Typologie von Sukzessionsflächen nach dem Wurf als Grundlage für die weitere waldbauliche Behandlung

Diplomarbeit

an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften

der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

vorgelegt von

Florence Carpentier

Freiburg im Breisgau, Juni 2007

Themenbearbeitung am Waldbau-Institut

Referat: Pr.Dr. J. Bauhus

Korreferat: PD Dr. U. Kohnle

Schriftliche Erklärung

Damit versichere ich vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Freiburg, Juni 2007.

Florence Carpentier

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Jürgen Bauhus für die fachliche Begleitung der Arbeit und die Übernahme des Referats.

Herrn PD Dr. U. Kohnle danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Bedanken möchte ich mich bei Frau Stefanie Gärtner für die Einweisung in SPSS und PCORD und die Betreuung während der Arbeit.

Ich danke den Mitarbeitern der französischen und der deutschen Forstverwaltung für die Informationen über das Interreg-Projekt und die Einweisung in das Projekt-Gebiet.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Eric Lacombe für die fachliche Beratung.

Ich danke Stephanie, Philipp, und Daniel für die Korrekturen.

Herrn Matthias Frohwein danke ich für die Ausleihe der Rechner.

I. Inhaltsverzeichnis

Schriftliche Erklärung I
Danksagung II
I. Inhaltsverzeichnis III
II. Abbildungsverzeichnis VI
III. Tabellenverzeichnis VII
IV. Abkürzungsverzeichnis XI
1 Einleitung 1
1.1 Problemstellung und Ziele der Diplomarbeit 1
1.2 Das Interreg-Projekt "Die weitere Behandlung der Naturverjüngungen auf den Schadflächen des Orkans Lothar 1999" 2
1.3 Literaturübersicht zur Frage der Verjüngung von Sturmwurfflächen 3
2 Material und Methodik 7
2.1 Untersuchungsgebiet 7
2.1.1 Bewirtschaftungseinheiten 7
2.1.2 Geografische Lage und Topografie 7
2.1.3 Klima 7
2.1.4 Geologie und Böden 8
2.1.5 Potenzielle natürliche Vegetation 10
2.1.6 Die Artenzusammensetzung der Bestände vor und nach dem Sturm 10
2.1.7 Die Sturmschäden 12
2.1.7.1 Lage und Ausmaß der Sturmflächen 12
2.1.7.2 Behandlung der Schadflächen 12
2.2 Aufnahmeverfahren 13
2.3 Datengrundlage 15
2.3.1 Ursprünglicher Datensatz 15
2.3.2 Datenprüfung und Datenreinigung 16
2.3.3 Berechnung neuer Variablen und Umstrukturierung 17
2.4 Deskriptive Auswertung der Daten und Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen 19
2.4.1 Deskriptive Auswertung der Daten 19
2.4.2 Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen 19
2.5 Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung 23
2.5.1 Entwicklung einer Jungwuchstypologie 23
2.5.2 Überprüfung der Typologie im Freiland 26
2.5.3 Statistische Prüfung der Unterscheidbarkeit der Typen 27
2.5.3.1 Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen 27
2.5.3.2 Paarweise Vergleiche 28
2.5.4 Charakterisierung der Jungwuchstypen 28
2.5.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten 28
2.5.4.2 Bestimmung der Leitbaumartengruppen, der Leitbaumarten und der Leitpflanzenarten der Jungwuchstypen 29

2.5.4.3 *Classification tree* - Analyse ... 30
2.5.4.4 Hauptkomponentenanalyse zur Unterscheidung der Jungwuchstypen ... 30
2.6 Jungwuchstypologien aus Clusteranalysen ... 31
2.6.1 Ausreißeranalyse ... 31
2.6.2 Hierarchische Clusteranalysen ... 32
2.6.3 Statistische Prüfung der Unterscheidbarkeit der Cluster ... 33
2.6.4 Charakterisierung der Cluster ... 33
2.6.5 Überprüfung der statistischen Typologien im Freiland ... 34
2.7 Zusammenfassung der Arbeitsschritte ... 34
3 Ergebnisse ... 36
3.1 Deskriptive Datenauswertung und Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen ... 36
3.1.1 Deskriptive Datenauswertung ... 36
3.1.1.1 Verjüngung ... 36
3.1.1.2 Konkurrenzvegetation ... 44
3.1.1.3 Struktur und Komposition der Vorbestockungsreste ... 46
3.1.1.4 Schlagabraum ... 48
3.1.1.5 Entfernung zum nächsten Waldrand ... 48
3.1.1.6 Standorte und Humustypen ... 49
3.1.2 Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen ... 50
3.2 Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung ... 54
3.2.1 Typologie, entsprechender Bestimmungschlüssel und Kartierung der Typen ... 54
3.2.2 Ergebnisse der Überprüfung der Jungwuchstypologie im Freiland ... 58
3.2.3 Statistische Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen ... 59
3.2.3.1 Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen ohne Berücksichtigung der Variable "Gesamtdichte" ... 59
3.2.3.2 Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen mit Berücksichtigung der Variable "Gesamtdichte" ... 62
3.2.4 Charakterisierung der Typen ... 64
3.2.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten ... 64
3.2.4.2 Leitbaumartengruppen, Leitbaumarten und Leitpflanzenarten ... 68
3.2.4.3 *Classification tree* ... 73
3.2.4.4 Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse ... 76
3.3 Jungwuchstypologien aus Clusteranalysen ... 79
3.3.1 Ausreißer ... 79
3.3.2 Statistische Typologien aus Clusteranalysen ... 80
3.3.3 Statistische Unterscheidbarkeit der Cluster ... 82
3.3.3.1 Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen ... 82
3.3.3.2 Paarweise Vergleiche ... 84
3.3.4 Charakterisierung der Cluster ... 85
3.3.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten ... 85
3.3.4.2 Leitbaumartengruppen, Leitbaumarten, und Leitpflanzenarten ... 97
3.3.4.3 *Classification trees* ... 105
3.3.4.4 Ergebnisse der Hauptkomponentenanalysen ... 108
3.3.5 Ergebnisse der Überprüfung im Freiland ... 113

4 Diskussion 115

4.1 Überblick über die gewonnenen Ergebnisse 115

4.2 Vergleich der Verfahren zur Erstellung der Typologie 115

4.2.1 Vergleich im Hinblick auf die statistische Unterscheidbarkeit der Typen und der Cluster 115

4.2.2 Vergleich im Hinblick auf die Praktikabilität der Typologien 116

4.2.2.1 Praktikabilität der Typologie der französischen Forstverwaltung 116

4.2.2.2 Praktikabilität der statistischen Typologien 120

4.2.3 Vergleich im Hinblick auf den Aufwand zur Erstellung der Typologie 121

4.2.3.1 Aufwand der Aufnahmen und der Dateneingabe 121

4.2.3.2 Aufwand der Entwicklung der Typologien 121

4.3 Bewertung der Methodik zur Datenaufnahme und Datenauswertung und der daraus gewonnenen Ergebnisse 124

4.3.1 Methodik der Aufnahmen 124

4.3.1.1 Stichprobendesign und Erfassung der Verjüngungsdichte 124

4.3.1.2 Erfassung der Verteilung der Jungwüchse 126

4.3.1.3 Erfassung der Konkurrenzvegetation 127

4.3.2 Methodik der Datenbearbeitung zur Entwicklung der Typologien 129

4.3.2.1 Dateneingabe 129

4.3.2.2 Datenbearbeitung 129

4.3.2.3 Ergebnisse der deskriptiven Auswertung der Daten 130

4.3.2.4 Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen 131

4.3.2.5 Methodik der Entwicklung der Typologien 133

4.3.3 Methodik der Prüfung der Typologien 134

4.3.3.1 Überprüfung der Typologie der französischen Forstverwaltung im Freiland 134

4.3.3.2 Analysen zur Prüfung der statistischen Qualität der Typologien 134

4.3.3.3 Analysen zur Charakterisierung der Typen und der Cluster 135

4.4 Empfehlungen für die Erstellung einer Typologie von Naturverjüngungen auf Sturmwurfflächen 136

4.1.1 Empfehlungen für die Aufnahmen 136

4.1.2 Empfehlungen für die Dateneingabe und die Datenbearbeitung 137

4.1.3 Empfehlungen für die Entwicklung von Typologien 137

5 Zusammenfassung 139

6 Literaturverzeichnis 141

7 Anhang 145

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lokalisierung des Projektgebiets (SAEP 2000) 2
Abbildung 2: Aufnahmefläche beim statistischen Verfahren 13
Abbildung 3: Zusammenfassung der Arbeitsschritte 35
Abbildung 4: Häufigkeit der Überschirmungsgradstufen der Vorbestockungsreste 46
Abbildung 5: waldbauliche Behandlungszonierung auf Basis der Kartierung der Typen (Abteilung 201 des Allmendwaldes von Haguenau) 57
Abbildung 6: *classification tree* für die Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 8 039 Plots) 74
Abbildung 7: Verteilung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse 77
Abbildung 8: *classification tree* für die Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots) 105
Abbildung 9: *classification tree* für die Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots) 107
Abbildung 10: Verteilung der Baumarten-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse 108
Abbildung 11: Verteilung der Baumartengruppen-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse 111

Table des illustrations

Figure 1: Localisation de la zone géographique concernée par le projet Interreg (SAEP 2000) 2
Figure 2: Placette de relevé du protocole statistique 13
Figure 3: Résumé des étapes de l'étude 35
Figure 4: Fréquence des classes de couvert du peuplement relictuel 46
Figure 5: Zonage d'interventions sylvicoles sur la base de la cartographie des types (parcelle 201 de la forêt indivise de Haguenau) 57
Figure 6: Arbre de classification des types de régénération définis par l'ONF (n = 8 039 placettes) ... 74
Figure 7: Représentation des types de régénération définis par l'ONF dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances 77
Figure 8: Arbre de classification des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes) 105
Figure 9: Arbre de classification des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes) 107
Figure 10: Représentation des types statistiques basés sur la densité des essences dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances 108
Figure 11: Représentation des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances 111

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodentypen im Haguenauer-Forst 9
Tabelle 2: Standorte im Haguenauer Forst 10
Tabelle 3: Baumartenzusammensetzung des Haguenauer Forsts vor und nach dem Sturm 11
Tabelle 4: Störungsgrad der Bestände nach dem Sturm (in Zehnteln der Schirmfläche) 12
Tabelle 5: Liste der für jeden Plot berechneten Variablen 18
Tabelle 6: Herausgerarbeitete Zusammenhänge zwischen den Variablen 21
Tabelle 7: Änderungen der ersten nach Erfahrungswerten definierten Typen 25
Tabelle 8: Häufigkeit der Dichtestufen bei der Gesamtdichte der Jungwuchsbestände (n = 8 245 Plots) 36
Tabelle 9: Baumartenanteile* in den verschiedenen Dichtestufen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots) 37
Tabelle 10: Baumartenreichtum der Jungwuchsbestände (n = 8 245 Plots) 37
Tabelle 11: Zusammensetzung der Baumartengruppen (n = 8 245 Plots) 39
Tabelle 12: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Höhenstufen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots)..... 40
Tabelle 13: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Häufigkeitsklassen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots) 41
Tabelle 14: Anteil der Plots, auf denen die häufigsten Baumarten der Jungwüchse (über 1,30 m Höhe) eine als gut eingeschätzte Qualität aufwiesen* (n = 8 245 Plots) 42
Tabelle 15: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Verbissklassen der Jungwüchse* (n = 8 245 Plots) 43
Tabelle 16: Anteile der häufigsten Baumarten* im Kreis C2 in den verschiedenen Häufigkeitsklassen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots) 44
Tabelle 17: Häufigkeit der Deckungsstufen der Konkurrenzvegetation 45
Tabelle 18: Relative Stetigkeit der Arten der Konkurrenzvegetation* (n = 8 245 Plots)* 45
Tabelle 19: Artenreichtum der Konkurrenzvegetation (n = 8 245 Plots) 46
Tabelle 20: Baumartenanteile* der Vorbestockungsreste und Anteil der Plots mit Samenbäumen der Baumart (n = 8 245 Plots)..... 47
Tabelle 21: Anteile der häufigsten Baumarten der Vorbestockungsreste in den verschiedenen Überschirmungsgradstufen (n = 8 245 Plots)..... 48
Tabelle 22: Häufigkeit der Schlagabraumstufen (n = 8 245 placettes) 48
Tabelle 23: Häufigkeit der Entfernungsstufen zum nächsten Waldrand (n = 8 245 Plots) 48
Tabelle 24: Häufigkeit der Standorte (n = 8 245 Plots) 49
Tabelle 25: Häufigkeit der Humustypen (8 245 placettes) 50
Tabelle 26: Liste der Variablen, zwischen denen eine geringe Beziehung besteht..... 51
Tabelle 27: Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung..... 55
Tabelle 28: Ergebnisse des Praxistests zur Prüfung des Bestimmungsschlüssels - richtige und falsche Klassifikationen der neun Versuchs-Plots durch die Revierleiter 58
Tabelle 29: Mittlere Distanzen der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung 59
Tabelle 30: Paarweise Vergleiche der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung auf Basis der Dichte der Baumartengruppen und auf Basis der Dichte der Baumarten(n = 6 478 Plots) ... 61
Tabelle 31: Mittlere Distanzen der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung mit und ohne Berücksichtigung der Gesamtdichte (n = 6 478 Plots) 63
Tabelle 32: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Typen der französischen Forstverwaltung (n = 8 039 Plots)..... 68
Tabelle 33: Maximale Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten und ihre statistische Signifikanz für die Differenzierung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)..... 69
Tabelle 34: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots) 70
Tabelle 35: Leitbaumarten der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots) 71
Tabelle 36: Maximale Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation* und ihre statistische Signifikanz für die Differenzierung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots) 72
Tabelle 37: Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plot) .. 73
Tabelle 38: Übereinstimmung zwischen den Nummern und den Jungwuchstypen..... 77
Tabelle 39: Ausreißeranzahl in Abhängigkeit der angewandten Analysemethode (n = 6 684 Plots) ... 79

Tabelle 40: Verteilung der 206 "problematischen“ Plots, die den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung nicht zugeordnet worden waren, in die Cluster einer dafür speziell durchgeführten Clusteranalyse (n = 6 684 Plots) 80
Tabelle 41: Gesamt-A-Werte der anhand verschiedener Clusteranalyse-Methoden gebildeten Klassifizierungen 81
Tabelle 42: A-Werte verschiedener Clusteranalysen zur Bestimmung der günstigsten Clusteranzahl 81
Tabelle 43: mittlere Distanzen der Cluster (n = 6 478 Plots). 82
Tabelle 44: Vergleich der Cluster mit den Typen der französischen Forstverwaltung auf Basis der mittleren Distanzen und der Gesamt-A-Werte 83
Tabelle 45: Paarweise Vergleiche der Baumarten-Cluster und der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots) 84
Tabelle 46: Bezeichnung der Baumarten-Cluster nach ihrer Baumartenzusammensetzung und Häufigkeit dieser Cluster 89
Tabelle 47: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots) 89
Tabelle 48: Typenzusammenseztung der Baumarten-Cluster 90
Tabelle 49: Bezeichnung der Baumartengruppen-Cluster nach ihrer Baumartenzusammensetzung und Häufigkeit dieser Cluster 94
Tabelle 50: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots) 95
Tabelle 51: Typenzusammenseztung der Baumartengruppen-Cluster 96
Tabelle 52: Standardabweichung und Variationskoeffizient der Gesamtdichte jedes Typs bzw. Clusters 97
Tabelle 53: Maximale Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten bei den Baumarten-Clustern, bei den Baumartengruppen-Clustern und bei den Typen (n = 6 478 Plots)* 98
Tabelle 54: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Baumarten-Clustern (n = 6 478 Plots) 100
Tabelle 55: Leitbaumarten der Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots) 101
Tabelle 56: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Baumartengruppen-Clustern (n = 6 478 Plots) 102
Tabelle 57: Leitbaumarten der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots) 103
Tabelle 58: Maximale Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation* bei den Baumarten-Clustern, bei den Baumartengruppen-Clustern, und bei den Typen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots) 104
Tabelle 59: Ergebnisse der Überprüfung der statistischen Typologien im Freiland - Zugehörigkeit der neun Versuchs-Plots zu den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung, zu den Baumarten-Clustern und zu den Baumartengruppen-Cluster 113
Tabelle 60: Stärken und Schwächen der Typologie der französischen Forstverwaltung und der statistischen Typologien 123
Tabelle 61: Stärken und Schwächen der im Interreg-Projekt angewangten Erfassungsmethoden (aus PRÖMSE 2006) 126

Liste des tableaux

Tableau 1: *Types de sol rencontrés dans le massif de Haguenau* 9
Tableau 2: Stations du massif de Haguenau 10
Tableau 3: Composition en essences du massif de Haguenau avant et après la tempête 11
Tableau 4: Intensité des dégâts après la tempête (en 1/10 de couvert) 12
Tableau 5: Liste des variables calculées pour chaque placette 18
Tableau 6: Variables entre lesquelles l'existence de corrélations a été recherchée 21
Tableau 7: Modifications des premiers types définis par expérience 25
Tableau 8: Fréquence des classes de densité pour la densité totale de la régénération (n = 8 245 placettes) 36
Tableau 9: Fréquence des classes de densité pour les essences les plus fréquentes (n = 8 245 placettes) 37
Tableau 10: Diversité en essences de la régénération (n = 8 245 placettes) 37
Tableau 11: Composition des groupes d'essences (n = 8 245 placettes) 39
Tableau 12: Fréquence des différentes classes de hauteur pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes) 40
Tableau 13: Fréquence des différentes classes de répartition pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes) 41
Tableau 14: Proportion de placettes sur lesquelles les essences les plus fréquentes de la régénération et d'une hauteur supérieure à 1,30 m présentent des tiges de qualité (n = 8 245 placettes) 42
Tableau 15: Fréquence des classes d'abroutissement pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes) 43
Tableau 16: Fréquence des classes de répartition pour les essences relevées le plus fréquemment sur le cercle C2 (n = 8 245 placettes) 44
Tableau 17: Fréquence des classes de recouvrement par la végétation concurrente 45
Tableau 18: Fréquence des classes de recouvrement des espèces les plus fréquentes de la végétation concurrente (n = 8 245 placettes) 45
Tableau 19: Diversité en espèces de la végétation concurrente (n = 8 245 placettes) 46
Tableau 20: Fréquence des essences du peuplement relictuel et proportion de placettes sur lesquelles des semenciers de l'essence considérée étaient présents (8245) 47
Tableau 21: Fréquence des classes de couvert pour les principales essences du peuplement relictuel 48
Tableau 22: Fréquence des classes de recouvrement par les rémanents (n = 8 245 placettes) 48
Tableau 23: Fréquence des classes de distance à la lisière la plus proche (n = 8 245 placettes) 48
Tableau 24: Fréquence des différentes stations (n = 8 245 placettes) 49
Tableau 25: Fréquence des types d'humus (n = 8 245 placettes) 50
Tableau 26: Liste des variables liées par une faible corrélation 51
Tableau 27:Typologie réalisée par l'ONF 55
Tableau 28: Résultats du test de la clé typologique sur le terrrain: proportion de bonnes réponses et erreurs commises par les chefs de triage lors de la détermination des types sur les neuf placettes-tests 58
Tableau 29: Distances moyennes des types de régénération définis par l'ONF 59
Tableau 30: Comparaisons par paires des types de régénération définis par l'ONF sur la base de la densité des groupes d'essences et sur la base de la densité des essences (n = 6 478 placettes) 61
Tableau 31: Distances moyennes des types de régénération définis par l'ONF avec et sans intégration de la variable "densité totale"(n = 6 478 placettes) 63
Tableau 32: Valeurs statistiques de la densité totale de la régénération au sein des types de régénération définis par l'ONF (n = 8 039 placettes) 68
Tableau 33: Valeurs indicatrices maximales (MIW) des groupe d'essences / des essences et probabilité critique p associée, exprimées pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes) 69
Tableau 34: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences ayant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes) 70
Tableau 35: Essences indicatrices des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes) 71
Tableau 36: Valeurs indicatrices maximales des espèces de la végétation concurrente, et probabilité critique associée, exprimées pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes) 72

Tableau 37: Valeurs indicatrices des espèces de la végétation concurrente ayant les valeurs indicatrices maximales présentées pour chaque type de régénération défini par l'ONF (n = 6 478 placettes). 73
Tableau 38: Correspondance entre les numéros et les types de régénération 77
Tableau 39: Nombre d'extrêmes identifiés en fonction de la méthode d'analyse utilisée (n = 6 684 placettes) 79
Tableau 40: Répartition des 206 placettes à problème de l'ONF dans les 12 types statistiques issus d'une classification hiérarchique ascendante réalisée spécialement dans ce but (n = 6 684 placettes) 80
Tableau 41: Valeurs-tests A des typologies issues de différentes classifications hiérarchiques ascendantes..... 81
Tableau 42: Valeurs-tests A de différentes classifications hiérarchiques ascendantes en vue de la détermination du nombre le plus approprié de types statistiques 81
Tableau 43: Distances moyennes des types statistiques (n = 6 478 placettes) 82
Tableau 44: Comparaison des types statistiques et des types définis par l'ONF sur la base des valeurs-tests A et des distances moyennes 83
Tableau 45: Comparaisons par paires des types statistiques basés sur la densité des essences et des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes) 84
Tableau 46: Dénomination des types statistiques basés sur la densité des essences d'après leur composition en essences, et fréquence respective de ces types statistiques 89
Tableau 47: Valeurs statistiques de la densité totale des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes)...... 89
Tableau 48: Composition en types de l'ONF des types statistiques basés sur la densité des essences 90
Tableau 49: Dénomination des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences sur la base de leur composition en essences, et fréquence respective de ces types statistiques 94
Tableau 50: Valeurs statistiques de la densité totale des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences 95
Tableau 51: Composition en types de l'ONF des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences 96
Tableau 52: Ecart-type et coefficient de variation de la densité totale de chaque type défini par l'ONF et de chaque type statistique 97
Tableau 53: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences pour les types statistiques basés sur la densité des essences, les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences et pour les types définis par l'ONF..... 98
Tableau 54: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences possédant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour les types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes) 100
Tableau 55: Essences indicatrices des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes) 101
Tableau 56: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences possédant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes) 102
Tableau 57: Essences indicatrices des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes) 103
Tableau 58: Valeurs indicatrices maximales des espèces de la végétation concurrente pour les types statistiques basés sur la densité des essences, les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences, ainsi que pour les types définis par l'ONF (n = 6 478 placettes) 104
Tableau 59: Résultats du test sur le terrain des typologies statistiques: *correspondances entre types définis par l'ONF et types statistiques sur les neuf placettes-tests* 113
Tableau 60: Points forts et points faibles de la typologie élaborée par l'ONF et des typologies statistiques 123
Tableau 61: Points forts et points faibles des deux méthodes de relevés employées dans le cadre du projet Interreg (extrait du rapport de PRÖMSE, 2006)..... 126

IV. Abkürzungsverzeichnis

A	Gesamt-A-Wert
AM	Mittelwert
BA	Baumart
BAGr	Baumartengruppe
BHD	Brusthöhendurchmesser in 1,30 m Höhe
Cv	Variationskoeffizient
D	Dichte
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	*Global Positioning System*
Gst	Gesamt
ISA	*Indicator Species Analysis*
m ü NN	Meter über Normal Null
Max	Maximum
Min	Minimum
MRPP	*Multi-Response Permutation Procedures*
ONF	*Office National des Forêts*
Sd	Standardabweichung

Die Abkürzungen für die Baumarten und die Pflanzenarten sind in den zu finden.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Ziele der Diplomarbeit

Die Stürme des Jahres 1999 hinterließen vielerorts in Frankreich und im geringen Maße in Deutschland flächig geworfene Bestände (HETZEL & REIF 1998). Am 26. Dezember 1999 traf der Orkan Lothar einen Teil der elsässischen und pfälzischen Wälder sehr hart. Im Nordelsass betragen die Schadflächen 10 000 ha, in Rheinland-Pfalz etwa 1 000 ha, wovon etwa 530 ha im Bienwald liegen (KREMER 2006). Seit diesem Ereignis steht die Forstwirtschaft von beiden Seiten der Grenze vor der Aufgabe, die Flächen wieder zu bewalden. Nach ähnlichen klimatischen Ereignissen, z.B. die Stürme "Wiebke" und "Vivian" im Jahr 1990, fanden meistens nach der Räumung der Sturmwurfflächen Planzungen statt. Aufgrund des Ausmaßes der Sturmwurfflächen aus dem Jahre 1999 suchen die französischen Forstleute nach kostengünstigen Verfahren zur Wiederbewaldung. Weiterhin waren die Holzerträge in den letzten Jahren infolge stark gesunkener Holzpreise und internationalem Wettbewerbsdruck stark zurückgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen sind neue waldbauliche Ziele entstanden:

- eine bessere Einpassung der Waldwirtschaft in die natürliche Walddynamik, und insbesondere eine verstärkte Nutzung der Naturverjüngung zur Erneuerung von Beständen,
- die Inwertsetzung von Pionierwäldern und von Baumarten, die, wie die Birke, früher außer acht gelassen oder sogar systematisch entfernt wurden,
- die Beschränkung der waldbaulichen Pflegekosten durch streng zielgerichtete Eingriffe geringeren Umfangs (OFFICE NATIONAL DES FORÊTS - DIRECTION TERRITORIALE ALSACE & ZENTRALSTELLE DER FORSTVERWALTUNG - NEUSTADT/W. 2006).

In Rheinland-Pfalz wurde die QD-Waldbaustrategie (Qualifizieren, Dimensionieren) ausgearbeitet, die punktwirksame unaufwändige Eingriffe zugunsten verstreut auftretender wertvoller Bäume befürwortet. Die im Gefolge des Orkans entstandenen Naturverjüngungen bilden ein interessantes Anwendungsfeld zur Erprobung dieser waldbaulichen Strategie im Elsass. Deswegen arbeiten elsässische und pfälzische Forstleute im Rahmen eines Interreg-Projektes zusammen, um gemeinsam grenzübergreifende Instrumente zur dauerhaften Implementierung dieses neuen Waldbauverfahrens und eine grenzübergreifende Leitlinie für die waldbauliche Behandlung der Sturmwurfflächen zu entwickeln.

Vorraussetzung für die Erarbeitung dieser Waldbau-Leitlinie war eine Bestandesaufnahme der Sturmwurfflächen. Im Herbst 2006 wurde im Elsass einen Teil der Sturmwurfflächen aus Lothar erfasst. Gegenstand der vorliegenden Diplomarbeit ist:

- die Auswertung der daraus gewonnenen Daten für den Naturraum "Haguenau-Ebene".
- die Erarbeitung, für den Naturraum "Haguenau-Ebene", einer darauf aufbauenden Typologie der nach dem Orkan entstandenen Jungwuchsflächen aus Naturverjüngung. Diese Typologie soll zum einen der Durchführung weiterer Aufnahmen und zum anderen der Erarbeitung der Waldbau-Leitlinie dienen.
- die pragmatische und statistische Prüfung dieser Typologie.

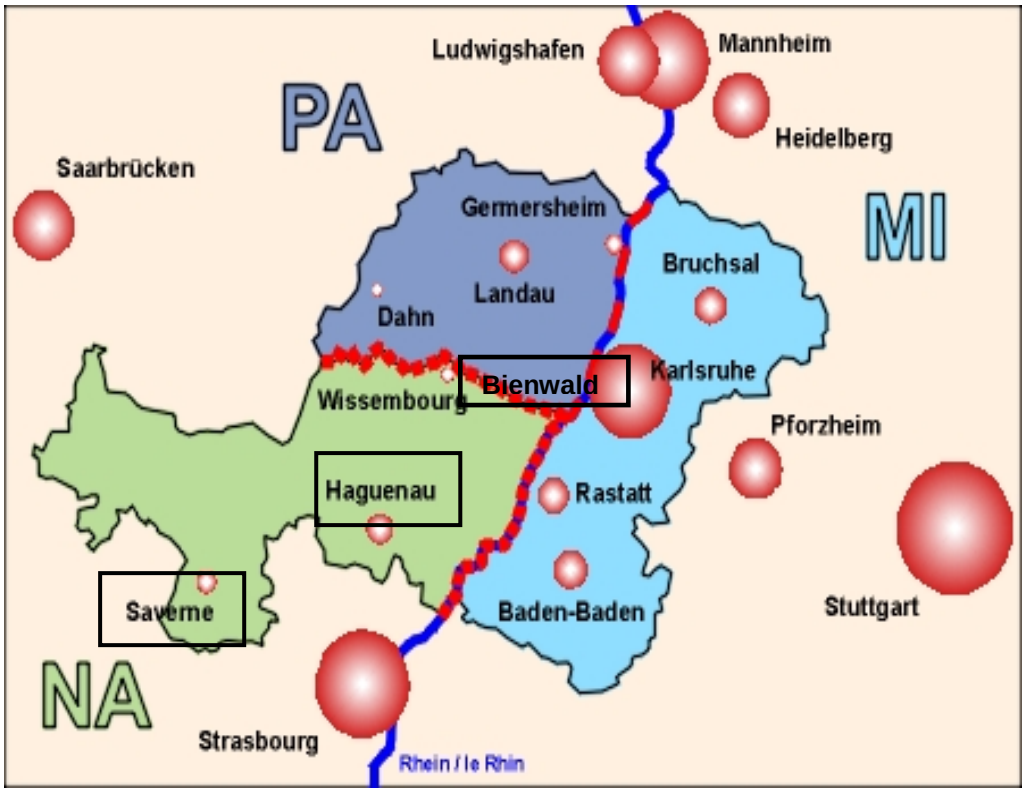
1.2 Das Interreg-Projekt "Die weitere Behandlung der Naturverjüngungen auf den Schadflächen des Orkans Lothar 1999"

Mietglieder der Projektgruppe sind die elsässische Forstverwaltung (*Office National des Forêts – Direction territoriale d'Alsace*), die Zentralstelle der Forstverwaltung von Neustadt/W., und die elsässische Verwaltung für Wald- und Agrarwirtschaft (*Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt Alsace – Strasbourg)*.

Auf der französischen Seite sind zwei Forstämter einbezogen. Mit etwa 7 000 ha Sturmflächen weist das Forstamt "Haguenau" die größten Schäden auf. Auf dem Haguenauer Forst allein entfallen 45% der Schäden im ganzen Elsass, und im Durchschnitt wurden 40% der Fläche der Wälder des Forstamts "Haguenau" vom Sturm geworfen (GELDREICH 2006). Außerdem nimmt das westlich von Haguenau in den Nordvogesen gelegene Forstamt "Saverne" am Projekt teil (etwa 3 000 ha Schadflächen). Auf der deutschen Seite liegen die größten Schadflächen im südostlichen Bienwald, die übrigen im Pfälzerwald. Die Forstämter "Bienwald", "Haardt", "Wasgau" und "Hinterweidenthal" sind in das Projekt miteinbezogen.

Abbildung 1: Lokalisierung des Projektgebiets (SAEP 2000)

Figure 1: Localisation de la zone géographique concernée par le projet Interreg (SAEP 2000)



PA steht für Palatinat, Mi für Mittlerer Oberrhein, NA für Nord Alsace. Im Anhang 1 findet sich eine Naturraumkarte der Wälder des Forstamt "Haguenau".

Die Schadbilder stellen sich in Frankreich und Deutschland unterschiedlich dar. Im Bienwald und Pfälzerwald sind die flächigen Schäden meist von kleinerer (0,5 bis 2 ha) bis mittlerer Größe (bis 5 ha). Kahlflächen über 10 ha Größe sind die Ausnahmen. Demgegenüber handelt es sich auf französischer Seite meist um große zusammenhängende Schadflächen von teilweise über 30 ha, v.a.

im Haguenauer Forst (KREMER 2006). Im Jahr 2000 wurden die Flächen im Elsass mittels GPS Technik erfasst und mit Hilfe des GIS kartiert. In Rheinland-Pfalz wurden die betroffenen Abteilungen vom September 2000 bis März 2001 auf Grundlage von im Juni 2000 gemachten Luftbildern begangen; eine Beschreibung der Schäden erfolgte anhand eines standardisierten Aufnahmebogens. Für jede Fläche wurde auch einen Vorschlag zur Wiederbewaldungsplanung erstellt, der aber nicht weiterverfolgt wurde.

Konkrete Ziele des Interreg-Projektes sind:

- eine umfassende quantitative und qualitative Bestandesaufnahme der 8 000 ha großen, nach Lothar beidseits der Grenze natürlich verjüngten Waldgebiete,
- eine Typologie der Waldsukzessionen auf der Beobachtungsgrundlage der markantesten nach den Orkanen 1990 und 1999 natürlich entstandenen Wälder,
- eine gemeinsame Waldbau-Leitlinie und ein Bewirtschaftungsplan für diese Jungbestände zur Gewährleistung ihrer ökonomischen und ökologischen Leistungsfähigkeit (KREMER 2006).

Durch die Auswertung der Daten, die aus der ersten im Elsass durchgeführten Aufnahmekampagne gewonnen wurden, soll die vorliegende Diplomarbeit die Bestandesaufnahme der Sturmflächen des Naturraums "Haguenau-Ebene" liefern. Eine darauf aufbauende Typologie der nach dem Sturm entstandenen Jungbestände soll danach erarbeitet werden. Diese Typologie soll dazu dienen, den Rest der Aufnahmen in diesem Naturraum schneller durchführen zu können. Anstelle der bisher verwandten, zahlreiche Parameter berücksichtigenden Aufnahmeverfahren sollte sie die schnelle Identifikation verschiedener Jungwuchstypen, anhand einfacher Indikatoren, ermöglichen. Diese Typologie soll auch gleichzeitig als Grundlage für die Erarbeitung einer grenzübergreifenden Waldbau-Leitlinie zur forstlichen Behandlung von Sukzessionswäldern dienen.

1.3 Literaturübersicht zur Frage der Verjüngung von Sturmwurfflächen

Die Sturmwurfforschung entwickelte sich in Mitteleuropa nach den Stürmen der 90er Jahre "Vivian" und "Wiebke", mit dem "Projekt Angewandte Ökologie" (PAÖ). Zentrales Ziel dieses Projektes war, auf ein neues Sturmwurfereignis besser vorbereitet zu sein als bisher. Räumliche Schwerpunkte des Projektes waren die Schweiz, Österreich, und Deutschland.

Nach den Stümen "Vivian" und "Wiebke" wurde in der Schweiz hauptsächlich die Walderneuerung von Bergmischwäldern (SCHÖNENBERGER 2002; WOHLGEMUTH et al. 2002), untersucht. In Deutschland beziehen sich die meisten Studien auf Fichten-Ökosysteme, da überwiegend Fichtenbestände geworfen wurden (FISCHER 1998; KENK 2002, KOHNLE & VON TEUFFEL 2005). Ein Schwerpunkt wurde umso mehr auf die Verjüngung von Fichtenbeständen gelegt, als die Forstbehörden nach den Stürmen den Wunsch einer Rückkehr zu naturnahen Wäldern durch die Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Laub(misch)wälder geäußert hatten. Zum Beispiel untersuchte das Sturmwurfflächenprogramm Baden-Wüttembergs zwischen 1991 und 1997 drei Gebiete im Land, wobei es sich um forstlich begründete Fichtenbestände auf vernässenden oder

exponierten Standorten handelte. Im Vordergrund dieses Forschungsprojektes stand die Biozönose von Sturmwurfflächen in der Startphase der Entwicklung nach dem Sturmereignis. Das Ziel dieses Vorhabens war, Antworten auf die Frage: "bei nächsten Sturmereignis, wie, wo, in welchem Maß und mit welchen Methoden unter Gesichtspunkten wie Holzproduktion, Biodiversität, Nachhaltigkeit, und Landschaftshaushalt mit derartigen Sturmwurfflächen zu verfahren ist" (FISCHER 1998) zu liefern.

In den Jahren 2000 und 2001 wurde imfolge des Sturms "Lothar" im öffentlichen Wald Baden-Württembergs eine Wiederbewaldungsplanung durchgeführt. Durch die Ermittlung der Sturmschadflächen und die Erhebung des Verjüngungserfolgs (aus Anbau und/oder Naturverjüngung) sollte sie die Forstbetriebe zur Konzeption der Wiederbewaldung unterstützen (VON GILSA & MOOSMAYER 2002; VON GILSA et al. 2005). In Baden-Württemberg lag der Schadensschwerpunkt im Bereich des Schwarzwaldes, so dass die meisten Untersuchungen sich auf Fichte-Tanne-(Buche)-Bergmischwälder beziehen (HUSSENDÖRFER et al. 2005, KOHNLE et al. 2005b).

Frankreich wurde im Jahre 1990 im Vergleich zu den Stürmen "Lothar" und "Martin" im Jahre 1999 leicht betroffen. Untersuchungen auf Sturmwurfflächen aus älteren Stürmen: 1984 in den Vogesen (DOSSIER 2000), aus den 90er Jahre im Departement Meuse (SCHEID 2002) ergaben heterogene und auf das Untersuchungsgebiet bezogene Ergebnisse. Nach den Stürmen von 1999 wurde ein Netz von Untersuchungsflächen auf nationaler Ebene angelegt, mit dem Ziel, die Entwicklung der Naturverjüngung in unterschiedlichen ökologischen Kontexten zu studieren (MORTIER 2001). Die Auswertung der bisher erfassten Daten hat aber zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieser Diplomarbeit noch nicht stattgefunden (LACOMBE, pers. Mitt.).
Lothringen und Elsass waren unter den am stärksten betroffenen Regionen Frankreichs. Der ENGREF-LERFOB-INRA[1] von Nancy erstellte in Zusammenarbeit mit der ONF (französische Forstverwaltung) und der CRPF (Behörde für die Bewirtschaftung des Privatwaldes)[2] zwei Sturmwurfforschungsprojekte, deren Untersuchungsflächen sich in diesen beiden Regionen befinden.
2001 startete das "Großsturmwurfflächen-Projekt" (*Observatoire des dynamiques naturelles après tempêtes – peuplements dévastés*) und 2003 das "Kleinsturmwurfflächen-Projekt" (*Observatoire des dynamiques naturelles après tempêtes – peuplements mités*). Diese Forschungsprojekte verfolgen unterschiedliche Ziele. Beim Großsturmwurfflächen-Projekt soll die natürliche Entwicklungsdynamik (d.h. in Abwesenheit aller forstlichen Eingriffe) in einem zwanzigjährigen Zeitraum nach dem Sturmereignis untersucht werden. Durch die Gewinnung von dendrometrischen und phytosoziologischen Daten sollen die folgenden vier Themen dokumentiert werden:
1) Qualität und Quantität der Naturverjüngung nach dem Sturm und Sukzession der Baumarten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und von der Baumartenzusammensetzung des zerstörten Bestandes;
2) Verjüngungshindernisse, insbesondere Konkurrenzvegetation und Wildverbiss;
3) Einfluß des Räumungsverfahrens und des Schlagabraums auf die Verjüngung;

[1] ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts = *French Institute of Forestry, Agriculture and Environmental Engineering* ; LERFOB: Laboratoire d'études des ressources forêt bois = *Laboratory of Research in Forest and Timber Resources* ; INRA : Institut National Agronomique = *National Institute of Agriculture Research*.
[2] ONF: Office National des Forêts – Directions territoriales d'Alsace et de Lorraine; CRPF: Centre Régional de la Propriété Forestière Lorraine Alsace.

4) Eine sich in die natürliche Dynamik einfügende waldbauliche Behandlung geringstmöglicher Kosten. (QUIÑONES-NADLER 2004)

Das Kleinsturmwurfflächen-Projekt untersucht die Dynamik der Wiederbewaldung von kleinen Sturmwurfflächen innerhalb von Beständen und zielt auf eine mögliche Beziehung zwischen Verjüngung und Sturmwurfflächengröße. Hauptziel dieses Projekts ist auch, Empfehlungen für die waldbauliche Behandlung von kleinen Sturmwurfflächen in ungleichaltrigen Hochwäldern abzuleiten (MENGIN 2006).

