}_h^{(2)} - \hat{R}_h^{(1)}\right) \quad (9.1.0.9)$$

Theoretisch deshalb, da die Schätzung der Varianz dieses Ratioschätzers ebenfalls nur theoretisch angegeben werden könnte und in Fachkreisen stark umstritten ist. Der Versuch, die Veränderungen zweier Ratioschätzer und deren Varianzen von zwei aufeinander folgenden Perioden in die Formeln 8.2.1.10 bzw. 8.2.1.11 zu integrieren, verdeutlicht dies.

Eine andere Möglichkeit der Näherung zu diesem Sachverhalt bietet die Betrachtung der variierenden Waldflächen innerhalb der Schnittfläche des Auswertungsgebietes, in welcher die Zielgrößen zu den einzelnen Zeitpunkten erfasst werden (siehe Abb. 9.1) und als unterschiedliche Divisoren in die Ratioschätzer Eingang fänden. Hier stellt man fest: Es gibt Waldflächen, welche

- zu allen drei Zeitpunkten Wald sind (123, grün in Abbildung 9.1),
- in der ersten Periode zum Wald hinzukommen und in der zweiten Wald bleiben (12, blau in Abbildung 9.1),
- in der ersten Periode zu Nichtwald umgewandelt werden und dies in der zweiten Periode bleiben (12, pink in Abbildung 9.1),
- in der ersten Periode zu Nichtwald umgewandelt werden, aber in der zweiten wieder aufgeforstet werden (12 u. 23, violett in Abbildung 9.1),
- in der ersten Periode zum Wald hinzukommen, aber in der zweiten wieder entwaldet werden (23 u. 12, violett in Abbildung 9.1).

Dieses Problem lässt sich wiederum umgehen, indem sich die Differenz zweier Veränderungen ausschließlich nur auf die Schnittmenge und Schnittfläche eines Auswertungsgebietes (engl. Domain, d. h. bspw. Schnittfläche Wald, Schnittfläche nach Baumartengruppen etc.) bezieht. Die Bezugsfläche im Divisor des Ratioschätzers wäre somit für jeden Zeitpunkt identisch.

Mathematisch formuliert beziehen sich:

- $\Delta \hat{Y}_{h,k}^{(321)}$, $\Delta \hat{X}_{h,k}^{(321)}$,
- $\Delta \hat{Y}_{h,k}^{(321)}$, $\Delta \hat{X}_{h,k}^{(321)}$ und
- $\Delta \hat{R}_{h,k}^{(321)}$

immer auf: $x \in F_{h,k}^{(1)} \cap F_{h,k}^{(2)} \cap F_{h,k}^{(3)} \cap s_2^{(1)} \cap s_2^{(2)} \cap s_2^{(3)}$. k steht hier für Klassifizierung, also der Kennzeichnung einer Domain.

Im Umkehrschluss heißt dies bspw. aber auch:

- Die Summe der Differenzen von Veränderungen innerhalb der einzelnen Altersklassen der Baumartengruppe Fichte ist ungleich der Differenz von Veränderungen innerhalb der Baumartengruppe Fichte
 $\Delta \hat{Y}_{h,FI0-20}^{(321)} + \Delta \hat{Y}_{h,FI21-40}^{(321)} + \dots \neq \Delta \hat{Y}_{h,FI}^{(321)}$ und
- Die Summe der Differenzen von Veränderungen innerhalb der einzelnen Baumartengruppen ist ungleich der Differenz von Veränderungen innerhalb der Klasse Holzboden
 $\Delta \hat{Y}_{h,FI}^{(321)} + \Delta \hat{Y}_{h,BU}^{(321)} + \dots \neq \Delta \hat{Y}_{h,HB}^{(321)}$ etc.

Dieses konsequente und notwendige Vorgehen schließt jegliche Veränderungen sowohl in der Fläche als auch in der Stichprobe aus. Damit werden Domains, welche per se klein sind, noch kleiner. Z. B. die mit Birken bestockte Fläche in einem bestimmten Wuchsgebiet. Somit

- unterscheiden sich die Domains $D^{(1)}$, $D^{(2)}$, $D^{(3)}$ und $D^{(12)}$, $D^{(23)}$ sowie $D^{(123)}$ inhaltlich, d. h. sie sind nicht wirklich vergleichbar.
- steigt deren Varianz, die Schätzergebnisse sind weniger zuverlässig.
- verstärkt sich die Gefahr, dass ein solcher Schätzer nicht mehr repräsentativ ist.

9.2 Differenzschätzung von Veränderungen bei der BWI

Aus den oben genannten Gründen werden Differenzen von Veränderungen zweier unmittelbar aufeinander folgender Inventurperioden bei der BWI ausschließlich angegeben für:

- die Schnittfläche des Inventurgebietes und
- die Schnittmenge der Stichprobenelemente und
- die Schnittfläche einer Domain (nach definierten Merkmalen klassifiziertes Auswertungsgebiet).

Somit können zwischen den Perioden BWI 1987–BWI 2002 und BWI 2002–BWI 2012 Differenzschätzungen für Schnittflächen/-mengen erfolgen, wenn die Stichprobenpunkte folgende Bedingungen erfüllen. Sie müssen Bestandteil sein von:

- dem Inventurgebiet alte Länder ohne Amt Neuhaus und ohne Berlin,
- der Schnittmenge der Inventurpunkte aus BWI 1987, BWI 2002 und BWI 2012 innerhalb des Inventurgebietes alte Länder,
- der Waldkategorie produktiver Wald, da bei der BWI 1987 nur innerhalb dieser Domain Daten erhoben wurden.

Formal ist der letztgenannte Punkt jedoch ein Ausschlusskriterium, da für den produktiven Wald keine Schnittmenge zwischen den drei Inventurzeitpunkten gebildet werden kann. Der Grund hierfür ist die Änderung der Codierung des Waldentscheides zwischen den drei Zeitpunkten BWI 1987, BWI 2002 und BWI 2012, d. h. bei der BWI 2012 wurden produktiver und unproduktiver Wald nicht mehr separat erhoben. Ein pragmatischer, wenn formal auch nicht 100 %-ig korrekter Lösungsansatz bestünde jedoch darin, alle Ecken zu berücksichtigen, welche bei BWI 1987 und BWI 2002 produktiver Wald waren sowie zur BWI 2012 als Holzboden klassifiziert wurden.

Für die Inventurperioden BWI 2002–IS 2008 und IS 2008–BWI 2012 können Differenzschätzungen für Schnittflächen/-mengen erbracht werden, wenn die Stichprobenpunkte folgende Bedingungen erfüllen. Sie müssen Bestandteil sein

- des Inventurgebietes (Gesamt-) Deutschland,
- des 8 km × 8 km Rasters,
- der Schnittmenge Wald, da bei IS 2008 keine Neuwaldecken aufgenommen wurden.

