Inhaltsverzeichnis

Danksagung ..... **V**

Einführung ..... **VII**

Inhaltsverzeichnis ..... **IX**

1 Nachhaltige Waldwirtschaft in Deutschland **1**
1.1 Nachhaltige, multifunktionale Waldwirtschaft 2
1.2 Zukunftsorientierte Waldwirtschaft: naturnaher Waldbau und ökologischer Waldumbau 3
1.2.1 Naturnaher Waldbau 4
1.2.2 Ökologischer Waldumbau 5
Literaturverzeichnis 7

2 Forschung für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft **11**
2.1 Forschungsschwerpunkt - ökologischer Waldumbau 11
2.2 Der Projektverbund „Südlicher Schwarzwald“ - Möglichkeiten und Konsequenzen bei der Realisierung des ökologischen Waldumbaus am Beispiel des „Südlichen Schwarzwaldes“ 12
2.2.1 Charakterisierung der Forschungsregion „Südlicher Schwarzwald“. 13
2.2.1.1 Das Wuchsgebiet Schwarzwald 13
2.2.1.2 Die Forschungsregion „Südlicher Schwarzwald“ 13
2.2.2 Forschungsaufgaben und Fragestellungen 16
2.2.3 Struktur und beteiligte Institutionen 19
Literaturverzeichnis 22

3 Umbaubedarf in Fichtenwäldern Baden-Württembergs **25**
3.1 Waldbauliche Situation in Baden-Württemberg 25
3.1.1 Zustandsdaten zum öffentlichen Wald 25
3.1.2 Entwicklung des Waldes und einige mittelfristige Ziele der öffentlichen Forstverwaltung Baden-Württembergs 27
3.2 Herleitung des Umbaubedarfs für die Wälder Baden-Württembergs 30
3.2.1 Natürliche Verbreitung der Fichte *(Picea abies (L.) Karst.)* 30
3.2.2 Erläuterung des Umbaubedarfs 32
3.3 Methodik zur Feststellung des potentiellen Umbaubedarfs 33
3.3.1 Kriterien für einen potentiellen Waldumbau 33
3.3.2 Datengrundlage und Auswertungsmethodik 36
3.4 Ergebnisse 38
3.4.1 Umbaubedarf für „ungeeignete Fichtenstandorte“ 38

3.4.2 Umbaubedarf für „wenig geeignete Fichtenstandorte“ Reduktion der Fichtenbeimischung → „Umbauziel ≤ 30% Fichte + ≥ 70% Buche bzw. andere Laubhölzer“) 42
3.4.3 Umbaubedarf für „mögliche bis geeignete Fichtenstandorte“ Mindestbeimischung von Laubholzarten → „Umbauziel ≥ 30% Laubholz (v.a. Buche, Eiche und sonstiges Laubholz) + ≤ 70% Fichte“ 45
3.4.4 Zusammenfassung und Diskussion 47
Literaturverzeichnis 55

4 Der Zusammenhang zwischen Wuchsleistung und Standort bei Fichte, Tanne und Buche auf den wichtigsten Standortseinheiten des Südschwarzwaldes 59
4.1 Einleitung 59
4.2 Material und Methoden 61
4.2.1 Untersuchungsgebiet 61
4.2.2 Untersuchungsstandorte 61
4.2.3 Wuchsleistungsgruppen 63
4.2.4 Bestandes- und Baumauswahl 63
4.2.5 Erfassung der Baummerkmale 64
4.2.6 Analyse des Durchmesserwachstums 64
4.2.7 Höhenanalyse 64
4.2.8 Ermittelte Zuwachsgrößen 65
4.2.9 Alters-Höhen-Bonitierung 66
4.2.10 Ermittlung der Standflächen der Probebäume 67
4.2.11 Herleitung der Zuwachs- und Bonitierungswerte 68
4.2.12 Standortsfaktoren 70
4.2.13 Bestandesparameter 70
4.3 Ergebnisse 71
4.3.1 Schätzung der Oberhöhe im Alter 100 $h_{o\ 100}$ 71
4.3.2 Schätzung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses im Alter 100 dGZ_{100} 72
4.3.3 Schätzung des laufenden periodischen Zuwachses lZ 73
4.4 Diskussion 75
4.5 Zusammenfassung 80
Literaturverzeichnis 81
Anhang 83

5 Ökologische und landschaftliche Aspekte - Standort, Geschichte, Vegetation, Verjüngungsstruktur, Bodenfauna, Genetik 85
5.1 Einführung 85
5.2 Untersuchungsgebiet und Projektdesign 86
5.2.1 Untersuchungsgebiet - Lage, Standorte, Waldvegetation 86
5.2.1.1 Wuchsbedingungen, Standortsgliederung 87
5.2.1.2 Waldvegetation 88
5.2.2 Projektdesign 89