Beide Projekte versuchten ein möglichst breites Spektrum von Ausgangsbedingungen abzudecken. Die Untersuchungsflächen sind auf ganz Lothringen und Elsass verteilt, die Standortbedingungen variieren von sauren bis basischen Böden und die Vorbestände von Laubwälder bis forstlich begründete Nadelbeständen (QUIÑONES-NADLER et al. 2005). Bisher wurde nämlich die Entwicklungsdynamik der Naturverjüngung auf Sturmwurfflächen aufgrund des großen Aufwandes und aufgrund der Vielfalt von Faktoren, die zu einer Differenzierung der Flächen führen (z.B. Standortsbedingungen, Zusammensetzung des Vorbestandes, Räumungsverfahren, Vorbauten) meist exemplarisch in ausgewählten Bestandesstrukturen und unter gewissen ökologischen Bedingungen geklärt. Aus diesem Grund sind die Zuordnung der Ergebnisse zu standörtlichen Einheiten sowie die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen problematisch.

In der Vergangenheit wurden nach solchen klimatischen Ereignissen die Bestände oft sofort künstlich verjüngt. Angst vor unbestockten Flächen oder Subventionspraxis (nach einem Sturmereignis wurden den Forstbehörden außergewöhnliche Geldmittel zur Verfügung gestellt, und je schneller die Förderung, desto größer die Chance, das Geld zu bekommen) können als mögliche Gründe dafür angesehen werden.

So wurden nach den Stürmen der 90er Jahre in Deutschland die Flächen meist zügig geräumt und wieder in Bestockung gebracht (FISCHER 1998). Untersuchungen haben aber gezeigt (KENK 2002), dass einige Jahre nach dem Sturmereignis natürlich erwachsene Jungwüchse auf diesen Flächen zahlreich auftraten. Die Durchführung von soforteinsetzenden großräumigen Pflanzungen erschien somit fraglich. Allerdings hatte sich inzwischen hatte die Idee der Anwendung von an der Walddynamik orientierten Verfahren zur Wiederbewaldung großer Sturmwurfflächen verbreitet, deren Zentralpunkt die Übernahme der Naturverjüngung geeigneter Baumarten ist.

Diese Strategie der Ausnutzung natürlicher Wiederbewaldungsprozesse wurde von der französischen Forstverwaltung übernommen. In der von ihr veröffentlichen Leitlinie zur Wiederbewaldung der Wälder nach den Stürmen von 1999 (MORTIER 2001) wird empfohlen, mit Wiederbewaldungsmaßnahmen auf guten bis mittleren Standorten 5 Jahre und auf den ungünstigsten Standorten bis 10 Jahre abzuwarten, damit die natürliche Entwicklungsdynamik einsetzen kann. Am Ende dieses Beobachtungszeitraums sollte eine Bestandesaufnahme der Naturverjüngung durchgeführt werden, die als Grundlage für die weitere waldbauliche Planung dienen sollte.

Durch die Bestandesaufnahme der Jungwuchsbestände auf den Lothar Schadflächen der Forstämter "Haguenau" und "Saverne" 6 Vegetationsperioden nach dem Sturm und durch die

Erarbeitung einer darauf aufbauenden Walbau-Leitlinie zur Behandlung der natürlich entstandenen Sukzessionswälder verfolgt das Interreg-Projekt die von der französischen Forstverwaltung vorgegebenen Handlungsstrategie.

2 Material und Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Bewirtschaftungseinheiten

Der Haguenauer Forst besteht aus 23 Distrikten verschiedener Eigentümer. Der Allmendwald von Haguenau (*forêt indivise de Haguenau*: 50% Staatswald, 50% Kommunalwald, ohne dass die Abteilungen dem Staat oder der Stadt gehören) ist die Haupteinheit. Er ist 13 488,43 ha groß und beträgt damit 64% der Fläche. Drei Staatswälder (4% der Fläche), 17 Kommunalwälder (29% der Fläche) und zwei Wälder, die Eigentum von Krankenhäusern sind, gelten als "Nebenwälder" dieser Haupteinheit (GELDREICH 2002).

2.1.2 Geografische Lage und Topografie

Der Haguenauer Forst befindet sich in der elsässischen Ebene sowie im Naturraum "Haguenau-Ebene". Der Allmendwald von Haguenau ist von Osten nach Westen 30 km lang und von Norden nach Süden 10 km breit. Die Höhenlage nimmt von 200 m ü. NN im Westen bis 130 m ü. NN am Rheingraben langsam ab. Hinter dem steilen Hang einer Verwerfung beträgt die Höhenlage nur noch 115 m ü NN. Fünf Bäche, die aus den Vogesen stammen und in den Rhein münden, fließen von West nach Ost durch den Allmendwald von Haguenau.

Obwohl die Terrasse von Haguenau wenig Relief aufweist, spielt die Topografie bezüglich der Fruchtbarkeit der Böden eine wichtige Rolle. Die niedrigsten Lagen sind die Flusstäler und natürliche Senken von mehr oder weniger großer Ausdehnung. Aufgrund rezenten Schwemmlandes sind die Flusstäler durch eine hohe Fruchtbarkeit ausgezeichnet. Die größten Senken haben meistens ungünstige sandige und hydromorphe Böden. Die kleineren Senken sind oft sumpfig und mit naturnahen Erlenwäldern oder Kiefer-Birkenwäldern bestockt. Die höchsten Lagen befinden sich im Nord-Westen und entsprechen dem Beginn der Vorbergzone der Nord-Vogesen. Im Inneren des Waldes gibt es auch einige Hügel, die wie die bereits genannten Hügel von löß überlagert und damit sehr fruchtbar sind (GELDREICH 1993).

2.1.3 Klima

Die Haguenau-Ebene ist von kontinentalem Klima mit ozeanischem Einfluss geprägt. Die Kontinentalität ist für die kalten Winter und warmen Sommer verantwortlich. Die ozeanische Tendenz zeigt sich in Form von Niederschlägen aus dem Westen, deren Ankommen die niedrige Höhe der Nord-Vogesen ermöglicht. Die Niederschläge liegen im langjährigen Mittel bei 810 mm und weisen eine sub-kontinentale Verteilung auf (Sommer > Herbst > Frühling > Winter).

Die jährliche Durchschnittstemperatur beträgt 10,1°C. Es gibt 80 bis 90 Frosttage pro Jahr, davon 15 bis 20 mit ganztägigem Frost. Spätfroste treten bis Ende Mai häufig auf. Am stärksten betroffen sind die niedrigsten Lagen. Die relativ warme und feuchte Vegetationszeit ist günstig für den Wald. Negative Faktoren sind die Spätfröste, Trockenheitsperioden im Frühling und im Sommer, und seltene

aber in den *Pinus sylvestris*-Jungbeständen sehr schädigende Naßschneefälle im Winter (GELDREICH 1993).

2.1.4 Geologie und Böden

Der Haguenauer Forst wächst auf Schwemmfächern. Diese entstanden aus Flüssen, die aus den Vogesen stammen (von Nord nach Süd: Seltzbach, Sauer, Halbmuhlbach, Eberbach, Zinsel, Moder, Zorn) und in das Rheintal münden. Dieses Schwemmmaterial aus den Vogesen besteht aus groben basenarmen Sanden. Das zufällige Vorkommen von Tonlinsen in diesen Sandschichten ist für die Differenzierung von Standorten verantwortlich, insofern als sie zum Erscheinen von temporär hochstehendem Grundwasser führt und damit Hydromorphie-Erscheinungen verursacht. Neben dominierendem sandigem Material aus den Vogesen sind einige andere geologischen Formationen zu finden: Mergel aus dem Oligozän, die den Unterhorizont bilden und selten ausstreichen, äolische im Quartär abgelagerte Lößе und lößiger Lehm, rezentes Schwemmland in den Flusstälern, quartärisches Schemmland aus den Alpen am östlichen Rand, und schließlich sumpfige Formationen in den kleinen Senken und am Fuß des Rheingrabens. Sandige Texturen dominieren. Lehm kommt nur lokal und oberflächlich vor (GELDREICH 1993 & 2002).

Die meisten Böden sind deswegen basenarm und sauer, manchmal auch hydromorph. Die zwei Hauptgradienten zur Differenzierung der Standorte sind der Nährstoffhaushalt und die Hydromorphie.

Aufgrund der Variabilität der Topografie und der Geologie kann man von einem Bodenmosaik sprechen.

Tabelle 1: Bodentypen im Haguenauer-Forst

Tableau 1: *Types de sol rencontrés dans le massif de Haguenau*

SUBSTRAT	**TOPOGRAFIE**	**BODENTYP**
Oligozäne Mergel mit einer dünnen sandigen oder lehmigen Oberschicht	Hügel oder Hang	- Pseudogley - Pseudogley mit Trend zur Podsolierung *(pseudogley podzolique)*
	Vertiefung	- Stagnogley *(gley oxydé)*
Sande und Tone aus den Vogesen	Variabel bis höher gelegen	drainiert: - Parabraunerde *(brun acide)* - Parabraunerde mit Trend zur Podsolierung *(ocre podzolique-podzolique)* - Ockererde *(brun ocreux)*
	Düne	- Braunerde *(brunifié peu évolué)*
	Hangfuß	hydromorph: - Pseudogley mit Trend zur Podsolierung *(pseudogley podzolique)* - Staupodsol *(podzolique hydromorphe)*
	Kessel	- Staupodsol *(podzol hydromorphe)*
Lößige Lehme	Hang und Hangfuß	- Fahlerde *(brun lessivé)* - Pseudogley
Kolluviale Lehme	An Bachufern	- Braunerde *(brun eutrophe)* - Hydromorphe Braunerde *(brun hydromorphe)*
Torf	Niederung	- Anmoorgley *(gley à anmoor)* - Oxigley *(gley oxydé)*

2.1.5 Potenzielle natürliche Vegetation

1988 wurde eine Typologie der Waldstandorte im Rahmen einer Doktorarbeit (DUPOUEY 1983) erarbeitet. Die verschiedenen Standorte wurden nach der potenziellen natürlichen Vegetation bezeichnet. DUPOUEY definierte 17 Standortsgruppen. Zur Anwendung in der Praxis wurden diese 17 Gruppen in 12 Gruppen zusammengefasst. Die folgende Tabelle stellt diese 12 Gruppen dar:

Tabelle 2: Standorte im Haguenauer Forst

Tableau 2: Stations du massif de Haguenau

Standort	Bezeichnung	Häufigkeit
1	Erlenwald	5 ha
	Aulnaie	0,02%
2	Erlen-Eschenwald	243 ha
	Aulnaie-frênaie	1,16%
3	Eichen-Eschenwald auf mäßig basenreichen Böden	1 442 ha
	chênaie-frênaie calcicole	6,90%
4	Eichen-Hainbuchenwald	1 188 ha
	chênaie-charmaie	5,68%
5	Eichen-Kiefernwald auf durchlässigen, mesotrophen Böden	1 172 ha
	chênaie pineraie neutrophile drainée	5,61%
6	Eichen-Kiefernwald auf hydromorphen, mesotrophen Böden	1 689 ha
	chênaie pineraie neutrophile hydromorphe	8,08%
7	Eichen-Kiefernwald auf durchlässigen, mäßig sauren Böden	2 071 ha
	chênaie pineraie acidicline drainée	9,91%
8	Eichen-Kiefernwald auf hydromorphen, mäßig sauren Böden	2 388 ha
	chênaie pineraie acidicline hydromorphe	11,42%
9	Kiefernwald auf durchlässigen, sauren Böden	3 068 ha
	pineraie acidiphile drainée	14,67%
10	Kiefernwald auf hydromorphen, sauren Böden	3 862 ha
	pineraie acidiphile hydromorphe	18,47%
11	Kiefernwald auf feuchten, sauren Böden	144 ha
	pineraie hygro-acidicline	0,69%
12	Kiefernwald auf trockenen, sauren Böden	99 ha
	pineraie xéroacidiphile	0,47%
	nicht kartiert	3 538 ha
	non cartographié	16,92%
	Summe	20 910 ha
		100%

Hinsichtlich der Waldbewirtschaftung ist *Alnus glutinosa* an die Standorte 1 und 2 gut angepasst. *Quercus robur* ist die Zielbaumart auf den Standorten 3 und 4, *Quercus petraea* auf den Standorten 5 bis 8. Die sauren trockenen oder hydromorphen Standorten 9 bis 12 sind mit *Pinus sylvestris* bestockt (GELDREICH 2002).

2.1.6 Die Artenzusammensetzung der Bestände vor und nach dem Sturm

Die ärmeren Böden sind mit *Pinus sylvestris* bestockt. Diese Baumart kommt von Natur aus auf Torf- und Dünenstandorten im Projektgebiet vor. Aber die Hälfte ihres Flächenanteils ist aus der Waldbewirtschaftung des 18. und 19. Jahrhunderts hervorgegangen, da sie infolge ihres

Pioniercharakters die großen Schlagflächen besiedelte. Während der Bewirtschaftung durch die deutschen Forstbehörden (1870-1914) wurden die Kiefernwälder meist künstlich (durch Samen und dann dichte Pflanzungen) begründet.

Die besseren Böden (lehmiges Schwemmland am Ufer von Flüssen und Bäche und seltene äolische Lehme) sind mit einer Mischung aus Laubbäumen (v.a. *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Alnus glutinosa*) bestockt. Auf den mittleren Böden sind *Quercus petraea*-Bestände zu finden. Der Anteil an *Quercus robur* nimmt mit dem Hydromorphiegrad zu. *Fagus sylvatica* bildet keine Reinbestände, sie ist öfters *Quercus petraea* beigemischt. *Carpinus betulus* ist sehr oft in Mischung mit *Quercus robur* und *Fraxinus excelsior* zu finden.

Des Weiteren findet man die nicht-standortsheimischen Arten: *Picea abies* und *Quercus rubra*. *Picea abies* wurde in der deutschen Periode auf den hydromorphen Böden eingebracht. *Quercus rubra* wird seit vier Jahrzehnten im Allmendwald von Haguenau als Schutz vor Waldbränden genutzt, wobei sie Streifen entlang der mit *Pinus sylvestris* verjüngten Flächen bildet.

Am Fuß der Terrasse von Haguenau finden sich natürliche *Alnus glutinosa*-Wälder. Sie wurden im Allmendwald von Haguenau erhalten, aber zum Beispiel in Oberhofffen-sur-Moder in Pappelplantagen umgewandelt (GELDREICH 2002).

Vor dem Sturm wies der Haguenauer Forst ein Altersklassengleichgewicht auf. Der Orkan hat dies vollkommen verändert. Neue Bestandestypen sind entstanden, und der Hauptbestandtyp ist die zu wiederbewaldende Freifläche (4 000 ha, 20% der Fläche).

Tabelle 3: Baumartenzusammensetzung des Haguenauer Forsts vor und nach dem Sturm

Tableau 3: Composition en essences du massif de Haguenau avant et après la tempête

Hauptbaumarten (in % der Fläche)	Vor dem Sturm	Nach dem Sturm
Quercus robur	24%	21%
Quercus petraea	13%	12%
Quercus rubra	2%	2%
Fagus sylvatica	5%	4%
Populus sp.	1%	0,4%
anderes Laubholz	5%	6%
Pinus sylvestris	46%	31%
Picea abies	1%	1%
anderes Nadelholz	1%	0,7%
Freiflächen	2%	20%

2.1.7 Die Sturmschäden

2.1.7.1 Lage und Ausmaß der Sturmflächen

43% der Schäden im Elsass entfielen auf den Haguenauer Forst. Mehr als 2/3 der Wälder im Süden und im Osten und mehr als 40% der Gesamtfläche waren betroffen. Zwei Drittel der Schadflächen wurden zu mehr als 70% ihrer Fläche zerstört. *Pinus sylvestris* war die am meisten betroffene Baumart. Mehr als die Hälfte der *Pinus sylvestris*-Bestände wurde geschädigt. Dagegen sind die *Quercus*-Bestände weitgehend erhalten geblieben.

Tabelle 4: Störungsgrad der Bestände nach dem Sturm (in Zehnteln der Schirmfläche)
Tableau 4: Intensité des dégâts après la tempête (en 1/10 de couvert)

Zerstörungsgrad	Fläche (ha) Anteil (%)
0 / 1	10 572,20 51%
2 / 3	1 786,47 9%
4 / 6	3 070,50 15%
7 / 10	5 315,51 25%
nicht betroffen	164,89 1%
Gesamt	20 909,57 100%

Die Schäden wurden auf insgesamt 1 650 000 m^3 (Derbholz) Sturmwurfholz/Sturmbruchholz geschätzt. Dies entspricht 80 m^3/ha oder dem 10-fachen des jährlichen Hiebssatzes.
Pinus sylvestris, die 46% der Fläche bestockte, trug zu 64% des Sturmholzes bei. Danach folgte *Fagus sylvatica,* die vor dem Sturm 5% der Waldfläche bestockte, und 9% des Sturmholzes ausmachte. Dagegen nur leicht betroffen waren die *Quercus*-Bestände (40% der Fläche vor dem Sturm - 20% des Sturmholzes), sowie *Alnus glutinosa*- und *Fraxinus excelsior*-Bestände. Die Pappelplantagen, die einen geringen Anteil an der Waldfläche ausmachten, wiesen eine große Menge Sturmholz auf. Die Jungbestände, auch von *Pinus sylvestris*, wurden nicht so stark geworfen wie die alten Bestände. Der durchschnittliche Holzvorrat nach dem Sturm betrug etwa 140 m^3/ha (GELDREICH 2002).

2.1.7.2 Behandlung der Schadflächen

Im ersten Jahr wurden 2/3 des Sturmholzvolumens aufgearbeitet. Im Frühling 2002 verblieben noch etwa 15% des Sturmholzes auf den Flächen. Es handelte sich um starke Waldkiefern (*Pinus sylvestris)* schlechter Qualität (Granatsplitter) oder um nicht vermarktbares Stangenholz, das gehäckselt werden sollte, um das Waldbrandrisiko zu vermeiden.

Meistens haben die mechanischen Holznutzungen fast keine Hiebsreste hinterlassen. In manchen Abteilungen wurden die Hiebsreste auf der Fläche liegen lassen, um die Naturverjüngung gegen Wildverbiss zu schützen und die Entwicklung der Konkurrenzvegetation zu hemmen. Kronen wurden manchmal geräumt, wenn es zur Wiederbewaldung nötig war (GELDREICH 2002).

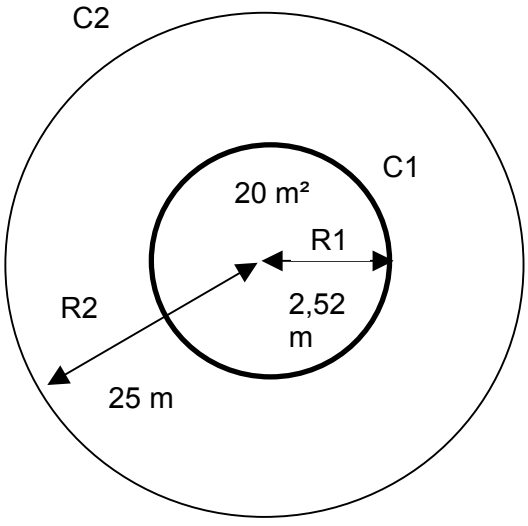
2.2 Aufnahmeverfahren

Um kleinere sowie größere Schadflächensituationen zu berücksichtigen, haben die deutschen und französischen Mitarbeiter der Forstverwaltungen für die Bestandesaufnahme der aus dem Orkan entstandenen Sukzessionswälder gemeinsam zwei unterschiedliche Aufnahmeverfahren entwickelt. Eine flächenhafte Beschreibung auf gutachtlicher Basis ("flächenweise gutachtliche Methode“ = "*Protocole de relevé surfacique*“) sollte der Erfassung der Schadflächen unter 7 ha dienen, während eine Probekreismethode ("statistische Methode" = "*Protocole de relevé statistique*") für die Erfassung der größeren Schadflächen zur Anwendung kommen sollte. Bei 7 ha beginnt nämlich eine ausreichende Repräsentativität dieser Methode, d.h. ab 28 Probepunkten (PRÖMSE 2006).

Bei dem statistischen Verfahren handelt es sich um Probekreise, ausgehend von einem 50 x 50 m – Raster, so dass vier Probeflächen je ha aufgenommen werden. Die Beschreibung erfolgt in zwei Stufen. Die erste bezieht sich auf einen Kreis C1 mit einem Radius von 2,52 m, die zweite auf einen Kreis C2, der denselben Mittelpunkt aber einen Radius von 25 m hat. Die Fläche des Probekreises C1 beträgt 20 m² (s. Abb. 2).

Abbildung 2: Aufnahmefläche beim statistischen Verfahren

Figure 2: Placette de relevé du protocole statistique



Mit beiden Verfahren wurde erfasst:

- die Konkurrenzvegetation: Gesamtbedeckung in 5%-Stufen, und Deckungsgrade der jeweiligen Pflanzenarten in Prozent anteilig auf die Konkurrenzvegetation verteilt (in C1 beim statistischen

Verfahren), wobei die Summe der Deckungsgrade aller Arten 100% ergeben muss. Bei der flächenweise Methode sollte die Bodenbedeckung in 5%-Stufen in 4 unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden, nach Flächen:

- ✓ ohne jegliche Vegetation,
- ✓ auf denen die Konkurrenzvegetation ein Aufkommen der Verjüngung unmöglich macht,
- ✓ auf denen die Konkurrenzvegetation die Verjüngung unter 1,30 m Höhe gefährdet und
- ✓ Flächen, auf denen die Konkurrenzvegetation keine Rolle spielt, weil die Verjüngung schon aus dem Gefahrenbereich herausgewachsen ist.

- die Restbestockung: Kronenschirm pro Baumart in Prozent und Angabe der Anwesenheit bzw. der Abwesenheit von Samenbäumen für jede Baumart (in C2 beim statistischen Verfahren),
- die Begehbarkeit je nach verbleibender Menge an Sturmholz anhand der drei Stufen "ohne bis wenig" / "mittel" / "viel" (in C2 beim statistischen Verfahren),
- die Naturverjüngung: hier unterscheiden sich grundsätzlich beide Erfassungsverfahren. Bei dem statistischen Verfahren wird die Anzahl der Jungbäume jeder Baumart aufgenommen (bis 10 Jungbäumen die genaue Anzahl, ab 10 Jungbäumen Eingabe von "≥ 10“), und die dominante Höhenklasse für jede aufgenommene Baumart erfasst. Das flächenweise gutachtliche Verfahren ermittelt hingegen die Flächenprozente, die die jeweiligen Baumarten in einer Höhenstufe einnehmen.

  Bei beiden Verfahren werden in gleicher Weise die Qualität, der Verbissgrad, und die Verteilung jeder vorhandenen Baumart aufgenommen.

  Die Qualität wurde anhand der Stufen "keine Qualitätsbäume" und "Qualitätsbäume vorhanden" eingeschätzt. "Qualitätsbäume vorhanden" sollte eingegeben werden, wenn mindestens ein Jungbaum der betroffenen Baumart als Qualitätsoption betrachtet werden konnte. Unter "Qualitätsoption" wird ein Jungbaum, der wuchskräftig, frei von Pflanzenkrankheiten und Wildschäden ist, sowie einen dominierenden Leittrieb und gute Formeigenschaften aufweist, verstanden.

  Der Verbissgrad wurde pro Baumart bis 1,30 m Höhe anhand der folgenden Stufen erfasst:

  0: kein Verbiss

  1: schwacher Verbiss; Verjüngung nicht gefährdet

  2: deutlicher Verbiss, Verjüngung noch lebensfähig

  3: starker Verbiss, Verjüngung wird verhindert.

  Für die Ermittlung der Verteilung der Baumarten wurden die folgenden vier Stufen definiert: "selten", "einzeln", "gruppiert", "komplett". Als "komplett" wird eine Verjüngung betrachtet, wenn alle 2,5 m ein Baum steht. Die Verjüngung ist als "gruppiert" zu bezeichnen, wenn in "Verjüngungsklumpen" von mindestens 5 x 5 m ein Baum pro m² steht.

  Sollte bei dem Probekreisverfahren keine Naturverjüngung in C1 zu finden sein, werden nur die in C2 vorhandenen Baumarten und deren Verteilung eingegeben.

In Frankreich wurde wegen der Größe der Sturmwurfflächen überwiegend das statistische Verfahren angewandt. Etwa 30 000 Probekreise waren zu erfassen. Hiervon wurden in einer ersten

Phase (Herbst 2006) 12 000 erfasst, um die Erarbeitung einer Typologie zu ermöglichen. Falls die Schadfläche eines Reviers kleiner als 100 ha ist, wurde die gesamte Schadfläche erfasst. Andernfalls wurde jede [Ganzzahl (Schadfläche/100)] Abteilung zufällig gewählt und erfasst. In Rheinland-Pfalz wurde wegen der geringeren durchschnittlichen Schadflächengröße überwiegend das flächenweise Verfahren angewandt (bei Flächengrößen bis 7 ha). Über 7 ha Schadflächengröße wurde auch in Rheinland-Pfalz das Probekreisverfahren angewandt.
Um den Aufwand zu minimieren, wurde in Rheinland-Pfalz gleichzeitig zur Beschreibung eine Maßnahmenplanung für die betroffenen Schadflächen erstellt (Einstufiges Verfahren). Dies war auf französischer Seite aufgrund des Ausmaßes der Aufnahmen nicht möglich.
In den Anhängen 2 bis 4 finden sich das Aufnahmeblatt für das Probekreisverfahren und für das flächenweise Verfahren, so wie die Karte von Abteilungen des Allmendwaldes von Haguenau mit dem Stichprobendesign.

2.3 Datengrundlage

2.3.1 Ursprünglicher Datensatz

Zur Eingabe der in den Aufnahmenblättern enthaltenen Daten hat die französische Forstverwaltung in Microsoft® Excel 1997 eine Aufnahmemaske entwickelt, die das Aufnahmeprotokoll wiedergibt. Zur Vermeidung von üblichen Eingabefehlern wird diese Datenmaske durch Test- und Sperrfunktionen unterstützt. Daraus resultierte ein Tabellenblatt mit 12 543 Zeilen und 114 Spalten. Eine Zeile enthielt alle Daten eines bestimmten Plots.
Dieser Datensatz wurde mit Daten aus GIS-Datenbanken ergänzt, im Hinblick auf die Bestimmung von Faktoren, die einen Einfluss auf die Baumartenzusammensetzung, die Dichte und die Wachstumsdynamik der Jungwuchsbestände haben könnten. Da die Aufnahmen in zwei verschiedenen Forstämtern erfolgten, stammten diese GIS-Daten aus zwei verschiedenen Datenbanken und waren unterschiedlich. Das Forstamt "Saverne" lieferte für jeden Plot sechs GIS-Variablen: der Naturraum, die Höhenlage, die Exposition, die Entfernung zum nächsten Waldrand (in Form von genauen Werten und in 25 m-Stufen), die potenzielle natürliche Vegetation und falls der Plot in einer Abteilung lag, in der eine Pflanzung stattfand, die Bezeichnung der Pflanzungsrichtlinie, die im Förderungsantrag steht (was indirekt Informationen über die Baumarten und die Dichte liefert). Das Forstamt "Haguenau" verfügte nur über vier dieser Variablen: die Datenbank enthielt weder die Höhenlage noch die Exposition. Diese beiden Variablen sind für das Forstamt von geringer Relevanz, da die Höhenlage sehr wenig variiert (sie nimmt von 200 m im Westen bis 130 m im Osten langsam ab). Dagegen wurden Daten über die Bestände im Jahr 2000 erhalten. Kurz nach dem Sturm wurden im Forstamt "Haguenau" der Zustand der Bestände aufgenommen, um dadurch eine Schätzung der Sturmschäden zu ermöglichen. Die daraus gewonnenen Informationen wurden in eine Datenbank gespeichert. Daten wie der Schirm und die Baumartenzusammensetzung der verbleibenden Bestände konnten aus dieser Datenbank gewonnen werden. Diese zusätzlichen Daten konnten aber nicht jedem Plot zugeordnet werden. Je nach der Variable hatten zwischen 54% und 96% der Plots entsprechende Informationen. Die Übertragung der Daten auf die Probeflächen des Interreg-Projektes

erfolgte anhand einer Verschneidung zwischen der Karte der Probekreise und den Karten der anderen Variablen (z.B. die potenzielle natürliche Vegetation, der Bestandestyp…). Da aber die Genauigkeit der Polygone relativ gering ist, konnten die Probekreisen eventuell auf dem falschen Polygon liegen, und dadurch der falschen Information zugeordnet werden.

2.3.2 Datenprüfung und Datenreinigung

Zuerst wurde der Datensatz überprüft, um mögliche Eingabefehler zu finden.
834 Zeilen (6,6%) wurden aus folgenden Gründen weggelassen:

- 441 Plots wurden nicht aufgenommen (die Zeilen enthielten in diesem Fall die Plotbezeichnung und den Grund dafür, dass die Aufnahme nicht erfolgte).
- 24 Plots wurden doppelt eingegeben.
- Bei 29 Plots fehlten wichtige Informationen wie z.B. die. Stammzahl einer Baumart im C1.
- Bei 4 Plots wurde die Plotbezeichnung falsch eingegeben, so dass diese Plots nicht im GIS identifiziert werden konnten.
- Bei 336 Plots wurde eine Art der Bodenvegetation und/oder eine Baumart im Kreis C1 oder im Kreis C2 mehrmals mit unterschiedlichen Werten eingegeben. (Wurde zweimal derselbe Wert eingegeben, dann wurde die Wiederholung einfach gelöscht).

Bei der Datenprüfung wurden zwei Probleme entdeckt. Das erste Problem betraf die Aufnahme der Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation. In der Aufnahmeanweisung für das Aufnahmeblatt stand, dass die Gesamtbedeckung des Bodens zwischen den vorhandenen Arten so verteilt werden sollte, dass die Summe 100% ergibt. Aber nicht alle Revierleiter haben diesen Hinweis berücksichtigt, so dass die Summe der Bedeckungsgrade aller gegebenen Arten manchmal größer als 100% war. Diese Vorgehensweise war möglicherweise näher an der Realität, weil mehrere Arten sich überlappen können. So ist z.B. *Deschampsia flexuosa* manchmal unter *Pteridium aquilinum* zu finden. Zur Homogenisierung der Daten gab es bei diesen Fällen aber keine andere Alternative, als die entsprechenden Bedeckungsgrade in gleichen Verhältnissen so zu vermindern, dass ihre Summe anschließend 100% ergab.

Das zweite Problem betraf die Aufnahme der Art *Frangula alnus*. Er wurde manchmal als Art der Konkurrenzvegetation, manchmal als Baumart betrachtet und damit dementsprechend entweder unter "Konkurrenzvegetation" oder unter " Verjüngung" in das Aufnahmeblatt eingetragen. Da *Frangula alnus* nicht verwertet werden kann wurden diese Aufnahmen der "Konkurrenzvegetation" zugeschrieben. Die Schwierigkeit bestand darin, die Stammzahlen in Bodenbedeckungsgrade umzurechnen. Dies erfolgte anhand von einer von den Mitarbeitern der französischen Forstverwaltung aus Erfahrungswerten erstellten Umrechnungstabelle, die für eine gewisse Kombination aus Stammzahl und Höhe den entsprechenden Bedeckungsgrad liefert (s. Anhang 5).

Die Variablen (außer den Artennamen und allgemeinen Daten wie das Forstamt oder der Name des Waldorts), die in Form von Text eingegeben wurden, wurden im Hinblick auf die spätere statistische Auswertung in Zahlen umkodiert. Die Variable "Naturraum" wurde außerdem korrigiert. Sie

stammte nämlich aus einer für ganz Frankreich standardisierten GIS-Datei. Was den Naturraum "Haguenau-Ebene" angeht, ist diese Datei aber ungenau. Der Rheingraben stellt nämlich nicht die östliche Grenze dieses Naturraums dar, obwohl vor Ort die Standorte von jenseits des Grabens sehr unterschiedlich sind. Östlich des Grabens sind es nicht Standorte des Naturraums "Haguenau-Ebene", sondern des Naturraums "Rheintal", die dominieren. Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung sahen vor, bei der Typologisierung getrennt nach Naturraum zu arbeiten. Um ein möglichst realitätsnahes Ergebnis zu bekommen, wurde diese Variable von dem GIS-Spezialisten geändert. Dabei wurden alle Plots, die östlich der Verwerfung lagen und dem Naturraum "Haguenau-Ebene" zugeordnet waren, schließlich in den Naturraum "Rheintal" eingeordnet.

2.3.3 Berechnung neuer Variablen und Umstrukturierung

Um die Erarbeitung von Tabellen und die Darstellung anhand von Grafiken zu ermöglichen, wurden einige metrische Variablen in Klassen zusammengefasst.
Für den Bodenbedeckungsgrad der Arten der Konkurrenzvegetation wurde mit 25%-Stufen gearbeitet: B = 0%, 0%<B≤25%, 25%<B≤50%, 50%<B≤75%, 75%<B≤100%.
Für die Dichte der Baumarten wurden die folgenden fünf Stufen gebildet:

- 0 : keine Bäume
- 1 : 0<D<1 000 St/ha
- 2 : 1 000≤D<2 000 St/h
- 3 : 2 000≤D<3 000 St/ha
- 4 D≥3 000 St/ha

Um die Analysen zu vereinfachen und einige Variablen darstellen zu können, haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung im Hinblick auf die weitere waldbauliche Behandlung die vorhandenen Baumarten in vier Baumartengruppen eingeteilt. Zu einer ersten Baumartengruppe (Baumartengruppe "F1") gehören Baumarten, deren Holz heute nicht verwertet wird, außer als Energieholz. Die häufigste Baumart dieser Gruppe ist *Prunus serotina.* Deswegen wird diese Gruppe im Folgenden mit "*Serotina*-Baumartengruppe" bezeichnet. In einer zweiten Gruppe (Baumartengruppe "F2") wurden Baumarten eingestuft, die früher ungeachtet blieben, sogar systematisch entfernt wurden, womit aber potenziell Wertholz produziert werden kann. *Betula pendula* ist die häufigste Art dieser Gruppe, die im Folgenden *Betula*-Baumartengruppe gennant wurde. Alle anderen Laubbaumarten und Nadelbaumarten wurden jeweils den Baumartengruppen "F3" bzw. "F4" zugeordnet, die als "Wirtschaftslaubbaumarten" bzw. "Wirtschaftsnadelbaumarten" bezeichnet wurden. Im Ergebniskapitel befindet sich die genaue Zusammenseztung dieser Baumartengruppen.

Im Hinblick auf die weiteren Analysen wurden für jeden Plot neue Variablen berechnet, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst wurden:

Tabelle 5: Liste der für jeden Plot berechneten Variablen

Tableau 5: Liste des variables calculées pour chaque placette

Variable	Werte / Umrechnungsmethode	Einheit
Pflanzung	1 wenn eine Pflanzung an der betroffenen Stelle stattgefunden hatte, 0 im Gegenfall	-
Stammzahl_bis (für jede Baumart des Kreises C1)	Die Jungwüchse wurden bis 10 gezählt, ab 10 wurde "≥10" eingegeben. Zur Berechnung der Dichte wurde "≥10" durch "10" ersetzt	-
Bedeckungsgrad_bis jeder Art der Bodenvegetation	Im Aufnahmeblatt wurde dieser anteilig auf die Gesamtbedeckung eingegeben. Von Interesse ist aber der Probekreisanteil, der bedeckt ist	%
		25% - Klassen
Schirm der Restbestockung	Summe der Anteile aller Baumarten der Restbestockung	%
Dichte im Aufnahmekreis C1	Stammzahl multipliziert mit 500 (ein Jungbaum im Kreis C1 entsprach 500 St/ha). Diese Variable wurde auch anteilig auf die Gesamtdichte im Kreis C1 ermittelt	St/ha
		% (von Gesamtdichte im C1)
Dichte in jeder der vier Höhenstufen	Summe der Dichte aller Baumarten, die zu einer Höhenstufe gehören	St/ha
		Klassen
		% (von Gesamtdichte im C1)
Dichte jeder Baumartengruppe	Summe der Dichte aller Baumarten, die zu einer Baumartengruppe gehören	St/ha;
		Klassen
		% (von Gesamtdichte im C1)
Dominierende Höhenstufe jeder Baumartengruppe	Median der Höhenstufen der Jungwüchse, die zu einer Baumartengruppe gehören	-
Dominierende Qualität jeder Baumartengruppe	Median der Qualitäten der Jungwüchse, die zu einer Baumartengruppe gehören	-
Dominierender Verbissgrad jeder Baumartengruppe	Median der Verbissgrade der Jungwüchse, die zu einer Baumartengruppe gehören	-
Dominierende Verteilung jeder Baumartengruppe	Median der Verteilungen der Jungwüchse, die zu einer Baumartengruppe gehören	-
Dominierende Höhenstufe	Median der Höhenstufen aller Jungwüchsen des Plots	-
Dominierende Verteilung im Kreis C1	Median aller Verteilungen im Kreis C1	-
Dominierende Verteilung im Kreis C2	Median aller Verteilungen im Kreis C2	-

Die Arten der Bodenvegetation, die im Kreis C1 bzw. im Kreis C2 aufgenommenen Baumarten, sowie die Baumarten der Restbestockung wurden nach der Reihenfolge ihrer Eintragung im Aufnahmeblatt in Spalten eingeordnet. Eine bestimmte Spalte wurde nicht einer bestimmten Art zugeordnet, alle möglichen Baumarten standen in irgendeiner der Spalten. Pro Plot wurden für den Kreis C1 bzw. für den Kreis C2 bis zu acht Baumarten eingegeben. Für die Restbestockung waren es bis zu fünf Baumarten und für die Bodenvegetation bis zu zehn Pflanzenarten.
Zur Auswertung der Daten und insbesondere zur Erarbeitung der Typologie war diese Datensatzstruktur problematisch. Deswegen wurden ein Baumarten-Tabellenblatt und ein Bodenvegetationsarten-Tabellenblatt erstellt, in denen jede Spalte eine Charakteristik einer bestimmten Baumart bzw. Pflanzenart enthielt, und jede Zeile einem Plot entsprach.

Schließlich wurden die Daten in drei Datensätze aufgeteilt. Der erste Datensatz enthielt alle Daten, die zum Naturraum "Haguenau-Ebene" gehören (n = 8 245 Plots), der zweite alle Daten, die zum Naturraum "Rheintal" gehören (1 078 Plots), und der letzte die Daten, die zu den Naturräumen der Nordvogesen gehören (2 386 Plots).
Alle folgenden Analysen beziehen sich auf den Datensatz "Haguenau-Ebene".

2.4 Deskriptive Auswertung der Daten und Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen

2.4.1 Deskriptive Auswertung der Daten

Hiermit ist eine beschreibende Darstellung der einzelnen Variablen gemeint. Je nach betroffener Variablen wurden Häufigkeitstabellen und/oder statistische Kennwerte berechnet. Erschien dies für ein schnelleres Verständnis hilfreich, wurden die Ergebnisse anhand von Tabelle oder Grafiken visualisiert. Diese deskriptive Datenauswertung hatte zum Ziel, eine Übersicht der verschiedenen Variablen zu liefern und damit eine erste Grundlage für die Typologisierung der Jungwuchsbestände zu schaffen. Dadurch ermöglicht sie es gleichermaßen, Variablen zu identifizieren, die für die Typologisierung nicht relevant sind, da nur eine Klasse repräsentativ vorkommt. Des Weiteren war dieser Schritt wichtig, weil Informationen wie die Dichte einer Baumart oder die Bedeckung durch die Bodenvegetation für die französischen Forstleute von großem Interesse sind. Die deskriptive Auswertung der Daten erfolgte teils mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft® Excel 2000, teils mit dem Softwarepaket SPSS® 14.0.

2.4.2 Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen

In einem zweiten Schritt der Datenauswertung wurden anhand von symmetrischer Masse und bivariaten Korrelationen Zusammenhänge zwischen den Variablen herausgearbeitet. Ziel war es, Variablen zu bestimmen, die einen Einfluss auf die Baumartenzusammensetzung, die Dichte der Verjüngung, die Wachstumsdynamik (durch die Höhe) und die Qualität der Verjüngung haben

könnten. Zur Bestimmung des Vorhandenseins und gegebenenfalls der Stärke einer Beziehung zwischen zwei Variablen wurden nach Typ der betroffenen Variablen folgende Tests angewandt:

- für ordinal skalierte, kategoriale Variablen: die Korrelation nach Spearman
- für nominal skalierte, kategoriale Variablen: der Kontigenzkoeffizient
- für metrische Variablen: die Korrelation nach Pearson und der Spearman-Rho-Korrelationskoeffizient.