Werden die hier genannten Bedingungen berücksichtigt, ist die Differenzschätzung von Veränderungen zweier unmittelbar aufeinander folgender Perioden mit fachlich anerkannten, statistischen Methoden realisierbar. In diesem Fall handelt es sich um eine spezielle Form der klassischen Bilanzrechnung, so dass sich bei dieser Fragestellung die bekannten Formeln für Veränderungsschätzungen zwischen zwei Zuständen verwenden lassen, welche im Abschnitt 8.2 präsentiert wurden. Inputs für die Hochrechnungen sind dann Differenzen auf Objekt-/bzw. Trakteckenebene zwischen zwei Perioden — einmal für die Anfangsperiode und einmal für die Endperiode.

Ggf. müssen zwischen den Inventurzeitpunkten veränderte Schwellenwerte für Einzelobjekte beachtet werden, wie z.B. bei Totholz (10 cm vs. 20 cm Dicke) oder beim BHD die geänderte Kluppschwelle 10 cm (BWI 1987) vs. 7 cm (seit BWI 2002).

Literaturverzeichnis

- BITTERLICH, W. (1947): Die Winkelzählmessung. *Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung* **58**(11/12): 94ff.
- BMELV (2005a): *Das Waldentwicklungsmodell 2003 bis 2042 — Modell und Ergebnisse*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, 99 S Seiten.
- BMELV (2005b): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². Der Inventurbericht. *Technischer Bericht*, Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin.
- BMELV (2011): *Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI³) (2011 — 2012)*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn, 2. geänderte Auflage.
- BOLTE, A., HERTEL, D., AMMER, C., SCHMID, I., NÖRR, R., KUHR, M. und REDDE, N. (2003): Freilandmethoden zur Untersuchung von Baumwurzeln. *Forstarchiv* **74**: 240 – 262.
- COCHRAN, W. G. (1977): *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons, New York, 428p Seiten.
- DAHM, S. (2000): Möglichkeiten zur Einschränkung der Höhen- und D7-Messungen bei der Bundeswaldinventur. In *Deutscher Verband forstliche Versuchsanstalten. Sektion Forstliche Biometrie und Informatik. 12. Tagung 1999*. Göttingen.
- DAHM, S. (2006): Auswertungsalgorithmen für die zweite Bundeswaldinventur. *Technischer Bericht*, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Institut für Waldökologie und Waldinventuren.
- VAN DEUSEN, P. C., DELL, T. R. und THOMAS, C. E. (1986): Volume Growth Estimation From Permanent Horizontal Points. *Forest Science* **32**(2): 415 – 422.
- DREXHAGE, M. und COLIN, F. (2001): Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry* **74**(5): 491 – 497.
- ERIKSSON, M. (1995a): Compatible and Time-Additive change component Estimators for horizontal-point-sampled data. *Forest Science* : 796 – 822.
- ERIKSSON, M. (1995b): Design-based approaches to horizontal-point-sampling. *Forest Science* : 890 – 907.

- FAO (2001): Global Forest Resources Assessment 2000 Main report. *FAO FORESTRY PAPER 140*, FAO.
- FRAVER, S., WAGNER, R. und DAY, M. (2002): Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Main, U.S.A. *Can. J. For. Res.* **32**: 2094 – 2105.
- GRUNDNER und SCHWAPPACH (1952): *Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände*. 10. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, 216 Seiten.
- HRADETZKY, J. und KÄNDLER, G. (2004): Methodik der Zuwachsberechnung für permanente Winkelzählproben. *Arbeitspapier*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- HRADETZKY, J. und POKORNY, B. (1996): Zuwachsermittlung auf Grundlage von permanenten Winkelzählproben mit Probebaumaufnahmen. *AFZ/Der Wald* **15**: S. 826 – 828.
- IPCC GPG (2003): *Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Zitiert am 19. Dezember 2017, URL <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>.
- JOHANSSON, T. und HJELM, B. (2012): Stump and Root Biomass of Poplar Stands. *Forests* **3**: 166 – 178.
- KÄNDLER, G. und BÖSCH, B. (2013): Methodenentwicklung für die 3. Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung und Neukonzeption einer Biomassefunktion. *Abschlussbericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Biometrie und Informatik. 69 S.
- KROIHER, F., MÜLLERER-KROEHLING, S., SCHMITZ, F. und SUKOPP, U. (2017): Methode zur Erfassung und Bewertung der FFH-Waldlebensraumtypen im Rahmen der dritten Bundeswaldinventur (BWI-2012). *Thünen Working Paper 69*, Bund-Länder-Arbeitsgruppe Natura-2000 Wald.
- KUBLIN, E. (2002): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum erweiterten BWI — Unterprogramm BDAT 2.0. *Technischer Bericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- KUBLIN, E. (2011): Methodenentwicklung für die dritte Bundeswaldinventur. Modul 1: Schaftformmodellierung: BDAT-Aktualisierung. *Technischer Bericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- KUBLIN, E. und BÖSCH, B. (2013): BDATPro – Programmbibliothek zur Berechnung von Durchmesser, Sorten- und Derbholzvolumen auf der Basis von Schaftformgleichungen, Version 3.0. *Technischer Bericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- KUBLIN, E. und SCHARNAGL, G. (1988): Biometrische Lösungen für die Berechnung des Volumens, der Sortierung, der Rindenabzüge und der Ernteverluste im Rahmen der Bundeswaldinventur. Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. *Technischer Bericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.