5.2.3 Wald- und Forstgeschichte 92
5.3 Projekte 96
5.3.1 Natürliche Baumartenzusammensetzung – Standortswald 96
5.3.1.1 Versuchsflächen, Material, Methodik 97
5.3.1.2 Holzkohleanalytisches Ergebnis und Auswertung 97
5.3.1.3 Schlussfolgerung 99
5.3.2 Wald als Kulturlandschaft 100
5.3.2.1 Forschungsziel 100
5.3.2.2 Methoden der Landschaftsanalyse 101
5.3.2.3 Ergebnisse 101
5.3.3 Auswirkungen des Waldumbaus auf die Verjüngungsstruktur 105
5.3.3.1 Ziele, Annahmen 105
5.3.3.2 Untersuchungsgebiet und Methoden 105
5.3.3.3 Ergebnisse 106
5.3.4 Auswirkungen des Waldumbaus auf die Vegetation 110
5.3.4.1 Ziele und methodologisches Vorgehen 110
5.3.4.2 Ergebnisse 110
5.3.4.3 Schlussfolgerungen 113
5.3.5 Auswirkungen des Waldumbaus auf die Bodenfauna 113
5.3.5.1 Ziele und Annahmen 113
5.3.5.2 Untersuchungsgebiet und Methoden 114
5.3.5.3 Ergebnisse 114
5.3.5.4 Extrapolierbarkeit der Erkenntnisse von der untersuchten Raumebene auf höhere Raumebenen 117
5.3.6 Genetische Aspekte der Einbringung von forstlichem Vermehrungsgut beim Waldumbau: Genetische Zusammensetzung zugelassener Saatguterntebestände der Weißtanne - Überprüfung der Herkunftssicherheit der Buche durch Referenzproben 117
5.3.6.1 Ziele und Hypothese 117
5.3.6.2 Material und Methoden 118
5.3.6.3 Ergebnisse bei der Weißtanne mit besonderer Berücksichtigung von historischen Aspekten und vom Grad des menschlichen Einflusses 119
5.3.6.4 Ergebnisse zur Herkunftssicherung von Buche und Weißtanne 120
5.4 Diversität 121
5.4.1 Diversität im Kontext des Waldumbaus 121
5.4.2 Landschaftliche Diversität 122
5.4.3 Einfluss des Waldumbaus auf die Bestandes- und Artendiversität 124
5.5 Ableitungen und Empfehlungen für den Waldumbau 134
5.5.1 Zusammenfassende Ableitungen 134
5.5.2 Detaillierte Empfehlungen zu einzelnen ökologischen Aspekten 135
5.6 Praxismethoden 139
5.6.1 Gewinnung von Vermehrungsgut 139
5.6.2 Wald als Kulturlandschaft 140
Literaturverzeichnis 142

6 Waldumbau und Stoffhaushalt 151
6.1 Stoffhaushaltskriterien für Bedarf und Möglichkeiten von Waldumbau . 151
6.1.1 Anthropogene Depositionen..... 152
6.1.2 Bodenversauerung..... 152
6.1.3 Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt..... 155
6.2 Wirkung des Waldumbaus auf Bestandes- und Landschaftsniveau 159
6.2.1 Bestandesstruktur und Stoffhaushalt (eine Ökosystemstudie) 159
6.2.2 Regionalisierung bodenchemischer Eigenschaften – Einschätzung der Verbesserung der Standortsnachhaltigkeit durch Waldumbau auf Landschaftsebene 164
6.2.2.1 Untersuchungsgebiete und Probenahmedesign 165
6.2.2.2 Regionalisierungsmethode 168
6.2.2.3 Ergebnisse zur Basensättigung..... 171
6.2.2.4 Kohlenstoffvorräte 174
6.2.2.5 Diskussion der Regionalisierungsergebnisse und Schlussfolgerungen 175
6.3 Beitrag des Bodenskeletts zum Ionenvorrat von Böden..... 179
6.3.1 Austauschbare Nährelemente der Grobbodenfraktion in Waldböden des südlichen Schwarzwaldes 180
6.3.1.1 Material und Methoden 180
6.3.1.2 Ergebnisse 183
6.3.1.3 Diskussion..... 188
6.3.2 Sind Steine in Waldböden“hot spots“ der Nährelementaufnahme durch Feinwurzeln und Mykorrhizza-Pilze? 191
6.3.2.1 Einleitung..... 191
6.3.2.2 Mikropedologische Methoden 192
6.3.2.3 Ergebnisse und Diskussion 193
6.3.3 Zukünftige Integration des Nährelementvorrats des Grobbodens ... 196
6.3.3.1 Einleitung..... 196
6.3.3.2 Methoden 197
6.3.3.3 Ergebnisse 199
6.3.3.4 Diskussion..... 202
6.3.4 Zusammenfassung zum Nährelementpotential von Steinen..... 204
6.4 Zusammenfassende Schlussfolgerungen zu Waldumbau und Stoffhaushalt 207
Literaturverzeichnis 210