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson ist für normal-verteilte Daten geeignet. Bei ordinal skalierten oder nicht-normalverteilten intervall skalierten Variablen wird anstelle des Pearsons-Koeffizienten die Rangkorrelation nach Spearman berechnet (BÜHL & ZÖFEL 2000). Aufgrund der Größe des Datensatzes war eine Prüfung der Normalverteilung der Daten problematisch. Deswegen wurden diese beiden Koeffizienten bei jeder bivariaten Korrelation berechnet.

Die folgende Tabelle liefert einen Überblick über die herausgearbeiteten Zusammenhänge:

Tabelle 6: Herausgerarbeitete Zusammenhänge zwischen den Variablen

Tableau 6: Variables entre lesquelles l'existence de corrélations a été recherchée

Variable 1		Variable 2	TestN° im Anhang 10
Gesamtdichte	-	Häufigste Höhe auf dem Plot	1
	-	Höhe der Baumartengruppen	2 - 5
	-	Verbissgrad der Baumartengruppen	6 - 9
	-	Qualität der Baumartengruppen	10 - 13
	-	Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	14 - 17
	-	Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula, Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	18 - 21
	-	Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	22 - 25
Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvege-tation	-	Gesamtdichte der Verjüngung	26
	-	Dichte der Baumartengruppen	27 - 30
	-	Höhe der Baumartengruppen	31 - 34
	-	Verbissgrad der Baumartengruppen	35 - 38
	-	Qualität der Baumartengruppen	39 - 42
	-	Dichte der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	43 - 46
	-	Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	47 - 50
	-	Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	51 - 54
	-	Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	55 - 58
Schirm der Vorbestockungs-reste	-	Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation	59
	-	Gesamtdichte der Verjüngung	60
	-	Dichte der Baumartengruppen	61 - 64
	-	Höhe der Baumartengruppen	65 - 68
	-	Verbissgrad der Baumartengruppen	69 - 72
	-	Qualität der Baumartengruppen	73 - 76
	-	Dichte der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	77 - 80
	-	Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	81 - 84
	-	Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula, Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur)*	85 - 88
	-	Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	89 - 92

Tabelle 6: Fortsetzung

Tableau 6: Suite

Variable 1		Variable 2	TestN° im Anhang 10
Schlagabraum	-	Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation	93
	-	Gesamtdichte der Verjüngung	94
	-	Dichte der Baumartengruppen	95 - 98
	-	Höhe der Baumartengruppen	99 - 102
	-	Verbissgrad der Baumartengruppen	103 - 106
	-	Qualität der Baumartengruppen	107 - 110
	-	Dichte der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	111 - 114
	-	Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	115 - 118
	-	Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	119 - 122
	-	Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	123 - 126
Entfernung zum nächsten Waldrand	-	Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation	127
	-	Gesamtdichte der Verjüngung	128
	-	Dichte der Baumartengruppen	129 - 132
	-	Höhe der Baumartengruppen	133 - 136
	-	Verbissgrad der Baumartengruppen	137 -140
	-	Qualität der Baumartengruppen	141 - 144
	-	Dichte der vier häufigsten Baumarten (Betula pendula Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur)	145 - 148
	-	Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	149 - 152
	-	Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula, Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	153 - 156
	-	Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*)	157 - 160

Tabelle 6: Fortsetzung

Tableau 6: Suite

Variable 1	Variable 2	TestN° im Anhang 10
Standort	- Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation	161
	- Gesamtdichte der Verjüngung	162
	- Dichte der Baumartengruppen	163 - 166
	- Höhe der Baumartengruppen	167 - 170
	- Verbissgrad der Baumartengruppen	171 - 174
	- Qualität der Baumartengruppen	175 - 178
	- Dichte der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	179 - 182
	- Höhe der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula, Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*)	183 - 186
	- Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica; Quercus petraea & Q. robur*)	187 - 190
	- Qualität der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*; *Quercus petraea & Q. robur*)	191 - 194

Bei der Suche nach Zusammenhängen zwischen diesen Variablen kam das Softwarepaket SPSS® erneut zur Anwendung

2.5 Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung

2.5.1 Entwicklung einer Jungwuchstypologie

Die Typologie sollte für weitere Geländeaufnahmen benutzt werden und deswegen nur auf Variablen beruhen, die vor Ort sehr leicht und sehr schnell aufzunehmen sind. Für die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung stellte die Dichte der Verjüngung den wichtigsten Parameter dar, zum einen für die Differenzierung der unterschiedlichen Schadbilder, zum anderen zur Ableitung von waldbaulichen Maßnahmen.

Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung haben aufgrund ihrer Erfahrung die folgenden möglichen Typen aufgelistet:

1) keine Verjüngung und *Molinia caerulea* als dominierende Art der Bodenvegetation
2) keine Verjüngung und *Pteridium aquilinum* als dominierende Art der Bodenvegetation
3) Keine Verjüngung und keine blockierende Bodenvegetation
4) Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe alleine oder deutlich dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha

5) Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt
6) Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftslaubbaumarten beigemischt
7) Wirtschaftsnadelbaumarten alleine mit einer Dichte ≥2 000 St/ha
8) Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftslaubbaumarten beigemischt
9) Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe beigemischt
10) Wirtschaftslaubbaumarten alleine, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha,
11) Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt
12) Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe beigemischt
13) Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominierend, mit einer Dichte <2 000 St/ha
14) Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte <2 000 St/ha
15) Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte <2 000 St/ha
16) Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe dominierend

In dieser Arbeit wurde geprüft, ob diese Jungwuchstypen im Datensatz identifiziert werden können. Die Analysen bestätigten ihre Existenz und die Plotanzahl jedes Typs wurde ermittelt. Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung entschieden sich daraufhin für einige Änderungen. Manche Typen wurden zusammengefasst, wenn sie eine geringe Plotanzahl aufwiesen und derselben zukünftigen waldbaulichen Behandlung unterzogen werden können. Andere Typen wurden dagegen im Hinblick auf die weitere forstliche Behandlung weiter aufgeteilt. Die folgende Tabelle fasst diese Änderungen zusammen.

Tabelle 7: Änderungen der ersten nach Erfahrungswerten definierten Typen

Tableau 7: Modifications des premiers types définis par expérience

	Erste Typen	Neue Typen
8	Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftslaubbaumarten beigemischt	Dichte (D≥2 000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt
11	Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt	
9	Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe beigemischt	Dichte (D≥2 000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit
12	Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Baumarten der *Betula*-Bauamrtengruppe beigemischt	
5	Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt	Dichte (D≥2 000 St/ha) Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten (*Pinus sylvestris, Quercus petraea & Q. robur*...) beigemischt
6	Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominierend, mit einer Dichte ≥2 000 St/ha, und mit Wirtschaftslaubbaumarten der beigemischt	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten (*Fagus sylvatica, Picea abies*...) beigemischt
14	Wirtschaftsnadelbaumarten dominierend, mit einer Dichte <2 000 St/ha	Lockere (500<D<2 000 St/ha) Verjüngung ohne Baumarten der *Betula*-Baumarten-gruppe
15	Wirtschaftslaubbaumarten dominierend, mit einer Dichte <2 000 St/ha	Lockere (500<D<2 000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit
		Sehr lockere (D≤500 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Birke

Diese neuen Typen wurden hinsichtlich der zukünftigen forstlichen Behandlung der natürlich entstandenen Sukzessionswälder gebildet. Z.B. wurde zwischen Lichtbaumarten und Schattbaumarten unter Schirm von Birken unterschieden. Eingriffe wie das Ringeln und Knicken von Birken werden zugunsten von Lichtbaumarten (meist *Pinus sylvestris* und *Quercus petraea & Q. robur*) unter einem Birken-Schirm in den 5 nächsten Jahren durchgeführt werden müssen. Aufgrund der Erfahrung der Mitarbeiter der deutschen Forstverwaltung und der Beobachtungen des

elsässischen Waldbautrainers auf belassenen Sturmwurfflächen der 90er Jahre sind solche Maßnahmen bei Schattbaumarten (meist *Fagus sylvatica*) unter Schirm von *Betula pendula* nicht nötig., weil diese Baumarten sich unter der Beschattung von *Betula pendula* qualitativ gut entwickeln können.

Die 1 561 unbestockten Plots wurden schließlich in vier Typen unterteilt. In einem ersten Schritt wurde unterschieden, ob Verjüngung im Kreis C2 vorhanden war oder nicht. War der Kreis C2 nicht bestockt, dann wurde zwischen "Plots von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert" und "Plots von der Konkurrenzvegetation teilweise überwuchert" differenziert. Plots wurden mit "von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert" qualifiziert, wenn die Summe der Bodenbedeckungsgrade folgender Arten eine Gesamtbodendeckung größer als 75% ergab: *Calamagrostis sp*., *Carex brizoïdes, Cytisus scoparius*, *Deschampsia flexuosa*, *Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Rubus fruticosus*. War der Kreis C2 bestockt, wurden Plots mit seltenen bzw. einzelnen Jungwüchsen von Plots mit gruppenweiser bzw. kompletter Verjüngung im C2 unterschieden.

Insgesamt wurden 16 Typen definiert. 8 039 Plots unter den 8 245 des Naturraums "Haguenau-Ebene", d. h. 98% der Plots, konnten einem dieser Typen zugeordnet werden. Nur 206 Plots entsprachen nicht genau den Charakteristiken der Typen. Die Baumartengruppenzusammensetzung und die entsprechenden Dichten wurden bestimmt und jeder dieser "problematischen" Plots wurde infolgedessen in den Typ eingeordnet, dessen Kriterien er am ehesten entsprach. In den Anhängen 6 und 7 sind die Kriterien aufgeführt, nach denen die Zuordnung der Probeflächen erfolgte, sowie eine Beschreibung der Zusammensetzung der problematischen Plots.

Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung haben dieser Typologie entsprechend einen Bestimmungsschlüssel erarbeitet. Die weiteren Geländeaufnahmen sollen durch die Angabe einer dieser Typen erfolgen, wobei die Probefläche ein Kreis mit Radius 10 m ist und wie bei den ersten Aufnahmen 4 Probekreise je Hektar zu finden sind. Der Schlüssel soll der Bestimmung der Typen durch die Revierleiter dienen. Dieser Bestimmungsschlüssel ist im Anhang 11 zu finden.

Die Typen wurden von einem Mitarbeiter mittels GIS kartiert. Diese Kartierung soll als Grundlage für die zukünftige waldbauliche Planung dienen.

2.5.2 Überprüfung der Typologie im Freiland

Da der Rest der Aufnahmen (etwa 20 000 Probeflächen) anhand des oben erwähnten Bestimmungsschlüssels für die Typen gemacht werden sollte, wurde ein Praxistest durchgeführt, um die Qualität des Bestimmungsschlüssels hinsichtlich seiner Anwendung durch die Revierleiter zu prüfen. Dadurch wurde die Identifizierbarkeit der Typen und die Übereinstimmung zwischen Benutzern der Typologie geprüft. Anmerkungen der Revierleiter sollten es erlauben, zum einen eventuell notwendige Änderungen am Bestimmungsschlüssel vorzuschlagen und zum anderen, im Hinblick auf die zukünftige Schulung der Revierleiter für die zweite Aufnahmekampagne, Schwerpunkte bei den Erklärungen zur Anwendung dieses Bestimmungsschlüssels festzulegen. Der Test fand am 19. April 2007 statt. Zu diesem Zeitpunkt waren die meisten Jungwüchse schon belaubt, was den Aufnahmebedingungen entspricht, da die Aufnahmekampagne im Sommer 2007 stattfinden soll.

Entlang eines Wanderweges, der die Abteilung 166 des Allmendwaldes von Haguenau durchquert, wurden 9 nummerierte Pfähle in den Boden versenkt. Jeder Pfahl entsprach dem Mittelpunkt eines 10m-Radius-Kreises, der als Probefläche zur Bestimmung des Typs gilt. Damit waren 8 verschiedene Typen unter den 16 zu identifizieren. 13 Revierleiter nahmen an diesem Praxistest teil. Nach einer kurzen Erklärung zur Anwendung des Bestimmungsschlüssels und der gemeinsamen Bestimmung eines Typs auf einer "Beispielprobefläche" ging jeder Revierleiter zu den 9 Pfählen, mit der Aufgabe, den entsprechenden Typ anhand des Bestimmungsschlüssels zu identifizieren. Neben dem Typ sollten die Revierleiter die dominante Höhenklasse der Verjüngung eingeben (< 50 cm, 50 cm - 1,30 m, 1,30 m - 3 m, > 3 m), sowie die dominante Wirtschaftsbaumart. Letztere Information wird aufgrund des Bedarfs der Forsteinrichtung erfasst.

2.5.3 Statistische Prüfung der Unterscheidbarkeit der Typen

2.5.3.1 Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen

Um eine erste statistische Bewertung der Qualität der von der französischen Forstverwaltung gebildeten Typen durchzuführen, wurden die mittlere Distanz von jedem Typ und der Gesamt-A-Wert der Gruppierung berechnet. Diese statistischen Werte wurden im Ablauf einer *Multi-Response Permutation Procedures* – Analyse, im Folgenden mit MRPP abgekürzt, berechnet. Die MRPP ist eine nicht-parametrische Methode, die multivariate Unterschiede zwischen vordefinierten Gruppen testet. Sie besteht aus folgenden Schritten:

1) Berechnung der Distanzmatrix D.
2) Berechnung der mittleren Distanz A jeder Gruppe. Je näher sie bei 0 liegt, desto homogener ist der Typ.
3) Berechnung des beobachteten Delta (gewichteter Mittelwert der mittleren Distanzen).
4) Bestimmung der Wahrscheinlichkeit p eines gleichgroßen oder kleineren Deltas. Dabei wird das Delta aller möglichen Gruppierungen mit denselben Gruppengrößen berechnet. Unter der Annahme, dass alle möglichen Gruppierungen mit derselben Wahrscheinlichkeit auftreten können, errechnet sich p aus (1 + Anzahl von kleineren Deltas) / Anzahl von möglichen Deltas. Der p-Wert ergibt, wie wahrscheinlich das beobachtete Delta zufällig auftreten kann. Je näher der p-Wert bei 0 liegt, desto unterschiedlicher ist die betroffene Gruppierung von einer zufälligen Gruppierung.
5) Berechnung des Gesamt-A-Werts. Der Gesamt-A-Wert ist ein Maß für die Homogenität innerhalb der Gruppen im Vergleich zu einer zufälligen Gruppierung:
   A = 1 – (beobachtetes Delta / zufällig zu erwartendes Delta). A = 1 wenn in jeder Gruppe alle Gruppenmietglieder ähnlich sind, A = 0 wenn die Heterogenität innerhalb der Gruppen derjenige, die zufällig zu erwarten ist, gleich ist (MC CUNE & MEFFORD 1999).

Da die Dichte der vier Baumartengruppen und die Gesamtdichte der Verjüngung die Kriterien sind, die die französische Forstverwaltung zur Bildung der Typen am stärksten berücksichtigt hat, wurde diese Analyse zuerst auf Basis der Dichte der Baumartengruppen durchgeführt. Die Gesamtdichte wurde nicht einbezogen, denn sie wird schon indirekt durch die Dichte der vier

Baumartengruppen angezeigt. Da das Programm die leeren Plots nicht akzeptierte (weil in diesem Fall die vier Spalten mit der Dichte der Baumartenartengruppen nur Nullen enthielten), konnten nur die 6 684 bestockten Plots in die Analyse einbezogen werden.
Auf die Dichte der einzelnen Baumarten haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung wie unter Kapitel 2.5.1 erläutert zur Differenzierung der Typen D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt) und D3 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten beigemischt") zurückgegriffen. Deshalb wurden der Gesamt-A-Wert und die mittlere Distanz jedes Typs auch auf Basis der Dichte der einzelnen Baumarten errechnet.
Allerdings bestand das Risiko, dass die 206 "problematischen" Plots die Analyse beeinträchtigen würden. Sie machten nämlich den Typ, in den sie eingeordnet wurden, heterogener und damit möglicherweise seine mittlere Distanz innerhalb der Gruppen größer. Deswegen wurden der Gesamt-A-Wert und die mittlere Distanz jedes Typs auf Basis der Dichte der Baumartengruppen sowie auf Basis der Dichte der Baumarten ein weiteres Mal berechnet, wobei nur die 6 478 "unproblematischen" Plots einbezogen wurden.

2.5.3.2 Paarweise Vergleiche

Eine andere Möglichkeit, die Typologie der französischen Forstleute statistisch zu prüfen, besteht in einem paarweisen Vergleich der Typen. Diese Analyse kann auch anhand einer *Multi-Response Permutation Procedures* durchgeführt werden. Die p-Werte und A-Werte werden wie unter dem vorhergehenden Kapitel beschrieben berechnet, wobei nur zwei Gruppen berücksichtigt werden. Zwei Typen wurden als unterschiedlich definiert, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 und der A-Wert größer oder gleich 0,3 waren.
Die *Multi-Response Permutation Procedures* - Analysen wurden mit Hilfe des Softwarepakets PCORD® 5.0 durchgeführt.

2.5.4 Charakterisierung der Jungwuchstypen

2.5.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten

Die Jungwuchstypen wurden grafisch beschrieben. Für jeden Typ wurde eine Zusammenfassung erstellt, die die für die französische Forstverwaltung relevanten Variablen darstellt. Für die 12 Typen, die aus bestockten Plots bestehen, wurden die Baumartenzusammensetzung der Jungbestände, die mittlere Dichte, die Höhe, die Qualität und der Verbissgrad der Hauptbaumarten grafisch dargestellt. Angegeben wurden des Weiteren für jeden Typ die häufigsten Arten der Konkurrenzvegetation, die am häufigsten assoziierten potenziellen natürlichen Vegetationstypen und die Häufigkeit der drei Schlagabraumstufen. Für die Typen V1 ("Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert") und V2 ("Blöße von der Konkurrenzvegetation teilweise überwuchert") wurden nur Konkurrenzvegetation, Schlagabraum und potenzielle natürliche Vegetation

dargestellt. Für die Typen V3 ("Blöße mit einzelnen Jungwüchsen") und V4 ("Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen") wurden zusätzlich die im Kreis C2 häufigsten Baumarten abgebildet.
Zur Erstellung der dargestellten Grafiken und Tabellen kam das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft® Excel 2000 zur Anwendung.

2.5.4.2 Bestimmung der Leitbaumartengruppen, der Leitbaumarten und der Leitpflanzenarten der Jungwuchstypen

In diesem Teil der Arbeit handelte es sich darum, die Leitbaumart(en) und die Leitpflanzenart(en) jedes Typs zu bestimmen. Diese ergeben sich aus einer *Indicator Species Analysis*, im Folgenden mit ISA abgekürzt. Diese Analyse wurde zum Ziel der Charakterisierung der Jungwuchstypen der französischen Verwaltung und im Hinblick auf einen Vergleich mit statistich gebildeten Jungwuchstypen durchgeführt.
Eine ISA liefert Indikatorwerte von Arten für vordefinierte Gruppen. Die Analyse besteht aus folgenden Schritten:

1) Berechnung der relativen Abundanz (%) jeder Art in jeder Gruppe im Bezug auf die Abundanz der betroffenen Art in allen Gruppen.
2) Relative Häufigkeit jeder Art in jeder Gruppe, d.h. die Prozentzahl von Plots in jeder Gruppe, in der die Art vorhanden ist.
3) Aus der Multiplikation der relativen Abundanz (1) mit der relativen Häufigkeit (2) ergibt sich der Indikatorwert jeder Art in jeder Gruppe, als Prozentzahl angegeben.
4) Der höchste Indikatorwert jeder Art wird als Referenz-Wert für die betroffene Art angegeben.
5) Die statistische Signifikanz des höchsten Indikatorwerts jeder Art wird durch eine randomisierte Methode geprüft. Die Plots werden vielmals zufällig in Gruppen eingeteilt und jedes Mal wird der höchste Indikatorwert der betroffenen Art berechnet. Die Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit p basiert auf der Häufigkeit eines gleichen oder höheren Indikatorwerts der betroffenen Art bei den zufälligen Gruppierungen (MC CUNE & MEFFORD 1999).

Zuerst sollen der höchste Indikatorwert jeder Baumart und seine statistische Signifikanz geprüft werden. Je höher der Indikatorwert ist, desto besser ist die Indikatoreigenschaft der Baumart. So konnten die Baumarten und die Pflanzenarten ausgewählt werden, die zur Kennzeichnung der Jungwuchstypen relevant sind. Dann wurden die Indikatorwerte der ausgewählten Baumarten und Pflanzenarten pro Jungwuchstyp betrachtet. Aus dieser letzten Analyse ließ sich ableiten, welche Baumart und Pflanzenart welchen Jungwuchstyp kennzeichnen und damit als Leitbaumarten und Leitpflanzenarten dieses Typs betrachtet werden können.
Diese Analyse kann gleichermaßen mit den Baumartengruppen statt mit den Baumarten durchgeführt werden. Obwohl dies von geringerem Interesse ist, da die Baumartengruppenzusammensetzung der Typen schon seit dem Anfang der Klassifizierung bekannt ist, wurde diese Analyse trotzdem mit dem Ziel durchgeführt, die Indikatorwerte der Baumartengruppen zu prüfen.
Für die Durchführung der *Indicator Species Analysis* wurde das Softwarepaket PCORD® 5.0 verwendet.

2.5.4.3 *Classification tree* - Analyse

Tree-based-Methoden, auch *decision tree*-Methoden genannt, kommen zum Zweck der hierarchischen sowie der nicht-hierarchischen Klassifierung von Daten zur Anwendung. Sie sind besonders für große Datensätze geeignet, die die Bedingungen, die zur Durchführung von multivariaten Regressionen Voraussetzungen sind, nicht erfüllen. Sie erlauben es, zu bestimmen, in welcher Form erklärende Variablen in ein Model einbezogen werden sollten, und sind auch besonders hilfreich, um einen raschen Überblick über einen neuen Datensatz zu bekommen (MAINDONALD & BRAUN 2007). *Tree-based* Models teilen die Daten rekursiv bei kritischen Werten der verschiedenen Variablen, so dass am Ende Gruppen gebildet werden, die möglichst homogen sind und sich damit am ehesten voneinander unterscheiden (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2007).
In diesem Teil der vorliegenden Arbeit wurde ein *classification tree* zum Ziel der Prüfung der Kriterien, die die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung zur Bildung ihrer Jungwuchstypen festgelegt haben, erstellt. Dieselben Variablen, die zur Bildung der Jungwuchstypen angewandt wurden (Dichte der vier Baumartengruppen, Dichte der Licht- und der Schattbaumarten, Verteilung der Jungwüchsen im Kreis C2 und Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation) werden einer *classification tree*-Analyse unterzogen. Daraus ergeben sich die Variablen-Werte, die zur Differenzierung der Typen "statistisch relevant" sind. Ein Vergleich dieser Werte mit denjenigen der französischen Forstverwaltung ist daher möglich, wobei der *classification tree* als der "statistische Bestimmungsschlüssel" für die Typen angesehen werden kann. Die 8 039 "unproblematischen Plots" wurden dieser Analyse unterzogen. Die Erstellung des *classification tree* erfolgte mit dem Softwarepaket R® 2.5.0.

2.5.4.4 Hauptkomponentenanalyse zur Unterscheidung der Jungwuchstypen

Die Hauptkomponentenanalyse (englisch: *Principal Components Analysis*, mit PCA abgekürzt) ist die gebräuchlichste Methode der Faktorenanalyse (BÜHL & ZÖFEL 2000). Es handelt sich um ein rein numerisches Verfahren, das versucht, aus Variablen mit vielen Eigenschaften, einige Faktoren zu extrahieren, die für diese Eigenschaften bestimmend sind. Mathematisch wird eine Hauptachsentransformation durchgeführt. Durch Überführung in einen Vektorraum mit neuer Basis wird versucht, die Korrelation mehrdimensionaler Merkmale zu minimieren. Am Anfang liegen die Daten als Punktwolke in einem *n*-dimensionalen, kartesischen Koordinatensystem vor. Ein neues Koordinatensystem wird in die Punktewolke gelegt und rotiert, so dass die erste Achse so durch die Punktwolke gelegt wird, dass die Varianz der Daten in dieser Richtung maximal wird. Die zweite Achse steht auf der ersten senkrecht und in ihrer Richtung ist die Varianz am zweitgrößten. Grundsätzlich gibt es *n*-Achsen, die senkrecht aufeinander stehen. In der Richtung der *p*-Achse ($p < n$) ist die Varianz am *p.*größten. Die Gesamtvarianz ergibt sich aus der Summe der "Achsenvarianzen".
Die Varianz ist ein Maß für den Informationsgehalt der Achsen. Die neuen Achsen, die den größten Prozentsatz der Gesamtvarianz abdecken, entsprechen den Faktoren, die für die Daten den größten Informationsgehalt enthalten und somit bestimmend sind. Die Hauptachsentransformation lässt sich

durch eine Matrix angeben, die aus den Eigenvektoren der Kovarianzmatrix gebildet wird. Hauptkomponentenanalysen werden z.B. angewandt, um die Zahl der Variablen in einem statistischen Modell mit sehr vielen Merkmalen zu reduzieren (MC CUNE & MEFFORD 1999). Zum Beispiel. kamen bei den französischen Sturmwurflflächenprojekten Hauptkomponentenanalysen zur Anwendung, um die Einflussfaktoren auf die Verjüngung zu identifizieren. (QUIÑONES-NADLER ET AL. 2005; MENGIN 2006).

Eine Hauptkomponentenanalyse wurde in der vorliegenden Arbeit zur Visualisierung der Jungwuchstypen und zur weiteren Überprüfung der Unterschiede zwischen ihnen durchgeführt. Der Hauptkomponentenanalyse wurden wie bei der *classification tree* - Analyse nur die Variablen unterzogen, die bei der Bildung der Typen durch die französische Forstverwaltung eine Rolle spielten (Dichte der vier Baumartengruppen, Dichte der Licht- und der Schattbaumarten, Verteilung der Jungwüchsen im Kreis C2 und Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation). Zur Durchführung der Hauptkomponentenanalyse sollen die Methoden der *Cross-products Matrix* und der *Calculate Scores For Spalten* ausgewählt werden. Die verschiedenen möglichen Methoden *("Correlation", "Variance/Covariance (centred)", "Non centered"* für den *Cross products Matrix* und "*none", "distance-based biplots", "by weighted averaging"* für den *Calculate Scores for Spalten*) wurden im Hinblick auf die Erstellung der möglichst deutlichen Punktewolke im Koordinatensystem der zwei ersten Achsen (es sind die Achsen, die für die Daten am ehesten Information tragen) getestet. Die Analyse wurde auch mit standardisierten Daten durchgeführt, falls dies zu einer deutlicheren Verteilung der Typen führen konnte. Unter Standardisierung ist eine auf einen statistischen Wert (Mittelwert, Maximum…) basierende Umwandlung der Matrix-Elementen zu verstehen. Hierfür wurde das Softwarepaket PCORD®.5.0 verwendet.

2.6 Jungwuchstypologien aus Clusteranalysen

Statistische Typologien wurden anhand hierarchischer Clusteranalysen, die die Plots in Gruppen einordnen, erarbeitet. Um die Gruppen von Plots, die aus dieser Analyse stammen, von den Gruppen der französischen Forstverwaltung, bisher mit "Typen" bezeichnet, zu unterscheiden, erschien es angemessen, sie als "Cluster" zu bezeichnen.

2.6.1 Ausreißeranalyse

BACKHAUS et al. (2000) definieren die Ausreißer als "Objekte, die im Vergleich zu den übrigen Objekten eine vollkommen anders gelagerte Kombination der Merkmalsausprägungen aufweisen und dadurch von allen anderen Objekten weit entfernt liegen". Zur Bildung der Cluster kommt ein Fusionierungsprozess der Objekte zur Anwendung. Die Ausreißer üben einen starken Einfluss auf diesen Fusionierungsprozess aus, so dass das Erkennen der Zusammenhänge zwischen den übrigen Objekten erschwert wird und Verzerrungen auftreten. Bevor eine Clusteranalyse durchgeführt wird, sollen diese Ausreißer aufgefunden werden und die Entscheidung getroffen werden, ob sie in den weiteren Analysen miteinbezogen werden sollen oder nicht. Zu diesem Zweck wurden die 6 684 bestockten Plots einer Ausreißeranalyse unterzogen. Ermittelt wird über eine

Distanzmatrix die Ähnlichkeit der Plots. Verschiedene Verfahren stehen zur Ausreißeranalyse zur Verfügung. Euklidische, relative euklidische, Jaccard, Sorensen, und relative Sorensen Distanz wurden angewandt, um eine möglichst stabile Anzahl von Ausreißern identifizieren zu können.
Aus statistischer Sicht sollten die Ausreißer nicht in die weiteren Analysen miteinbezogen werden. Trotzdem wurde zuerst geprüft, wieviel von ihnen zu den 206 "problematischen" Plots der französischen Forstverwaltung gehörten. Diese 206 Plots, die den Kriterien nicht entsprachen, die die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung zu ihrer Typenbildung festgelegt hatten, könnten nämlich auch als Ausreißer betrachtet werden. Abhängig von der Auswirkung der 206 Plots auf die statistische Qualität der Typologie der französischen Forstverwaltung und auch abhängig von der Ausreißeranzahl, die dazu gehört, sollte entschieden werden, ob diese Ausreißer in die weiteren Analysen miteinbezogen werden sollten.
Zur Durchführung der Ausreißeranalyse kam das Softwarepaket PCORD®.5.0 zur Anwendung. Die Bestimmung der Ausreißeranzahl, die zu den 206 problematischen Plots der französischen Forstverwaltung gehörte, erfolgte anhand von Abfragen im Datenbankprogramm Microsoft® Access 2000.

2.6.2 Hierarchische Clusteranalysen

Hierarchische Clusteranalysen wurden durchgeführt, um Typologien zu entwickeln, die auf statistisch relevanten Kriterien aufbauten. Unter dem Begriff Clusteranalyse versteht man Verfahren zur Gruppenbildung. Die Mitglieder einer Gruppe sollen sich möglichst ähnlich sein, während zwischen den Gruppen möglichst keine Ähnlichkeiten bestehen sollten. Die Clusteranalyse erfolgt in zwei Schritte. Zuerst wird ein Proximitätsmaß ausgewählt. Damit wird die Ähnlichkeit bzw. die Unähnlichkeit von jeweils zwei Untersuchungsobjekten hinsichtlich der untersuchten Merkmale geprüft. Der Ähnlichkeits- bzw. der Unähnlichkeitsgrad zwischen den zwei Objekten werden in Form eines Zahlenwerts ermittelt. Diese Werte werden zu einer sogenannten "Ähnlichkeitsmatrix" zusammengefasst. Diese Matrix ist der Ausgangspunkt des zweiten Schritts der Clusteranalyse: die Gruppenbildung. Clusteralgorithmen erzielen eine Zusammenfassung der Objekte. Auf Basis der Ähnlichkeitsmatrix werden die Untersuchungsobjekte anhand eines Algorithmus in Gruppen eingeteilt. Als Clusteralgorithmus standen unterschiedliche agglomerative Verfahren zur Verfügung. Ein agglomeratives Verfahren geht von der feinsten Partition aus (wobei jedes Objekt ein eigenständiges Cluster bildet) und endet mit der Zusammenfassung aller Objekte in einer einzigen Gruppe. Es muss deshalb entschieden werden, welche Anzahl von Gruppen als die sinnvollste anzusehen ist (BACKHAUS et al. 2000).

Durch eine Clusteranalyse wurden die Plots auf Basis ihrer Ähnlichkeiten hinsichtlich ausgewählter Variablen in eine gewünschte Anzahl von Clustern eingeordnet. Zur Auswahl der günstigsten Kombination von Distanzmaß und Clusteralgorithmus wurden mehreren Verfahren zur Bildung von 12 Clustern angewandt und auf Basis der Gesamt-A-Werte aus der *Multi-Response Permutation Procedures* miteinander verglichen. Die Dendrogramme der Plots, die aus der

hierarchischen Clusteranalyse gewonnen wurden, waren unübersichtlich, so dass sie zur Bestimmung der besseren Methoden zur Clusteranalyse nicht angewandt werden konnten. Zum Distanzmaß wurden die Sorensen (Bray-Curtis), relative Sorensen, Jaccard, Euklidische und relative Euklidische Verfahren getestet; zum Clusteralgorithmus die Verfahren "Nearest Neighbor, "Farthest Neighbor", "Median", "Group Average", "Centroïd", und "Ward". Es wurde die Anzahl von 12 Clustern angenommen, weil die französische Forstverwaltung die bestockten Plots in 12 Jungwuchstypen eingeordnet hatte. Welche Variablen und wieviele Plots in die Clusteranalyse einbezogen werden sollten, hing von allen zuvor erhaltenen Ergebnissen ab.
Die hierarchischen Clusteranalysen wurden anhand des Softwarepakets PCORD®.5.0 durchgeführt.

2.6.3 Statistische Prüfung der Unterscheidbarkeit der Cluster

Die *Multi-Response Permutation Procedures*, die zur Prüfung der Typologie der französischen Forstverwaltung zur Anwendung kamen (s. Kapitel 2.5.3), wurden auch für den Vergleich zwischen Cluster und Typen herangezogen. Der Gesamt-A-Wert sowie die mittlere Distanz von jedem Cluster wurden berechnet, und die Cluster wurden paarweise verglichen. Diese Analysen wurden auf der Basis der Variablen, die zur Bildung der Cluster angewandt wurden, durchgeführt.

2.6.4 Charakterisierung der Cluster

Zum Ziel des Vergleichs mit den Typen der französischen Forstverwaltung wurden für jeden Cluster die Baumartenzusammensetzung, die mittlere Dichte der Hauptbaumarten bestimmt und grafisch dargestellt. Die mittlere, die minimale und die maximale Gesamtdichte sowie ihre Standardabweichung wurden für jeden Cluster berechnet. Des Weiteren wurde die Anordnung der Plots in die Typen und in die Cluster verglichen, wobei für jeden Cluster der Prozentsatz von jedemTyp, den er enthält, angegeben wird.
Die Bestimmung der Leitbaumartengruppe(n), der Leitbaumart(en) und der Leitpflanzenart(en) jedes Clusters erfolgte wie für die Typen der französischen Forstleute anhand einer *Indicator Species Analysis* (s. Kapitel 2.5.4.2)

Um einen weiteren Überblick über die Cluster zu bekommen, erschien die Anwendung eines *classification tree* angemessen. Im Gegensatz zu den Typen sind die Cluster das Ergebnis einer statistischen Analyse, wobei die genauen Kriterien, die zur ihrer Bildung führten, unbekannt sind. Die Bestimmung der Baumartenzusammensetzung und der Leitbaumarten der Cluster war ein erster Schritt ihrer Charakterisierung. Die *classification trees* sollten hinsichtlich ihrer Differenzierung weitere Informationen liefern. Diese Analyse wurde für die 6 478 Plots, die der hierarchischen Clusteranalyse unterzogen wurden, durchgeführt.

Eine weitere Visualisierung der Cluster wurde anhand einer Hauptkomponentenanalyse erstellt. Mit dieser Analyse wurde dasselbe Ziel wie bei der *classification tree* – Analyse verfolgt: es sollten die Kriterien, die zur Bildung der Cluster geführt haben, bestimmt werden. Deswegen wurden in die Hauptkomponentenanalyse nur die Variablen, die der Clusteranalyse unterzogen wurden, miteinbezogen (d.h. für die Baumarten-Cluster: die Dichte der Baumarten, und für die

Baumartengruppen-Cluster: die Dichte der Baumartengruppen). Wie unter Kapitel 2.5.4.4 erläutert, wurden diejenigen Verfahren zur Hauptkomponentenanalyse ausgewählt, die eine möglichst deutliche Darstellung der Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen ergaben. Diese neue Visualisierung der Cluster sollte einen neuen Beitrag hinsichtlich ihrer Differenzierung liefern.

2.6.5 Überprüfung der statistischen Typologien im Freiland

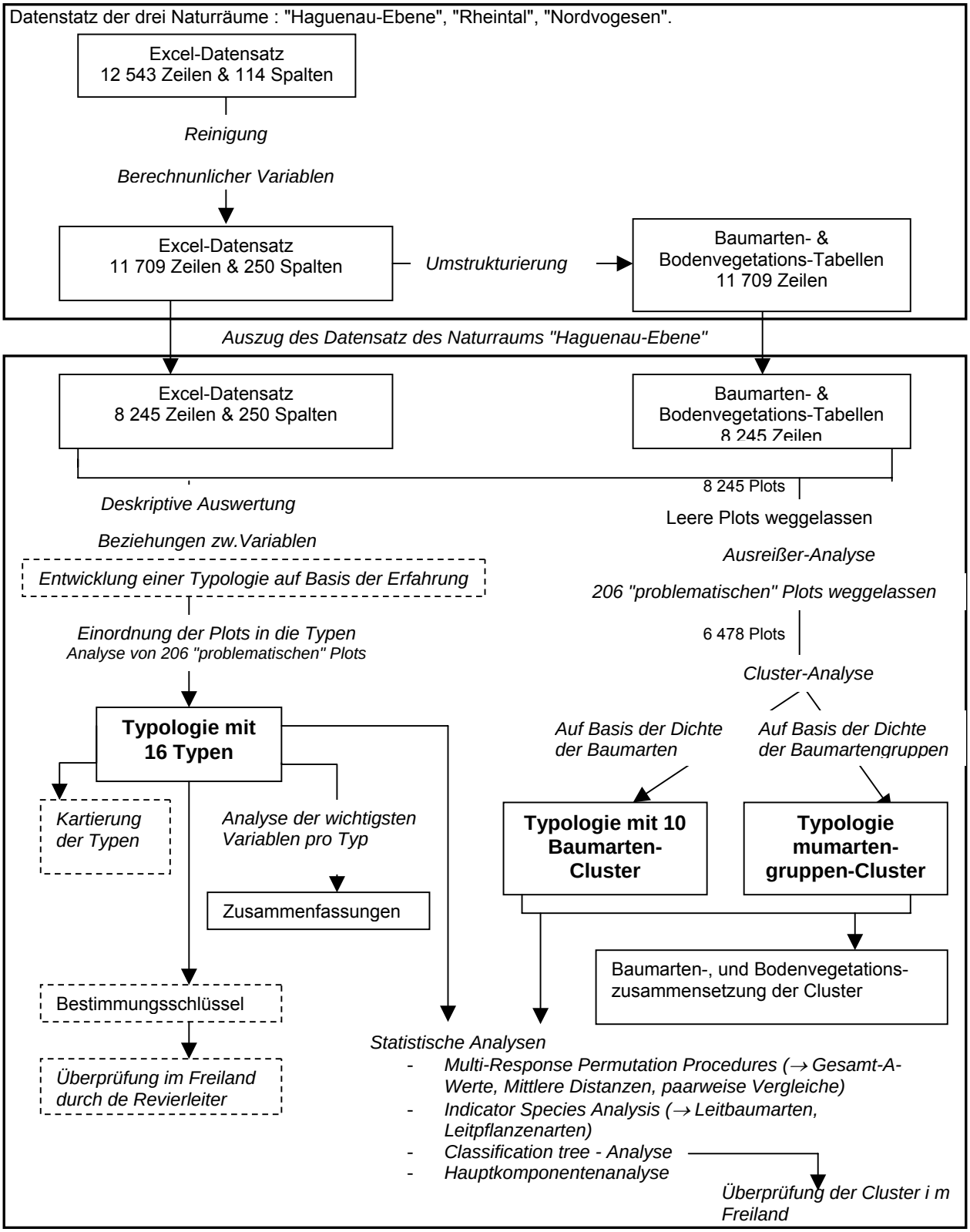
Die *Classification trees* wurden für die Baumarten-Cluster und für die Baumartengruppen-Cluster als Bestimmungsschlüssel verwendet, um die Cluster auf den neun Plots, die zur Überprürfung der Typologie der französischen Forstverwaltung durch die Revierleiter dienten, zu identifizieren. Die Bestimmung der Cluster erfolgte wie diejenige der Typen in den 10 m - Radius-Kreisen. Da die statistischen Typologien die unbestockten Plots nicht berücksichtigen, konnte die Identifizierung der Cluster auf den drei V-Plots (Blöße) nicht stattfinden.