- LANZ, A. (2001): *Optimal Sample Design for Extensive Forest Inventories*. Dissertation, Chair of Forest Inventory and Planning Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, Zürich.
- MANDALLAZ, D. (2008): *Sampling Techniques For Forest Inventories*. Chapman & Hall/CRC Applied Environmental Statistics, 256 Seiten.
- MANDALLAZ, D. und YE, R. (1999): Forest inventory with optimal two-phase, two-stage sampling schemes based on the anticipated variance. *Canadian Journal of Forest Research* **29**: 1691 – 1708.
- MARTIN, G. L. (1982): A method for estimating ingrowth on permanent horizontal sample points. *Forest Science* **28**(1): 110 – 114.
- MÜLLER-USING, S. und BARTSCH, N. (2009): Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *Eur J Forest Res* **128**: 287 – 296.
- NAGEL, J. (2003): Parametrisierung der Sloboda-Wachstumsfunktion gemäß WEHAM-Fachkonzept der FVA Baden-Württemberg als Grundlage für eine alternative Zuwachsschätzung zur Zuwachsschätzung aus WEHAM. *Technischer Bericht*, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
- NEUBAUER, M., DEMANT, B. und BOLTE, A. (2015): Einzelbaumbezogene Schätzfunktionen zur unterirdischen Biomasse der Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *forstarchiv* **86**: 42 – 47.
- OEHMICHEN, K., DEMANT, B., DUNGER, K., GRÜNEBERG, E., HENNIG, P., KROIHER, F., NEUBAUER, M., POLLEY, H., RIEDEL, T., ROCK, J., SCHWITZGEBEL, F., STÜMMER, W., WELLBROCK, N., ZICHE, D. und BOLTE, A. (2011): *Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald*, Band 343. Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research. ISBN 978-3-86576-069-2.
- PETTERSON (1955): Die Massenproduktion des Nadelwaldes. *Technischer Bericht 45*, Mitteilung der Forstlichen Forschungsanstalten Schwedens. Nr. 1.
- PISTORIUS, T., ZELL, J. und HARTEBRODT, C. (2006): Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg. *Technischer Bericht*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Institut für Forstökonomie.
- POLLEY, H., SCHMITZ, F., HENNIG, P. und KROIHER, F. (2010): *Chapter 13 Germany in: National Forest Inventories – Pathways for Common Reporting*. Seiten 223 – 244.
- RIEDEL, T. (2008): *Evaluierung alternativer Stichprobenkonzepte für die Bundeswaldinventur*. Dissertation, Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft.
- RIEDEL, T. und KÄNDLER, G. (2017): Nationale Treibhausgasberichterstattung: Neue Funktionen zur Schätzung der oberirdischen Biomasse am Einzelbaum. *Forstarchiv* **88**(2): 31 – 38.

- ROESCH, F. A., GREEN, E. J. und SCOTT, C. T. (1989): New Compatible Estimators for Survivor Growth and Ingrowth from Remeasured Horizontal Point Samples. *Forest Science* **35**(2): 281 – 293.
- SCHIELER, K. (1997): *Methode der Zuwachsberechnung der Österreichischen Waldinventur*. Dissertation, Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur Wien. 92 p.
- SCHMITZ, F., POLLEY, H., HENNIG, P., DUNGER, K. und SCHWITZGEBEL, F. (2008): Die zweite Bundeswaldinventur BWI², Inventur- und Auswertungsmethoden zu den Bundeswaldinventuren 2001 bis 2002 und 1986 bis 1988. *Arbeitsbericht 2008/1*, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökologie und Waldinventuren.
- SCHWITZGEBEL, F., DUNGER, K. und POLLEY, H. (2009): Die Inventurstudie 2008; Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis; Hintergrund, Methodik und Durchführung der Inventur. *AFZ - DerWald* **64**(20): 1070 – 1071.
- SLOBODA, B. (1971): *Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen*. Mitteilungen d. Baden-Württemberg. FVA. 109 S.
- SLOBODA, J., GAFFREY, D. und MATSUMURA, N. (1993): Regionale und lokale Systeme von Höhenkurven gleichartiger Waldbestände. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **164**(12): S. 225 – 228. Frankfurt a. M.
- TOMPPO, E., GSCHWANTNER, T., LAWRENCE, M. und MCROBERTS, R. E. (Herausgeber) (2010): *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. Springer, p 612.
- VIDAL, C., ALBERDI, I. A., HERNÁNDEZ MATEO, L. und REDMOND, J. J. (Herausgeber) (2016): *National Forest Inventories: Assessment of Wood Availability and Use*. Springer International Publishing, p 845.
- WILLIAMS, C. (2006): Sample Survey Methods. Univ. of Idaho, Department of Statistics. Zitiert am 19. Dezember 2017, URL <http://www.webpages.uidaho.edu/~chrisw/stat422/RatioandStRS.pdf>.
- WIRTH, C., SCHUMACHER, J. und SCHULZE, E. (2004): Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe — a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiol.* **24**(2): 121 – 139.
- WUTZLER, T., WIRTH, C. und SCHUMACHER, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Central Europe — predictions and components of uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research* **38**(6): 1661 – 1675.
- ZÖHRER, F. (1980): *Forstinventur – Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Pareys Studententexte 26, Parey Verlag, Hamburg und Berlin. 207 S.

Abkürzungen

aLh Anderes Laubholz mit hoher Lebenserwartung

aLn Anderes Laubholz mit niedriger Lebenserwartung

AT Aufnahmetrupp

ATKIS Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

BGBI Bundesgesetzblatt

BGR Biogeographische Region

BHD Brusthöhendurchmesser, gemessen in 1,3 m Höhe

BIL Bundesinventurleitung

BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BMU Bundesministerium für Umwelt

BWI Bundeswaldinventur

D7 oberer Durchmesser eines Baumes in 7 m Höhe

DA Deckungsanteil, z. B. einer Baumart

DG Deckungsgrad

Efm Erntefestmeter ohne Rinde [m^3]

FAO Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FFH Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen)

FVA Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

GG Grundgesetz

GNSS Global Navigation Satellite System

HR Hochrechnung

Abkürzungen

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

IS 2008 Inventurstudie 2008

KT Kontrolltrupp

LIL Landesinventurleitung

PK Probebaum-Kennziffer

RMSE Root Mean Square Error

TI-WO Thünen-Institut für Waldökosysteme

VBI Verdichtungsgebiet innerhalb eines Bundeslandes

Vfm Vorratsfestmeter mit Rinde [m^3]

WZP Winkelzählprobe nach Bitterlich

WEHAM Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung

WLRT Waldlebensraumtyp

WmA Wald-Traktecken mit vergleichbaren Datenaufnahmen

WoA Wald-Traktecken ohne vergleichbare Datenaufnahmen

Länderabkürzungen

BB Brandenburg

BE Berlin

BW Baden-Württemberg

BY Bayern

HE Hessen

HB Hansestadt Bremen

HH Freie und Hansestadt Hamburg

MV Mecklenburg Vorpommern

NI Niedersachsen

NW Nordrhein Westfalen

RP Rheinland Pfalz

SH Schleswig Holstein

SL Saarland

SN Sachsen

ST Sachsen-Anhalt

TH Thüringen

Glossar

Abgang Der Abgang bezeichnet Verluste von Flächen bzw. Objekten in einer Domain. Dies sind bspw. Waldflächen, welche zu Nichtwald umgewandelt wurden (Waldumwandlungen). Objekte, z. B. Bäume, welche bei der Vorgängerinventur erfasst wurden, bei der aktuellen Inventur jedoch nicht mehr in der identischen Domain vorhanden sind, werden als Abgang bezeichnet. Dabei umfasst Abgang sowohl genutzte Bäume, als auch durch Mortalität oder Kalamität ausgeschiedene Bäume.