7 Waldwachstumskundliche Aspekte des Waldumbaus 215
7.1 Einleitung..... 215
7.2 Das Zuwachspotenzial von Fichten (Picea abies [L.] Karst.) und Tannen (Abies alba Mill.) und deren Eignung für Überführungsvorhaben..... 216
7.2.1 Einleitung..... 216
7.2.2 Eine Methode zur Abschätzung des Zuwachspotenzials von Fichten und Tannen..... 218
7.2.2.1 Auswahl der Steuerungsparameter..... 218

7.2.2.2 Untersuchungsmaterial für die retrospektive Analyse der Wuchsreaktion 220
7.2.2.3 Bildung von Klassenmittelwerten zur Beschreibung der Kronenlänge und des Entwicklungsstadiums 221
7.2.3 Ergebnisse 221
7.2.3.1 Veränderung des jährlichen Radialzuwachses in 1,3m Schafthöhe 221
7.2.3.2 Veränderung der Schaftform 224
7.2.3.3 Veränderung des jährlichen Höhenzuwachses 225
7.2.3 Waldbauliche Konsequenzen aus dem Zuwachsreaktionsverhalten stark freigestellter Fichten und Tannen 226
7.3 Zum Wachstum älterer Buchen (Fagus sylvatica L.) in der Überführungsphase im südlichen Schwarzwald 227
7.3.1 Einleitung 227
7.3.2 Material und Methode 227
7.3.2.1 Untersuchungsflächen 228
7.3.2.2 Auswahl und Vermessung der Untersuchungsbäume 228
7.3.2.3 Analyse des Grundflächenzuwachses 230
7.3.2.4 Analyse des Höhenzuwachses 233
7.3.2.5 Kronenexpansion 234
7.3.3 Ergebnisse 234
7.3.3.1 Reaktion des Grundflächenzuwachses 234
7.3.3.2 Plausibilität des Modells für Langzeitprognosen 235
7.3.3.3 Reaktion des Höhenzuwachses 236
7.3.3.4 Kronenausdehnung 237
7.3.3.5 Variation des Astlängenzuwachses 237
7.3.4 Diskussion 239
7.3.4.1 Grundflächenzuwachs 239
7.3.4.2 Höhenzuwachs 240
7.3.4.3 Kronenbreite 240
7.3.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die Praxis 240
7.4 Folgerungen 241
Literaturverzeichnis 242

8 Finanzielle Konsequenzen des Waldumbaus und Methoden der Risikoprognose anhand von Fallbeispielen – Einführung 247
8.1 Finanzielle Konsequenzen des Waldumbaus – Analyse mit Methoden der Investitionsrechnung 248
8.1.1 Einleitung 248
8.1.2 Material und Methoden 249
8.1.3 Ergebnisse – Finanzielle Konsequenzen des Waldumbaus - ein Fallbeispiel 252
8.1.4 Sensitivitätsanalysen 258
8.1.5 Schlussfolgerungen 259
8.2 Risikoprognose mit neuronalen Netzen – am Beispiel von Umbaubetrieben 261

8.2.1 Einleitung ... 261
8.2.2 Ermittlung des Risikos mit Hilfe von neuronalen Netzen auf der Basis von Verbuchungsdaten ... 261
8.3 Quantifizierung von Risiko durch altersstufenweise Ermittlung von Übergangswahrscheinlichkeiten mit Hilfe von digitalisierten Forstkarten ... 269
8.3.1 Material und Methoden ... 269
8.3.2 Ergebnisse am Fallbeispiel Staatswald St.Blasien ... 271
8.3.3 Diskussion ... 275
8.3.4 Schlussfolgerungen zur Risikoanalyse ... 276
8.3.5 Zusammenfassende Schlussfolgerung aus Risikoerfassung und ökonomischer Analyse ... 277
8.4 Die Waldbewirtschaftung im bäuerlichen Privatwald ... 278
8.4.1 Waldbauliche Situation im Privatwald ... 279
8.4.2 Anzahl der Betriebe und Flächenausstattung ... 280
8.4.3 Veränderung der Rahmenbedingungen durch den Agrarstrukturwandel ... 281
8.5 Akzeptanz und Umsetzung von Praktiken des ökologischen Waldumbaus und einer naturnahen Bewirtschaftung im Privatwald ... 284
8.5.1 Hintergrund ... 284
8.5.2 Theoretischer Rahmen, Material und Methoden ... 285
8.5.3 Wahrnehmung des Waldzustandes und der eigenen Einflussmöglichkeiten durch private Waldbesitzer ... 288
8.5.4 Soziale Einflüsse auf das Handeln der Waldbesitzer ... 289
8.5.5 Typen von Waldbesitzern ... 289
8.5.6 Empfehlungen zur Förderung der Waldumbautätigkeit im Privatwald ... 293
8.5.7 Zielgruppenspezifische Aspekte ... 294
Literaturverzeichnis ... 297