2.7 Zusammenfassung der Arbeitsschritte

Die folgende Abbildung stellt die Abfolge der Arbeitsschritte bei Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit dar. Im oberen Rechteck finden sich die Arbeitsschritte, die sich auf den gesamten ursprünglichen Datensatz beziehen und im unteren Rechteck diejenige, die sich auf die Daten des Naturraums "Haguenau-Ebene" beschränken. Somit wurden im unteren Rechteck die "pragmatische" und die "statistische" Vorgehensweise zur Entwicklung von Typologien einander gegenübergestellt. Die Abbildung macht auch deutlich, dass die Typologie der französischen Forstverwaltung und die statistischen Typologien zum Ziel der Vergleichbarkeit denselben statistischen Analysen unterzogen wurden.

Abbildung 3: Zusammenfassung der Arbeitsschritte

Figure 3: Résumé des étapes de l'étude



kursiv: Arbeitsschritte

Ergebnisse

Input der französischen Forstverwaltung

3 Ergebnisse

Diese Ergebnisse beziehen sich nur auf den Naturraum "Haguenau-Ebene", da eine Auswertung aller drei Naturräume den zeitlichen Rahmen dieser Diplomarbeit gesprengt hätte.

3.1 Deskriptive Datenauswertung und Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen

3.1.1 Deskriptive Datenauswertung

3.1.1.1 Verjüngung

Dichte

Gesamtdichte der Verjüngung

Die Gesamtdichte der Verjüngung variierte von 0 St/ha (leere Plots) bis 20 000 St/ha. Im Durchschnitt betrug sie 3 250 St/ha.

Tabelle 8: Häufigkeit der Dichtestufen bei der Gesamtdichte der Jungwuchsbestände (n = 8 245 Plots)

Tableau 8: Fréquence des classes de densité pour la densité totale de la régénération (n = 8 245 placettes)

Dichte-Stufen	D = 0 St/ha	0<D≤500 St/ha	500<D<2000 St/ha	2000≤D<3000 St/ha	D≥3000 St/ha	Gesamt
Plotanzahl	1 561	579	1 131	950	4 024	8 245
%	19%	7%	14%	12%	49%	100%

19 % der Plots waren unbestockt, aber 60% wiesen eine Verjüngungsdichte höher als 2 000 St/ha auf. Einundzwanzig Prozent der Plots waren bestockt und wiesen eine Verjüngungsdichte kleiner als 2 000 St/ha.

Dichte der Baumarten

Insgesamt wurden 36 Baumarten identifiziert. Die häufigste Baumart der Verjüngung war Betula *pendula*. Sie trat auf 40% der Plots auf und wies einen Anteil von 31% an der Gesamtstammzahl). Die zweithäufigsten Baumarten waren *Pinus sylvestris* (34% der Plots, 24% der Gesamtstammzahl)*, Fagus sylvatica* (22% der Plots, 11% der Gesamtstammzahl)*, Quercus petraea & Q. robur* (unter der Bezeichnung *Q.p&r.* zusammengefasst, 16% der Plots und 8% der Gesamtstammzahl), *Carpinus betulus* (7% der Plots, 5% der Gesamtstammzahl) und *Sorbus aucuparia (*9% der Plots, 3% der Gesamtstammzahl). *Prunus serotina* folgte an siebter Stelle, vor *Prunus avium*, *Fraxinus excelsior,* und *Picea abies*.

Die vier ersten Baumarten waren für die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung von besonderem Interesse; *Pinus sylvestris, Fagus sylvatica*, und *Quercus petraea & Q. robur* weil sie Wirtschaftsbaumarten sind, *Betula pendula* weil sie die häufigste Baumart der Verjüngung war. Deswegen wurde in den folgenden Analysen der Schwerpunkt auf diese vier Baumarten gelegt.

Tabelle 9: Baumartenanteile* in den verschiedenen Dichtestufen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots)

Tableau 9: Fréquence des classes de densité pour les essences les plus fréquentes (n = 8 245 placettes)

	0<D≤500 St/ha		500<D<2000 St/ha		2000≤D<3000 St/ha		D≥3000 St/ha		Gesamt-Plotanzahl		***% Stamm-zahl***
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	
B.pend.	625	19%	830	25%	492	15%	1 331	41%	3 278	40%	**30,9%**
P.sylv.	610	22%	695	25%	472	17%	1 021	36%	2 798	34%	**24,4%**
F.sylv.	621	34%	623	34%	261	14%	323	18%	1 828	22%	**11,4%**
Q.p&r.	500	38%	436	33%	166	12%	231	17%	1 333	16%	**7,8%**
C.betu.	163	28%	146	25%	68	12%	201	35%	578	7%	**5,0%**
S.aucu.	333	46%	266	37%	69	10%	53	7%	721	9%	**3,1%**
P.sero.	70	20%	116	34%	63	18%	93	27%	342	4%	**2,6%**
P.aviu.	52	24%	38	17%	24	11%	105	48%	219	3%	**2,2%**
F.exce.	26	13%	54	28%	33	17%	80	41%	193	2%	**2,0%**
P.abie.	214	54%	100	25%	38	10%	45	11%	397	5%	**1,8%**
R.pseu.	32	18%	52	29%	45	25%	48	27%	177	2%	**1,4%**
Pi.sp.	63	30%	71	33%	43	20%	35	17%	212	3%	**1,3%**
Al.sp.	38	31%	33	27%	14	11%	37	30%	122	1%	**1,0%**

*Aufgeführt sind nur die Baumarten, die einen Anteil über 1% der Gesamtstammzahl einnahmen.
Anz. steht für die Plotanzahl, auf denen die Baumart vorhanden war. Für jede Baumart wurde die Plotanzahl in jeder Dichtestufe anteilig auf die Gesamtzahl der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war, in Prozent umgerechnet (Spalte "%"). Die Gesamtzahl der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war, wurde anteilig auf die 8 245 Plots des Naturraums in Prozent umgerechnet.

Baumartenvielfalt

19% der Plots waren unbestockt. Auf 1/3 der Plots war nur eine Baumart vorhanden. Auf der anderen Hälfte der Plots kamen zwischen zwei und vier verschiedenen Baumarten vor.

Tabelle 10: Baumartenreichtum der Jungwuchsbestände (n = 8 245 Plots)

Tableau 10: Diversité en essences de la régénération (n = 8 245 placettes)

Baumartenzahl	0	1	2	3	4	5	6	8	Gesamt
Plotanzahl	1 561	2 659	2 259	1 181	543	36	7	1	8 245
%	19%	32%	27%	14%	7%	0%	0%	0%	100%

Zusammensetzung der Baumartengruppen

Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung haben mit Hinblick auf die weitere waldbauliche Behandlung die Baumarten in vier Gruppen eingeteilt. Zu einer ersten Baumartengruppe, die *Serotina*-Baumartengruppe genannt wurde, gehörten Baumarten, deren Holz heute nicht verwertet wird, außer als Energieholz. *Prunus serotina* war mit fast 80% der Gesamtstammzahl bei Weitem die häufigste Baumart dieser Gruppe. In der *Betula*-Baumartengruppe wurden Baumarten eingestuft, die früher ungeachtet blieben, aber heutzutage in Produktionskonzepte eingebunden werden. 84% der Stammzahl dieser Gruppe entfielen auf *Betula pendula*. Alle anderen Laubbaumarten und Nadelbaumarten wurden zwei anderen Baumartengruppen zugeordnet, die mit "Wirtschaftslaubbaumarten" bzw. "Wirtschaftsnadelbaumarten" bezeichnet wurden. *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* & Q. *robur* und *Carpinus betulus* waren die häufigsten Baumarten der Gruppe der

Wirtschaftslaubbaumarten. *Pinus sylvestris* und in geringerem Maße *Picea abies* die häufigsten der Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten. Tabelle 11 stellt die genaue Zusammensetzung der vier Baumartengruppen dar.

Tabelle 11: Zusammensetzung der Baumartengruppen (n = 8 245 Plots)

Tableau 11: Composition des groupes d'essences (n = 8 245 placettes)

Baumarten-Gruppe	Baumarten	% der Stammzahl der Gruppe	% der Gesamt-stammzahl
1	*Prunus serotina*	77,6%	
	Salix sp.	10,8%	
	Corylus avellana	8,1%	
	Salix caprea	3,4%	
	Gesamt	100%	3%
2	*Betula pendula*	83,9%	
	Sorbus aucuparia	8,5%	
	Robinia pseudacacia	3,9%	
	Alnus sp.	2,6%	
	Populus tremula	0,9%	
	Alnus glutinosa	0,2%	
	Gesamt	100%	37%
3	*Fagus sylvatica*	37,5%	
	Quercus petraea & Q. robur	25,7%	
	Carpinus betulus	16,3%	
	Prunus avium	7,3%	
	Fraxinus excelsior	6,5%	
	Quercus rubra	2,8%	
	Acer pseudoplatanus	1,5%	
	Acer campestre	0,6%	
	Anderes Laubholz	0,5%	
	Castanea sativa	0,5%	
	Ilex aquifolium	0,3%	
	Acer platanoides	0,2%	
	Tilia sp.	0,1%	
	Ulmus sp.	0,1%	
	Populus sp.	0,1%	
	Malus sylvestris, Pyrus pyraster, Prunus domestica	0,0%	
	Sorbus sp.	0,0%	
	Gesamt	100%	30%
4	*Pinus sylvestris*	83,0%	
	Picea abies	6,2%	
	Pinus sp.	4,5%	
	Pinus strobus	3,0%	
	Larix decicua	2,1%	
	Pseudotsuga menziesii	1,1%	
	Anderes Nadelholz	0,1%	
	Taxus baccata	0,0%	
	Picea sitchensis	0,0%	
	Gesamt	100%	29%
Gesamt			100%

Höhe

Pinus sylvestris – und *Quercus petraea & Q.robur*-Jungwüchse waren kleiner als 50 cm auf mehr als der Hälfte der Plots, auf denen sie vorkamen. Auf fast 60% der Plots waren *Betula pendula*–Jungwüchse höher als 1,30 m, und auf einem Viertel der Plots waren sie zwischen 50 cm und 1,30 m hoch. *Fagus sylvatica*-Jungwüchse waren auf einem Drittel der Plots kleiner als 50 cm, aber die Höhenklassen 50 cm – 1,30 m und 1,30 m – 3 m nahmen einen Anteil von jeweils 27% und 28% an der Gesamtplotanzahl ein, auf denen *Fagus sylvatica* - Verjüngung vorhanden war.

Tabelle 12: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Höhenstufen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots)

Tableau 12: Fréquence des différentes classes de hauteur pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes)

	Plotanzahl				
	< 50 cm	50 cm - 1,30 m	1,30 m - 3 m	> 3 m	Gesamt
Betula pendula	557	808	1 151	762	3 278
	17%	25%	35%	23%	100%
Carpinus betulus	241	174	119	44	578
	42%	30%	21%	8%	100%
Fagus sylvatica	653	492	506	177	1 828
	36%	27%	28%	10%	100%
Fraxinus excelsior	22	51	85	35	193
	11%	26%	44%	18%	100%
Picea abies	90	116	109	82	397
	23%	29%	27%	21%	100%
Pinus sylvestris	1 471	697	502	128	2 798
	53%	25%	18%	5%	100%
Prunus avium	13	48	96	62	219
	6%	22%	44%	28%	100%
Prunus serotina	50	86	80	126	342
	15%	25%	23%	37%	100%
Quercus petraea & Q. robur	799	432	89	13	1 333
	60%	32%	7%	1%	100%
Sorbus aucuparia	246	168	189	118	721
	34%	23%	26%	16%	100%

Verteilung

Betula pendula trat meistens in Gruppen (41% der Plots, auf denen sie vorhanden war, aber auch oft einzeln (35%) auf. Bei *Pinus sylvestris* waren die Verteilungen "gruppiert" und "einzeln" auch die häufigsten, aber umgekehrt vertreten mit jeweils 30% und 36% der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war. Auf fast der Hälfte der Plots, auf denen *Fagus sylvatica* zu finden war, kam sie einzeln vor. Die andere Hälfte der Plots teilten sich vorwiegend auf die Verteilungen "gruppiert" (25% der Plots) und "selten" (22% der Plots). *Quercus petraea* & *Q. robur* waren meistens entweder "einzeln" (39% der Plots) oder "selten" (32% der Plots) verteilt.

Tabelle 13: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Häufigkeitsklassen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots)

Tableau 13: Fréquence des différentes classes de répartition pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes)

	Plotanzahl				
	selten	einzeln	gruppiert	komplett	Gesamt
Betula pendula	268	1 142	1 353	515	3 278
	8%	35%	41%	16%	100%
Carpinus betulus	79	233	202	64	578
	14%	40%	35%	11%	100%
Fagus sylvatica	405	872	458	93	1 828
	22%	48%	25%	5%	100%
Fraxinus excelsior	16	54	49	74	193
	8%	28%	25%	38%	100%
Picea abies	158	146	85	8	397
	40%	37%	21%	2%	100%
Pinus sylvestris	482	1 016	841	459	2 798
	17%	36%	30%	16%	100%
Prunus avium	27	34	56	102	219
	12%	16%	26%	47%	100%
Prunus serotina	25	82	131	104	342
	7%	24%	38%	30%	100%
Quercus petraea & Q. robur	423	516	270	124	1 333
	32%	39%	20%	9%	100%
Sorbus aucuparia	266	334	101	20	721
	37%	46%	14%	3%	100%

Qualität

Bei den 10 häufigsten Baumarten der Verjüngung waren auf mindestens 70% der Plots, auf denen sich Jungwüchse der betroffenen Baumart höher als 1,30 m befanden, diese in guter Qualität vorhanden. Den höchsten Anteil an Jungwüchsen, die Potenzial zur Qualitätsholzerziehung zeigten, wies *Betula pendula* mit 91% der Plots auf; den niedrigsten Anteil hatte *Fagus sylvatica* mit 71% der Plots.

Tabelle 14: Anteil der Plots, auf denen die häufigsten Baumarten der Jungwüchse (über 1,30 m Höhe) eine als gut eingeschätzte Qualität aufwiesen* (n = 8 245 Plots)

Tableau 14: Proportion de placettes sur lesquelles les essences les plus fréquentes de la régénération et d'une hauteur supérieure à 1,30 m présentent des tiges de qualité (n = 8 245 placettes)

	% Qualität*
Betula pendula	91%
Carpinus betulus	74%
Fagus sylvatica	71%
Fraxinus excelsior	88%
Picea abies	81%
Pinus sylvestris	79%
Prunus avium	81%
Prunus serotina	89%
Quercus petraea & Q. robur	77%
Sorbus aucuparia	77%

*Die Qualität wurde nur für die Jungwüchse über 1,30 m Höhe geschätzt. Die Spalte "% Qualität" gibt den Anteil von Plots wieder, auf denen Jungwüchse guter Qualität gefunden wurden, bezogen auf die Anzahl von Plots, auf denen Jungwüchse der betroffenen Baumart höher als 1,30 m vorhanden waren.

Verbissgrad

S*orbus aucuparia und C.betulus* waren unter den zehn häufigsten Baumarten diejenigen, die am stärksten verbissen wurden. Auf jeweils 48% und 46% der Plots, auf denen sie mit einer Höhe kleiner als 1,30 m vorhanden waren, wurde ein mittlerer bis starker Verbiss diagnostiziert. Die vom Verbiss am stärksten beeinträchtigten Wirtschaftsbaumarten waren *Q. petraea & Q. robur* und *F. excelsior.* Auf etwa einem Drittel der Plots, auf denen Jungwüchse dieser Baumarten kleiner als 1,30 m zu finden waren, war die Qualität oder sogar die Lebensfähigkeit dieser Jungwüchse wegen des Verbisses gefährdet. Es ist aber anzumerken, dass *F. excelsior*-Jungwüchse kleiner als 1,30 m viel seltener vorkamen als *Quercus petraea & Q. robur*–Jungbäume derselben Höhenstufe. Die qualitative Entwicklung der Wirtschaftsbaumarten *F. sylvatica* und *P. sylvestris* war auch in vielen Fällen gefährdet, da diese auf jeweils 28% bzw. 24% der Plots "mittel" bis "stark" verbissen wurden. Bei *B. pendula* wurde in 17% der Fälle ein mittlerer oder ein starker Verbiss aufgenommen.

Tabelle 15: Anteile der häufigsten Baumarten in den verschiedenen Verbissklassen der Jungwüchse* (n = 8 245 Plots)

Tableau 15: Fréquence des classes d'abroutissement pour les essences les plus fréquentes de la régénération (n = 8 245 placettes)

	Plotanzahl				
	kein	schwach	mittel	stark	Gesamt
Betula pendula	862	273	181	49	1 365
	63%	20%	13%	4%	100%
Carpinus betulus	143	74	120	78	415
	34%	18%	29%	19%	100%
Fagus sylvatica	581	246	205	113	1 145
	51%	21%	18%	10%	100%
Fraxinus excelsior	20	27	20	6	73
	27%	37%	27%	8%	100%
Picea abies	120	44	30	12	206
	58%	21%	15%	6%	100%
Pinus sylvestris	1 251	405	363	149	2 168
	58%	19%	17%	7%	100%
Prunus avium	49	9	2	1	61
	80%	15%	3%	2%	100%
Prunus serotina	122	8	2	4	136
	90%	6%	1%	3%	100%
Quercus petraea&robur	566	288	204	173	1 231
	46%	23%	17%	14%	100%
Sorbus aucuparia	170	51	96	97	414
	41%	12%	23%	23%	100%

*Der Verbissgrad wurde nur für die Jungwüchse unter 1,30 m Höhe geschätzt.
"Schwach" wurde eingegeben, wenn die Verjüngung nicht dadurch gefährdet war. "mittel" wurde eingegeben, wenn die Verjüngung zwar ziemlich stark verbissen worden war, aber noch lebensfähig war. "Stark" wurde eingegeben, wenn die Verjüngung wegen des Verbisses verhindert war.

Im Kreis C2 aufgenommenen Baumarten und deren Verteilung

Die Baumarten und ihre Verteilung wurden in dem größten Kreis C2 (25 m Radius) aufgenommen, wenn der kleine Kreis C1 (2,52 m Radius) unbestockt war. Auch bei den Aufnahmen im Kreis C2 war *B. pendula* die häufigste Baumart der Jungwüchse. Die neun anderen häufigsten Baumarten im Kreis C2 waren in einer unterschiedlichen Reihenfolge dieselben wie im Kreis C1, mit einer Ausnahme: *F. excelsior* gehörte nicht dazu, sondern *Alnus sp.*

Tabelle 16: Anteile der häufigsten Baumarten* im Kreis C2 in den verschiedenen Häufigkeitsklassen der Jungwüchse (n = 8 245 Plots)

Tableau 16: Fréquence des classes de répartition pour les essences relevées le plus fréquemment sur le cercle C2 (n = 8 245 placettes)

	selten		einzeln		gruppiert		komplett		Gesamt	
	Anz.	%Gst	Anz.	%Gst	Anz.	%Gst	Anz.	%Gst	Anz.	%
Betula pendula	407	26%	736	47%	376	24%	35	2%	1 554	19%
Fagus sylvatica	439	36%	578	47%	189	16%	12	1%	1 218	15%
Pinus sylvestris	443	37%	447	37%	274	23%	45	4%	1 209	15%
Picea abies	336	53%	208	33%	89	14%	2	0%	635	8%
Sorbus aucuparia	315	50%	252	40%	52	8%	5	1%	624	8%
Quercus petraea & Q. robur	210	41%	197	39%	93	18%	8	2%	508	6%
Carpinus betulus	57	23%	139	57%	47	19%	2	1%	245	3%
Prunus avium	46	37%	43	34%	30	24%	6	5%	125	2%
Prunus serotina	24	21%	72	63%	17	15%	2	2%	115	1%
Alnus sp.	22	21%	50	48%	33	31%	0	0%	105	1%
Pinus sp.	18	17%	56	54%	30	29%	0	0%	104	1%
Robinia pseudacacia	12	12%	58	57%	32	31%	0	0%	102	1%
Quercus rubra	53	55%	23	24%	14	14%	7	7%	97	1%
Pinus strobus	35	39%	39	43%	15	17%	1	1%	90	1%
Larix decicua	9	10%	24	27%	56	63%	0	0%	89	1%
Castanea sativa	65	76%	19	22%	2	2%	0	0%	86	1%
Andere Laubhölzer	36	47%	34	45%	6	8%	0	0%	76	1%
Fraxinus excelsior	9	16%	24	44%	19	35%	3	5%	55	1%
Populus tremula	20	38%	16	30%	17	32%	0	0%	53	1%
Ilex aquifolium	33	63%	8	15%	11	21%	0	0%	52	1%
Pseudotsuga menziesii	21	44%	27	56%	0	0%	0	0%	48	1%
Corylus avellana	8	17%	28	60%	11	23%	0	0%	47	1%
Acer pseudoplatanus	19	42%	22	49%	3	7%	1	2%	45	1%

*Aufgeführt sind nur die Baumarten, die auf mindestens 1% der Plots vorkamen.
Anz. steht für die Anzahl der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war. Für jede Baumart wurde die Plotanzahl in jeder Häufigkeitsklasse anteilig auf die Gesamtzahl der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war, in Prozent umgerechnet (Spalte "%"). Die Gesamtzahl der Plots, auf denen die Baumart vorhanden war, wurde anteilig auf die 8 245 Plots des Naturraums in Prozent umgerechnet.

3.1.1.2 Konkurrenzvegetation

Gesamtbodenbedeckung

Zwei Drittel der Plots waren mit über 75% ihrer Fläche von der Konkurrenzvegetation bedeckt. Betrachtet man eine Bodenbedeckung größer als 50%, dann waren 3/4 der Plots betroffen. Nur 12% der Plots wiesen eine Bedeckung durch die Konkurrenzvegetation von kleiner als 25% auf. Der Mittelwert der Bodenbedeckung betrug 76%.

Tabelle 17: Häufigkeit der Deckungsstufen der Konkurrenzvegetation

Tableau 17: Fréquence des classes de recouvrement par la végétation concurrente

Deckungs-stufen	0%	1% - 25%	26 % - 50%	51% - 75%	76% - 100%	Gesamt
Plotanzahl	369	625	928	833	5 490	8 245
%	4%	8%	11%	10%	67%	100%

Artenzusammensetzung der Konkurrenzvegetation

Die fünf häufigsten Arten waren *Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Rubus fruticosus, Deschampsia flexuosa,* und *Cytisus scoparius.* Sie wiesen in jeweils 34%, 36%, 20%, 22%, 10% der Fälle einen Bedeckungsgrad von mehr als 50%.

Tabelle 18: Relative Stetigkeit der Arten der Konkurrenzvegetation* (n = 8 245 Plots)*

Tableau 18: Fréquence des classes de recouvrement des espèces les plus fréquentes de la végétation concurrente (n = 8 245 placettes)

	Deckungsstufen									
	1-25%		26-50%		51-75%		76-100%		Gesamt	
	Anz.	% Gst	Anz.	% Gst	Anz.	% Gst	Anz.	% Gst	Anz.	% 8245
Molinia caerulea	1 319	38%	966	28%	522	15%	657	19%	3 464	**42%**
Pteridium aquilinum	1 216	37%	870	27%	377	12%	788	24%	3 251	**39%**
Rubus fruticosus	1 512	56%	665	25%	231	9%	284	11%	2 692	**33%**
Deschampsia flexuosa	862	51%	458	27%	220	13%	154	9%	1 694	**21%**
Cytisus scoparius	1 109	67%	382	23%	96	6%	62	4%	1 649	**20%**
Sonstige Arten	794	71%	218	20%	52	5%	50	4%	1 114	**14%**
Vaccinium myrtillus	653	65%	271	27%	47	5%	37	4%	1 008	**12%**
Frangula alnus	765	79%	190	20%	11	1%	7	1%	973	**12%**
Juncus sp.	637	71%	197	22%	34	4%	29	3%	897	**11%**
Calluna vulgaris	347	76%	94	21%	9	2%	8	2%	458	**6%**
Deschampsia cespitosa	311	71%	82	19%	27	6%	18	4%	438	**5%**
Calamagrostis sp.	183	56%	92	28%	28	9%	23	7%	326	**4%**
Luzula sp.	254	84%	43	14%	6	2%	1	0%	304	**4%**
Carex sylvatica	157	60%	61	23%	24	9%	20	8%	262	**3%**
Solidago virgaurea	149	67%	47	21%	12	5%	14	6%	222	**3%**
Carex brizoides	97	53%	60	33%	11	6%	16	9%	184	**2%**
Sonstige Farne	140	94%	8	5%	1	1%	0	0%	149	**2%**
Moose	82	73%	21	19%	7	6%	2	2%	112	**1%**
Clematis vitalba	48	96%	2	4%	0	0%	0	0%	50	**1%**
Carex sp.	29	58%	5	10%	9	18%	7	14%	50	**1%**
Urtica dioica	37	82%	5	11%	0	0%	3	7%	45	**1%**
Lonicera periclymenum	39	91%	4	9%	0	0%	0	0%	43	**1%**

*Aufgeführt sind nur die Pflanzenarten, die auf mindestens 1% der Plots vorkamen.
Anz. steht für die Anzahl der Plots, auf denen die Pflanzenart vorhanden war. Für jede Pflanzenart wurde die Plotanzahl jeder Deckungsstufe anteilig auf die Gesamtzahl der Plots, auf denen die Pflanzenart vorhanden war, in Prozent umgerechnet (Spalten "% Gst"). Die Gesamtzahl der Plots, auf

denen die Pflanzenart vorhanden war, wurde anteilig auf die 8 245 Plots des Naturraums "Haguenau-Ebene" in Prozentzahl umgerechnet (Spalte "% 8 245").
Die Bedeutung der Abkürzungen für die Pflanzenarten befindet sich im Anhang 9.

Tabelle 19: Artenreichtum der Konkurrenzvegetation (n = 8 245 Plots)

Tableau 19: Diversité en espèces de la végétation concurrente (n = 8 245 placettes)

Artenzahl	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Gesamt
Plotanzahl	369	1 921	2 461	1 934	1 032	385	100	36	7	8 245
%	4%	23%	30%	23%	13%	5%	1%	0%	0%	100%

Auf ¾ der Plots waren zwischen 1 und 3 Pflanzenarten vorhanden. 20% der Plots wiesen mehr als drei Pflanzenarten. Auf 4% der Plots war keine Art zu finden.

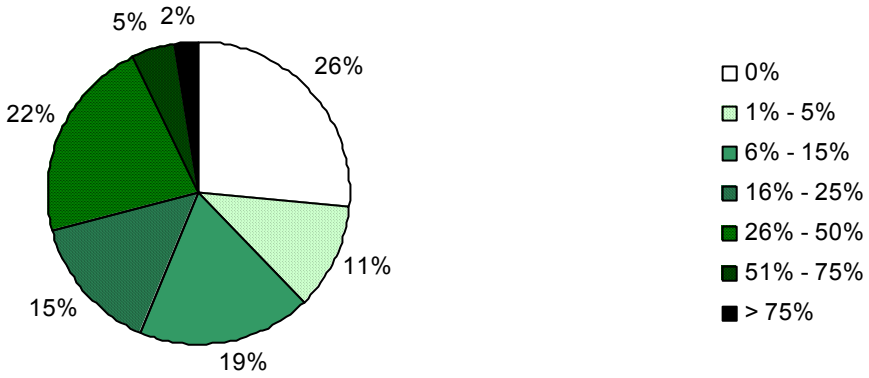
3.1.1.3 Struktur und Komposition der Vorbestockungsreste

Schirm der Vorbestockungsreste

Auf ¼ der Plots gab es keine Vorbestockungsreste und auf 11% der Plots war der Schirm der stehengebliebenen Bäume geringer als 5%. Eine Überschirmung durch Vorbestockungsreste von 6% bis 25% war auf 1/3 der Plots und von 26% bis 50% auf 22% der Plots zu finden. Auf 7% der Plots war ein Schirm höher als 50% zu finden. Der Mittelwert der Überschirmung betrug 20%.

Abbildung 4: Häufigkeit der Überschirmungsgradstufen der Vorbestockungsreste

Figure 4: Fréquence des classes de couvert du peuplement relictuel



Baumartenzusammensetzung der Vorbestockungsreste

Pinus sylvestris und *Fagus sylvatica* waren bei weitem die häufigsten Baumarten der Vorbestockungsreste und die heimischen Eichen Q. *petraea & Q. robur* kamen an dritter Stelle. Dies entsprach der Baumartenzusammensetzung der Vorbestände. Außer für *F. sylvatica* waren auf mindestens 80% der Plots, auf denen eine Baumart vorhanden war, Samenbäume zu finden.

Tabelle 20: Baumartenanteile* der Vorbestockungsreste und Anteil der Plots mit Samenbäumen der Baumart (n = 8 245 Plots)

Tableau 20: Fréquence des essences du peuplement relictuel et proportion de placettes sur lesquelles des semenciers de l'essence considérée étaient présents (8245)

	Plotanzahl		
	Gesamt	%	davon mit Samenbäumen
Pinus sylvestris	3 183	39%	89%
Fagus sylvatica	3 069	37%	64%
Quercus petraea & Q. robur	1 404	17%	87%
Picea abies	622	8%	67%
Betula pendula	485	6%	86%
Carpinus betulus	443	5%	84%
Quercus rubra	257	3%	82%
Pinus sp.	244	3%	98%
Alnus sp.	127	2%	87%
Pseudotsuga menziesii	95	1%	86%
Fraxinus excelsior	94	1%	83%
Castanea sativa	80	1%	93%
Pinus strobus	78	1%	92%
Prunus avium	75	1%	97%
Robinia pseudacacia	62	1%	95%
Sorbus aucuparia	37	0%	84%
Alnus glutinosa	27	0%	85%
Larix decicua	25	0%	84%
Acer pseudoplatanus	17	0%	100%
Ulmus sp.	12	0%	100%

* Aufgeführt sind nur die Baumarten, die mindestens auf 10 Plots vorkamen.

Tabelle 21: Anteile der häufigsten Baumarten der Vorbestockungsreste in den verschiedenen Überschirmungsgradstufen (n = 8 245 Plots)

Tableau 21: Fréquence des classes de couvert pour les principales essences du peuplement relictuel

	1% - 5%	6% - 15%	16% - 25%	26% - 50%	51% - 75%	76% - 100%	Gesamt
Pinus sylvestris	558	1 526	603	454	30	12	3 183
	18%	48%	19%	14%	1%	0%	100%
Fagus sylvatica	672	1134	589	589	70	15	3069
	22%	37%	19%	19%	2%	0%	100%
Quercus petraea & Q. robur	307	687	254	145	7	3	1403
	22%	49%	18%	10%	0%	0%	100%
Picea abies	182	339	65	31	4	1	622
	29%	55%	10%	5%	1%	0%	100%
Betula pendula	138	284	44	14	4	1	485
	28%	59%	9%	3%	1%	0%	100%
Carpinus betulus	70	220	94	50	5	4	443
	16%	50%	21%	11%	1%	1%	100%

Bei allen Baumarten dominierte die Überschirmungsgrad-Stufe 6% - 15% deutlich. Auf mehr als 60% wiesen die häufigsten Baumarten der Verjüngung eine Schirmfläche kleiner als 15% auf.

3.1.1.4 Schlagabraum

Auf den meisten Plots gab es nur eine geringe Menge an verbleibendem Sturmholz:

Tabelle 22: Häufigkeit der Schlagabraumstufen (n = 8 245 placettes)

Tableau 22: Fréquence des classes de recouvrement par les rémanents (n = 8 245 placettes)

Schlagabraum	ohne bis wenig	mittel	viel	Gesamt
Plotanzahl	5 824	1 871	550	8 245
%	71%	23%	7%	100%

3.1.1.5 Entfernung zum nächsten Waldrand

Die Hälfte der Plots waren weniger als 25 m vom nächsten Waldrand entfernt und nur 10% der Plots waren über 75 m vom nächsten Waldrand entfernt.

Tabelle 23: Häufigkeit der Entfernungsstufen zum nächsten Waldrand (n = 8 245 Plots)

Tableau 23: Fréquence des classes de distance à la lisière la plus proche (n = 8 245 placettes)

Entfernung-Stufen	0 m	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 150 m	150 - 200 m	Gesamt
Plotanzahl	52	4 002	2 194	1 115	533	313	36	8 245
%	1%	49%	27%	14%	6%	4%	0%	100%

3.1.1.6 Standorte und Humustypen

Standorte

Die Standorte wurden anhand der potenziellen natürlichen Vegetation definiert.

Tabelle 24: Häufigkeit der Standorte (n = 8 245 Plots)

Tableau 24: Fréquence des différentes stations (n = 8 245 placettes)

Standort-bezeichnung	Potenzielle natürliche Vegetation	Häufigkeit (Plotanzahl)	%
PH_9	Eichen-Kieferwald auf durchlässigen, sauren Böden *Chênaie-Pineraie acidophile drainée*	2 140	26%
PH_10	Eichen- Kiefernwald auf feuchten, sauren Böden *Chênaie-Pineraie acidophile humide*	1 772	21%
PH_7	Eichen-Kiefernwald auf durchlässigen, mäßig sauren Böden *Chênaie-Pineraie acidocline drainée*	1 525	18%
PH_8	Eichen-Kiefernwald auf feuchten, mäßig sauren Böden *Chênaie-Pineraie acidocline humide*	882	11%
PH_5	Eichen-Buchenwald auf durchlässigen, mesotrophen Böden *Chênaie-Hêtraie neutrophile drainée*	869	11%
PH_6	Eichen-Buchenwald auf feuchten, mesotrophen Böden Chênaie-Hêtraie neutrophile humide	229	3%
PH_3	Kalkliebender Eichen-Eschenwald *Chênaie-Frênaie calcicole*	175	2%
PH_12	Kiefernwald auf sehr sauren Böden *Pineraie hyperacidiphile*	122	1%
PH_11	Kiefernwald auf nassen, sauren Böden *Pineraie hygroacidophile*	114	1%
PH_4	Eichen-Buchenwald auf mäßig basenreichen Böden *Chênaie-Hêtraie neutronitrocline*	107	1%
PH_2	Erlen-Eschenwald *Aulnaie-Frênaie*	57	1%
PH_1	Erlenwald *Aulnaie*	28	0%
VRC_10	Eichen-Ulmenwald mit Eschen auf mäßig feuchten Böden *Chênaie-Ormaie à Frêne mésohygrocline*	27	0%
VRC_7	Eichen-Ulmenwald mit Eschen und Linden auf mäßig trockenen Böden *Chênaie-Ormaie à Frêne et Tilleul mésoxérocline*	19	0%
PH_13	Eichen-Buchenwald auf mesotrophen bis mäßig sauren Böden *Chênaie-Hêtraie neutroacidocline*	11	0%
VRC_9	Eichen-Ulmenwald mit Eschen auf mäßig feuchten Böden *Chênaie-Ormaie à Frêne mésocline*	1	0%
unbekannt		167	2%
Gesamt		8 245	100%

Eichen-Kiefernwälder auf sauren Böden (PH_9 und PH_10) und Eichen-Kiefernwälder auf mäßig sauren Böden (PH_7 und PH_8) waren die am häufigsten anzutreffende potenzielle natürliche Vegetation. Die Standorte PH_7 und PH_8 zum einen, PH_9 und PH_10 zum anderen, unterscheiden sich je nach dem Grad der Hydromorphie. Der Standort PH_5: Eichen-Buchenwald auf durchlässigen, mesotrophen Böden ist auch häufig. Es handelt sich um einen der günstigsten Standorte im

Haguenauer Forst. Oft ist auf diesem Standort der Anteil von *Quercus petraea & Q. robur* an der Gesamtbestockung sehr hoch.

Humustypen

Der Rohhumus ist die häufigste Humusform, was die ungüngstigen Standortbedingungen widerspiegelt.

Tabelle 25: Häufigkeit der Humustypen (8 245 placettes)

Tableau 25: Fréquence des types d'humus (n = 8 245 placettes)

Humustyp	unbekannt	Mull	Moder	Rohhumus	Gesamt
Plotanzahl	972	166	2325	4782	8245
%	12%	2%	28%	58%	100%

3.1.2 Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen

Ziel dieses Schritts der Auswertung der Daten war, erklärende Faktoren für die Baumartenzusammensetzung und die Entwicklung der Sukzessionswälder zu identifizieren, die bei der Bildung der Typologie berücksichtigt werden sollten. Die Liste aller erarbeiteten Zusammenhänge wurde unter Kapitel 2.4.2 erläutert. Die Irrtumswahrscheinlichkeit und der Korrelationskoeffizient bzw. der Kontingenzkoeffizient jedes Tests befinden sich im Anhang 10.

35% der Zusammenhänge waren mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p > 0,05$ als nicht signifikant zu bezeichnen, 7% ergaben sich als signifikant ($0,01 < p \leq 0,05$), 7% als sehr signifikant ($0,001 < p \leq 0, 01$) und 52% als höchst signifikant ($p < 0,001$). Einundsiebzig Prozente aller statistisch signifikanten Beziehungen (d. h. mit $p \leq 0,05$) waren mit einem Korrelations- oder Kontingenz-Koeffizient $r \leq 0,2$ als "sehr geringe Beziehungen" und 29% mit $0,2 < r \leq 0,5$ als "geringe Beziehungen" zu bezeichnen. Kein Koeffizient war größer als 0,5.

Tabelle 26: Liste der Variablen, zwischen denen eine geringe Beziehung besteht

Tableau 26: Liste des variables liées par une faible corrélation

	Variable 1	Variable 2	Kontigenz-koeffizient	Korrelation nach Spaerman	p	Test N°
1	Gesamtdichte	Qualität der Wirtschaftsnadelbaumarten	0,383		***	13
2	Gesamtdichte	Qualität von *Pinus sylvestris*	0,433		***	23
3	Konkurrenzvegetation (Bodenbedeckung)	Höhe der *Serotina*-Baumartengruppe		-0,337	***	31
4	Konkurrenzvegetation (Bodenbedeckung)	Qualität der *Serotina*-Baumartengruppe	0,238		***	39
5	Schirm der Restbestockung	Höhe der *Betula*-Baumartengrupppe		-0,230	***	66
6	Schirm der Restbestockung	Höhe von *Betula pendula*		-0,247	***	81
7	Schirm der Restbestockung	Höhe von *Quercus petraea & Q. robur*		-0,308	***	84
8	Schlagabraum	Qualität der Wirtschaftslaubbaumarten	0,227		***	105
9	Schlagabraum	Verbissgrad der *Serotina*-Baumartengruppe		0,270	***	107
10	Schlagabraum	Verbissgrad der *Betula*-Baumartengruppe		0,325	***	108
11	Schlagabraum	Verbissgrad der Wirtschaftsnadelbaumarten		0,277	***	110
12	Schlagabraum	Qualität von *Fagus sylvatica*	0,286		***	121
13	Schlagabraum	Verbissgrad von *Betula pendula*		0,342	***	123
14	Schlagabraum	Verbissgrad von *Pinus sylvestris*		0,288	***	124
15	Schlagabraum	Verbissgrad von *Fagus sylvatica*		0,250	***	125

Tabelle 26: Fortsetzung

Tableau 26: suite

	Variable 1	Variable 2	Kontigenz-koeffizient	Korrelation nach Spaerman	p	Test N°
16	Standort	Gesamtdichte	0,216		***	162
17	Standort	Dichte der *Serotina*-Baumartengruppe	0,299		***	163
18	Standort	Dichte der *Betula*-Baumartengruppe	0,237		***	164
19	Standort	Dichte der Wirtschaftslaubbaumarten	0,375		***	165
20	Standort	Dichte der Wirtschaftsnadelbaumarten	0,256		***	166
21	Standort	Höhe der *Serotina*-Baumartengruppe	0,351		***	167
22	Standort	Höhe der Wirtschaftslaubbaumarten	0,275		***	169
23	Standort	Qualität der Wirtschaftslaubbaumarten	0,231		***	173
24	Standort	Verbissgrad der *Betula*-Baumarten-gruppe	0,288		***	176
25	Standort	Verbissgrad der Wirtschaftslaubbaumarten	0,277		***	177
26	Standort	Verbissgrad der Wirtschaftsnadelbaumarten	0,214		***	178
27	Standort	Dichte von *Betula pendula*	0,247		***	179
28	Standort	Dichte von *Pinus sylvestris*	0,274		***	180
29	Standort	Dichte von *Fagus sylvatica*	0,214		***	181
30	Standort	Dichte von *Quercus petraea & Q. robur*	0,282		***	182
31	Standort	Höhe von *Fagus sylvatica*	0,216		***	185
32	Standort	Höhe von *Quercus petraea & Q. robur*	0,252		***	186
33	Standort	Qualität von *Quercus petraea & Q. robur*	0,332		***	189
34	Standort	Verbissgrad von *Betula pendula*	0,248		***	191
35	Standort	Verbissgrad von *Pinus sylvestris*	0,216		***	192
36	Standort	Verbissgrad von *Fagus sylvatica*	0,326		***	193
37	Standort	Verbissgrad von *Quercus petraea & Q. robur*	0,292		***	194

*** kennzeichnet eine Irrtumswahrscheinlichkeit p < 0,001.

Die einzige Variable, die einen statistisch gesicherten Einfluss auf die Baumartenzusammensetzung und die Dichte der Verjüngung hat, ist der Standort. Geringe Beziehungen liegen zwischen dieser Variable und der Gesamtdichte der Jungwüchse (Test n°16 in der Tabelle 26), der Dichte der vier Baumartengruppen (Teste n°17 bis 20) sowie der Dichte der vier häufigsten Baumarten (Teste n°27 bis 30) vor.