Altbestockung Bäume über 4 m Höhe, die durch die Winkelzählprobe mit Zählfaktor 1 oder 2 unabhängig von Bestandesgrenzen erfasst werden.

Auswertungseinheit siehe Domain

Baumartengruppen der BWI Die BWI 2012 fasst für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse folgende Baumarten zu Gruppen zusammen (siehe Tabelle C.3):

1. Eiche: alle Eichenarten (einschließlich Rot-Eiche),
2. Buche,
3. Andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer (aLh): Ahornarten, Ahornblättrige Platane, Edelkastanie, Esche, Hainbuche, Lindenarten, Nussbaumarten, Robinie, Rosskastanie, Speierling, Stechpalme, Ulme, Weißesche,
4. Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (aLn): Birkenarten, Elsbeere, Erlenarten, Pappelarten, Traubenkirsche-Arten, Vogelkirsche, Wildobst, alle weiteren Laubbaumarten, soweit sie nicht gesondert genannt sind,
5. Fichte: alle Fichtenarten und sonstige Nadelbäume außer Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne,
6. Tanne: Weißtanne, Küstentanne und sonstige Tannen,
7. Douglasie,
8. Kiefer: alle Kiefernarten,
9. Lärche: alle Lärchenarten.

Bestand Bewirtschaftungseinheit des Waldes; Waldteil, der sich hinsichtlich Baumart, Alter oder Struktur wesentlich von seiner Umgebung abhebt. Er ist für einen längeren Zeitraum die kleinste Einheit des waldbaulichen Handelns.

Bestandesschichten Vertikale Gliederung des Bestandes. Innerhalb einer Bestandesschicht haben die Bäume ihren Kronenraum in der gleichen Höhe über dem Boden. Verschiedene Bestandesschichten eines Bestandes haben im Kronenraum keinen Kontakt

zueinander. Die Schichten werden nach ihrer waldbaulichen und wirtschaftlichen Bedeutung unterschieden in Hauptbestand, Unterstand, Oberstand. Der Oberbegriff für Unter- und Oberstand ist Nebenbestand.

Bestockter Holzboden Holzboden, auf dem Bäume wachsen.

Bestockung Die Bestockung beschreibt den Waldort unabhängig von Bestandesgrenzen. Es wird nach Altbestockung, Hauptbestockung oder Jungbestockung unterschieden.

Blöße Holzboden, auf dem vorübergehend keine Bäume stehen.

Deckungsanteil Der Deckungsanteil wird für Bäume ≤ 4 m Höhe im 10 m-Kreis als Flächenanteil, gerundet auf ganze Zehntel geschätzt.

Deckungsgrad Der Deckungsgrad wird für Bäume > 4 m Höhe aus der WZP/ZF 1 oder 2 auf Basis der Grundflächenanteile ermittelt.

Derbholz Oberirdische Holzmasse mit einem Durchmesser von über 7 cm mit Rinde. Bäume unter 7 cm Brusthöhendurchmesser sind kein Derbholz.

Domain Eine Domain $D_{h,k}$ ist eine nach bestimmten Kriterien k klassifizierte Subpopulation (Aussage- o. Auswertungseinheit) in einem bestimmten Gebiet A_h , bspw. der Fichtenvorrat in einem Bundesland. Für Ratioschätzer gilt: Die Klassifizierung im Zähler entspricht der Klassifizierung im Nenner oder ist eine Teilmenge der Klassifizierung im Nenner.

Eigentumsart Die Eigentumsart wird differenziert nach Staatswald (Bund oder Land), Körperschaftswald und Privatwald (einschließlich Treuhandwald). Für die Waldbehandlung wird im Privatwald zusätzlich zwischen Privatwald über 500 ha und Privatwald bis 500 ha Betriebsgröße unterschieden. Der Kleinprivatwald ist definiert mit einer Flächengröße von weniger als 20 Hektar je Eigentümer.

Erntefestmeter Volumenangabe in m^3 ohne Rinde. Der Erntefestmeter entspricht dem Vorratsfestmeter abzüglich ca. 10 % Rinde und ca. 10 % Verluste bei der Holzernte.

Flächenland Häufig sind auf Grund der geringen Stichprobenzahl oder gar auf Grund der Nichtbesetzung von Straten keine statistisch gesicherten Aussagen zu bestimmten Zielgrößen innerhalb der kleinsten Bundesländer, den Stadtstaaten Bremen, Hamburg und Berlin möglich. Deshalb hat man in diesen Fällen bei der BWI-2002 sowohl die Stichproben als auch die Flächen der Stadtstaaten den angrenzenden Bundesländern mit identischer Verdichtung des Stichprobennetzes zugeordnet. Um diesen Aspekt zu kennzeichnen, spricht man nicht von einer Auswertung nach Bundesländern, sondern von Auswertungen nach Flächenländern. Bei der BWI-2012 werden die Stadtstaaten HB und HH nicht mehr dem Verdichtungsgebiet in Niedersachsen mit identischer Verdichtung des Stichprobennetzes zugeordnet, vielmehr bilden sie für einige Auswertungen eine eigene Domain. Berlin bildet weiterhin mit dem Bundesland Brandenburg eine eigene Auswertungseinheit.

Festmeter Ein Festmeter Holz entspricht $1 m^3$ massivem Holz, d. h. ohne Zwischenräume in der Schichtung.

Grundfläche Summe der Stamm-Querschnittsflächen in 1,3 m Höhe über dem Boden. Eingeschlossen sind alle Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser ab 7 cm. In der Walddefinition (BMELV, 2011) wird der Begriff in anderer Bedeutung benutzt: Er bezeichnet dort die Fläche eines Landschaftsbestandteiles im Allgemeinen.

Hauptbestand Bestandesschicht, auf der das wirtschaftliche Hauptgewicht liegt. Wenn der Deckungsgrad der obersten Bestandesschicht mindestens 5/10 beträgt, ist diese stets Hauptbestand. Auswertungen des Hauptbestands schließen den Plenterwald ein.

Hauptbestockung Teil der Bestockung, auf der das wirtschaftliche Hauptgewicht liegt. Wenn der Deckungsgrad der Bäume über 4 m Höhe mindestens 5/10 beträgt, bilden diese stets die Hauptbestockung (siehe auch Altbestockung, Jungbestockung).