9 Aspekte der Holznutzung und der Technikfolgenabschätzung beim Waldumbau im südlichen Schwarzwald ... 301
9.1 Holznutzung im Dauerwald ... 304
9.1.1 Rahmenbedingungen für die Holznutzung ... 305
9.1.1.1 Expertenbefragung zur Erhebung der modifizierten Rahmenbedingungen ... 305
9.1.1.2 Anforderungen des Waldbaus an die Holznutzung ... 306
9.1.2 Arbeitsversuche zum Einsatz von Holzerntesystemen in Dauerwäldern ... 307
9.1.2.1 Material und Methoden ... 308
9.1.2.2 Leistungsergebnisse der untersuchten Holzerntesysteme ... 310
9.1.2.3 Arbeitssicherheit und Ergonomie ... 312
9.1.2.4 Organisation und Planung ... 313
9.1.2.5 Abschließende Beurteilung hinsichtlich Technikfolgenabschätzung ... 313

9.2 Konsequenzen aus der Holznutzung für Boden und Bestand im Sinne einer Technikfolgen-abschätzung ... 315
9.2.1 Bodenmechanische Wirkung von im Rahmen des Waldumbaus eingesetzten Maschinen ... 316
9.2.1.1 Material und Methoden ... 317
9.2.1.2 Ergebnisse zur Messung der „Kontaktflächendrücke“ ... 322
9.2.1.3 Ergebnisse zur Bodenspannung ... 324
9.2.1.4 Ergebnisse zur Vorbelastung ... 326
9.2.1.5 Diskussion ... 328
9.2.1.6 Fazit ... 329
9.2.2 Systeme und Verfahren als Belastungsfaktoren - Probleme mit dem Einsatz moderner Holzerntetechnik ... 330
9.2.2.1 Leistungspotentiale kontra Bodenverträglichkeit ... 334
9.2.2.2 Auswirkungen moderner Holzerntefahrzeuge und deren Arbeitsabläufe auf das Widerlager Boden ... 336
9.2.2.3 Belastungen des Bodens durch Systemkomponenten ... 342
9.2.3 Bodenverformung und Wurzelraum ... 345
9.2.3.1 Veränderung der Bodenstruktur und ihre Auswirkungen auf die Transferparameter ... 346
9.2.3.2 Regeneration von Bodenverformung ... 355
9.2.3.3 Sicherung der ökologischen Bodenfunktionen bei der Holzernte in Überführungsbeständen ... 362
9.2.4 Bestandespfleglichkeit von Holzerntesystemen in Dauerwäldern ... 362
9.3 Holzerntetechnik im Nicht-Altersklassenwald – Entscheidungskriterien und Steuerungsmöglichkeiten ... 367
9.3.1 Hiebscharakteristika in Dauerwaldbeständen ... 367
9.3.2 Mensch ... 368
9.3.3 Bestand ... 369
9.3.4 Boden ... 370
9.3.5 Gesellschaft – adäquate Technik zur nachhaltigen Nutzung naturnaher Wälder ... 371
9.4 Erosionspotentiale beim Einsatz von Raupenvoll-erntern in Steillagen des Schwarzwaldes ... 373
9.4.1 Problemstellung ... 373
9.4.2 Material und Methoden ... 376
9.4.2.1 Versuchsfläche ... 376
9.4.3 Modellierung ... 377
9.4.4 Messfeldvorbereitung und Oberflächenscanning ... 379
9.4.4.1 Datenaufbereitung ... 381
9.4.5 Feldversuche zur Abflussbildung ... 383
9.4.6 Ergebnisse ... 384
9.4.6.1 Modellierung ... 384
9.4.6.2 Volumenbilanzen und Oberflächenrauhigkeit ... 385
9.4.7 Diskussion ... 390
9.4.8 Folgerungen für die Praxis ... 392
Literaturverzeichnis ... 393

Waldumbau – eine Zusammenfassung 401
Flächendimension 401
Biodiversität und Landschaft 402
Stoffhaushalt 403
Waldwachstum 405
Ökonomie und Risiko 406
Sozioökonomie 408
Technikfolgenabschätzung 410

Autorenverzeichnis 415