Die Höhe der Jungwüchse der *Serotina*-Baumartengruppe hängt statistisch vom Bedeckungsgrad der Konkurrenzvegetation und vom Standort nur schwach ab (n° 3 und 21). Der

Korrelationskoeffizient zwischen der Höhe der Jungwüchse dieser Baumartengruppe und dem Bedeckungsgrad der Konkurrenzvegetation war negativ. Dies bedeutet, dass die Jungwüchse der *Serotina*-Baumartengruppe umso kleiner sind, je ausgeprägter die Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation ist. Auch der Standort hat statistisch lediglich einen Einfluss auf die Höhe der Wirtschaftslaubbaumarten, was in dem Fall von *Fagus sylvatica* und von *Quercus petraea & Q. robur,* die die häufigsten Baumarten dieser Gruppe sind, nachgewiesen werden konnte (n° 22, 31, 32). Die Höhe von *Quercus petraea & Q. robur* wies außerdem noch mit dem Schirm der Restbestockung eine schwache Korrelation auf (n°7). Diese letzte Variable beeinflusst auch die Höhe von *Betula pendula* und allgemein die der Jungwüchse der *Betula*-Baumartengruppe (n° 5 und 6). Bei jeder dieser Beziehungen war der Korrelationskoeffizient negativ. Das heißt: je höher der Schirm der Restbestockung ist, umso kleiner sind die Jungwüchse.

Eine geringe Beziehung liegt zwischen der Qualität der Wirtschaftsnadelbaumarten und der Gesamtdichte vor (n°1). Dies wurde mit dem Fall von *Pinus sylvestris*, die die häufigste Baumart dieser Gruppe ist, nachgewiesen (n°2), und zwar mit einem besseren Kontingenzkoeffizient. Die Qualität der Wirtschaftslaubbaumarten hängt statistisch vom Schlagabraum und vom Standort nur schwach ab (n° 8 und 23). Geringe Zusammenhänge liegen zum einem zwischen dem Schlagabraum und der Qualität der *Fagus sylvatica*-Jungwüchse und zum anderen zwischen dem Standort und der Qualität der *Quercus petraea & Q. robur*-Jungwüchse vor (n° 12 und 33). Ein statistisch schwacher Zusammenhang besteht zwischen der Qualität der Jungbaüme der *Serotina*-Baumartengruppe und dem Bedeckungsgrad der Konkurrenzvegetation (n°4).

Zwischen dem Schlagabraum und dem Verbissgrad der Jungwüchse von drei unterschiedlichen Baumartengruppen (Wirtschaftsnadelbaumarten, *Serotina*- und *Betula*-Baumartengruppe) liegen geringe Korrelationen vor (n° 9, 10, 11). So ergaben sich auch geringe Korrelationen zwischen dem Schlagabraum und dem Verbissgrad von *Betula pendula* und *Pinus sylvestris,* die zu den obengenannten Baumartengruppen gehören (n° 13 und 14), wobei die Koeffizienten für die einzelnen Baumarten höher waren als für die entsprechende Baumartengruppen. Auch der Verbissgrad von *Fagus sylvatica* korrelierte mit dem Schlagabraum (n°15). Dies war auch der Fall für den Verbissgrad der Baumartengruppe der Wirtschaftslaubbaumarten (wozu *Fagus sylvatica* gehört) aber mit einem Spearmanschen Korrelationskoeffizienten von 1,222 ist die Korrelation sehr gering. Alle Korrelationskoeffizienten waren positiv. Verbissgrad und Schlagabraum sind immer positiv korreliert. Dies bedeutet, dass die Jungwüchse umso stärker verbissen sind, je größer die Menge am verbleibenden Sturmholz ist.

Geringe Beziehungen bestehen zwischen Standort und Verbissgrad der drei Hauptbaumartengruppen (*Betula*-Baumartengruppe, Wirtschaftslaubbaumarten, Wirtschaftsnadelbaumarten, n°24, 25, 26) sowie zwischen Standort und Verbissgrad der vier häufigsten Baumarten (*Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea & Q. robur*, n° 34 bis 37).

Da nur sehr wenige und schwach ausgeprägte Beziehungen nachgewiesen werden konnten, war es nicht möglich, deutlich erklärende Faktoren für die Baumartenzusammensetzung der Verjüngung sowie für ihre qualitative und quantitative Entwicklung zu ermitteln. Der Standort, der sich

in mehr als der Hälfte der geringeren Korrelationen als eine erklärende Variable ergab, spielt wahrscheinlich hinsichtlich der Entwicklungsdynamik der Naturverjüngung die wichtigste Rolle.

3.2 Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung

3.2.1 Typologie, entsprechender Bestimmungschlüssel und Kartierung der Typen

Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die auf Erfahrungswerten basierende Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung. Für jeden Typ wurde die entsprechende Plotanzahl, diese anteilig auf die Gesamtplotanzahl (in %), und die entsprechende Waldfläche in Hektar angegeben (4 Plots entsprechen einem Hektar). Hinter der Plotanzahl steht gegebenenfalls in Klammern die Anzahl von "problematischen" Plots, die in diesen Typ eingeordnet wurden. Die "problematischen" Plots sind diejenigen, die den Kriterien, die zur Bildung der Typen festgelegt wurden, nicht genau entsprachen. Diese Plots (2% der Gesamtplotanzahl) wurden nach Analyse ihrer Baumartengruppenzusammensetzung dem Typ zugeordnet, dessen Kriterien sie am ehesten entsprachen. In den Anhängen 6 und 7 finden sich die Kriterien der Typen sowie die Baumartengruppenzusammensetzung der problematischen Plots.

Die Typologie besteht aus 4 "Typengruppen", die mit den Buchstaben V, C, D, und S gekennzeichnet sind. V steht für das französische Wort *vide* (leer), wobei es sich um unbestockte Plots oder um Plots, die fast keine Verjüngung aufweisen, handelt. C steht für das französische Wort *clair* (locker) und D für *dense* (dicht). Diese Begriffe weisen auf die Dichte der Verjüngung hin.

Bei den C-Typen liegt die Dichte bei 500 St/ha bis 2 000 St/ha, bei den D-Typen ist sie größer oder gleich 2 000 St/ha. Der Typ " Verjüngung von Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe dominiert" wurde mit S bezeichnet (S für *Serotina)*, da die Baumart *Prunus serotina* bei Weitem die häufigste und auch die problematische ist. Diese Baumart hat sich im Haguenauer Forst im letzen Jahrzehnt rasch vermehrt. Sie ist auf den trockenen Standorten besonders konkurrenzkräftig und kann nur schwer zurückgedrängt werden.

Tabelle 27: Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung

Tableau 27:Typologie réalisée par l'ONF

TYPN°	TYPBEZEICHNUNG	Anz.	in %	ha
V1	Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert	271	3%	68
V2	Blöße von der Konkurrenzvegetation teilweise überwuchert	143	2%	36
V3	Blöße mit einzelnen Jungwüchsen	781	9%	195
V4	Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen	366	4%	92
V	Gesamt	1 561	19%	390
S	Verjüngung von Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe dominiert	72 (6)	1%	18
C1	sehr lockere (D≤500 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe	410	5%	103
C2	lockere (500≤D<2000 St/ha) Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert	487 (65)	6%	122
C3	lockere (500<D<2000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit	196	2%	49
C4	lockere (500<D<2000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe	588 (14)	7%	147
C	Gesamt	1 681	20%	420
D1	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe	661 (48)	8%	165
D2	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten (*Pinus sylvestris, Quercus petraea & Q. robur*...) beigemischt	1166 (59)	14%	292
D3	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten (*Fagus sylvatica, Picea abies*...) beigemischt	293 (14)	4%	73
D4	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit	1 030	12%	258
D5	Dichte (D≥2000 St/ha) Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung	606	7%	152
D6	Dichte (D≥2000 St/ha) Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung	626	8%	157
D7	Dichte (D≥2000 St/ha) Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt	549	7%	137
D	Gesamt	4 931	60%	1 233
	Gesamt	**8 245**	**100%**	

Die V-Typen nehmen einen Anteil von 19% an der gesamten Sturmwurffläche ein, d. h. fast genau soviel wie die C-Typen (20% der Gesamtfläche). Auf 60% der Gesamtfläche kann mit mindestens 2 000 St/ha die Naturverjüngung als ausreichend für eine Wiederbestockung betrachtet werden.

Die französische Forstverwaltung hat dieser Typologie entsprechend einen Bestimmungsschlüssel erarbeitet (s.Anhang 11). Der Bestimmungsschlüssel soll der Identifizierung der Typen vor Ort durch die Revierleiter bei der zweiten Aufnahmekampagne dienen. Bei seiner Anwendung findet als erstes

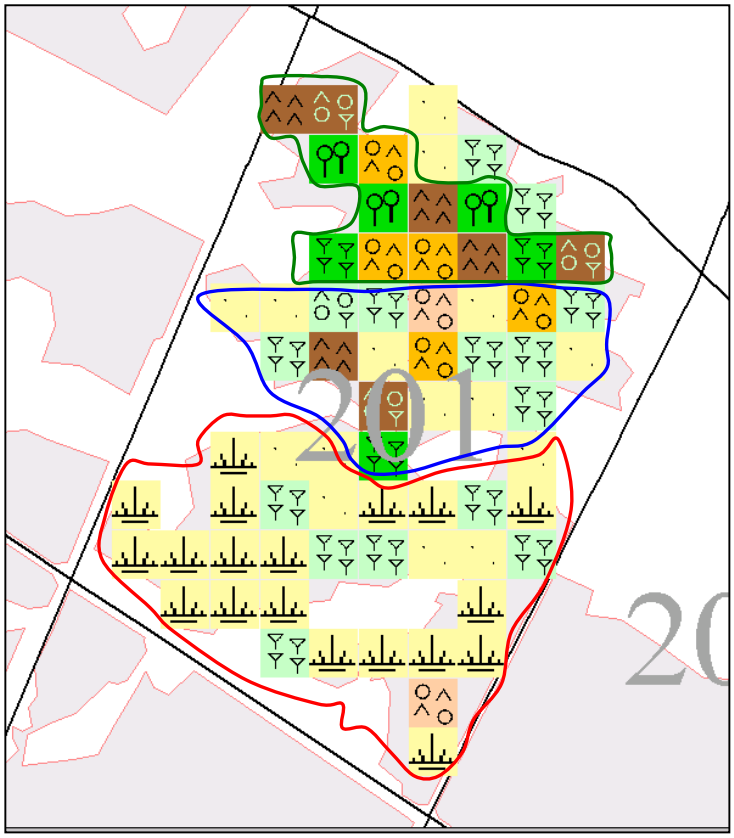
eine Einschätzung der Gesamtdichte der Verjüngung in einem Kreis mit Radius 10m statt. Damit wird festgelegt, ob man von einer Fläche des V-Typs, des C-Typs oder des D-Typs auszugehen hat. Zur Vereinfachung der Schätzung wurde der entsprechende mittlere Abstand zwischen zwei Bäumen angegeben, sowie die entsprechenden Baumzahlen, für den Fall, dass die Bäume sehr heterogen verteilt sein sollten.
Zur Unterscheidung der verschiedenen V-Typen sollen die Anwesenheit bzw. die Abwesenheit von Jungwüchsen und die Bedeckung durch die hemmende Konkurrenzvegetation berücksichtigt werden. Bei den C- und D-Typen beziehen sich die nächsten Alternativen im Schlüssel auf die relativen Dichten der verschiedenen Baumartengruppen, wobei die Dominanz der *Betula*-Baumartengruppe im Vordergrund steht.

Jeder im Herbst 2006 erfasste Plot wurde einem dieser Typen zugeordnet. Dies erlaubte den französischen Forstleuten, "Typen-Karten" von Sturmwurfflächen mit Hilfe eines GIS zu erstellen. Ein Pixel entsprach einem 50 x 50 m Plot. Für jeden Typ wurde ein Symbol definiert und jeder Pixel bekam das Symbol des entsprechenden Typs. Alle erfassten Abteilungen bzw. Abteilungsteile wurden auf diese Weise kartiert, was eine Übersicht über den Zustand der Schadflächen auf der Ebene einer Abteilung, sowie auf Ebene eines ganzen Waldes erlaubte. Diese Kartierung ist im Hinblick auf die zukünftige Maßnahmenplanung von hoher Bedeutung. Auf Grundlage dieser Karten sollen in jeder Abteilung (aus Sicht der zukünftigen waldbaulichen Behandlung) homogene Eingriffzonen definiert werden, d. h. Zonen, wo dieselben waldbaulichen Maßnahmen durchgeführt werden sollen.
Karten wurden auch auf Ebene der Reviere erstellt und den Revierleitern ausgehändigt, um jeweils einen Überblick über die Schadfläche zu liefern. Im Übrigen wurde dadurch dem Wunsch der Revierleiter, die im Jahr 2006 die aufwendigen Aufnahmen durchgeführt hatten, entsprochen, das Ergebnis ihrer Arbeit in die Hände zu bekommen.
Im Anhang 13 befinden sich eine Beispielskarte und die entsprechende Legende.

Die meisten Sturmwurfflächen sehen hinsichtlich ihrer Typenzusammensetzung ziemlich homogen aus. Allerdings bestehen einige Flächen aus Mosaiken verschiedener Typen. Auch in diesem Fall ist es möglich, "Behandlungszonen" zu definieren", wie die folgende Abbildung es für eine Abteilung beispielhaft darstellt:

Abbildung 5: waldbauliche Behandlungszonierung auf Basis der Kartierung der Typen (Abteilung 201 des Allmendwaldes von Haguenau)

Figure 5: Zonage d'interventions sylvicoles sur la base de la cartographie des types (parcelle 201 de la forêt indivise de Haguenau)



In der nördlichen Zone dominieren D-Typen. In dieser Zone kann entsprechend der Wiederbewaldungsleitlinie "IT2"[3] verfahren werden. Diese Leitlinie betrifft Jungwuchsbestände, in denen die Hauptwirtschaftsbaumarten mit einer Ausgangsdichte von 500 St/ha auftreten. 4 Jahre später soll die Gesamtdichte mindestens 1 000 St/ha betragen, wovon 700 St/ha auf Hauptwirtschaftsbaumarten entfallen müssen. Gefördert werden die Anlegung und Instandhaltung von Zugangslinien, und Ergänzungspflanzungen, sowie Pflegeeingriffe (Knicken, Ringeln) zugunsten standortgerechter Baumarten (OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, AGENCE DE HAGUENAU, pers.Mitt)

Die mittlere Zone ist ein Mosaik aus V-, C-, und D-Typen. Die Verjüngung ist nicht gehemmt (bei dem V-Typ handelt es sich um Blöße mit seltenen Jungwüchsen), eine Dynamik setzt ein: abhängig von der jeweitigen Prioritätensetzung wird entweder noch einige Jahre abgewartet oder punktuelle Eingriffe (Mischwuchsregulierung, Notqualifizierung[4]) werden geplant. In der südlichen Zone ist eine Pflanzung notwendig, da verjüngungsfeindlichen Pflanzenarten (gekennzeichnet mit dem Symbol, das einem Gras ähnelt) den Verjüngungsprozess stark hemmen.

[3] [3] IT steht für französisch "itinéraire de reconstitution" (d. h. Wiederbewaldungsleitlinie)

[4] In der QD-Waldbaustrategie der Landesforsten Rheinland-Pfalz ist mit Notqualifizierung das Entfernen einzelner besonders wüchsiger Grünäste oder sogar von kompletten Astquirlen bei fehlender Qualifizierung (Astreinigung) gemeint. (HETTESHEIMER, 2005)

3.2.2 Ergebnisse der Überprüfung der Jungwuchstypologie im Freiland

Um den Bestimmungsschlüssel und die Typologie zu prüfen, haben 13 Revierleiter an einer Übung teilgenommen. Sie sollten Jungwuchstypen anhand des Bestimmungsschlüssels identifizieren.

Tabelle 28: Ergebnisse des Praxistests zur Prüfung des Bestimmungsschlüssels - richtige und falsche Klassifikationen der neun Versuchs-Plots durch die Revierleiter

Tableau 28: Résultats du test de la clé typologique sur le terrrain: proportion de bonnes réponses et erreurs commises par les chefs de triage lors de la détermination des types sur les neuf placettes-tests

		Zuordnungen der 13 Revierleiter																	
Plotn°	Typ	V1	V2	V3	V4	S	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Richtig	%
1	D4						1							12				12	92%
2	C3		1	2				2	7					1				7	54%
3	D5									1			1		11			11	85%
4	C3			3	1		2	3	4									4	31%
5	D2							1			4	8						8	62%
6	V4	3	1	3	6													6	46%
7	V3	9		4														4	31%
8	C2			3				10										10	77%
9	V1	13																13	100%

In der Spalte "Typ" steht der tatsächliche Typ, den die Förster bestimmen sollten. Jedem dieser Typen gegenüber sind die Zuordnungen der Revierleiter angegeben. Die Zahl und der Prozentsatz der richtigen Antworten werden für jeden zu identifizierenden Typ gegeben.

Bei der Anwendung des Bestimmungsschlüssels steht an erster Stelle die Einschätzung der Gesamtdichte der Verjüngung. Dabei wurden sehr wenige Fehler gemacht. Die drei V-Typen wurden ohne Ausnahme als V-Typen bestimmt (Plots 6, 7, 9) und die drei D-Typen wurden nur in Ausnahmefällen als C-Typen identifiziert (Plots 1, 3, 5). Die falsche Einordnung der drei C-Typen in V-Typen kam häufiger vor (Plots 2, 4, 8).

Der Typ V1 "Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert "(Plot 9) wurde von allen Revierleitern richtig identifiziert. Hingegen wurden die Typen V3 "Blöße mit einzelnen Jungwüchsen" (Plot 7) und V4 "Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen" (Plot 6) manchmal entweder vertauscht, oder im Typ V1 eingeordnet.

Fast alle Revierleiter bestimmten die Typen D4 "Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit" und D5 "Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung" (Plots 1 und 3) richtig. Allerdings indentifizierte ein Drittel von ihnen hat aber den Typ D2 "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt" falsch als Typ D1 "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe".

Der Typ C2 "lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert" (Plot 8) wurde nur von drei Revierleitern als Typ V3 falsch eingeordnet, während der Typ C3 "lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit" falsch als Typ V2, V3, V4, C1 oder C2 falsch eingeordnet wurde (Plots 1 und 4).

3.2.3 Statistische Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen

3.2.3.1 Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen ohne Berücksichtigung der Variable "Gesamtdichte"

Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen

Zur statistischen Prüfung der Unterschiede zwischen den Typen, wurden in einem ersten Schritt die mittlere Distanz jedes Typs und der Gesamt-A-Wert berechnet. Je näher bei 0 die mittlere Distanz eines Typs liegt, desto homogener ist dieser Typ. Der Gesamt-A-Wert ist ein Maß für die Homogenität innerhalb der Typen: je näher er bei 1 liegt, desto homogener sind die Typen und desto besser lassen sie sich voneinander differenzieren.

Tabelle 29: Mittlere Distanzen der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung

Tableau 29: Distances moyennes des types de régénération définis par l'ONF

		Mittlere Distanz (MRPP)			
Typ	Plotanzahl	6684 BAGr	6478 BAGr	6684 BA	6478BA
S	72	0,071	0,000	0,435	0,403
C1	410	0,706	0,706	1,074	1,074
C2	487	0,113	0,000	0,618	0,551
C3	196	0,671	0,671	1,074	1,074
C4	588	0,710	0,695	1,100	1,092
D1	661	0,048	0,000	0,514	0,483
D2	1 166	0,492	0,476	0,673	0,654
D3	293	0,526	0,521	0,869	0,864
D4	1 030	0,842	0,842	1,113	1,113
D5	606	0,000	0,000	0,327	0,327
D6	626	0,000	0,000	1,124	1,124
D7	549	0,742	0,742	1,085	1,085
Mittelwert	557	0,410	0,388	0,834	0,820
Minimum	72	0,000	0,000	0,327	0,327
Maximum	1 166	0,842	0,842	1,124	1,124
Gesamt-A-Wert		0,537	0,549	0,262	0,268

BAGr steht für Baumartengruppe, BA für Baumart, 6 684 und 6 478 sind Anzahl der Plots. Die ersten zwei Spalten stellen die mittlere Distanz jedes Typs berechnet auf Basis der Dichte der Baumartengruppen dar, wobei in der linken Spalte die 206 "problematischen" Plots in der Analyse berücksichtigt werden, in der rechten Spalte nicht. Die letzen zwei Spalten beinhalten die Ergebnisse der Analyse auf Basis der Dichte der Baumarten mit (links) und ohne (rechts) die 206 "problematischen" Plots.

Wurden die Ergebnisse einerseits auf Basis der Dichte der Baumartengruppen und andererseits auf Basis der Dichte der Baumarten betrachtet, so zeigt sich, dass die mittlere Distanz der betroffenen Typen und der Gesamt-A-Wert besser waren und sich die Typen somit besser voneinander unterschieden, wenn die problematischen Plots bei der Analyse ausgelassen wurden. Aus diesen Gründen wurden nur noch die "unproblematischen" 6 478 Plots in die weiteren Analysen einbezogen.

Die Typen S "Verjüngung von Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe dominiert", C2 "lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert", D1 "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe", D5 "Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung", und D6 "Dichte Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung", die aus einer einzigen Baumartengruppe bestehen, wiesen bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen eine mittlere Distanz gleich null auf. Außer dem Typ D6 waren dies auch die Typen, die auf Basis der Dichte der Baumarten die geringeren mittleren Distanzen aufwiesen. Dies bestätigt, dass sie hinsichtlich der Baumarten(gruppen)zusammensetzung die homogensten Typen sind.

Paarweise Vergleiche

In einem zweiten Schritt wurden die Typen der französischen Forstverwaltung paarweise verglichen. Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse dieser paarweisen Vergleiche auf Basis der Dichte der Baumartengruppen dar. Die Signifikanz jedes Tests lag außer in einem Fall ($p < 0,05$) stets bei $p < 0,001$.

Tabelle 30: Paarweise Vergleiche der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung auf Basis der Dichte der Baumartengruppen und auf Basis der Dichte der Baumarten(n = 6 478 Plots)

Tableau 30: Comparaisons par paires des types de régénération définis par l'ONF sur la base de la densité des groupes d'essences et sur la base de la densité des essences (n = 6 478 placettes)

Typ	Vergleich auf Basis der Dichte der Baumartengruppen		Vergleich auf Basis der Dichte der Baumarten	
	signifikant unterschiedlich von	nicht signifikant unterschiedlich von	signifikant unterschiedlich von	nicht signifikant unterschiedlich von
S	C2, C3, D1, D3, D5, D6	C1, C4, D2, D4, D7	D5	C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D6, D7
C1	C2, D1, D2, D5, D6	S, C3, C4, D3, D4, D7		S, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7
C2	S, C1, C3, C4, D3, D4, D5, D6, D7	D1, D2	D5	S, C1, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D6, D7
C3	S, C2, D1, D5, D6	C1, C4, D2, D3, D4, D7		S, C1, C2, C4, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7
C4	C2, D1, D2, D5	S, C1, C3, D3, D4, D6, D7		S, C1, C2, C3, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7
D1	S, C1, C3, C4, D3, D4, D5, D6, D7	C2, D2	D5	S, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4, D6, D7
D2	C1, C4, D5, D6, D7	S, C2, C3, D1, D3, D4	D5	S, C1, C2, C3, C4, D1, D3, D4, D6, D7
D3	S, C2, D1, D5, D6	C1, C3, C4, D2, D4, D7	D5	S, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D4, D6, D7
D4	C2, D1, D5, D6	S, C1, C3, C4, D2, D3, D7		S, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D5, D6, D7
D5	S, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D6, D7		S, C2, D1, D2, D3, D6	C1, C3, C4, D4, D7
D6	S, C1, C2, C3, D1, D2, D3, D4, D5, D7	C4	D5	S, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D7
D7	C2, D1, D2, D5, D6	S, C1, C3, C4, D3, D4		S, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, D4, D5, D6
	A = 0,549		A = 0,268	

In den Anhängen 14 und 15 sind die Irrtumswahrscheinlichkeit p und der A-Wert jedes Vergleichs zu finden.

Auf Basis der Dichte der Baumartengruppen sind die Typen, die sich am besten von den anderen unterscheiden ließen, diejenigen, die aus einer einzelnen Baumartengruppe bestehen: zu den Typen C2 "lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert" und D1 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe") gehören nur Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe. Die Typen D5 ("Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung") und D6 ("Dichte Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung") bestehen exklusiv aus der entsprechenden Baumartengruppe. Der Typ S "Verjüngung von Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe dominiert", der nur Baumarten der *Serotina*-Baumartengruppe beinhaltet, hob sich nicht so deutlich von anderen Gruppen ab wie die obengenannten Typen. Dies könnte daran liegen, dass dieser Typ den anderen gegenüber unterrepräsentiert war (etwa 1% der Plots), was auf die geringe Anzahl der Plots, auf denen die *Serotina*-Baumartengruppe vorhanden war, zurückzuführen wäre.

Aus dieser Tabelle ergibt sich auch, dass zur Differenzierung der Typen die Gesamtdichte eine untergeordnete Rolle spielt. Die Typen C2 und D1, die beide nur aus der *Betula*-Baumartengruppe bestehen, aber eine unterschiedliche Gesamtdichte aufwiesen (D<2 000 St/ha beim Typ C2, D≥2 000 St/ha beim Typ D1) waren statistisch nicht signifikant unterschiedlich. Das Gleiche galt für die Typen C4 "lockere Verjüngung ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe" und D7 "Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt". Zu diesen beiden Typen gehören nur die Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten. Im Typ D7 ist die Gesamtdichte D≥2 000 St/ha, im Typ C4 ist D<2 000 St/ha. Diese beiden Typen wurden aber auch als statistisch nicht signifikant unterschiedlich definiert.

Auf Basis der Dichte der einzelnen Baumarten erwiesen sich sehr wenige Typen als statistisch signifikant unterschiedlich. Nur der Typ D5 "Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung", der exklusiv aus Nadelbaumarten mit einer Dichte D ≥ 2 000 St/ha besteht, ließ sich statistisch von mehreren anderen Typen unterscheiden. Trotzdem erwiesen sich die anderen Typen, die nur aus einer einzigen Baumartengruppe bestehen (Typen S, C2, D1, D6), als statistisch nicht unterschiedlich von allen anderen Typen außer von Typ D5.

Auf Basis der Dichte der Baumartengruppen waren der A-Wert höher, die mittleren Distanzen geringer und die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche besser als auf Basis der Dichte der Baumartengruppen. Dies bedeutet, dass die Jungwuchstypen aus Sicht der Baumartengruppen-zusammensetzung homogener sind und sich damit besser unterscheiden lassen, als aus Sicht der Baumartenzusammensetzung. Dies könnte daran liegen, dass die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung bei der Entwicklung der Jungwuchstypen neben der Gesamtdichte die Dichte der Baumartengruppen und nicht der einzelnen Baumarten berücksichtigt haben.

3.2.3.2 Unterscheidbarkeit der Jungwuchstypen mit Berücksichtigung der Variable "Gesamtdichte"

Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen

Die Gesamtdichte ist der Faktor, den die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung zur Bildung ihrer Typen an erster Stelle berücksichtigten. Bei den paarweisen Vergleichen spielte er aber anscheinend keine Rolle, da die aus derselben Baumartengruppe bestehenden Typen, die verschiedene Dichte aufweisen, sich statistisch nicht unterscheiden ließen. Aus diesen Gründen wurden die paarweisen Vergleiche ein weiteres Mal durchgeführt, wobei die Gesamtdichte neben der Dichte der Baumarten bzw. der Baumartengruppen integriert wurde. Diese Vorgehensweise ist statistisch nicht sinnvoll, weil die Variable "Gesamtdichte" zwar indirekt aber trotzdem schon durch die Dichte der Baumarten bzw. der Baumartengruppen angezeigt wird.
Die mittlere Distanz jedes Typs wurde auf dieser neuen Basis berechnet und mit derjenigen verglichen, die sich aus der Analyse ohne die Gesamtdichte ergab.

Tabelle 31: Mittlere Distanzen der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung mit und ohne Berücksichtigung der Gesamtdichte (n = 6 478 Plots)

Tableau 31: Distances moyennes des types de régénération définis par l'ONF avec et sans intégration de la variable "densité totale"(n = 6 478 placettes)

		Mittlere Distanz (MRPP)*			
		BAGr		BA	
Typ	Plotanzahl	mit Dgst	ohne Dgst	mit Dgst	ohne Dgst
S	66	0,000	0,000	0,283	0,403
C1	613	0,499	0,706	0,760	1,074
C2	1 066	0,000	0,000	0,386	0,551
C3	320	0,390	0,671	0,610	1,074
C4	606	0,486	0,695	0,738	1,092
D1	626	0,000	0,000	0,337	0,483
D2	549	0,291	0,476	0,386	0,654
D3	1 030	0,322	0,521	0,499	0,864
D4	422	0,512	0,842	0,643	1,113
D5	574	0,000	0,000	0,228	0,327
D6	196	0,000	0,000	0,743	1,124
D7	410	0,470	0,742	0,650	1,085
Mittelwert	540	0,248	0,388	0,522	0,820
Minimum	66	0,000	0,000	0,228	0,327
Maximum	1 066	0,512	0,842	0,760	1,124
A-Wert		0,571	0,549	0,282	0,268

BAGr steht für Baumartengruppe, BA für Baumart, Dgst für Gesamtdichte. Die ersten zwei Spalten stellen die mittlere Distanz jedes Typs berechnet auf Basis der Dichte der Baumartengruppen, wobei in der linken Spalte die Gesamtdichte berücksichtigt wurde, in der rechten Spalte nicht, dar. Die letzen zwei Spalten beinhalten die Ergebnisse der Analyse auf Basis der Dichte der Baumarten mit (links) und ohne (rechts) Berücksichtigung der Gesamtdichte.

Die Gesamt-A-Werte verbesserten sich mit Berücksichtigung der Gesamtdichte geringfügig: 0,571 statt 0,549 bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen, und 0,282 statt 0,268 bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumarten. Bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumarten verbesserten sich alle mittlere Distanzen, und bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen diejenigen, die nicht von vornherein gleich null waren. Dies bedeutet, dass die Typen sich statistisch besser unterscheiden lassen, wenn neben der Dichte der Baumartengruppen bzw. der Baumarten auch die Gesamtdichte berücksichtigt wird.

Paarweise Vergleiche

Die Typen wurden anschließend auf Basis der Dichte der Baumartengruppen sowie auf Basis der Dichte der einzelnen Baumarten mit Berücksichtigung der Gesamtdichte erneut paarweise verglichen. Alle Vergleiche waren höchst signifikant ($p < 0,001$), außer in einem Fall ($p \leq 0,05$). Im Anhang (16 u. 17)sind die Irrtumswahrscheinlichkeit p und der A-Wert jedes Vergleichs zu finden.

Im Vergleich zu der Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen (s. Tab. 30), die die Gesamtdichte nicht berücksichtigte, waren 61 % der neuen A-Werte höher und 21 % gleich. Trotzdem wurden nur die Typen D1 und D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-

Baumartengruppe" und "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt") zusätzlich differenziert. Die Typen, die aus der-/denselben Baumartengruppe(n) bestehen aber eine unterschiedliche Gesamtdichte aufwiesen, unterschieden sich nicht besser. So ergaben sich die Typen C2 und D1 ("lockere - 500≤D<2 000 St/ha - Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert" und "Dichte - D≥2 000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe", C4 und D7 ("lockere – 500<D<2 000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe" und "Dichte - D≥2 000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt") wieder als statistisch nicht unterschiedlich.

Bei der Analyse auf Basis der Dichte der Baumarten waren 71 % der neuen A-Werte höher als diejenigen aus der Analyse ohne die Gesamtdichte. Trotzdem differenzierten sich im Vergleich zu der Tabelle 30 nur die Typen D1 und D7 zusätzlich.

Die Berücksichtigung der Gesamtdichte erbrachte keine deutliche Verbesserung in der Differenzierung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung mit sich. Deswegen wurde diese Variable in die folgenden Analysen nicht weiter miteinbezogen.

3.2.4 Charakterisierung der Typen

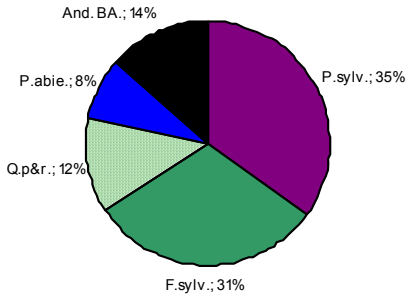
3.2.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten

Baumartenzusammensetzung und mittlere Dichte der Hauptbaumarten

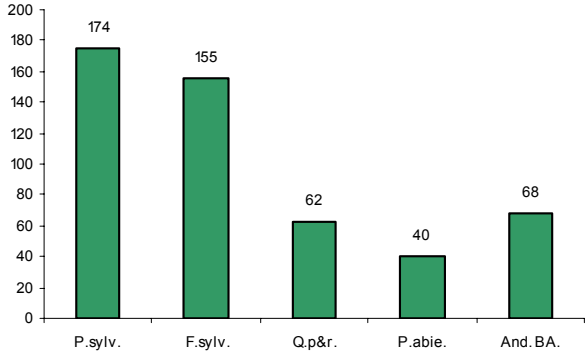
Für jeden Typ wurde eine Zusammenfassung erstellt, die die für die französischen Forstleute relevanten Variablen grafisch oder in Form einer Tabelle darstellte (für alle Typen außer V1 bis V4: Baumartenzusammensetzung; mittlere Dichte, Höhe, Qualität und Verbissgrad der Hauptbaumarten; häufigste Arten der Konkurrenzvegetation, am häufigsten assoziierte potenzielle natürliche Vegetationstypen; und Häufigkeit der Schlagabraumstufen, s. Anhang 12. Im Folgenden werden nur Grafiken für die Baumartenzusammensetzung und die mittlere Dichte der Hauptbaumarten abgebildet.