Holzboden Dauernd zur Holzerzeugung bestimmte Fläche. Dazu gehören auch Gräben, Leitungstrassen, zeitweilig unbestockte Flächen (Blößen) sowie Wege und Schneisen unter 5 m Breite, auch Flächen wie z. B. in Nationalparks.

Jungbestockung Im 10 m-Probekreis vorhandene Bäume mit einer Höhe von 0,2 m bis 4 m

Lebensraumtypen Natürliche Lebensräume von EU-gemeinschaftlichem Interesse, aufgelistet in Anhang I der FFH-Richtlinie der EU, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen.

Lücke Holzboden mit einer Grundfläche bzw. Stammzahl unterhalb der Nachweisgrenze des Aufnahmeverfahrens (weniger als $4 m^2/ha$ sowie keine Bäume des Hauptbestandes in den Probekreisen mit 2 m- oder 1 m-Radius). Durch das Stichprobenverfahren werden hier keine Bäume erfasst, obwohl die Stichprobe auf bestocktem Holzboden liegt.

Naturnähe der Baumarten-Zusammensetzung Der Vergleich der aktuellen Bestockung mit der natürlichen Waldgesellschaft gibt Auskunft über die Naturnähe der Baumarten-Zusammensetzung. „Außereuropäische Baumarten“ bezeichnet die vom Menschen neuzeitlich eingeführten, ursprünglich außereuropäisch verbreiteten Baumarten, auch wenn sie nach ihrer Einbürgerung Bestandteil der natürlichen Waldgesellschaft geworden sind.

Nichtholzboden Alle nicht zum Holzboden zählende Waldfläche. Zum Nichtholzboden gehören Waldwege, Schneisen und Schutzstreifen ab 5 m Breite, Holzlagerplätze, Saat- und Pflanzkämpfe, Wildwiesen und Wildäcker, der forstlichen Nutzung dienende Hof- und Gebäudeflächen, mit dem Wald verbundene Erholungseinrichtungen sowie im Wald gelegene Felsen, Blockhalden, Kiesflächen und Gewässer und nichtgewerbliche zum Wald gehörige Forstbaumschulen.

Oberstand Der Oberstand ist die Bestandesschicht über dem Hauptbestand.

Plenterwald Waldbestand, in dem Bäume aller Dimensionen kleinstflächig bis einzelstammweise vermischt sind und daher keine Unterscheidung der Bestandesschichten in Hauptbestand, Ober- und Unterstand sowie entsprechende Klassifizierung der Probebäume der Inventur erfolgt. Auswertungen des Hauptbestands schließen den Plenterwald ein.

Rechnerischer Reinbestand Der Hauptbestand einschließlich Plenterwald wird rechnerisch in Flächen einer Altersklasse und einer Baumart aufgeteilt.

RMSE Der Root Mean Square Error ist definiert durch: $rmse = \sqrt{(var + bias^2)}$
Der Bias ist der engl. Begriff für eine systematische, gerichtete Verzerrung.

Schnittmenge Bei Veränderungsrechnungen bedingen sich Fragestellung und in die Rechnung einzubeziehende Teilmengen der Stichprobe gegenseitig (siehe Abb. 8.2). Soll die Entwicklung innerhalb einer KONSTANTEN Einheit ermittelt werden, so ist die Schnittmenge des Waldes beider Inventurzeitpunkte in die Hochrechnung einzubeziehen.

Sampling Stratum Ein Sampling Stratum ist ein Verdichtungsgebiet (Wald und Nichtwald) mit einheitlicher Stichprobendichte innerhalb eines Landes und bekannter Fläche A_h . Obwohl innerhalb Deutschlands nur 3 unterschiedliche Raster verwendet werden, wird mit zwanzig disjunkten Verdichtungsgebieten gearbeitet. D. h., pro Bundesland existiert mindestens ein Verdichtungsgebiet, um bei jeder Bundesauswertung Zwischenergebnisse für die Bundesländer erzeugen zu können.

Unterstand Der Unterstand ist die Bestandesschicht unter dem Hauptbestand.

Trakt/Traktabschnitt Ein Trakt ist die primäre Stichprobeneinheit bei der BWI und besteht aus vier Traktecken (Traktgröße = 4). Bei einem Trakt an der Grenze zum Ausland ist die Anzahl Traktecken und damit die Traktgröße kleiner vier. Für die Hochrechnung werden Trakte an den Grenzen zwischen Bundesländern, Verdichtungsgebieten

oder räumlichen Einheiten geteilt, so dass mindestens zwei Trakte mit einer Traktgröße kleiner vier entstehen. In diesem Fall wird synonym der Begriff Traktabschnitt verwendet, um syntaktisch den Unterschied zwischen der Anzahl tatsächlich terrestrisch erhobener Trakte $(x)^{te}$ und der Anzahl zur Hochrechnung genutzter Trakte $(x)^{hr}$ differenzieren zu können. Es gilt: $(x)^{te} \leq (x)^{hr}$

Vorratsfestmeter Volumenangabe für den stehenden Vorrat in m^3 mit Rinde inkl. allem Derbholz (Holz ≥ 7 cm Durchmesser). Enthält bei den Laubbaumarten das Schaft- und Astvolumen ≥ 7 cm Durchmesser und bei Nadelbaumarten nur das Schaftvolumen ≥ 7 cm Durchmesser.

Vereinigungsmenge Bei Veränderungsrechnungen bedingen sich Fragestellung und in die Rechnung einzubeziehende Teilmengen der Stichprobe gegenseitig (siehe Abb. 8.2). Soll die Entwicklung insgesamt z. B. für Deutschland oder ein Land beschrieben werden, in dem die betrachtete Domain auch einer Veränderung unterliegen kann und somit NICHT KONSTANT ist, so ist die Vereinigungsmenge des Waldes beider Inventurzeitpunkte in die Hochrechnung einzubeziehen (z. B. Veränderung der Waldfläche in Deutschland).