Baumartenzusammensetzung der Jungwuchstypen und mittlere Dichte der Hauptbaumarten (St/ha)

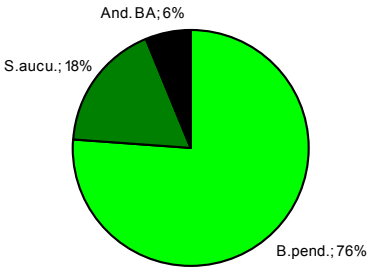
C1



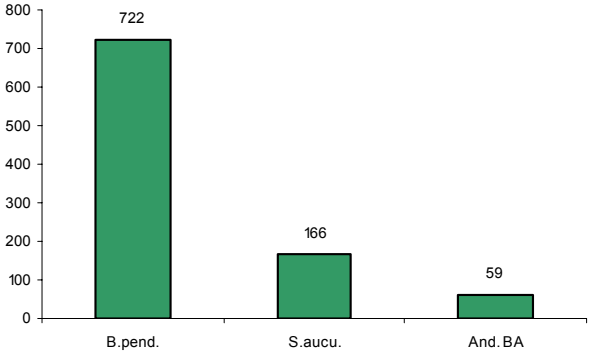
C1



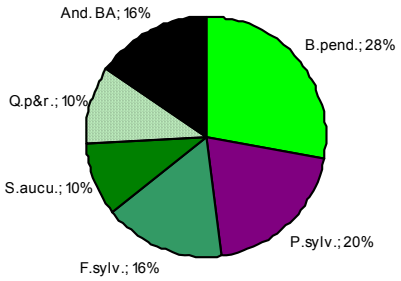
C2



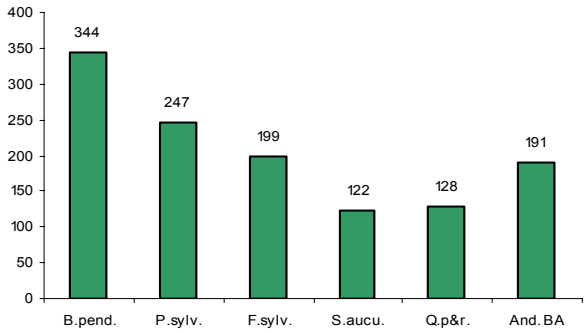
C2



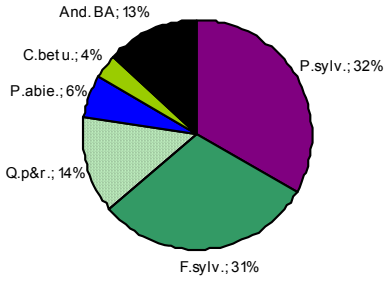
C3



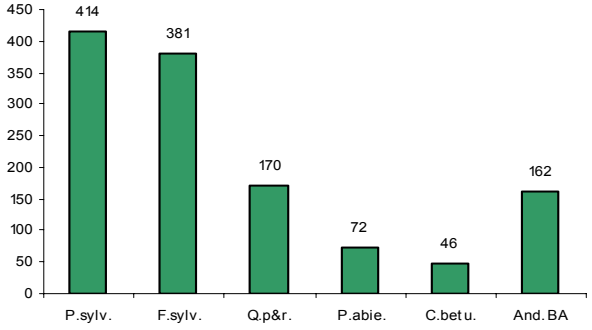
C3



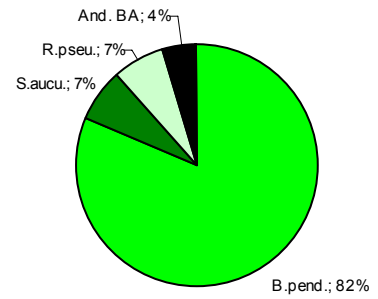
C4



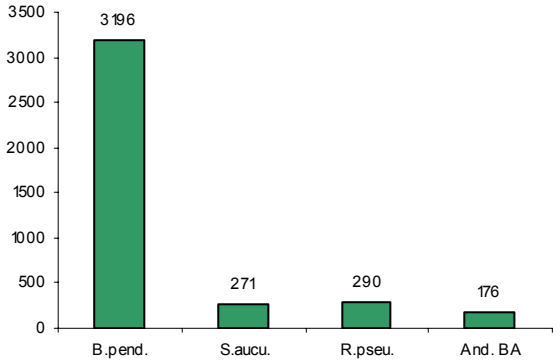
C4



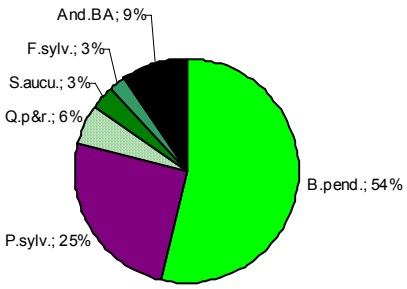
D1



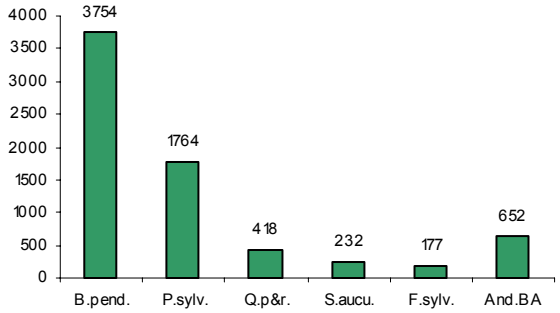
D1



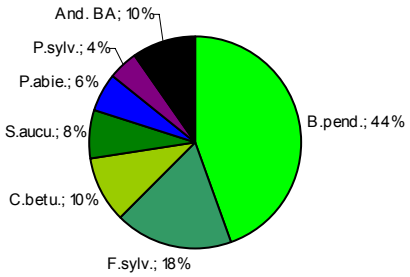
D2



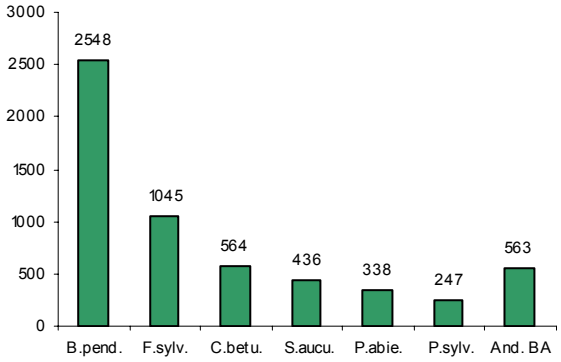
D2



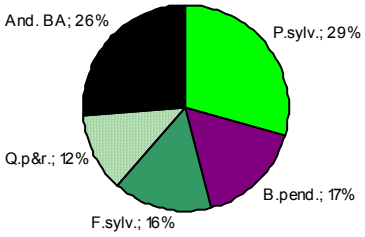
D3



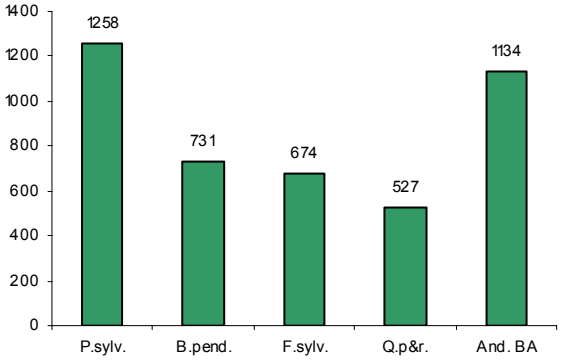
D3



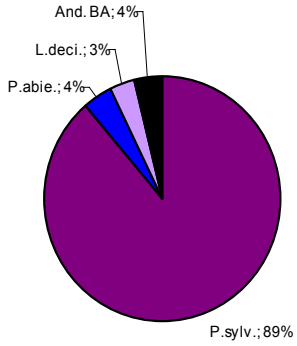
D4



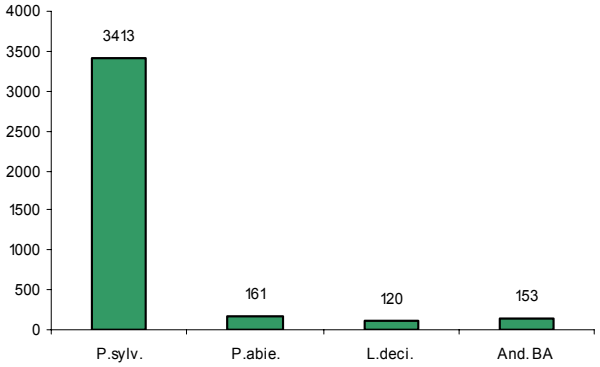
D4



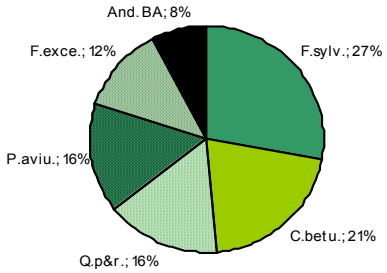
D5



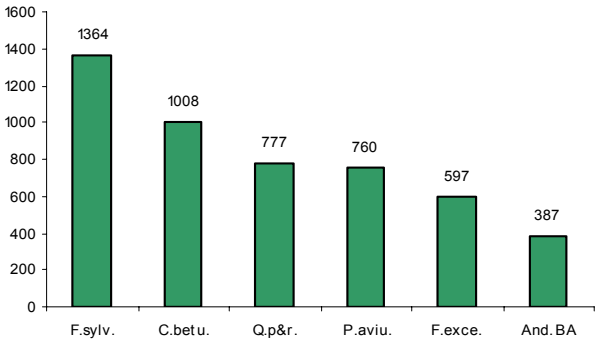
D5



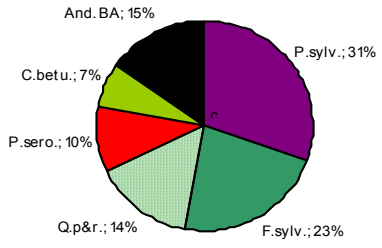
D6



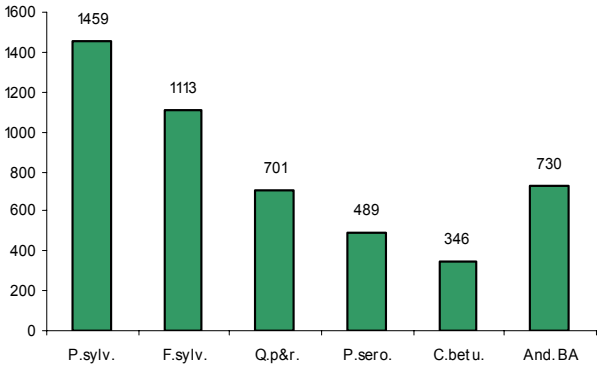
D6



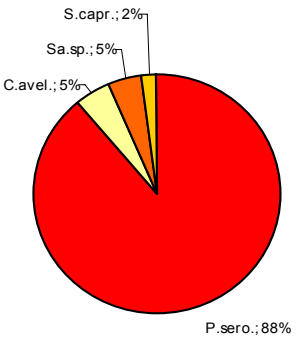
D7



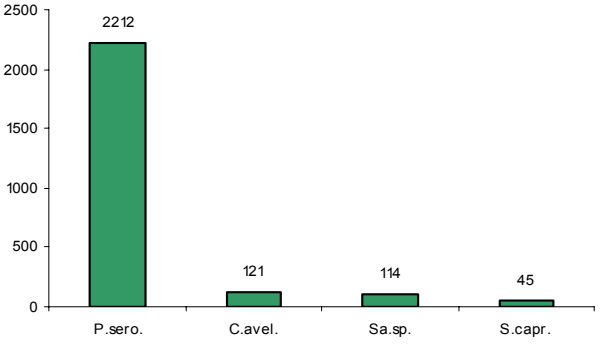
D7



S



S



Gesamtdichte

In der folgenden Tabelle wurden die statistischen Kennwerte der Gesamtdichte der Jungwüchse bei den Typen der französischen Forstverwaltung zusammengefasst:

Tabelle 32: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Typen der französischen Forstverwaltung (n = 8 039 Plots)

Tableau 32: Valeurs statistiques de la densité totale de la régénération au sein des types de régénération définis par l'ONF (n = 8 039 placettes)

	Gesamtdichte (St/ha)					
Typ	Mittelwert	Minimum	Maximum	Median	Standard-abweichung	Variations-koeffizient
S	2 403	500	5 000	2 000	1 426	59%
C1	500	500	500	500	0	0%
C2	1 021	500	1 500	1 000	419	41%
C3	1 232	1 000	1 500	1 000	249	20%
C4	1 245	1 000	1 500	1 000	250	20%
D1	3 973	2 000	10 000	4 000	1 448	36%
D2	6 754	2 500	20 000	6 500	2 393	35%
D3	6 635	2 500	18 000	6 000	2 842	43%
D4	4 323	2 000	14 500	4 000	2 066	48%
D5	3 847	2 000	10 500	4 000	1 282	33%
D6	4 893	2 000	17 000	5 000	2 637	54%
D7	4 839	2 000	13 000	4 500	2 320	48%

Der durchschnittlicher Variationskoeffizient beträgt 37%.

3.2.4.2 Leitbaumartengruppen, Leitbaumarten und Leitpflanzenarten

Leitbaumartengruppen und Leitbaumarten der Jungwuchstypen

Als Leitbaumart eines Jungwuchstyps wurde eine Baumart betrachtet, die bei der *Indicator Species Analysis* bei diesem Typ einen viel höheren Indikatorwert als bei den anderen Typen aufwies. Zuerst sollten hier die maximalen Indikatorwerte der Baumarten betrachtet werden: je höher dieser Wert ist, desto besser ist die Indikatoreigenschaft der Baumart, sprich die Wahrscheinlichkeit, dass diese Baumart einen Typ kennzeichnet.

Tabelle 33: Maximale Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten und ihre statistische Signifikanz für die Differenzierung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)

Tableau 33: Valeurs indicatrices maximales (MIW) des groupe d'essences / des essences et probabilité critique p associée, exprimées pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes)

		MIW	p			MIW	p
	Serotina-Baumartengruppe	74,1	***				
	Wirtschaftsnadelbaumartengruppe	37,4	***				
	Wirtschaftslaubbaumartengruppe	35,0	***				
	Betula-Baumartengruppe	28,4	***				
1	*Prunus serotina*	66,1	***	13	*Salix caprea*	4,1	***
2	*Pinus sylvestris*	34,8	***	14	*Acer campestre*	2,6	***
3	*Betula pendula.*	30,2	***	15	*Acer pseudoplatanus*	2,6	***
4	*Prunus avium*	16,3	***	16	*Salix sp.*	2,6	***
5	*Fagus sylvatica*	14,7	***	17	*Larix decicua*	2,4	**
6	*Carpinus betulus*	13,5	***	18	*Pinus sp.*	2,2	**
7	*Fraxinus excelsior*	12,8	***	19	*Quercus rubra*	2,0	**
8	*Quercus petraea & Q. robur*	9,9	***	20	*Populus tremula*	1,6	**
9	*Sorbus aucuparia*	9,7	***	21	*Pinus strobus*	1,5	*
10	*Picea abies*	9,6	***	22	*Alnus sp.*	1,3	*
11	*Corylus avellana*	5,4	***	23	*Castanea sativa*	0,9	*
12	*Robinia pseudacacia*	4,8	***	24	*Taxus baccata*	0,5	*

Aufgeführt sind nur die Baumarten, die einen statistisch signifikanten maximalen Indikatorwert aufwiesen (d. h. mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$). MIW steht für maximaler Indikatorwert, p für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Die p-Werte wurden mit folgenden Symbolen gekennzeichnet: ***: $p \leq 0,001$ (höchst signifikant); **: $0,001 < p \leq 0,01$ (sehr signifikant); *: $0,01 < p \leq 0,05$ (signifikant).

Den höchsten Indikatorwert hatte bei weitem die *Serotina*-Baumartengruppe. *P. serotina*, häufigste Baumart dieser Gruppe, hatte auch unter allen Baumarten bei weitem den besten Indikatorwert. Es folgen *P. sylvestris*, die häufigste Baumart der Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten, und *B. pendula, die* häufigste Baumart der *Betula*-Baumartengruppe. Die nächsten Baumarten mit einem Indikatorwert größer als 10: *P. avium, F. sylvatica, C. betulus,* und *F. excelsior*, gehören zur Baumartengruppe der Wirtschaftslaubbaumarten. Für die Analyse der Indikatorwerte der Baumarten pro Typ wurden nur diese sieben Baumarten berücksichtigt.

Tabelle 34: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)

Tableau 34: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences ayant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes)

Typ	S	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Serotina-Gruppe	74	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5
Betula-Gruppe	0	0	7	4	0	28	28	27	7	0	0	0
Wirtschaftslaubbaumarten	0	1	0	2	4	0	2	13	8	0	37	18
Wirtschaftsnadelbaumarten	0	1	0	1	2	0	16	3	8	35	0	13
Betula pendula	0	0	5	2	0	24	30	22	5	0	0	0
Carpinus betulus	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	13	2
Fagus sylvatica	0	1	0	1	3	0	1	15	5	0	13	12
Fraxinus excelsior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
Pinus sylvestris	0	1	0	1	2	0	14	1	7	35	0	11
Prunus avium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
Prunus serotina	66	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3

Die Tabelle der Indikatorwerte aller Baumarten ist im Anhang 20 zu finden.

Die besten Indikatorwerte ergaben sich bei den Typen, die nur eine Baumartengruppe beinhalten, d.h. bei den Typen S, D1 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe"), D5 ("Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung") , D6 ("Dichte Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung") mit Ausnahme des Typs C2 ("lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert"). Wie der Typ D,1 besteht er nur aus der *Betula*-Baumartengruppe, wies aber niedrigere Indikatorwerte auf. Der einzige Unterschied zwischen diesen beiden Typen war die Dichte der Baumartengruppe. Sie war beim Typ D1 größer oder gleich 2 000 St/ha, beim Typ C2 kleiner als 2 000 St/ha. Außerdem waren bei den C-Typen, die alle eine Gesamtdichte kleiner als 2 000 St/ha aufwiesen, die Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten sehr niedrig. Beim Typ D4 ("Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit"), der eine Gesamtdichte D≥2 000 St/ha aufwies aber aus drei beigemischten Baumartengruppen besteht, waren die Indikatorwerte auch niedrig.

Die Ergebnisse entsprachen der Baumartengruppenzusammensetzung der Typen. Die *Serotina*-Baumartengruppe ergab sich als die Leitbaumartengruppe des Typs S, die *Betula*-Baumartengruppe als die der Typen C2 und D1, die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten als die des Typs D5 und die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten als die des Typs D6. Wirtschaftslaubbaumarten und Wirtschaftsnadelbaumarten erwiesen sich als die Leitbaumartengruppen der Typen C1 ("sehr lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Baumarten der Betula-Baumartengruppe"), C4 ("lockere Verjüngung aus Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe") und D7 ("Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt"), sowie, zusammen mit der *Betula*-Gruppe, des Typs D4. Die *Betula*-Gruppe und die Gruppe der

Wirtschaftsnadelbaumarten erwiesen sich als die Leitbaumartengruppen des Typs D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt). Für den Typ D3 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten beigemisch") ergaben sich die *Betula*-Gruppe und die Gruppe der Laubbaumarten als Leitbaumartengruppen. Bemerkenswert ist, dass beim Typ C3 ("lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit) die *Betula*-Gruppe einen höheren Indikatorwert aufwies, als die Gruppen der Wirtschaftslaub- und Wirtschaftsnadelbaumarten.

Als Leitbaumarten der Typen ergaben sich die häufigsten Baumarten der entsprechenden Baumartengruppen. So ist *P. serotina* die Leitbaumart des Typs S und *B. pendula* der Typen D1, D2, D3 und C2. Nach *B. pendula* hatten *F. sylvatica* und *C. betulus*, die beide Schattbaumarten sind, die höchsten Indikatorwerte beim Typ D3. Bei dem Typ D2 ist es die Lichtbaumart *P. sylvestris,* die nach *B. pendula* den höchsten Indikatorwert aufwies. Infolge der Vorgehensweise bei der Einordnung der Plots sind einige Schattbaumarten (z.B. *F. sylvatica*) im Typ D2, sowie einige Lichtbaumarten (z.B. *P. sylvestris*) im Typ D3 vorhanden. Dem Typ D2 bzw. dem Typ D3 wurden nämlich Plots eingeordnet, auf denen es gleichzeitig Schattbaumarten und Lichtbaumarten (als Nebenbaumarten der Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe) gab, wenn die Lichtbaumarten bzw. die Schattbaumarten die höchste Dichte aufwiesen. *P. sylvestris* ist die Leitbaumart des Typs D5 und mit *F. sylvatica* des Typs D7. Im Typ D6 sind *C. betulus, F. sylvatica*, *F. excelsior* und *P. avium* Leitbaumarten. *B. pendula, F. sylvatica*, und *P. sylvestris* können als Leitbaumarten der Typen C3 und D4 betrachtet werden, und ebenso wie *F. sylvatica* und *P. sylvestris* für die Typen C1 und C4. Die folgende Tabelle fasst diese Ergebnisse zusammen.

Tabelle 35: Leitbaumarten der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)
Tableau 35: Essences indicatrices des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes)

Typ	Leitbaumarten
S	***Prunus Serotina***
C1	*Fagus sylvatica, Pinus sylvestris*
C2	***Betula pendula***
C3	*Betula pendula, Fagus sylvatica, Pinus sylvestris*
C4	*Fagus sylvatica, Pinus sylvestris*
D1	***Betula pendula***
D2	***Betula pendula,*** *Pinus sylvestris*
D3	***Betula pendula,*** *Fagus sylvatica*
D4	*Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Betula pendula*
D5	***Pinus sylvestris***
D6	***Carpinus betulus, Prunus avium, Fagus sylvatica, Fraxinus excelsior***
D7	***Fagus sylvatica, Pinus sylvestris***

Die Leitbaumarten eines Typs sind, mit Ausnahme des Typs D6, die häufigsten (hinsichtlich der Stammzahl) Baumarten dieses Typs. Beim Typ D6 ("Dichte Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung")

wurde *F. excelsior* als Leitbaumart bezeichnet. Diese Baumart nimmt einen geringeren Anteil an der Gesamtstammzahl als *Q. petraea & Q. robur* ein, hat aber einen höheren Indikatorwert.

Leitpflanzenarten

Anhand einer *Indicator Species Analysis* konnte, wie bei den Baumarten, bestimmt werden, ob Pflanzenarten der Bodenvegetation als Leitarten von bestimmten Jungwuchstypen betrachtet werden könnten. Wie unter dem obenliegenden Kapitel erläutert, wurden auf der Grundlage der maximalen Indikatorwerte aller Arten diejenigen ausgewählt, die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit Leitarten von Typen sein konnten (je höher der maximale Indikatorwert, desto besser die Indikatoreigenschaft der Pflanzenart). Die Indikatorwerte der ausgewählten Arten wurden dann pro Typ betrachtet.

Tabelle 36: Maximale Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation* und ihre statistische Signifikanz für die Differenzierung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)

Tableau 36: Valeurs indicatrices maximales des espèces de la végétation concurrente, et probabilité critique associée, exprimées pour chacun des types de régénération définis par l'ONF (n = 6 478 placettes)

		ISA	
	Pflanzenart	MIW	p
1	*Molinia caerulea*	11,2	***
2	*Pteridium aquilinum*	10,5	***
3	*Rubus fruticosus*	10,5	***
4	*Deschampsia flexuosa*	9,6	**
5	*Cytisus scoparius*	9,4	**
6	*Vaccinium myrtillus*	9,3	***
7	*Frangula alnus*	9,1	**
8	*Juncus sp.*	9,1	**
10	*Calluna vulgaris*	8,8	*
11	*Deschampsia cespitosa*	8,7	*
12	*Luzula sp.*	8,7	*
13	*Calamagrostis sp.*	8,6	*
14	*Moose*	8,4	*

*Aufgeführt sind nur die Arten, die einen statistisch signifikanten maximalen Indikatorwert aufwiesen (d. h. mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$). MIW steht für maximaler Indikatorwert, p für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Die p-Werte wurden mit folgenden Symbolen gekennzeichnet: ***: $p \leq 0,001$ (höchst signifikant); **: $0,001 < p \leq 0,01$ (sehr signifikant); *: $0,01 < p \leq 0,05$ (signifikant).

Viele Teste waren nicht signifikant, so dass wenige Arten berücksichtigt werden konnten. Die Indikatorwerte variierten wenig (von 8,3 bis 11,2). Die acht Arten, die die höchsten Indikatorwerte aufwiesen (*Molinia caerulea*, *Pteridium aquilinum*, *Rubus fruticosus*, *Deschampsia flexusosa*, *Cytisus scoparius*, *Vaccinium myrtillus*, *Frangula alnus*, und *Juncus sp.*) sind auch diejenigen, die bezüglich

der Plotanzahl die häufigsten waren. Die folgende Tabelle stellt die Indikatorwerte dieser acht häufigsten Arten bei jedem Jungwuchstyp dar.

Tabelle 37: Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plot)

Tableau 37: Valeurs indicatrices des espèces de la végétation concurrente ayant les valeurs indicatrices maximales présentées pour chaque type de régénération défini par l'ONF (n = 6 478 placettes).

	S	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Cytisus scoparius	7	8	8	8	9	9	7	8	8	9	9	8
Deschampsia flexuosa	7	8	9	8	8	10	9	9	8	8	8	8
Frangula alnus	8	8	8	8	8	8	9	8	8	9	9	9
Juncus sp.	8	9	8	9	9	8	8	8	8	9	9	8
Molinia caerulea	11	9	8	9	9	7	6	7	8	7	11	9
Pteridium aquilinum	9	7	7	8	8	9	9	9	9	7	10	9
Rubus fruticosus	9	10	8	8	9	8	7	6	7	10	8	8
Vaccinium myrtillus	9	8	9	8	8	9	8	8	8	9	9	8

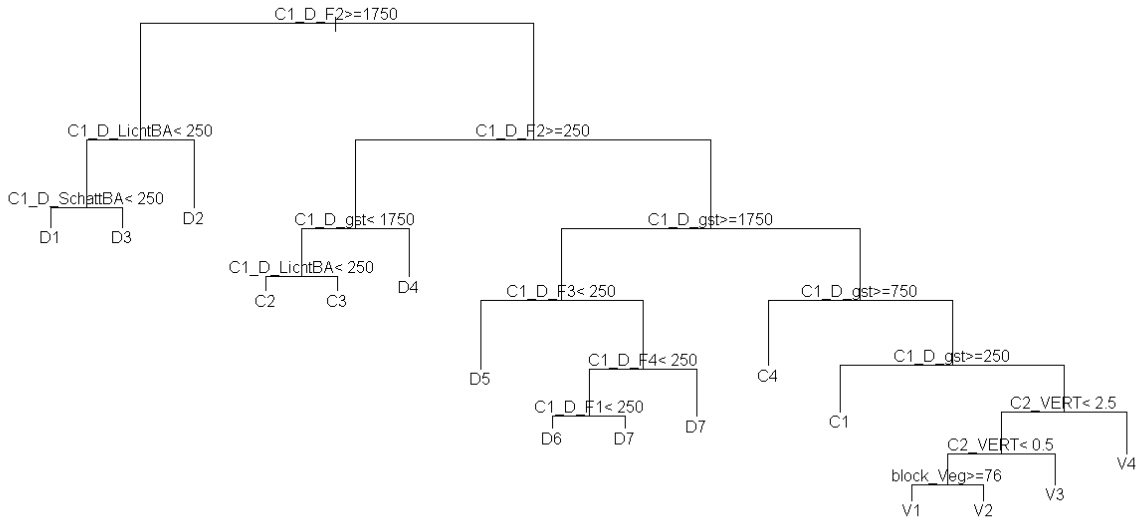
Im Anhang 24 findet sich die Tabelle für die Indikatorwerte jeder Art bei jedem Typ.
Die Indikatorwerte der Arten liegen sehr nah aneinander. Keine Art konnte als Leitart eines Typs definiert werden.

3.2.4.3 *Classification tree*

Der *classification tree* kann als ein "statistischer Bestimmungsschlüssel" für die Typen betrachtet werden. Der *classification tree* - Analyse wurden dieselben Variablen unterzogen, die zur Bildung der Typen verwendet worden waren (Dichte der vier Baumartengruppen, Dichte der Licht- und der Schattbaumarten, Verteilung der Jungwüchsen im Kreis C2 und Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation). Somit konnten für diese Variablen die Werte bestimmt werden, die bei der statistischen Differenzierung der Typen eine Rolle spielen.

Abbildung 6: *classification tree* für die Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (n = 8 039 Plots)

Figure 6: Arbre de classification des types de régénération définis par l'ONF (n = 8 039 placettes)



C1 steht für die im Kreis C1 aufgenommenen Variablen, D steht für Dichte, gst für Gesamt(dichte), F1 für die *Serotina*-Baumartengruppe, F2 für die *Betula*-Baumartengruppe, F3 für die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten, F4 für die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten, LichtBA für die Lichtbaumarten, SchattBA für die Schattbaumarten, C2_VERT für die Verteilung der Verjüngung im Kreis C2, block_Veg für die blockierende Bodenvegetation.

An jeder Verzweigung ist die jeweils zu erfüllende Bedingung aufgeführt. Der linke Ast bezeichnet jeweils die Plots, die die Bedingung erfüllen. Geht man zum Beispiel: von einer Dichte der *Betula*-Baumartengruppe ≥ 1 750 St/ha, einer Dichte der Lichtbaumarten < 250 St/ha und einer Dichte der Schattbaumarten < 250 St/ha aus, so kommt man zum Typ D1. Im Gegensatz zu dem Dendrogramm einer Clusteranalyse hat die Astlänge bei einem *classification tree* keine Bedeutung. Auf die Darstellung der *Confusion Matrix* wurde verzichtet, da es sich bei der vorliegende Analyse um eine reine Visualisierung handelt, und nicht um eine unabhängige Analyse.

Der *classification tree* lieferte für die Gesamtdichte die Grenzwerte: 250 St/ha, 750 St/ha und 1 750 St/ha. Da ein Baum im Kreis C1 500 St/ha entsprach, konnten diese Werte folgendermaßen "korrigiert" werden:

Im Folgenden bezeichnet n die Zahl der Jungwüchse im Kreis C1 und D die Gesamtdichte:

D<250 St/ha ↔ n<0,5 ↔ n = 0 ↔ D = 0 St/ha

D<750 St/ha ↔ n<1,5 ↔ n = 1 ↔ D = 500 St/ha

D<1750 St/ha ↔ n<3,5 ↔ n = 0, 1, 2 oder 3 ↔ D≤1 500 St/ha ↔ D<2 000 St/ha

Die Grenzwerte für die Gesamtsdichte, die der *classification tree* – Analyse ergab, entsprachen denjenigen, die die Förster festgelegt hatten (s. Kapitel 3.2.1). So führt m *tree* eine Gesamtdichte ≥1 750 St/ha immer zu einem D-Typ, während bei C-Typen und V-Typen die Gesamtdichte immer ≤1 750 St/ha ist. Dies geht mit den Kriterien der französichen Forstverwaltung konform, da hier die D-Typen durch eine Gesamtdichte ≥2 000 St/ha gekennzeichnet sind, während die C- und D-Typen eine

Gesamtdichte <2 000 St/ha aufweisen sollen. Im *tree* differenziert der Wert 250 St/ha den Typ C1 "sehr lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe" von den V-Typen, bei denen die Gesamtdichte immer kleiner als 250 St/ha ist. Dies bedeutet, dass im Gegenteil zu dem Typ C1 die Gesamtdichte der V-Typen gleich null ist, was der Einteilung der französischen Forstverwaltung wiederum entspricht.

Die verschiedenen C- und D-Typen wurden im *tree* auf Basis der Gesamtdichte und der relativen Dichten der Baumartengruppen differenziert. Die im *tree* angegebenen Dichte-Werten stimmen mit denen von der französischen Forstverwaltung festgelegten Kriterien zur Differenzierung dieser Typen überein.

Für die vier Baumartengruppen, sowie für die Lichtbaumarten und Schattbaumarten lieferte der *tree* den Wert von 250 St/ha. Diesem Kriterium entspracht die Anwesenheit oder die Abwesenheit der betroffenen Baumartengruppe, was mit den Kriterien der französischen Forstverwaltung konform geht. Beipielweise führt eine Gesamtdichte >1 750 St/ha (oder ≥2 000 St/ha) mit einer Dichte der *Betula*-Baumartengruppe ≥250 St/ha und <1 750 St/ha (Anwesenheit dieser Baumartengruppe aber mit einer Dichte < 2 000 St/ha) zum Typ D4 ("Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit").

Für die *Betula*-Baumartengruppe spielt auch der Wert 1 750 St/ha eine Rolle, wobei eine Dichte dieser Gruppe ≥1 750 St/ha zu den Typen D1, D2 und D3 führt (jeweils "Dichte - D≥2 000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe", "Dichte - D≥2 000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt" und "Dichte - D≥2 000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten beigemischt"). Dieser Wert kann somit als die quantitative "Übersetzung" des Kriteriums der Dominanz dieser Baumartengruppe gegenüber den anderen Baumartengruppen angesehen werden.

Der *tree* bestätigte auch die Kriterien, die die französische Forstverwaltung zur Differenzierung der vier V-Typen festgelegt hatte. Im *tree* ist der Typ V4 "Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen" durch eine Verteilung im Kreis C2 ≥ 2,5, d. h. gleich 3 (gruppenweise Verjüngung) oder 4 (komplette Verjüngung) gekennzeichnet, während beim Typ V3 ("Blöße mit einzelnen Jungwüchsen") die Verteilung im Kreis C2 gleich 1 (selten) oder 2 (einzeln) ist. Dies entspricht genau den Kriterien der französischen Forstverwaltung. Im *tree* ist bei den Typen V2 ("Blöße von der Konkurrenzvegetation teilweise überwuchert") und V1 ("Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert") die Verteilung im Kreis C2 gleich 0 (C2 ist unbestockt), wobei beim Typ V1 die hemmende Konkurrenzvegetation mehr als 75% des Plots bedeckt. Dies geht wieder mit den Kriterien der französischen Forstverwaltung konform.

Trotzdem lieferte der *tree* zwei Ergebnisse, die den Kriterien der französischen Forstverwaltung nicht entsprachen:

- die Differenzierung der Typen C2 und C3 (jeweils "lockere - 500≤D<2 000 St/ha - Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert" und "lockere - 500<D<2 000 St/ha -

Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit") auf Basis der Dichte der Lichtbaumarten

- die Tatsache, dass die Dichte der *Serotina*-Baumartengruppe bei der Unterscheidbarkeit der Typen D6 und D7 ("Dichte - D≥2 000 St/ha - Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung" und "Dichte - D≥ 2000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt") eine Rolle spielt.

Außerdem fehlt im *tree* der Typ S. Dies bedeutet, dass dieser Typ anhand der Kriterien, die im *tree* zur Differenzierung der Typen herangezogen wurden, von den anderen Typen nicht unterschieden werden konnte. Dagegen tritt der Typ D7 zweimal auf, da zwei verschiedenen Bedingungen erlauben, ihn vom Typ D6 zu differenzieren.

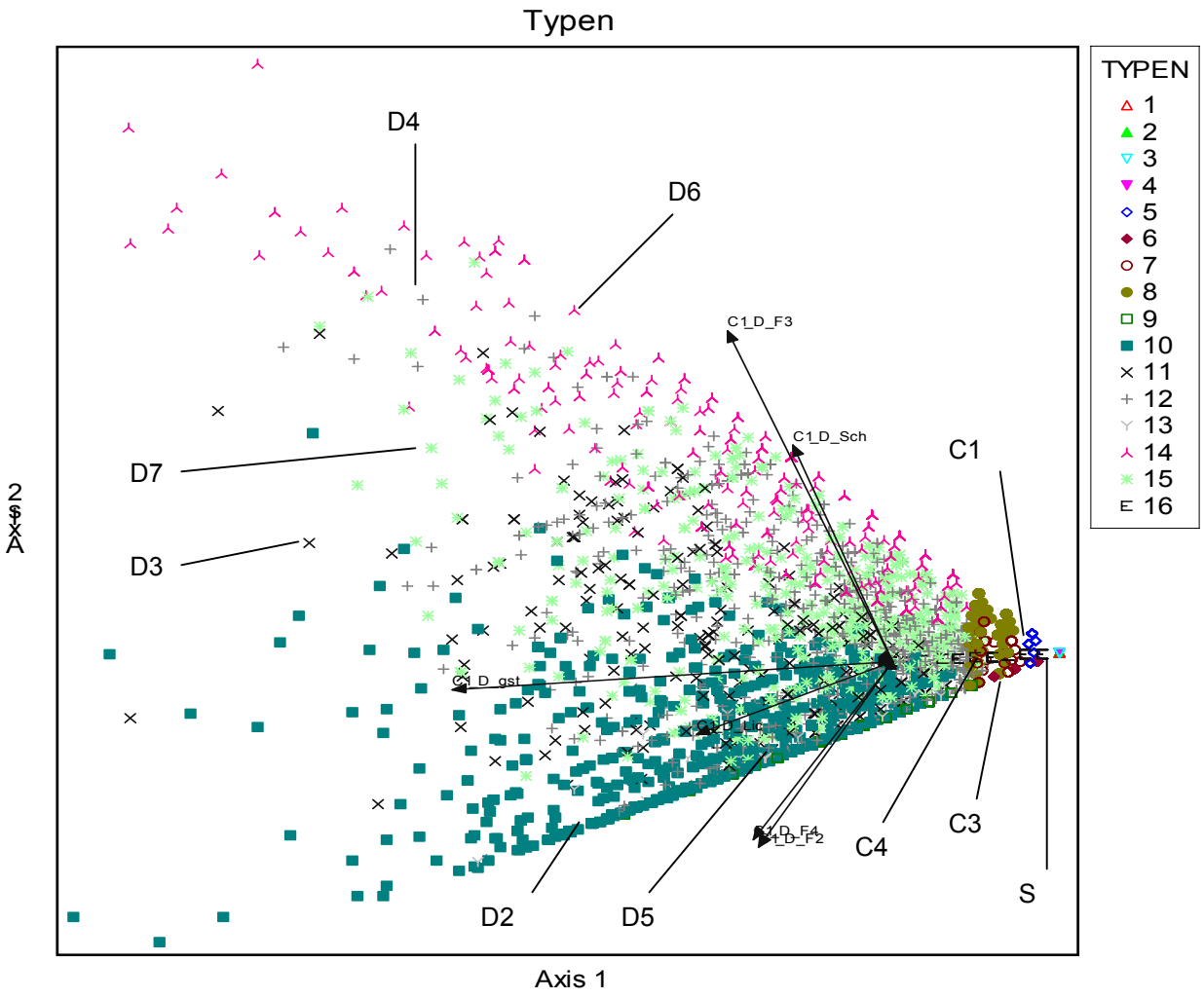
Mit wenigen Ausnahmen bestätigt dieser *classification tree* also die Kriterien, die die französische Forstverwaltung zur Bildung ihrer Jungwuchstypen ausgewählt hatte.

3.2.4.4 Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse

Die Kombination der Verfahren *Variance/Covariance (centered)* und *distance-based biplots* mit nicht-standardisierten Daten ergab für die Typen der französischen Forstverwaltung sowie für die Cluster die am besten verwertbaren Grafiken. Deswegen wurde die Hauptkomponentenanalyse für die Typen sowie für die Cluster anhand dieser Verfahren durchgeführt.

Abbildung 7: Verteilung der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse

Figure 7: Représentation des types de régénération définis par l'ONF dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances



Jedes Symbol stellt einen Plot dar. Die unterschiedlichen Symbole entsprechen den unterschiedlichen Typen. Die Pfeile stellen die Variablen, die die französische Forstverwaltung zur Bildung ihrer Typen berücksichtigt hat, dar. Die Variable ist umso bedeutender, je länger der Pfeil ist.
C1 steht für die im Kreis C1 aufgenommenen Variablen, D steht für Dichte, gst für Gesamt(dichte), F2 für die *Betula*-Baumartengruppe, F3 für die Baumartengruppe der Wirtschaftslaubbaumarten, F4 für die Baumartengruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten, Lic für die Lichtbaumarten und Sch für die Schattbaumarten.

Tabelle 38: Übereinstimmung zwischen den Nummern und den Jungwuchstypen

Tableau 38: Correspondance entre les numéros et les types de régénération

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Typ	V1	V2	V3	V4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	S

Der längste Pfeil zeigt die Gesamtdichte an (Pfeil nach links). Diese Variable hat also die größte Bedeutung bei der Differenzierung der Typen. Die zweitbedeutendste Variable ist die Dichte der Wirtschaftslaubbaumarten. Etwa dieselbe Bedeutung haben die Dichte der Schattbaumarten, die

Dichte der *Betula*-Baumartengruppe, und die Dichte der Wirtschaftsnadelbaumarten. Drei Variablen sind nicht zu erkennen: die Dichte der *Serotina*-Baumartengruppe, die Verteilung der Baumarten im Kreis C2 und der Deckungsgrad der blockierenden Bodenvegetation. Zur Differenzierung der Typen spielen sie daher eine untergeordnete Rolle.

Fünf Typen sind gut zu erkennen. Der Typ D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt") liegt um den Pfeil der Lichtbaumarten herum. Die Typen D3 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten beigemischt"), D4 ("Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit"), D7 ("Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt") und D6 ("Dichte Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung") sind zwischen dem Gesamtdichte-Pfeil und den Pfeilen der Wirtschaftslaubbaumarten und der Schattbaumarten zu finden. Sie sind allerdings nicht gut voneinander getrennt, wenngleich ihre relative Verteilung sich logisch darstellt: je mehr man sich an dem Pfeil der Wirtschaftslaubbaumarten nähert, desto häufiger werden die Typen, bei denen die Wirtschaftslaubbaumarten die häufigste sind.

Der Typ D5 "Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung" ist nicht gut zu erkennen, einige Plots liegen unterhalb derer des Typs D2. Einige Plots des Typs D1 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe") sind unten rechts zu erkennen.

Die Typen der lockeren Verjüngungen ("C-Typen") liegen ganz rechts, in der Art Spitze, die die Punkte bilden. Sie sind im Vergleich zu den Typen der dichten Verjüngungen ("D-Typen") völlig gegenüberliegend. Plots der Typen C1 ("sehr lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe"), C3 ("lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit"), und C4 ("lockere Verjüngung aus Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten ohne Baumarten *der Betula*-Baumartengruppe") sind deutlich zu erkennen, aber es sind keine Plots des Typs C2 ("lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert") sichtbar. Zusammen mit den C-Typen fallen einige Plots des *Serotina*-Typs zusammen. Die V-Typen (unbestockte Plots) sind nicht zu erkennen. Nur zwei Plots der Typen V1 ("Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert") und V3 ("Blöße mit einzelnen Jungwüchsen") sind ganz rechts in der Spitze zu finden.

Aus dieser Visualisierung der Typen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die Gesamtdichte ist der bedeutendste Faktor zur Differenzierung der Typen.
- Die darauffolgenden bedeutendsten Variablen zur Differenzierung der Typen sind die Dichte der Baumartengruppen (außer der *Serotina* - Baumartengruppe) und die Dichte der Schatt- und Lichtbaumarten.
- Die Darstellung der Typen anhand des Koordinatensystems der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse ist von sehr niedriger Qualität. Viele Typen sind nicht zu erkennen und die restlichen nicht sauber voneinander zu unterscheiden.

3.3 Jungwuchstypologien aus Clusteranalysen

3.3.1 Ausreißer

Abhängig von der Methode, die zur Bestimmung der Ausreißer angewandt wurde, und je nachdem, ob die Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen oder der einzelnen Baumarten durchgeführt wurde, ergab sich jeweils eine sehr unterschiedliche Anzahl an Ausreißern.

Tabelle 39: Ausreißeranzahl in Abhängigkeit der angewandten Analysemethode (n = 6 684 Plots)
Tableau 39: Nombre d'extrêmes identifiés en fonction de la méthode d'analyse utilisée (n = 6 684 placettes)

	Auf Basis der Dichte der Baumarten	Auf Basis der Dichte der Baumartengruppen
Euklidische	210 (8)	234 (6)
Relativ euklidische	0	237 (21)
Jaccard	0	156 (0)
Sorensen	0	142 (7)
relativ Sorensen	0	180 (10)

In Klammern steht die Anzahl der betroffenen Ausreißer, die zu den 206 "problematischen" Plots gehören, die in der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung nicht zugeordnet worden waren.

Sehr wenige Ausreißer gehörten zu den 206 "problematischen" Plots. Deswegen wurde auf eine Eliminierung verzichtet. Dagegen wurden die 206 "problematischen" Plots für die Clusteranalyse weggelassen. Zwar wurden diese 206 Plots nicht als Ausreißer definiert und eine Verminderung der Qualität der Clusteranalyse wäre nicht zu erwarten gewesen. Da aber die Cluster mit den Typen der französischen Forstverwaltung verglichen werden sollten, sollten nur die Plots der Clusteranalyse unterzogen werden, die bei der Charakterisierung der Typen der französischen Forstverwaltung berücksichtigt wurden. Somit würden die verschiedenen Typologien aus genau denselben Plots bestehen und damit umso besser vergleichbar sein.
Von Interesse war dennoch zu wissen, wie die 206 Plots bei einer Clusteranalyse in verschiedene Cluster eingeteilt würden. Die 6 684 Plots mit Verjüngung im Kreis C1 wurden einer Clusteranalyse mit 12 Clustern unterzogen. Die Verteilung der 206 "problematischen" Plots in diese 12 Cluster wurde bestimmt:

Tabelle 40: Verteilung der 206 "problematischen“ Plots, die den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung nicht zugeordnet worden waren, in die Cluster einer dafür speziell durchgeführten Clusteranalyse (n = 6 684 Plots)

Tableau 40: Répartition des 206 placettes à problème de l'ONF dans les 12 types statistiques issus d'une classification hiérarchique ascendante réalisée spécialement dans ce but (n = 6 684 placettes)

Cluster	Plotanzahl	Anzahl von Plots, die zu den 206 problematischen gehören
1	454	23
2	442	4
3	647	9
4	1 065	30
5	274	0
6	461	47
7	1 410	2
8	116	66
9	1 273	0
10	270	0
11	188	11
12	84	14
Gesamt	6684	206

Die 206 "problematischen" Plots der französischen Forstverwaltung wurden nicht in einem einzigen Cluster zusammengefasst, sondern in insgesamt 9 unterschiedlichen Cluster unter den 12 Clustern der Typologie eingeordnet. Dies deutet auf eine gewisse Heterogenität dieser Plots. In der Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung waren diese 206 Plots in 6 verschiedenen Typen eingeordnet worden.

3.3.2 Statistische Typologien aus Clusteranalysen

Beim Vergleich der A-Werte unterschiedlicher Kombinationen von Distanzmaß- und Clusteralgorithmus-Verfahren ergab sich das Paar euklidisches Verfahren - Ward's Verfahren als die geeigneste Methode zur Clusterbildung.

Tabelle 41: Gesamt-A-Werte der anhand verschiedener Clusteranalyse-Methoden gebildeten Klassifizierungen.

Tableau 41: Valeurs-tests A des typologies issues de différentes classifications hiérarchiques ascendantes

für 12 Cluster	**Clusteralgorithmus**					
Distanzmaß	Nearest Neighbor	Farthest Neighbor	Median	Group Average	Zentroïd	Ward's Verfahren
Sorensen (Bray-Curtis)	1 Plot (8)	0,061	unvereinbar	0,125	1 Plot (1)	unvereinbar
Relativ Sorensen	1 Plot (8)	0,095	unvereinbar	0,113	1 Plot (1)	unvereinbar
Jaccard	1 Plot (8)	0,061	unvereinbar	0,110	1 Plot (2)	unvereinbar
Euklidische (Pythagorisch)	1 Plot (11)	0,244	1 Plot (4)	1 Plot (5)	1 Plot (7)	0,387
Relativ Euklidische	1 Plot (6)	0,381	1 Plot (2)	0,217	0,136	0,590

"1 Plot" bedeutet, dass mindestens ein Cluster einen einzigen Plot enthält. Hinter dem Vermerk "1 Plot" steht in Klammern die genaue Anzahl von Clustern, die aus einem einzigen Plot bestanden.

Der beste A-Wert ergab sich aus der Kombination des relativen euklidischen Distanzmaßes mit dem Ward's Verfahren. Deswegen wurde die günstigste Clusteranzahl anhand dieser Kombination bestimmt.

Tabelle 42: A-Werte verschiedener Clusteranalysen zur Bestimmung der günstigsten Clusteranzahl

Tableau 42: Valeurs-tests A de différentes classifications hiérarchiques ascendantes en vue de la détermination du nombre le plus approprié de types statistiques

	Auf Basis der Dichte der Baumarten		Auf Basis der Dichte der Baumartengruppen	
Cluster-anzahl	A-Wert	Änderungen im A-Wert	A-Wert	Änderungen im A-Wert
4	-	-	0,648	-
6	0,459	-	0,746	+ 0,098
8	0,507	+ 0,048	0,808	+ 0,062
10	0,562	+ **0,055**	0,843	+ 0,035
12	0,590	+ 0,028	0,858	+ 0,015
14	0,611	+ 0,021	0,869	+ 0,011
16	0,632	+ 0,023	0,879	+ 0,010
18	0,648	+ 0,016	-	-
20	0,669	+ 0,021	-	-

Je mehr Cluster gebildet wurden, desto größer wurde der A-Wert. Die weitere Begründung jedes zusätzlichen Cluster brachte also homogenere Gruppen mit sich. Es ist auch festzustellen, dass die Clusteranalysen auf Basis der Dichte der Baumartengruppen ab sechs Clustern einen besseren A-Wert hatten, als alle Clusteranalysen auf Basis der Dichte der Baumarten. Dies bedeutet, dass die Cluster, die auf Basis der Baumartengruppen gebildet wurden, eine größere Homogenität aufwiesen.
Die Typologie soll vor allem dazu dienen, den Rest der Sturmwurfflächen zu beschreiben und pragmatische waldbauliche Maßnahmen abzuleiten. Aus diesen Gründen und auch wenn statistisch ein höherer Clusteranzahl sinnvoller wäre, wäre es hier nicht zielführend, mit einer größeren Clusteranzahl als 16 weiterzuarbeiten.

Als Auswahlkriterium für eine sinnvolle Clusteranzahl wurde bei den Analysen auf Basis der Dichte der Baumarten auf die größte Verbesserungsmöglichkeit des A-Werts zurückgegriffen. Diese war bei der Typologie mit acht Clustern und der mit zehn gegeben. Deshalb wurde die Clusteranalyse auf Basis der Dichte der Baumarten mit zehn Clustern ausgewählt. Diese 10 Cluster wurden im Folgenden "Baumarten-Cluster" genannt.

Bei den Analysen anhand der Dichte der Baumartengruppen war die größte Verbesserung des A-Werts zwischen vier und sechs Clustern zu finden. Da aber diese Typologie zum Ziel eines Vergleichs mit derjenige der französischen Forstverwaltung erarbeitet wurde, und der hohe A-Wert es erlaubte, wurde die Clusteranzahl gleich der Typenanzahl (für die bestockten Plots), d. h. gleich zwölf, ausgewählt. Diese Cluster wurden im Folgenden "Baumartengruppen-Cluster" genannt.

3.3.3 Statistische Unterscheidbarkeit der Cluster

3.3.3.1 Gesamt-A-Werte und mittlere Distanzen

Je näher bei 0 die mittlere Distanz eines Clusters liegt, desto homogener ist dieser Cluster. Der Gesamt-A-Wert bezieht sich auf die gesamte Typologie. Je näher bei 1 er liegt, desto homogener sind die unterschiedlichen Cluster und desto besser differenzieren sie sich voneinander.

Tabelle 43: mittlere Distanzen der Cluster (n = 6 478 Plots).

Tableau 43: Distances moyennes des types statistiques (n = 6 478 placettes)

Cluster	Baumarten-Cluster		Baumartengruppen-Cluster	
	Plotanzahl	Mittlere Distanz	Plotanzahl	Mittlere Distanz
1	1 462	0,338	1 298	0,067
2	796	1,289	235	0,237
3	1529	0,345	589	0,204
4	521	0,275	284	0,288
5	781	0,419	417	0,249
6	195	0,448	1 221	0,057
7	330	0,728	291	0,170
8	500	0,554	237	0,178
9	162	0,148	1 304	0,052
10	202	0,516	100	0,248
11			270	0,218
12			232	0,471
Mittelwert	648	0,506	540	0,203
Minimum	162	0,148	100	0,052
Maximum	1 529	1,289	1 304	0,471
Gesamt-A-Wert	0,562		0,568	

Der mittleren Distanz nach sehen die gebildeten Cluster ziemlich homogen aus. Nur drei von den zehn Baumarten-Clustern und keines von den zwölf Baumartengruppen-Clustern hatten eine mittlere Distanz größer als 0,5. Bei den Typen der französischen Forstverwaltung waren es 6 bzw. 9 von 12 Typen, je nachdem, ob man die Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen bzw. der

Baumarten betrachtete. Mit einer mittleren Distanz von 1,289 ist der Baumarten-Cluster 2 bei weitem der heterogenste.

Tabelle 44: Vergleich der Cluster mit den Typen der französischen Forstverwaltung auf Basis der mittleren Distanzen und der Gesamt-A-Werte

Tableau 44: Comparaison des types statistiques et des types définis par l'ONF sur la base des valeurs-tests A et des distances moyennes

		Typen / BAGr		Typen / BA		Cluster	Baumarten-Cluster		Baumarten-gruppen-Cluster	
Typ	Plotanz.	mit Dgst	ohne Dgst	mit Dgst	ohne Dgst		Plot-anz.	MD	Plot-anz.	MD
S	66	0,000	0,000	0,283	0,403	1	1 462	0,338	1 298	0,067
C1	613	0,499	0,706	0,760	1,074	2	796	1,289	235	0,237
C2	1 066	0,000	0,000	0,386	0,551	3	1 529	0,345	589	0,204
C3	320	0,390	0,671	0,610	1,074	4	521	0,275	284	0,288
C4	606	0,486	0,695	0,738	1,092	5	781	0,419	417	0,249
D1	626	0,000	0,000	0,337	0,483	6	195	0,448	1 221	0,057
D2	549	0,291	0,476	0,386	0,654	7	330	0,728	291	0,170
D3	1 030	0,322	0,521	0,499	0,864	8	500	0,554	237	0,178
D4	422	0,512	0,842	0,643	1,113	9	162	0,148	1 304	0,052
D5	574	0,000	0,000	0,228	0,327	10	202	0,516	100	0,248
D6	196	0,000	0,000	0,743	1,124	11			270	0,218
D7	410	0,470	0,742	0,650	1,085	12			232	0,471
Mitt	540	0,248	0,388	0,522	0,820	Mitt	648	0,506	540	0,203
Min	66	0,000	0,000	0,228	0,327	Min	162	0,148	100	0,052
Max	1 066	0,512	0,842	0,760	1,124	Max	1 529	1,289	1 304	0,471
A		0,571	0,549	0,282	0,268	Gst-A		0,562		0,568

Typen / BAGr steht für die Analyse der Typen auf Basis der Dichte der Baumartengruppen, Typen / BA für die Analyse der Typen auf Basis der Dichte Baumarten. Plotanz. steht für Plotanzahl, GD für Gesamtdichte, MD für mittlere Distanz, und A für den Gesamt-A-Wert.

Den Gesamt-A-Werten und den mittleren Distanzen nach sind die Typen im Vergleich zu den Clustern am homogensten und am besten voneinander differenziert, allerdings nur wenn die Analyse auf Basis der Dichte der Baumartengruppen durchgeführt wird und wenn die Gesamtdichte in der Analyse miteinbezogen wird. Allerdings ergab die Berücksichtigung der Gesamtdichte bei den paarweisen Vergleichen keine deutlich bessere Differenzierung der Typen (s. Kapitel 3.2.3). Da die Einbeziehung dieser Variable aus statistischer Sicht nicht sinnvoll ist, weil sie durch die Dichte der Baumarten bzw. der Baumartengruppen schon angezeigt wird, wurde entschlossen, die Variable Gesamtdichte nicht zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund hat die statistische Klassifikation der Baumartengruppen-Cluster den höchsten Gesamt-A-Wert und die niedrigsten mittleren Distanzen: die Baumartengruppen-Cluster weisen im Vergleich zu den Baumarten-Clustern und den Typen die höhere Homogenität auf und sind dadurch diejenige, die sich am besten voneinander unterscheiden. Die statistisch zweitbeste Klassifikation ist diejenige der Baumarten-Cluster. An dritter Stelle folgt die Typologie der

französischen Forstleute, wenn sie auf Basis der Dichte der Baumartengruppen geprüft wird. Ausgehen von der Dichte der Baumarten weist sie allerdings eine noch bei weitem schlechtere statistische Qualität auf.

3.3.3.2 Paarweise Vergleiche

Die Baumarten-Cluster wurden auf Basis der Dichte der Baumarten paarweise verglichen, die Baumartengruppen-Cluster auf Basis der Dichte der Baumartengruppen.

Tabelle 45: Paarweise Vergleiche der Baumarten-Cluster und der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots)

Tableau 45: Comparaisons par paires des types statistiques basés sur la densité des essences et des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes)

	Baumarten-Cluster		Baumartengruppen-Cluster	
Cluster	signifikant unterschiedlich von	nicht signifikant unterschiedlich von	signifikant unterschiedlich von	nicht signifikant unterschie-dlich von
1	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10	2, 4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	
2		1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 12	
3	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	2	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	
4	5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12	10
5	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10	2	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	
6	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10	2	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12	
7	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10	2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12	
8	1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10	2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12	
9	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10	2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	
10	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	2	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12	4
11			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12	
12			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	

In den Anhängen 18 u. 19 sind die Irrtumswahrscheinlichkeit p und der A-Wert jedes Vergleichs zu finden.

Alle Vergleiche waren mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 0,001 höchst signifikant. Auch der Baumarten-Cluster 2, der der mittleren Distanz nach als der heterogenste Baumarten-Cluster gilt, differenzierte sich nicht von den übrigen. Außer diesem besonderen Fall wurden nur noch die Baumarten-Cluster 1 und 4 als statistisch ähnlich definiert. Nur die Baumartengruppen-Cluster 4 und 10 wurden als statistisch nicht verschieden definiert.

Allgemein bestätigten die paarweisen Vergleiche die Reihenfolge der Klassifikationen auf Basis der mittleren Distanzen und der Gesamt-A-Werte. Die Cluster, die hinsichtlich der mittleren Distanzen und der Gesamt-A-Werte die homogensten waren, waren auch diejenige, die sich bei den paarweisen Vergleichen am besten voneinander unterscheiden ließen.

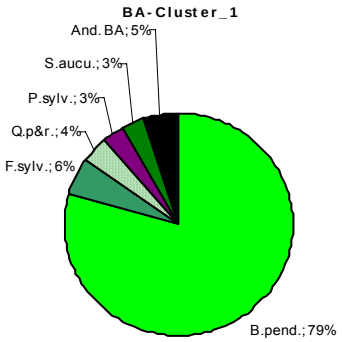
Die Typen der französischen Forstverwaltung ließen sich statistisch deutlich schlechter als die Baumarten-Cluster differenzieren, wobei sie sich auf Basis der Dichte der Baumartengruppen besser unterscheiden ließen als auf Basis der Dichte der Baumarten (s. Kapitel 3.2.3.1).

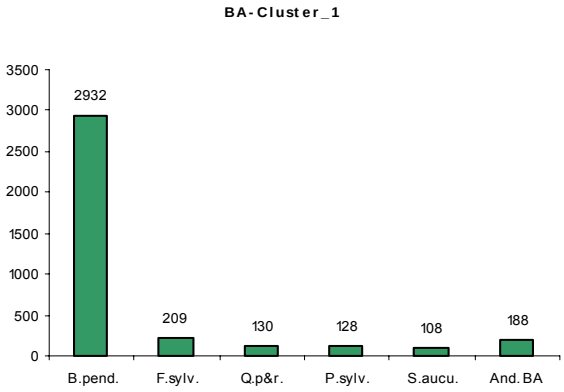
3.3.4 Charakterisierung der Cluster

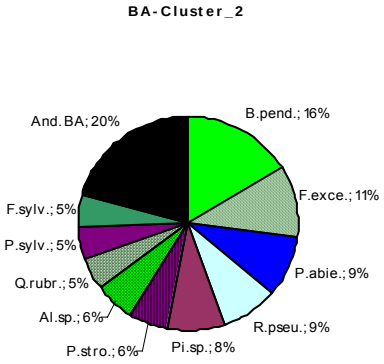
3.3.4.1 Baumartenzusammensetzung, Gesamtdichte und Dichte der Hauptbaumarten

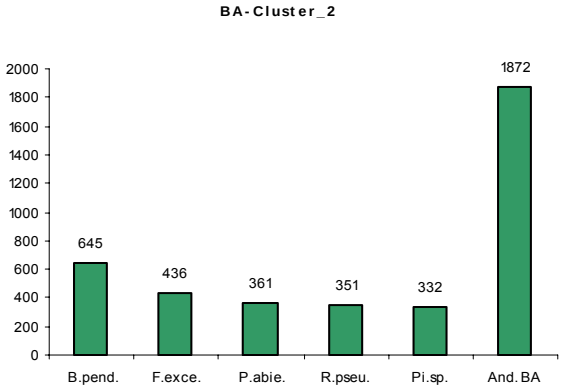
Die Baumartenzusammensetzung und die Dichte der Hauptbaumarten wurden für jeden Cluster grafisch dargestellt. Die statistischen Werte der Gesamtdichte wurden in Form einer Tabelle angegeben. Schließlich wurde die Einordnung der Plots in die Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung und in die Cluster verglichen, wobei für jeden Cluster der Prozentsatz von jedemTyp, den er enthält, angegeben wurde.

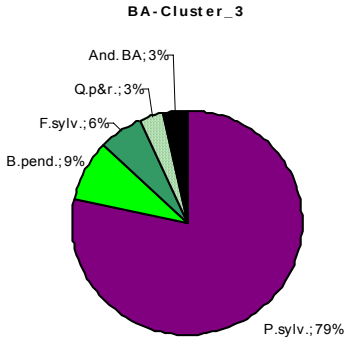
Baumartenzusammensetzung der Baumarten-Cluster und mittlere Dichte der Hauptbaumarten (St/ha)

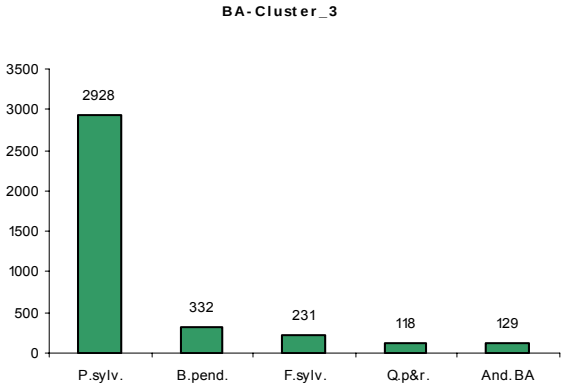


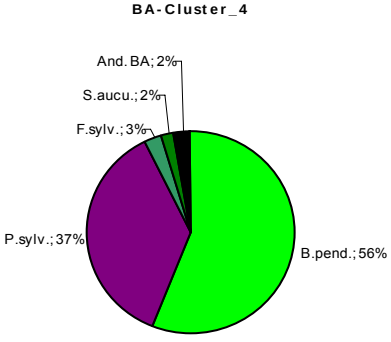


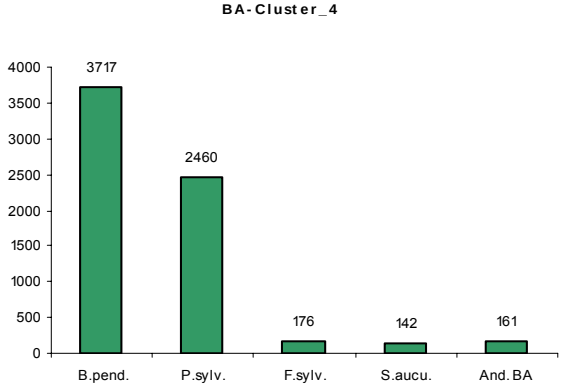




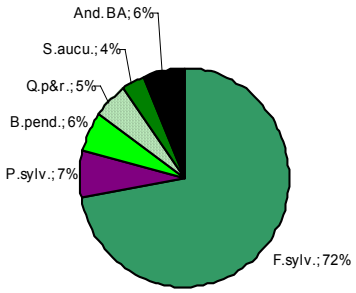




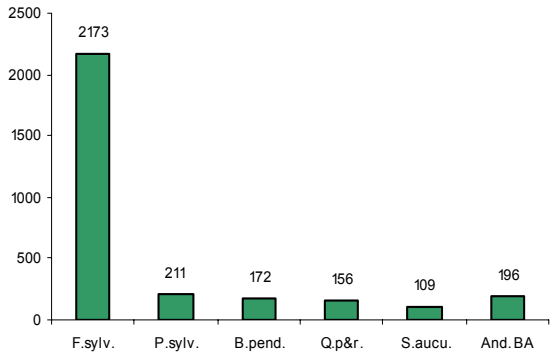




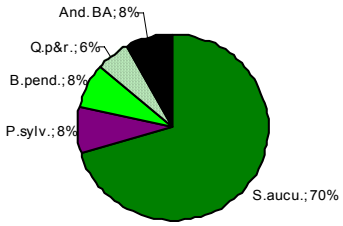
BA-Cluster_5



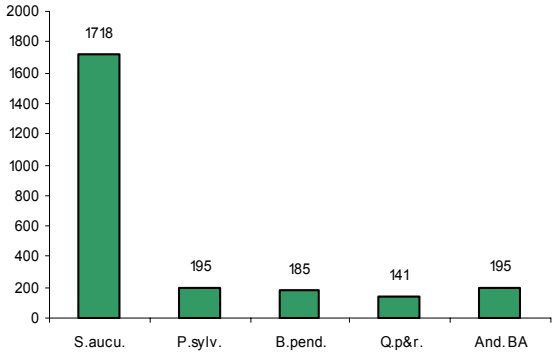
BA-Cluster_5



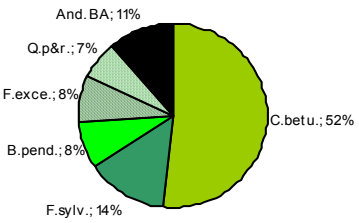
BA-Cluster_6



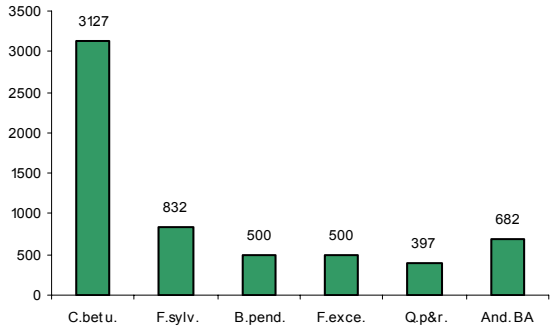
BA-Cluster_6



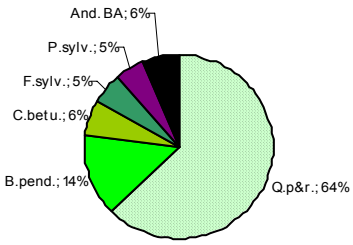
BA-Cluster_7



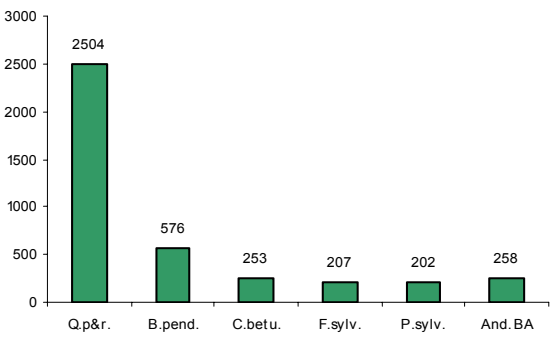
BA-Cluster_7

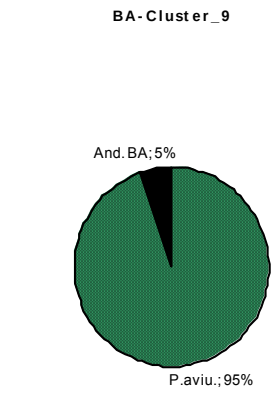


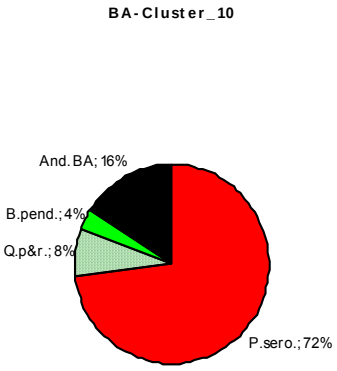
BA-Cluster_8

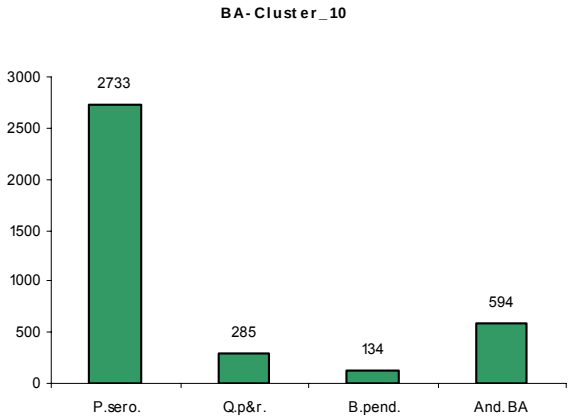


BA-Cluster_8









Die Baumarten-Cluster wurden nach ihrer Hauptbaumarten benannt. Außerdem sind die die Gesamtplotanzahl, der entsprechenden Prozentsatz und die entsprechende Fläche (in ha) für jeden Cluster angegeben.

Tabelle 46: Bezeichnung der Baumarten-Cluster nach ihrer Baumartenzusammensetzung und Häufigkeit dieser Cluster

Tableau 46: Dénomination des types statistiques basés sur la densité des essences d'après leur composition en essences, et fréquence respective de ces types statistiques

Cluster	Bezeichnung	Plotanzahl	%	Fläche (ha)
1	*Betula pendula* - Baumarten-Cluster	1 462	23%	366
2	Misch - Baumarten-Cluster	796	12%	199
3	*Pinus sylvestris* - Baumarten-Cluster	1 529	24%	382
4	*Betula pendula - Pinus sylvestris* - Baumarten-Cluster	521	8%	130
5	*Fagus sylvatica* - Baumarten-Cluster	781	12%	195
6	*Sorbus aucuparia* - Baumarten-Cluster	195	3%	49
7	*Carpinus betulus* - Baumarten-Cluster	330	5%	83
8	*Quercus petraea & Q. robur* - Baumarten-Cluster	500	8%	125
9	*Prunus avium* - Baumarten-Cluster	162	3%	41
10	*Prunus serotina* - Baumarten-Cluster	202	3%	51
Gesamt		6 478	100%	1 620

Gesamtdichte der Baumarten-Cluster

Die folgende Tabelle gibt Hinweise auf die Gesamtdichte innerhalb der Cluster:

Tabelle 47: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots)

Tableau 47: Valeurs statistiques de la densité totale des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes).

Baumarten-Cluster		Gesamtdichte (St/ha)				
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard-abweichung	Variations-koeffizient
1	*Betula pendula* - Baumarten-Cluster	3 695	500	13 000	2 228	60%
2	Misch - Baumarten-Cluster	3 997	500	20 000	2 954	74%
3	*Pinus sylvestris* - Baumarten-Cluster	3 738	500	17 500	2 386	64%
4	*Betula pendula - Pinus sylvestris* - Baumarten-Cluster	6 655	1 000	18 000	2 878	43%
5	*Fagus sylvatica* - Baumarten-Cluster	3 017	500	15 000	2 489	82%
6	*Sorbus aucuparia* - Baumarten-Cluster	2 433	500	18 500	2 169	89%
7	*Carpinus betulus* - Baumarten-Cluster	6 048	500	17 000	3 658	60%
8	*Quercus petraea & Q. robur* - Baumarten-Cluster	4 000	500	13 500	2 751	69%
9	*Prunus avium* - Baumarten-Cluster	3 611	500	9 500	1 639	45%
10	*Prunus serotina* - Baumarten-Cluster	3 745	500	9 500	1 830	49%

Bei jedem Cluster ist die mittlere Gesamtdichte der Verjüngung größer als 2 000 St/ha, sie reicht von 2 400 St/ha beim *S. aucuparia*-Cluster (Cluster 6) bis zu 6 600 St/ha beim *B. pendula - P. sylvestris*-Cluster (Cluster 4). Innerhalb der Cluster variiert sie sehr stark. Die größten Schwankungen sind beim Misch-Baumarten-Cluster festzustellen: ihm wurden Plots mit 500 St/ha bis 20 000 St/ha zugeordnet.

Übereinstimmung zwischen Jungwuchstypen und Baumarten-Clustern

Ein Vergleich der Verteilung der Plots in den Baumarten-Cluster mit ihrer Verteilung in den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung zeigte, dass ein Baumarten-Cluster Plots von mehreren Typen enthält:

Tabelle 48: Typenzusammenseztung der Baumarten-Cluster

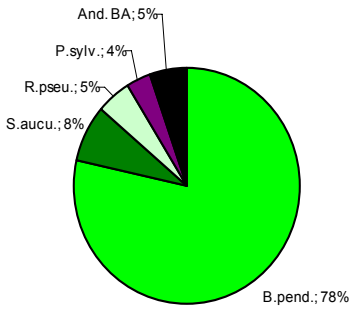
Tableau 48: Composition en types de l'ONF des types statistiques basés sur la densité des essences

Cluster	Typen													Anz Typen	wovon C-Typen
	S	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Gst		
1	0%	0%	22%	2%	0%	34%	25%	10%	6%	0%	0%	0%	100%	6	2
2	1%	9%	3%	4%	11%	9%	14%	5%	15%	10%	12%	6%	100%	12	4
3	0%	9%	0%	2%	13%	0%	6%	0%	21%	34%	0%	14%	100%	7	3
4	0%	0%	0%	5%	0%	0%	84%	1%	10%	0%	0%	0%	100%	4	1
5	0%	16%	0%	4%	24%	0%	1%	4%	18%	0%	22%	12%	100%	8	3
6	0%	0%	37%	9%	0%	18%	13%	9%	13%	0%	0%	0%	100%	6	2
7	0%	3%	0%	2%	8%	0%	0%	13%	19%	0%	42%	13%	100%	8	3
8	0%	10%	0%	3%	12%	0%	12%	0%	27%	0%	21%	14%	100%	7	3
9	0%	5%	0%	2%	10%	0%	1%	0%	10%	0%	70%	2%	100%	7	3
10	27%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	30%	0%	0%	40%	100%	4	1

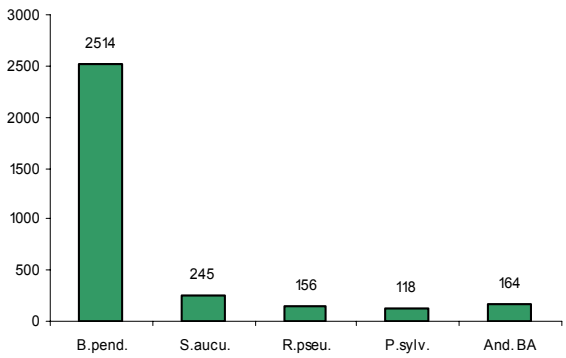
Ein Baumarten-Cluster entspricht zwischen vier und acht Typen und enthält immer Plots von mindestens einem C-Typ. Der Misch-Baumarten-Cluster, welcher Plots der zwölf Typen enthält, stellt sich als eine Ausnahme dar. Bemerkenswert ist, dass der *P.-serotina* - Baumarten-Cluster (Cluster 10) nur zu 27% aus dem *Serotina* - Typ (Typ S) besteht.

Baumartenzusammensetzung der Baumartengruppen-Cluster und mittlere Dichte der Hauptbaumarten (St/ha)

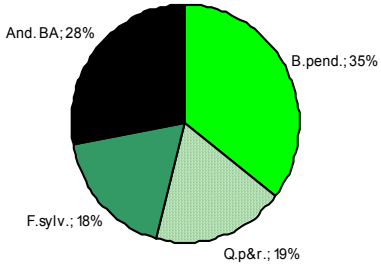
BAGr-Cluster_1



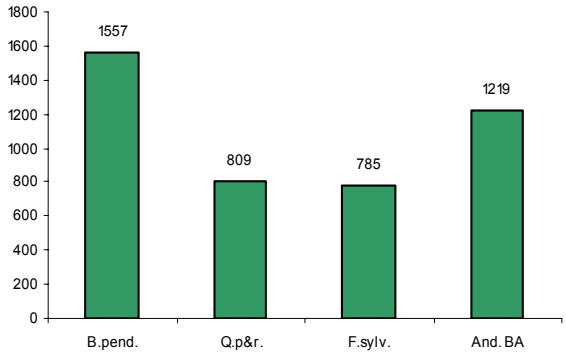
BAGr-Cluster_1



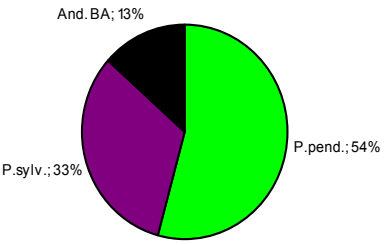
BAGr-Cluster_2



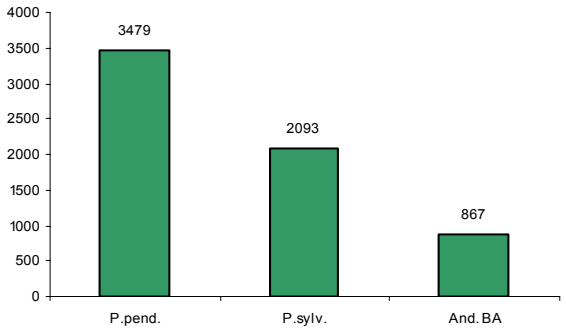
BAGr-Cluster_2



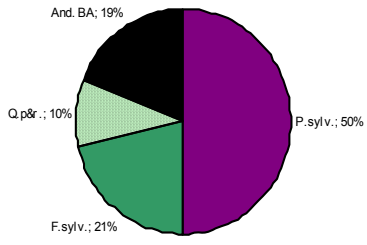
BAGr-Cluster_3



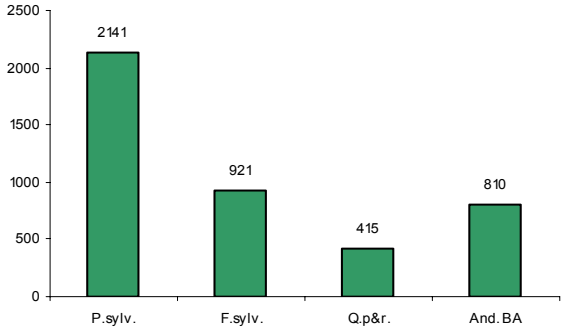
BAGr-Cluster_3



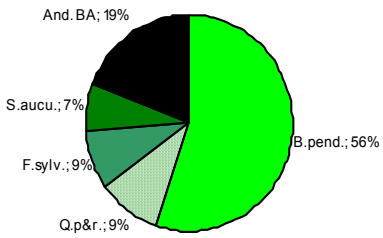
BAGr-Cluster_4



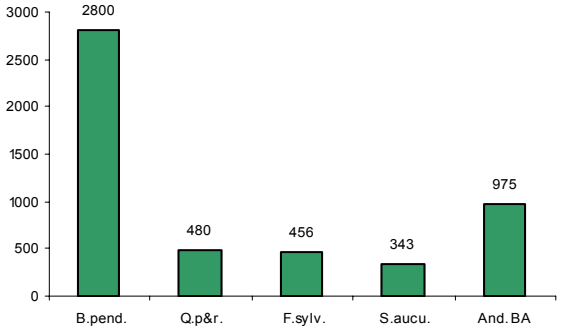
BAGr-Cluster_4



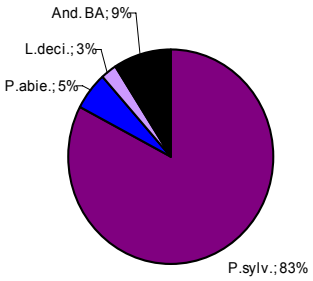
BAGr-Cluster_5



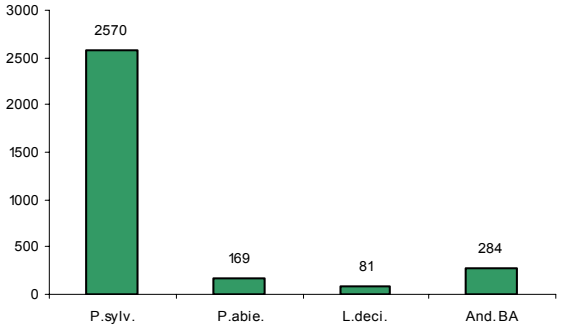
BAGr-Cluster_5



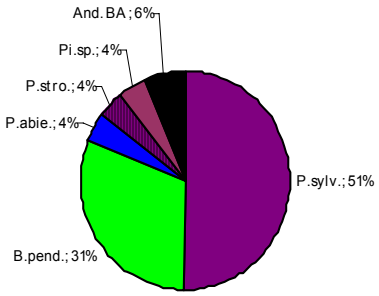
BAGr-Cluster_6



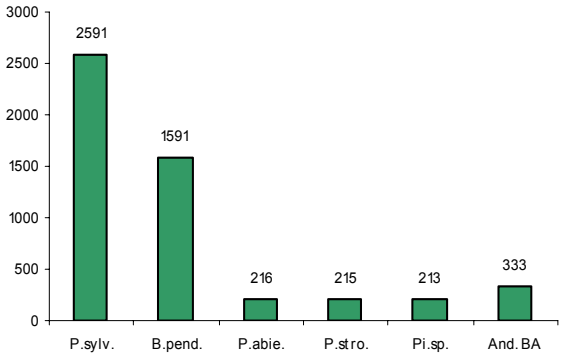
BAGr-Cluster_6



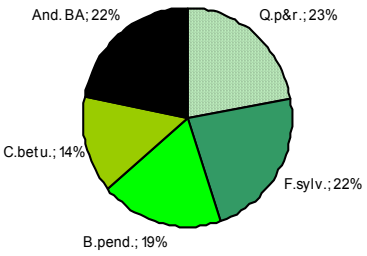
BAGr-Cluster_7



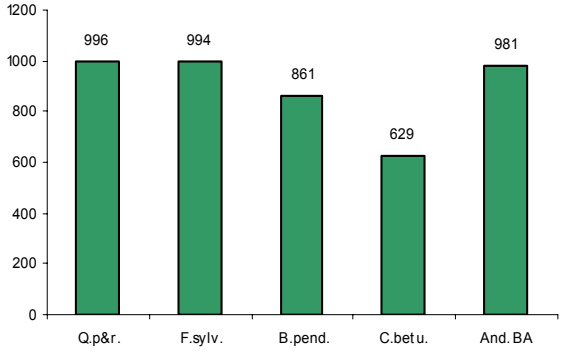
BAGr-Cluster_7



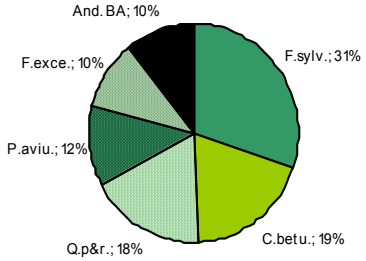
BAGr-Cluster_8



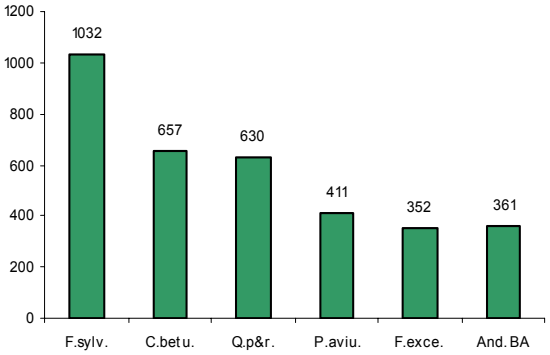
BAGr-Cluster_8



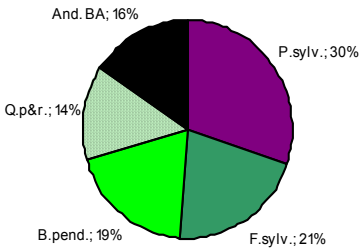
BAGr-Cluster_9



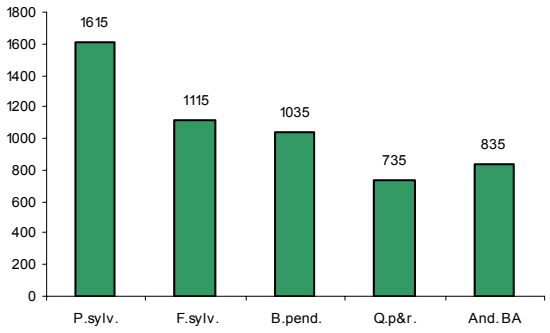
BAGr-Cluster_9



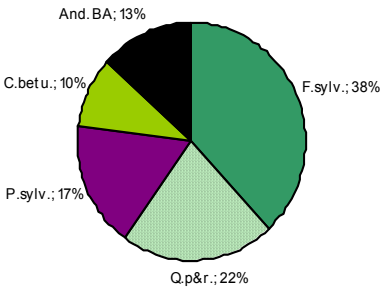
BAGr-Cluster_10



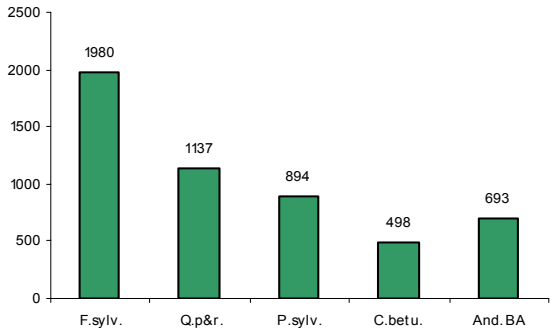
BAGr-Cluster_10



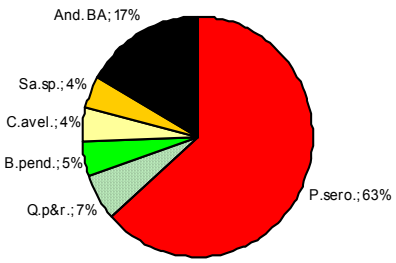
BAGr-Cluster_11



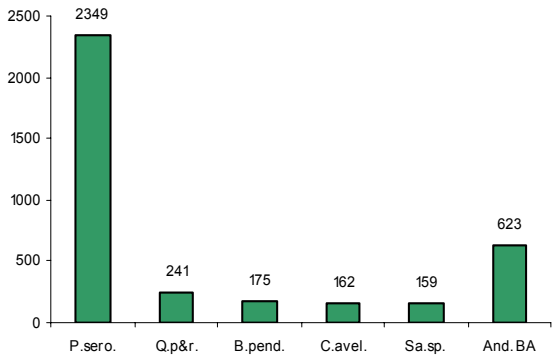
BAGr-Cluster_11



BAGr-Cluster_12



BAGr-Cluster_12



Bei den Baumarten-Clustern, mit Ausnahme des Misch - Baumarten-Clusters dominieren entweder eine oder zwei Baumart(en) sehr deutlich. Bei den Baumartengruppen-Clustern ist dies nicht so oft der Fall: manchmal nehmen bis zu vier Baumarten in etwa ähnliche Anteile an der Gesamtstammzahl ein. Dazu sind es oft dieselben Baumarten, die bei unterschiedlichen Baumartengruppen-Clustern, die häufigsten sind. Deswegen sollten bis zu vier Baumarten zur Bezeichnung der Baumartengruppen-Cluster genannt werden. Neben der Bezeichnung sind für jeden Cluster die Gesamtplotanzahl, der entsprechende Prozentsatz, und die entsprechende Fläche (in ha) angegeben.