Winkelzählprobe Dieses im Jahr 1947 von Walter BITTERLICH erstmals veröffentlichte optische Stichprobenverfahren ermöglicht im Wald die rasche Bestimmung von Hektarwerten zu Grundfläche, Baumartenmischung und weiterer daraus abgeleiteter Daten durch einfache Zählung von Probebäumen, die mit einem optischen Verfahren ausgewählt werden. Die Vorteile der WZP sind v. a., dass keine Probeflächen eingemessen werden müssen und dass dicke Bäume, die viel zur Grundfläche und somit auch zum Vorrat beitragen, bevorzugt erfasst werden. Die Auswahlwahrscheinlichkeit der Probebäume ist proportional zu deren Grundfläche. Bei diesem Verfahren wird um den Stichprobenpunkt herum jeder Baumstamm mit einem vorgegebenen Öffnungswinkel α horizontal anvisiert. Die Konstante $K = 10^4 \sin^2(\alpha/2)$ wird als Zählerfaktor der Winkelzählprobe bezeichnet. K hat bei der BWI-Bestandesaufnahme den Wert 4, was einem Visurwinkel $\alpha = 2,3^\circ$ entspricht. Ein Baum wird dann ausgewählt, wenn sein BHD von beiden Schenkeln des Winkels α geschnitten wird. Ein Probebaum z repräsentiert eine Grundfläche von K in m^2/ha sowie eine Stammzahl von Bäumen je Hektar $= N_z^{(ha)} = K/g_z$ mit der Grundfläche des Baumes $= g_z = \pi/4d_z^2$. Der Abstand $r_z = d_z/2 \sin(\alpha/2)$ um den Probebaum z wird als Grenzkreisradius bezeichnet. Jeder Baum, dessen Grenzkreis mit der Fläche $A_z = \pi r_z^2$ das Stichprobenzentrum einschließt, ist ein Probebaum der Winkelzählprobe. Oder einfacher formuliert: Jeder Baum, der nicht weiter als das 25-fache seines BHD in cm von der Traktecke entfernt steht, ist ein WZP/ZF4-Probebaum der BWI. Dabei werden seit der BWI 2002 nur Bäume ab 7 cm BHD berücksichtigt. Bei der BWI werden die Probebäume zusätzlich vermessen, wodurch sich die Auswertungsmöglichkeiten wesentlich erweitern. Zur Aufnahme der Bestockungsparameter wurde $K = 1$ bzw. 2 gewählt.

Zugang Der Zugang umfasst als übergeordneter Begriff sowohl Flächengewinne als auch Zuwächse an Objekten in einer Domain. Dies bspw. sind Neuwaldflächen, welche von Nichtwald durch aktive Aufforstungen oder Sukzession zu Wald geworden sind. Flächengewinne einer Baumart entstehen durch Verjüngung der Baumart auf Flächen auf denen bisher andere Baumarten stockten aber auch durch die Nutzung anderer Baumarten (Entmischung).

Notation

Tabelle C.1: Notation für die Aggregation

aktuelle Notation	Beschreibung	BWI 2002-Notation ^a
A_h, A	bekannte, nicht geschätzte Fläche eines Sampling Stratums bzw. des Inventurgebietes	
F_h, F	bekannte, nicht geschätzte Fläche innerhalb eines Sampling Stratums bzw. Auswertgebietes; F_h bzw. F kann A_h bzw. A entsprechen, wenn das entsprechende Sampling Stratum (bspw. Verdichtungsgebiet 1616 in Thüringen) bzw. das gesamte Inventurgebiet (Deutschland) ausgewertet werden soll	
\hat{F}_h, \hat{F}	unbekannte, und deshalb geschätzte Fläche (z. B. über das Verhältnis Traktecken im Auswertungsgebiet zu Traktecken im Verdichtungsgebiet) innerhalb eines Sampling Stratums bzw. Auswertgebietes	
$1, \dots, h, \dots, H$	Anzahl der Sampling Straten; Verdichtungsgebiete umfassen maximal ein Bundesland/Flächenland oder untergeordnete, definierte Einheiten	
$1, \dots, l, \dots, L$	Anzahl der Populationsstraten; Populationsstraten sind homogene Einheiten innerhalb eines Sampling Stratums (Vorläufig nur relevant in der THG-Auswertung, bspw. Eigentumsarten)	
$1, \dots, (x), \dots, n_2$	Anzahl kleinster Stichprobeneinheiten innerhalb der gezogenen Stichprobe s_2 der terrestrischen Erhebungsphase (2. Phase); kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt	$1, \dots, i, \dots, n$
$1, \dots, (x), \dots, n_1$	Anzahl kleinster Stichprobeneinheiten innerhalb der gezogenen Stichprobe s_1 in der 1. Phase zur Stratifizierung (Vorläufig nur relevant in der THG-Auswertung); kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt	

^a soweit von aktueller Notation abweichend

Tabelle C.1: Notation für die Aggregation (Fortsetzung)

aktuelle Notation	Beschreibung	BWI 2002-Notation ^a
$1, \dots, m, \dots, M(x)$	Anzahl Traktecken pro Trakt = Traktgröße bezogen auf den Trakt (x), weshalb gilt: $1, \dots, (x_m), \dots, M(x)$	
\bar{M}	mittlere Anzahl Traktecken pro Trakt = mittlere Traktgröße (meist pro Stratum)	
$1, \dots, z, \dots, Z$	Objekt auf der Traktecke	
Y	Merkmalsausprägung des Merkmals Y allgemein	y
$Y(x)$	Merkmalsausprägung des Merkmals Y am Trakt (x)	y_i
$Y(x_m)$	Merkmalsausprägung des Merkmals Y an der Traktecke (x_m)	$y_{i,m}$
$Y_z(x_m)$	Merkmalsausprägung des Merkmals Y am Objekt z auf der Traktecke (x_m)	$y_{i,m,z}$
\hat{Y}	Schätzung der mittleren Merkmalsausprägung von Y im Inventurgebiet	\bar{y} (Mittelwert)
\hat{Y}	Schätzung des Totals von Y im Inventurgebiet	\hat{y}
X	Merkmalsausprägung des Merkmals X	x
R	Ratio oder synonym Verhältnis bzw. Quotient der Merkmale Y und X	
$\dots^{(ha)}$	Merkmalsausprägung bezogen auf einen Hektar (\dots /ha)	
$\dots^{(1)}, \dots^{(2)}$	Merkmalsausprägung zum Beginn bzw. Ende der Inventurperiode zur Ableitung von Veränderungen	\dots', \dots''
Δ	Veränderung eines Merkmals, bspw. $\Delta Y = Y^{(2)} - Y^{(1)}$	
\dots^k	klassifizierte Betrachtung der Merkmalsausprägung (z. B. nach Baumartengruppen, Altersklassen, Schäden)	

^a soweit von aktueller Notation abweichend

Tabelle C.2: Notation für die Zielgrößen auf der Objektebene

aktuelle Notation	Beschreibung
d_s, h_s, g_s	Kennzeichnung des BHD, der Höhe und der Grundfläche jener Bäume auf der Traktecke, an denen die Höhe gemessen wurde
$a_z, a_{m,z}, a_{o,z}, a_{t,z}$	Baumalter [a], zum Zeitpunkt mit Messung, zum Zeitpunkt ohne Messung (muss modelliert werden), zum Zeitpunkt des Einwuchses
$h_z, h_{stamm,z}$	Baumhöhe [dm], Stammhöhe [dm]
$VolR_z$	Baumvolumen mit Rinde = Vorratsfestmeter, Vfm [m^3]
$VolE_z$	Baumvolumen ohne Rinde = Erntefestmeter, Efm [m^3]
$Biom_{o,z}, Biom_{u,z}$	oberirdische und unterirdische Einzelbaumbiomasse [kg]
d_z	Brusthöhendurchmesser, BHD [mm]
$d_{o,z}, d_{03,z}$	Oberer Durchmesser [mm], Oberer Durchmesser in 30 % der Baumhöhe [mm]
$A_z = \pi * r_z^2$	Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]
$r_z = 50/\sqrt{ZF}$	Grenzkreisradius eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm] allgemein
$r_{ZF4,z} = 25 * d_z / 10$	Grenzkreisradius eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm] bei Zählfaktor 4
$g_z = \pi * d_z^2 / 4 * 1000^2$	Grundfläche eines Baumes [m^2]
$A_z^B \leq A_z$	Korrigierte Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]; Fläche, die im Bestand liegt
$A_z^{HB} \leq A_z$	Korrigierte Fläche des Grenzkreises eines Probebaumes ab 7 cm BHD [cm^2]; Fläche, die auf Holzboden liegt
Sfl_z	Standfläche eines Baumes [m^2]
$Sfl_z^B \langle \rangle Sfl_z$	Normierte Standfläche eines Baumes [m^2] im Bestand (Normierung der Summen aller Standflächen pro Traktecke auf 10.000 [m^2])
$Sfl_z^{HB} \langle \rangle Sfl_z$	Normierte Standfläche eines Baumes [m^2] auf Holzboden (Normierung der Summen aller Standflächen pro Traktecke auf 10.000 [m^2])

Tabelle C.2: Notation für die Zielgrößen auf der Objektebene (Fortsetzung)

aktuelle Notation	Beschreibung
$totD_z$	Mittendurchmesser eines Totholzstückes [cm]
$totD_{max,z}$	Durchmesser am dicken Ende eines Totholzstückes [cm]
$totD_{min,z}$	Durchmesser am dünnen Ende eines Totholzstückes [cm]
$totL_z$	Länge eines Totholzstückes [dm]
$totV_z$	Volumen eines Totholzstückes [m^3]
$totB_z$	Biomasse eines Totholzstückes [kg]
wrl_z	Waldrandlänge je Waldrandabschnitt[cm]
$p(x_m)$	Anteil von ...
$t_{K,m}$	Anzahl der Kalenderjahre [a] zwischen der letzten Vorgängerinventur und BWI 2012
$t_{V,m}$	Anzahl der Vegetationsperioden [a] zwischen der letzten Vorgängerinventur und BWI 2012
DA	Deckungsanteil einer Baumart in 10 %-Stufen
DG	Deckungsgrad in 10 %-Stufen
$expo_m$	Exposition ...
$A_{100,m} = \pi * 1^2 \approx 3,1416$	Fläche des 1m-Probekreises [m^2]
$A_{175,m} = \pi * 1,75^2 \approx 9,6211$	Fläche des 1,75m-Probekreises [m^2], nur bei BWI 2002
$A_{200,m} = \pi * 2^2 \approx 12,5664$	Fläche des 2m-Probekreises [m^2]
$A_{400,m} = \pi * 4^2 \approx 50,2656$	Fläche des 4m-Probekreises [m^2], nur bei BWI 1987
$A_{500,m} = \pi * 5^2 \approx 78,54$	Fläche des 5m-Probekreises [m^2]
$A_{2500,m} = \pi * 25^2 \approx 1963,5$	Fläche des 25m-Probekreises [m^2]
$A_{\dots,m}^B \leq A_{\dots,m}$	Korrigierte Fläche der Probekreise [m^2]; Fläche, die im Bestand liegt
$A_{\dots,m}^{HB} \leq A_{\dots,m}$	Korrigierte Fläche der Probekreise [m^2]; Fläche, die auf Holzboden liegt

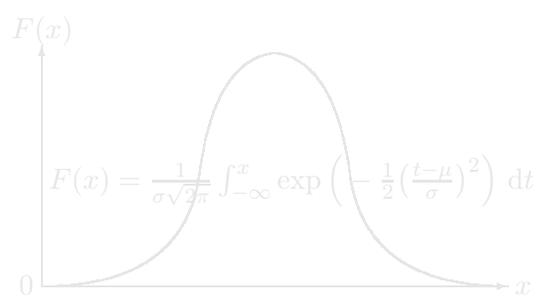


Tabelle C.3: Baumarten und deren Gruppierung in der BWI

ICode	ACode	LangD	LangE	Gattung	Art	BaGr ^a	H ^b	Wachs ^c	BDat ^d	Stf ^e
10	GFI	Gemeine Fichte	Norway spruce	Picea	abies	FI	FI	Fi	1	32001
12	SFI	Sitkafichte	sitka spruce	Picea	sitchensis	FI	FI	Fi	2	32001
19	SOFI	Sonstige Fichten	other spruces	Picea	(sonstige)	FI	FI	Fi	1	32001
20	KI	Gemeine Kiefer	Scots pine	Pinus	sylvestris	KI	KI	Ki	5	32003
21	BKI	Bergkiefer	mountain pine	Pinus	mugo	KI	KI	Ki	5	32003
22	SKI	Schwarzkiefer	European black pine	Pinus	nigra	KI	KI	Ki	6	32003
24	ZKI	Zirbelkiefer	Cembra pine	Pinus	cembra	KI	KI	Ki	5	32003
25	WKI	Weymouthskiefer	eastern white pine	Pinus	strobus	KI	KI	Ki	7	32003
29	SOKI	Sonstige Kiefern	other pines	Pinus	(sonstige)	KI	KI	Ki	5	32003
30	WTA	Weißtanne	silver fir	Abies	alba	TA	TA	Ta	3	32002
33	KTA	Küstentanne	Grand fir	Abies	grandis	TA	TA	Dgl	4	32002
39	SOTA	Sonstige Tannen	other firs	Abies	(sonstige)	TA	TA	Ta	3	32002
40	DGL	Douglasie	Douglas fir	Pseudotsuga	menziesii	DGL	DGL	Dgl	8	32004
50	ELA	Europäische Lärche	European larch	Larix	decidua	LAE	LAE	Lae	10	32005
51	JLA	Japanische Lärche (+ Hybrid)	Japanese larch (+ hybrids)	Larix	kaempferi	LAE	LAE	Lae	11	32006
90	SONB	sonstige Nadelbäume	other coniferous trees			FI	FI	Fi	14	32001
94	EIB	Eibe	European yew	Taxus	baccata	FI	FI	Fi	14	32001
100	BU	Buche	beech	Fagus	sylvatica	BU	BU	Bu	15	32007
110	SEI	Stieleiche	English oak	Quercus	robur	EI	EI	Ei	17	32008
111	TEI	Traubeneiche	sessile oak	Quercus	petraea	EI	EI	Ei	17	32008
112	REI	Roteiche	Northern red oak	Quercus	rubra	EI	EI	Bu	18	32009
120	ES	Gemeine Esche	common ash	Fraxinus	exelsior	ALH	BU	Es	21	32010
130	HBU	Hainbuche (Weißbuche)	hornbeam	Carpinus	betulus	ALH	BU	sHL	16	32007
140	BAH	Bergahorn	sycamore maple	Acer	pseudoplatanus	ALH	BU	Ah	23	32010
141	SAH	Spitzahorn	Norway maple	Acer	platanoides	ALH	BU	Ah	24	32010
142	FAH	Feldahorn	field maple	Acer	campestre	ALH	BU	Ah	25	32010
150	LI	Linde (heimische Arten)	linden tree (indigenous species)	Tilia	spec.	ALH	BU	sHL	27	32010
160	ROB	Robinie	black locust	Robinia	pseudoacacia	ALH	BU	sHL	31	32010
170	UL	Ulme (Rüster), heimische Arten	elm, native species	Ulmus	spec.	ALH	BU	sHL	30	32010

^a Baumartengruppierung zur Auswertung und zur Gruppierung für die Einheitshöhenkurve^b Baumartengruppierung für die Höhenmessung^c Baumartengruppierung für das Wachstumsmodell nach SLOBODA ET AL. (1993)^d Baumartengruppierung für *BDat*^e Baumartengruppierung für das Standflächenmodell

Tabelle C.3: Baumarten und deren Gruppierung in der BWI (Fortsetzung)

ICode	ACode	LangD	LangE	Gattung	Art	BaGr ^a	H ^b	Wachs ^c	BDat ^d	Stf ^e
181	EKA	Edelkastanie	chestnut	Castanea	sativa	ALH	BU	sHL	33	32010
190	SOLH	Sonstige Lb. mit hoher Lebensdauer	misc. deciduous trees with long life expectancy			ALH	BU	sHL	35	32010
191	SPE	Speierling	service tree	Sorbus	domestica	ALH	BU	sHL	35	32010
193	MEB	Echte Mehlbeere	common whitebeam	Sorbus	aria	ALH	BU	sHL	35	32010
200	BI	Gemeine Birke	silver birch	Betula	pendula	ALN	BU	Bi	26	32011
201	MBI	Moorbirke (+ Karpatenbirke)	birch	Betula	pubescens	ALN	BU	Bi	26	32011
211	SER	Schwarzerle	black alder	Alnus	glutinosa	ALN	BU	Er	28	32012
212	WER	Weißerle, Grauerle	grey alder	Alnus	incana	ALN	BU	Er	28	32012
220	ZPA	Aspe, Zitterpappel	common aspen	Populus	tremula	ALN	BU	Pa	19	32013
221	SPA	Europäische Schwarzpappel (+ Hybriden)	European black poplar (+ hybrids)	Populus	nigra	ALN	BU	Pa	19	32013
222	GPA	Graupappel (+ Hybriden)	grey poplar (+ hybrids)	Populus	x canescens	ALN	BU	Pa	19	32013
223	WPA	Silberpappel, Weißpappel	silver poplar	Populus	alba	ALN	BU	Pa	19	32013
224	BPA	Balsampappel (+ Hybriden)	balsam poplar (+ hybrids)	Populus	trichocarpa x maximoviczii	ALN	BU	Pa	20	32013
230	VB	Vogelbeere	European rowan	Sorbus	aucuparia	ALN	BU	sWL	36	32010
240	WEI	Weide	willow	Salix	spec.	ALN	BU	sWL	34	32010
250	GTK	Gewöhnliche Traubenkirsche	bird cherry	Prunus	padus	ALN	BU	sWL	29	32010
251	VK	Vogelkirsche	wild cherry	Prunus	avium	ALN	BU	sWL	29	32010
252	STK	Spätblühende Traubenkirsche	black cherry	Prunus	serotina	ALN	BU	sWL	29	32010
290	SOLN	Sonstige Lb. mit niedriger Lebensdauer	misc. deciduous trees with short life expectancy			ALN	BU	sWL	35	32010
292	WAP	Holzapfel, Wildapfel	European crab apple	Malus	sylvestris	ALN	BU	sWL	35	32010
293	WBI	Holzbirne, Wildbirne	European wild pear	Pyrus	communis	ALN	BU	sWL	35	32010
295	ELS	Elsbeere	wild service tree	Sorbus	torminalis	ALN	BU	sWL	32	32010

^a Baumartengruppierung zur Auswertung und zur Gruppierung für die Einheitshöhenkurve

^b Baumartengruppierung für die Höhenmessung

^c Baumartengruppierung für das Wachstumsmodell nach SLOBODA ET AL. (1993)

^d Baumartengruppierung für *BDat*

^e Baumartengruppierung für das Standflächenmodell

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Wilhelmstraße 54, 10117 Berlin

Autoren

Bundesministerium
für Ernährung und Landwirtschaft
Referat 535: Friedrich Schmitz

Thünen-Institut für Waldökosysteme
Dr. Thomas Riedel, Petra Hennig, Franz Kroiher, Dr. Heino Polley, Frank Schwitzgebel

Umschlaggestaltung

neues handeln GmbH, Berlin

Bildnachweis

Titel: Reinhold Schönemund;
S. 16: Thünen-Institut für Waldökosysteme

Druck

BMEL

Auflage

500 Exemplare

Stand

November 2017

Bestellinformation

Diese und weitere Publikationen können
Sie kostenlos bestellen:
Internet: www.bmel.de/publikationen
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Fax: 01805-77 80 94
Telefon: 01805-77 80 90
(Festpreis 14 ct/Min., abweichende Preise
a. d. Mobilfunknetzen mgl.)
Schriftlich: Publikationsversand
der Bundesregierung
Postfach 48 10 09, 18132 Rostock

Diese Publikation wird vom BMEL kostenlos herausgegeben.
Sie darf nicht im Rahmen von Wahlwerbung politischer Parteien
oder Gruppen eingesetzt werden.

Weitere Informationen finden Sie
[unter \[www.bmel.de\]\(http://www.bmel.de\)](http://www.bmel.de)