Tabelle 49: Bezeichnung der Baumartengruppen-Cluster nach ihrer Baumartenzusammensetzung und Häufigkeit dieser Cluster

Tableau 49: Dénomination des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences sur la base de leur composition en essences, et fréquence respective de ces types statistiques

Cluster	Bezeichnung	Plotanzahl	%	Fläche (ha)
1	*Betula pendula* - Baumartengruppen-Cluster	1 298	20%	325
2	*Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica* - Baumartengruppen-Cluster	235	4%	59
3	*Betula pendula - Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	589	9%	147
4	*Pinus sylvestris - Fagus sylvatica - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	284	4%	71
5	*Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica - Sorbus aucuparia* - Baumartengruppen-Cluster	417	6%	104
6	*Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	1 221	19%	305
7	*Pinus sylvestris - Betula pendula - Baumartengruppen-Cluster*	291	4%	73
8	*Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica - Betula pendula - Carpinus betulus* - Baumartengruppen-Cluster	237	4%	59
9	*Fagus sylvatica - Carpinus betulus - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	1 304	20%	326
10	*Pinus sylvestris - Fagus sylvatica - Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	100	2%	25
11	*Fagus sylvatica - Quercus petraea & Q. robur - Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	270	4%	68
12	*Prunus serotina* - Baumartengruppen-Cluster	232	4%	58
Gesamt			100%	1620

Gesamtdichte der Baumartengruppen-Cluster

Wie für die Baumarten-Cluster wurden die statistischen Kennwerte der Gesamtdichte bei jedem Cluster in einer Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 50: Statistische Kennwerte der Gesamtdichte der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots)

Tableau 50: Valeurs statistiques de la densité totale des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences

Baumarten-gruppen-Cluster		Gesamtdichte (St/ha)				
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Standard-abwei-chung	Variations-koeffizient
1	*Betula pendula* - Baumartengruppen-Cluster	3 198	500	12 500	2 052	64%
2	*Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica* - Baumartengruppen-Cluster	4 370	1 000	14 000	3 325	76%
3	*Betula pendula - Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	6 438	1 000	20 000	3 025	47%
4	*Pinus sylvestris - Fagus sylvatica - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	4 287	1 000	18 000	2 970	69%
5	*Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica - Sorbus aucuparia* - Baumartengruppen-Cluster	5 053	2 000	13 000	2 179	43%
6	*Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	3 104	500	12 500	1 980	64%
7	*Pinus sylvestris - Betula pendula* - Baumartengruppen-Cluster	5 160	1 500	17 000	2 700	52%
8	*Quercus petraea & Q. robur - Fagus sylvatica - Betula pendula - Carpinus betulus* - Baumartengruppen-Cluster	4 460	1 500	16 000	2 577	58%
9	*Fagus sylvatica - Carpinus betulus - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	3 443	500	17 000	2 860	83%
10	*Pinus sylvestris - Fagus sylvatica - Betula pendula - Quercus petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster	5 335	1 500	17 500	3 986	75%
11	*Fagus sylvatica - Quercus petraea & Q. robur - Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster	5 215	1 500	14 500	2 708	52%
12	*Prunus serotina* - Baumartengruppen-Cluster	3 709	500	12 000	2 006	54%

Bei jedem Cluster ist die mittlere Gesamtdichte der Verjüngung größer als 3 000 St/ha. Die minimale Gesamtdichte variiert von 500 bis 2 000 St/ha, die maximale von 12 000 bis 20 000 St/ha. Der durchschnittliche Variationskoeffizient beträgt 61%.

Übereinstimmung zwischen Jungwuchstypen und Baumartengruppen-Clustern

Die Verteilung der Plots bei den verschiedenen Baumartengruppen-Clustern wurde mit derjenigen bei den Typen verglichen.

Tabelle 51: Typenzusammenseztung der Baumartengruppen-Cluster

Tableau 51: Composition en types de l'ONF des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences

Cluster	Typen													Anz. Typen	wovon C-Typen
	S	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Gst		
1	0%	0%	33%	0%	0%	47%	16%	3%	1%	0%	0%	0%	100%	5	1
2	0%	0%	0%	25%	0%	0%	22%	22%	32%	0%	0%	0%	100%	4	1
3	0%	0%	0%	7%	0%	0%	79%	3%	11%	0%	0%	0%	100%	4	1
4	0%	0%	0%	0%	21%	0%	3%	1%	27%	0%	0%	48%	100%	5	1
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	55%	31%	14%	0%	0%	0%	100%	3	0
6	0%	16%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	10%	50%	0%	8%	100%	6	2
7	0%	0%	0%	10%	0%	0%	36%	3%	51%	0%	0%	0%	100%	4	1
8	0%	0%	0%	16%	0%	0%	8%	12%	64%	0%	0%	0%	100%	4	1
9	0%	17%	0%	0%	22%	0%	0%	0%	10%	0%	48%	4%	100%	6	2
10	0%	0%	0%	20%	0%	0%	16%	5%	59%	0%	0%	0%	100%	4	1
11	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	21%	0%	0%	68%	100%	5	1
12	28%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	31%	0%	0%	37%	100%	4	1

Ein Baumartengruppen-Cluster entspricht zwischen drei und sechs Typen. Außer dem *B. pendula - Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - S. aucuparia* - Baumartengruppen-Cluster (Cluster 5) enthalten alle Baumartengruppen-Cluster Plots von C- und D-Typen.

Zusammenhang zwischen den Charakteristiken der Cluster und ihrer statistischen Qualität

Die Baumartencluster, die außer der Misch - Baumarten-Cluster (Baumarten-Cluster 2) von einer Baumart stark dominiert sind, wiesen die niedrigsten mittleren Distanzen auf. Der Baumarten-Cluster mit der geringsten mittleren Distanz ist der *P. avium* – Baumarten-Cluster, bei dem 95% der Stammzahl auf *P. avium* entfällt. Dies fällt aber bei den Baumartengruppen-Cluster nicht so deutlich auf. Der *B. pendula* - Baumartengruppen-Cluster (Baumartengruppen-Cluster 1), der *P. sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster (Baumartengruppen-Cluster 6) und der *F. sylvatica - C. betulus - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster (Baumartengruppen-Cluster 9) hatten die niedrigsten mittleren Distanzen (s. Kapitel 3.3.3.1). Während die zwei erstgenannten deutlich von einer Baumart dominiert sind, trifft dies für den letzten nicht zu.

Bei den paarweisen Vergleichen unterschied sich der Misch - Baumarten-Cluster von allen übrigen Clustern nicht. Die Baumarten-Cluster 1 und 4 ("*B. pendula* - Baumarten-Cluster" und "*B. pendula - P. sylvestris* - Baumarten-Cluster"), in denen gleichermaßen *B.* pendula dominiert, wurden auch als statistisch ähnlich definiert. Ebenfalls wurden die Baumartengruppen-Cluster 4 und 10

(jeweils "*P. sylvestris - F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster" und "*P. sylvestris - F. sylvatica - B. pendula - Q. petraea* & *Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster"), die dieselben drei häufigsten Baumarten aufweisen, als statistisch nicht verschieden definiert (s. Kapitel 3.3.3.2).

Genau wie bei den Typen der französischen Forstverwaltung erscheint es hier wahrscheinlich, dass zur Bewertung der Homogenität und der Unterscheidbarkeit der Cluster neben der Baumarten(gruppen)zusammensetzung die Gesamtdichte nicht berücksichtigt wurde. Aus der folgenden Tabelle wird ersichtlich, dass die Cluster bzw. die Typen, die die kleineren mittleren Distanzen aufwiesen, nicht diejenige sind, die die kleineren Variationskoeffizienten der Gesamtdichte hatten.

Tabelle 52: Standardabweichung und Variationskoeffizient der Gesamtdichte jedes Typs bzw. Clusters

Tableau 52: Ecart-type et coefficient de variation de la densité totale de chaque type défini par l'ONF et de chaque type statistique

Typen			Baumarten-Cluster			Baumartengruppen-Cluster	
Typen	Sd Dgst (St/ha)	Cv Dgst	Cluster	Sd Dgst (St/ha)	Cv Dgst	Sd Dgst (St/ha)	Cv Dgst
S	1 426	1	1	2 228	60%	2 052	64%
C1	0	0	2	2 954	74%	3 325	76%
C2	419	0	3	2 386	64%	3 025	47%
C3	249	0	4	2 878	43%	2 970	69%
C4	250	0	5	2 489	82%	2 179	43%
D1	1 448	0	6	2 169	89%	1 980	64%
D2	2 393	0	7	3 658	60%	2 700	52%
D3	2 842	0	8	2 751	69%	2 577	58%
D4	2 066	0	9	1 639	45%	2 860	83%
D5	1 282	0	10	1 830	49%	3 986	75%
D6	2 637	1	11			2 708	52%
D7	2 320	0	12			2 006	54%

Sd steht für Standardabweichung, Cv für den Variationskoeffizient, Dgst für Gesamtdichte der Verjüngung,

3.3.4.2 Leitbaumartengruppen, Leitbaumarten, und Leitpflanzenarten

Leitbaumartengruppen und Leitbaumarten der Cluster

Als Leitbaumart eines Clusters wurde eine Baumart betrachtet, die bei der *Indicator Species Analysis* bei diesem Cluster einen viel höheren Indikatorwert als bei den anderen Clustern aufwies.

Tabelle 53: Maximale Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten bei den Baumarten-Clustern, bei den Baumartengruppen-Clustern und bei den Typen (n = 6 478 Plots)*

Tableau 53: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences pour les types statistiques basés sur la densité des essences, les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences et pour les types définis par l'ONF

	Baumarten-Cluster			Baumartengruppen-Cluster			Typen der Förster		
		MIW	p		MIW	p		MIW	p
	F1	89,8	***	F1	92,6	***	F1	74,1	***
	F4	35,5	***	F2	21,4	***	F3	37,4	***
	F2	30,8	***	F3	21,7	***	F4	35,0	***
	F3	30,0	***	F4	21,8	***	F2	28,4	***
1	P.aviu.	98,3	***	P.sero.	81,7	***	P.sero.	66,1	***
2	P.sero.	97,0	***	B.pend.	23,3	***	P.sylv.	34,8	***
3	C.betu.	85,0	***	F.sylv.	19,8	***	B.pend.	30,2	***
4	S.aucu.	72,6	***	P.sylv.	17,8	***	P.aviu.	16,3	***
5	Q.p&r.	64,7	***	Q.p&r.	10,9	***	F.sylv.	14,7	***
6	F.sylv.	52,1	***	P.aviu.	8,3	***	C.betu.	13,5	***
7	P.sylv.	44,5	***	C.betu.	6,9	***	F.exce.	12,8	***
8	B.pend.	40,3	***	F.exce.	6,9	***	Q.p&r.	9,9	***
9	P.abie.	11,8	***	Sa.sp.	6,4	***	S.aucu.	9,7	***
10	Pi.sp.	10,2	***	C.avel.	6,1	***	P.abie.	9,6	***
11	F.exce.	8,9	***	P.stro.	4,0	***	C.avel.	5,4	***
12	R.pseu.	8,4	***	S.aucu.	4,0	***	R.pseu.	4,8	***
13	P.stro.	7,3	***	R.pseu.	3,1	***	S.capr.	4,1	***
14	Al.sp.	6,7	***	P.abie.	2,4	**	A.camp.	2,6	***
15	Q.rubr.	5,3	***	S.capr.	2,4	***	A.pseu.	2,6	***
16	A.camp.	4,3	***	Al.sp.	2,0	**	Sa.sp.	2,6	***
17	A.pseu.	4,1	***	C.sati.	1,6	**	L.deci.	2,4	**
18	C.sati.	3,8	***	L.deci.	1,5	**	Pi.sp.	2,2	**
19	L.deci.	2,9	***	Pi.sp.	1,5	*	Q.rubr.	2,0	**
20	P.menz.	1,8	***	P.trem.	1,4	**	P.trem.	1,6	**
21	Sa.sp.	1,2	**	Q.rubr.	1,2	*	P.stro.	1,5	*
22	ALH	1,1	*	P.menz.	1,2	**	Al.sp.	1,3	*
23	C.avel.	1,0	*	A.camp.	1,1	**	C.sati.	0,9	*
24	T.bacc.	0,8	**	A.pseu.	1,0	*	T.bacc.	0,5	*
25	A.glut.	0,6	*						

*****Aufgeführt sind nur die Baumarten, die einen statistisch signifikanten maximalen Indikatorwert aufwiesen (d. h. mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$).
MIW steht für maximaler Indikatorwert, p für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Die p-Werte wurden mit folgenden Symbolen gekennzeichnet : ***: $p \leq 0,001$ (höchst signifikant); **: $0,001 < p \leq 0,01$ (sehr signifikant); *: $0,01 < p \leq 0,05$ (signifikant); ns: $p > 0,05$ (nicht signifikant). F1 steht für die *Serotina*-Baumartengruppe, F2 für die *Betula*-Baumartengruppe, F3 für die Baumartengruppe der Wirtschaftslaubbaumarten, F4 für die Baumartengruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten. Die Bedeutung der Abkürzungen für die Baumarten ist im Anhang 8 zu finden.

In Anhang 23 findet sich auch eine Tabelle, die die höchsten Indikatorwerte jeder Baumart bzw. jeder Baumartengruppe bei den Typen und bei den Clustern zusammenfasst, wobei die Baumarten zum Vergleich in alphabetischer Reihenfolge stehen.

Zum Vergleich wurden die Tabellen der maximalen Indikatorwerte der Baumarten und Baumartengruppen pro Typ der französischen Forstleute und pro Cluster in der obenaufgeführten Tabelle gegenübergestellt.

Wie bei den Typen der französischen Forstverwaltung hatte die *Serotina*-Baumartengruppe (F1) bei den beiden Cluster-Gruppen bei weitem den besten maximalen Indikatorwert. Die Rangfolge der drei anderen Baumartengruppen stellte sich hingegen anders dar.

Die maximalen Indikatorwerte der Baumarten wichen bei den Baumarten-Clustern sehr deutlich von denjenigen der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung ab. *P. serotina* nahm die zweite Stellung hinter *P. avium* ein. *P. sylvestris* und *B. pendula,* die bei den Typen an 2. bzw. 3. Stellen kamen, waren hier an 7. und 8. Stelle zu finden. S*. aucuparia* trat auf Platz 4 statt auf Platz 11. auf. Die dritte, fünfte und sechste Stellung nahmen Wirtschaftslaubbaumarten (in der absteigenden Reihenfolge der Indikatorwerte *C. betulus, Q. petraea & Q. robur* und *F. sylvatica*) ein.

Für die Analyse der Indikatorwerte der Baumarten pro Baumarten-Cluster wurden nur diese acht ersten Baumarten berücksichtigt.

Bei den Baumartengruppen-Clustern blieb *P. serotina* die Baumart mit dem höchsten maximalen Indikatorwert. *B. pendula* folgte an zweiter Stelle vor *F. sylvatica* und *P. sylvestris*. *Q. petraea & Q. robur., P. avium*, *C. betulus* und *F. excelsior* wurden auch für die Analyse der Indikatorwerte pro Cluster berücksichtigt, da sie im Fall der Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung eine Rolle spielten.

Zur Bestimmung der Leitbaumartengruppen und der Leitbaumarten der Cluster sollten die Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den maximalen Indikatorwerten pro Cluster betrachtet werden.

Leitbaumartengruppen und Leitbaumarten der Baumarten-Cluster

Die *Serotina*-Baumartengruppe ist die Leitbaumartengruppe des Clusters 10 ("*P.serotina* - Baumarten-Cluster"); die *Betula*-Baumartengruppe ist die Leitgruppe der Clusters 1 ("*B. pendula* - Baumarten-Cluster"), 6 ("*S.aucuparia* - Baumarten-Cluster) und zusammen mit den Wirtschaftsnadelbaumarten die Leitgruppe des Clusters 4 ("*B. pendula* - *P. sylvestris* - Baumarten-Cluster). Die Cluster 5, 7, 8, und 9 (jeweils "*F. sylvatica* - Baumarten-Cluster", "*C. betulus* - Baumarten-Cluster", "*Q. petraea & Q. robur* - Baumarten-Cluster", "*P. avium* - Baumarten-Cluster") haben die Wirtschaftslaubbaumarten als Leitbaumartengruppe, der Cluster 3 ("*P. sylvestris* - Baumarten-Cluster") die Wirtschaftsnadelbaumarten. Nur bei Cluster 2 ("Misch - Baumarten-Cluster") besteht keine deutliche Dominanz einer Baumartengruppe, wobei die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten allerdings den höchsten Indikatorwert aufweist und dementsprechend als Leitgruppe dieses Clusters betrachtet werden könnte.

Tabelle 54: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Baumarten-Clustern (n = 6 478 Plots)

Tableau 54: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences possédant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour les types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes)

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serotina-Gruppe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
Betula-Gruppe	25	5	1	31	1	15	2	2	0	1
Wirtschaftslaubbaumarten	1	3	1	0	14	0	30	18	20	1
Wirtschaftsnadelbaumarten	1	9	36	30	1	1	0	1	0	1
Betula pendula.	32	2	1	40	0	0	1	2	0	0
Carpinus betulus	0	0	0	0	0	0	85	1	0	0
Fagus sylvatica	1	1	1	1	52	0	9	1	0	0
*Picea abies**	0	12	0	1	1	0	0	0	0	0
Pinus sp.*	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinus sylvestris	0	0	44	37	1	1	0	1	0	0
Prunus avium	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0
Prunus serotina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97
Quercus petraea & Q. robur	0	0	0	0	1	1	4	65	0	2
Sorbus aucuparia	0	0	0	1	1	73	0	0	0	0

**Picea abies* und *Pinus sp.* sind, weil sie die höchsten A-Werte beim Cluster 2 und einen relativ hohen Indikatorwert aufwiesen, in dieser Tabelle aufgeführt. Die Tabelle der Indikatorwerte für alle Baumarten ist im Anhang 21 zu finden.

Als Leitarten eines Baumarten-Clusters ergaben sich meistens die häufigsten Baumarten der Baumartengruppen, die bei diesem Cluster die höchsten Indikatorwerte aufwiesen. *B. pendula* ist die Leitbaumart des Clusters 1 und zusammen mit *P. sylvestris* die des Clusters 4. *P. sylvestris* ist die Leitbaumart des Clusters 3. Der Cluster 5 hat *F. sylvatica* als Leitbaumart, der Cluster 6 *S. aucuparia*, der Cluster 7 *C. betulus*, der Cluster 8 *Q. petraea & Q. robur.*, der Cluster 9 *P. avium* und der Cluster 10 *P. serotina*. *P. abies* und *Pinus sp*. können als die Leitbaumarten des Clusters 2 betrachten werden. Diese Ergebnisse wurden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 55: Leitbaumarten der Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots)

Tableau 55: Essences indicatrices des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes)

Cluster	Leitbaumarten
1	*Betula pendula*
2	*Picea abies, Pinus sp.*
3	*Pinus sylvestris*
4	*Betula pendula, Pinus sylvestris*
5	*Fagus sylvatica*
6	*Sorbus aucuparia*
7	*Carpinus betulus*
8	*Quercus sp.*
9	*Prunus avium*
10	*Prunus serotina*

Die Cluster 1 und 4 haben beide die Baumartengruppe 2 als Leitbaumartengruppe und *B. pendula* als Leitbaumart, was einen Grund dafür sein könnte, dass diese beiden Cluster bei den paarweisen Vergleichen nicht differenziert werden konnten (s. Kapitel 3.3.3.2). Im Gegensatz zum Cluster 1 ist der Cluster 4 allerdings von der Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten und damit auch von *P. sylvestris* geprägt.

Die Leitbaumarten eines Baumarten-Clusters sind, außer beim Baumarten-Cluster 2, die Baumarten, die die größten Anteile an der Gesamtstammzahl des Clusters aufweisen. Beim Cluster 2 ist *Picea abies* mit einen Anteil von 9% an der Stammzahl die dritthäufigste Baumart, und *Pinus sp.* mit einem Anteil von 8% die Fünfthäufigste. Die häufigste Baumart ist *B. pendula* (15% der Stammzahl), die zweithäufigste *F. excelsior* (11% der Stammzahl) und die vierthäufigste *Robinia pseudacacia* (9% der Stammzahl). Diese Baumarten wiesen bei diesem Cluster allerdings niedrigere Indikatorwerte als *P. abies* und *Pinus sp*.

Leitbaumartengruppen und Leitbaumarten der Baumartengruppen-Cluster

Tabelle 56: Indikatorwerte der Baumartengruppen und der Baumarten mit den höchsten maximalen Indikatorwerten bei den Baumartengruppen-Clustern (n = 6 478 Plots)

Tableau 56: Valeurs indicatrices des groupes d'essences et des essences possédant les plus fortes valeurs indicatrices maximales pour les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes)

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Serotina-Gruppe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93
Betula-Gruppe	17	11	21	1	20	0	10	7	0	7	0	1
Wirtschaftslaubbaumarten	0	11	0	8	7	0	0	17	19	12	22	1
Wirtschaftsnadelbaumarten	0	0	16	16	1	19	22	0	0	12	7	0
Betula pendula	15	8	23	0	17	0	10	4	0	6	0	0
Carpinus betulus	0	2	0	0	1	0	0	7	6	1	4	0
Fagus sylvatica	0	6	0	8	3	0	0	7	7	9	20	0
Fraxinus excelsior	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0
Pinus sylvestris	0	0	14	14	0	18	18	0	0	11	5	0
Prunus avium	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	0
Prunus serotina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82
Quercus petraea & Q. robur	0	7	0	3	4	0	0	10	4	6	11	1

Die Tabelle der Indikatorwerte für alle Baumarten ist im Anhang 22 zu finden

Die *Serotina*-Baumartengruppe ist die einzige Leitbaumartengruppe des Clusters 12 ("*P.serotina* - Baumartengruppen-Cluster"), die *Betula*-Baumartengruppe die einzige des Clusters 1 ("*B. pendula* - Baumartengruppen-Cluster"), die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten die einzige des Clusters 9 ("*F. sylvatica - C. betulus - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster") und die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten die einzige des Clusters 6 ("*P. sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster"). Die anderen Cluster haben mehrere Leitbaumartengruppen, die mehr oder weniger gleiches Gewicht haben. Beim Cluster 2 ("*B. pendula - Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica* - Baumartengruppen-Cluster") haben die *Betula*-Baumartengruppe und die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten genau denselben Indikatorwert, beim Cluster 3 ("*B. pendula - P. sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster") sind es die *Betula*-Baumartengruppe und die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten, die fast denselben Indikatorwert aufwiesen. Der Cluster 10 ("*P. sylvestris - F. sylvatica - B. pendula - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster") hat drei Leitbaumartengruppen, die *Betula*-Baumartengruppe, die Wirtschaftslaubbaumarten, und die Wirtschaftsnadelbaumarten. Bei allen übrigen Clustern wären zwei Baumartengruppen unter der *Betula*-Baumartengruppe und den Gruppen der Wirtschaftslaubbaumarten und der Wirtschaftsnadelbaumarten zu nennen, wobei die eine einen höheren Indikatorwert als die andere aufwies. Dies ist der Fall beim Cluster 4 ("*P. sylvestris - F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster") mit den Wirtschaftsnadel- und Wirtschaftslaubbaumarten, beim Cluster 5 ("*B. pendula - Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - S. aucuparia* - Baumartengruppen-Cluster") mit der *Betula*-Baumartengruppe und den Wirtschaftslaubbaumarten, beim Cluster 7 ("*P. sylvestris - B. pendula* - Baumartengruppen-Cluster) mit den Wirtschaftsnadelbaumarten und der *Betula*-Baumartengruppe, beim Cluster 8 ("*Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - B. pendula - C. betulus* -

Baumartengruppen-Cluster") mit den Wirtschaftslaubbaumarten und der *Betula*-Baumartengruppe und schließlich beim Cluster 11 ("*F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur - P. sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster") mit den Wirtschaftslaub- und Wirtschaftsnadelbaumarten.

P. serotina ist die Leitbaumart des Clusters 12, *B. pendula* der Cluster 1 und 5 und zusammen mit *P. sylvestris* des Clusters 3. *P. sylvestris* ist die Leitbaumart des Clusters 6, zusammen mit *F. sylvatica* des Clusters 4 und zusammen mit *B. pendula* des Clusters 7. Beim Cluster 11 können *F. sylvatica* und *Q. petraea & Q. robur* als Leitbaumarten betrachtet werden. Bei den Clustern 2, 8, 9 und 10 wären drei bis fünf Baumarten zu nennen.
Die Cluster 10 und 4, die bei den paarweisen Vergleichen nicht differenziert wurden, sehen auf Basis der *Indicator Species Analysis* ziemlich unterschiedlich aus.

Tabelle 57: Leitbaumarten der Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots)
Tableau 57: Essences indicatrices des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes)

Cluster	Leitbaumarten
1	*Betula pendula*
2	*Betula pendula, Quercus petraea & Q. robur, Fagus sylvatica,*
3	*Betula pendula, Pinus sylvestris,*
4	*Pinus sylvestris, Fagus sylvatica*
5	*Betula pendula*
6	*Pinus sylvestris*
7	*Pinus sylvestris, Betula pendula*
8	*Quercus petraea & Q. robur, Carpinus betulus, Fagus sylvatica*
9	*Prunus avium, Fagus sylvatica, Fraxinus excelsior, Carpinus betulus, Quercus petraea & Q. robur*
10	*Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Betula pendula, Quercus petraea & Q. robur*
11	*Fagus sylvatica, Quercus petraea & Q. robur*
12	*Prunus serotina*

Meistens sind die Leitbaumarten der Baumartengruppen-Cluster auch die Baumarten, die die größten Anteile an der Gesamtstammzahl des Clusters aufweisen. Dies stimmt aber für die Cluster 8 ("*Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - B. pendula - C. betulus* - Baumartengruppen-Cluster") und 9 ("*F. sylvatica - C. betulus - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster") nicht. In der Reihenfolge ihrer Anteile an der Gesamtstammzahl sind die Hauptbaumarten des Clusters 8 *Q. petraea & Q. robur* (23%), *F. sylvatica* (22%), *B. pendula* (19%), und *C.betulus* (14%). *C. betulus* hatte allerdings denselben Indikatorwert wie *F. sylvatica*, und *B.pendula* hatte einen niedrigen Indikatorwert als diese letzten zwei Baumarten. Beim Cluster 9 wies *P. avium* den höchsten Indikatorwert auf, obwohl sie mit 12% der Stammzahl nur die vierthäufigste Hauptbaumart ist. *F. sylvatica*, die mit 31% der Stammzahl die erste Hauptbaumart ist, hatte denselben Indikatorwert wie *F. excelsior*, die mit 10% der Stammzahl nur an fünfter Stelle kam. Außerdem hatte *C. betulus*, die die zweithäufigste Baumart dieses Clusters ist (19% der Stammzahl), einen niedrigen Indikatorwert als *F. excelsior*.

Leitpflanzenarten der Baumarten-Cluster und der Baumartengruppen-Cluster

Wie für die Baumartengruppen und für die Baumarten konnte anhand einer *Indicator Species Analysis* bestimmt werden, ob Pflanzenarten der Bodenvegetation als Leitarten von bestimmten Clustern betrachtet werden konnten. Wie unter Kapitel 2.5.4.2 erläutert, wurden auf der Grundlage der maximalen Indikatorwerte aller Arten diejenigen ausgewählt, die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit Leitarten von Clustern hätten sein können (je höher der maximale Indikatorwert, desto besser die Indikatoreigenschaft der Pflanzenart. Die Indikatorwerte der ausgewählten Arten wurden dann pro Cluster betrachtet.

Tabelle 58: Maximale Indikatorwerte der Arten der Konkurrenzvegetation* bei den Baumarten-Clustern, bei den Baumartengruppen-Clustern, und bei den Typen der französischen Forstverwaltung (n = 6 478 Plots)

Tableau 58: Valeurs indicatrices maximales des espèces de la végétation concurrente pour les types statistiques basés sur la densité des essences, les types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences, ainsi que pour les types définis par l'ONF (n = 6 478 placettes)

	Baumarten-Cluster			Baumartengruppen-Cluster			Typen der Förster		
		MIW	p		MIW	p		MIW	p
1	M.caer.	15,0	***	M.caer.	11,9	***	M.caer.	11,2	***
2	R.frut.	15,0	***	R.frut.	11,6	***	P.aqui.	10,5	***
3	P.aqui.	13,6	***	P.aqui.	9,5	**	R.frut.	10,5	***
4	C.scop.	12,1	***	C.scop.	9,4	**	D.flex.	9,6	**
5	D.flex.	11,9	***	D.flex.	9,3	**	C.scop.	9,4	**
6	S.Art.	11,6	***	V.myrt.	9,3	***	V.myrt.	9,3	***
7	F.alnu.	11,4	***	Ju.sp.	9,2	***	F.alnu.	9,1	**
8	Ju.sp.	11,3	***	F.alnu.	8,9	*	Ju.sp.	9,1	**
9	V.myrt.	11,1	***	Cal.sp.	8,7	**	Ca.vul.	8,8	*
10	Ca.vul.	10,5	***	Ca.vul.	8,7	*	D.cesp.	8,7	*
11	D.cesp.	10,5	**	D.cesp.	8,7	*	Lu.sp.	8,7	*
12	Cal.sp.	10,4	***	Lu.sp.	8,7	**	Cal.sp.	8,6	*
13	Lu.sp.	10,4	**	C.sylv.	8,6	*	Moos	8,4	*
14	C.sylv.	10,3	**	C.briz.	8,5	**			
15	S.virg.	10,3	**	S.Far.	8,5	*			
16	C.briz.	10,2	*	Moos	8,5	**			
17	L.peri.	10,1	**	L.peri.	8,4	*			
18	A.fili.	10,1	**	C.vita.	8,4	*			
19				Car.sp.	8,4	*			

*Aufgeführt sind nur die Pflanzenarten, die einen statistisch signifikanten maximalen Indikatorwert aufwiesen (d. h. mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$).
MIW steht für maximaler Indikatorwert, p für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Die p-Werte wurden mit folgenden Symbolen gekennzeichnet: ***: $p \leq 0,001$ (höchst signifikant); **: $0,001 < p \leq 0,01$ (sehr signifikant); *: $0,01 < p \leq 0,05$ (signifikant). Der Indikatorwert einer Art darf nicht berücksichtigt werden, wenn der Test nicht signifikant ist.
Im Anhang 27 findet sich eine Tabelle, die die höchsten Indikatorwerte jeder Art bei den Typen und bei den Clustern zusammenfasst, wobei die Arten zum Vergleich in alphabetischer Reihenfolge stehen.

Wie bei den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung war die Irrtumswahrscheinlicheit sehr oft größer als 0,05, so dass viele Arten nicht berücksichtigt werden konnten. Außerdem lagen die Indikatorwerte der verschiedenen Arten sehr nah aneinander.

Molinia caerulea, *Rubus fruticosus*, *Pteridium aquilinum*, *Cytisus scoparius* und *Deschampsia flexuosa* sind die fünf Arten, die die höchsten Indikatorwerte aufwiesen. Sie traten in dieser Reihenfolge bei den Baumarten-Clustern und bei den Baumartengruppen-Clustern auf, was auch der Reihenfolge ihrer Häufigkeiten (bezüglich der Plotanzahl) auf den 6 478 Plots, die zur Bildung der Cluster miteinbezogen wurden, entspricht. Bei den Typen ist die Reihenfolge dieser fünf Arten verschieden. Sie entspricht der Reihenfolge ihrer Häufigkeiten auf den 8 039 "unproblematischen" Plots.

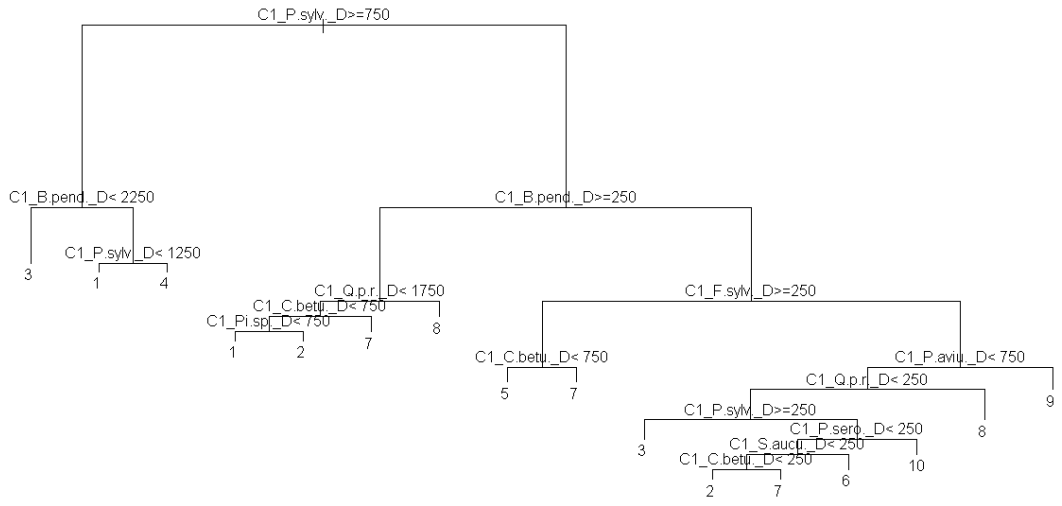
Bei der Betrachtung der Indikatorwerte der Pflanzenarten für jeden Cluster (s. Anhang 25 u. 26) ergab sich dasselbe Problem wie bei den Typen der französischen Forstverwaltung. Die Indikatorwerte der Arten, die die höchsten maximalen Indikatorwerte aufwiesen, lagen bei jedem Cluster sehr nah aneinander, waren auch manchmal gleich, so dass keine Pflanzenart als Leitart eines Clusters definiert werden konnte.

3.3.4.3 *Classification trees*

Baumarten-Cluster

Abbildung 8: *classification tree* für die Baumarten-Cluster (n = 6 478 Plots)

Figure 8: Arbre de classification des types statistiques basés sur la densité des essences (n = 6 478 placettes)



C1 steht für den Kreis C1, D steht für Dichte, B.pend. für *Betula pendula*, C.betu. für *Carpinus betulus,* F.sylv für *Fagus sylvatica,* P.aviu. für *Prunus avium*, P.sero. für *Prunus serotina*, P.sylv. für *Pinus sylvestris,* Pi.sp. für *Pinus sp. ,* Q.p.r. für *Quercus petraea & Q. robur*, und S.aucu. für *Sorbus aucuparia*. An jeder Verzweigung ist die jeweils zu erfüllende Bedingung aufgeführt. Der linke Ast bezeichnet jeweils die Plots, die die Bedingung erfüllen.

Unter den 36 Baumarten sind nur 9 zur Differenzierung der Cluster relevant. Es handelt sich um *B. pendula, C.betulus, F. sylvatica, P. sylvestris, Pinus sp., P. avium*, *P. serotina*, *Q. petraea & Q. robur* und *S. aucuparia*.

Für alle Baumarten sind fünf Dichte-Werte von Bedeutung: 250, 750, 1 250, 1 750 und 2 250 St/ha. Da ein Baum im Kreis C1 500 St/ha entsprach, konnten diese Werte "korrigiert" werden. Im Folgenden bezeichnet n die Zahl der Jungwüchse im Kreis C1 und D die Gesamtdichte:

$D<250$ St/ha $\leftrightarrow n<0{,}5 \leftrightarrow n = 0 \leftrightarrow D = 0$ St/ha

$D<750$ St/ha $\leftrightarrow n<1{,}5 \leftrightarrow n = 1 \leftrightarrow D = 500$ St/ha

$D<1\,250$ St/ha $\leftrightarrow n<2{,}5 \leftrightarrow n = 0$, 1 oder 2 $\leftrightarrow D \leq 1\,000$ St/ha

$D<1750$ St/ha $\leftrightarrow n<3{,}5 \leftrightarrow n = 0$, 1, 2 oder 3 $\leftrightarrow D \leq 1\,500$ St/ha $\leftrightarrow D<2\,000$ St/ha

$D<2\,250$ St: ha $\leftrightarrow n<4{,}5 \leftrightarrow n = 0$, 1, 2, 3 oder 4 $\leftrightarrow D \leq 2\,000$ St/ha.

Daraus ergaben sich die Werte, die die französische Forstverwaltung als Grenzwerte für die Gesamtdichte festgelegt hatte.

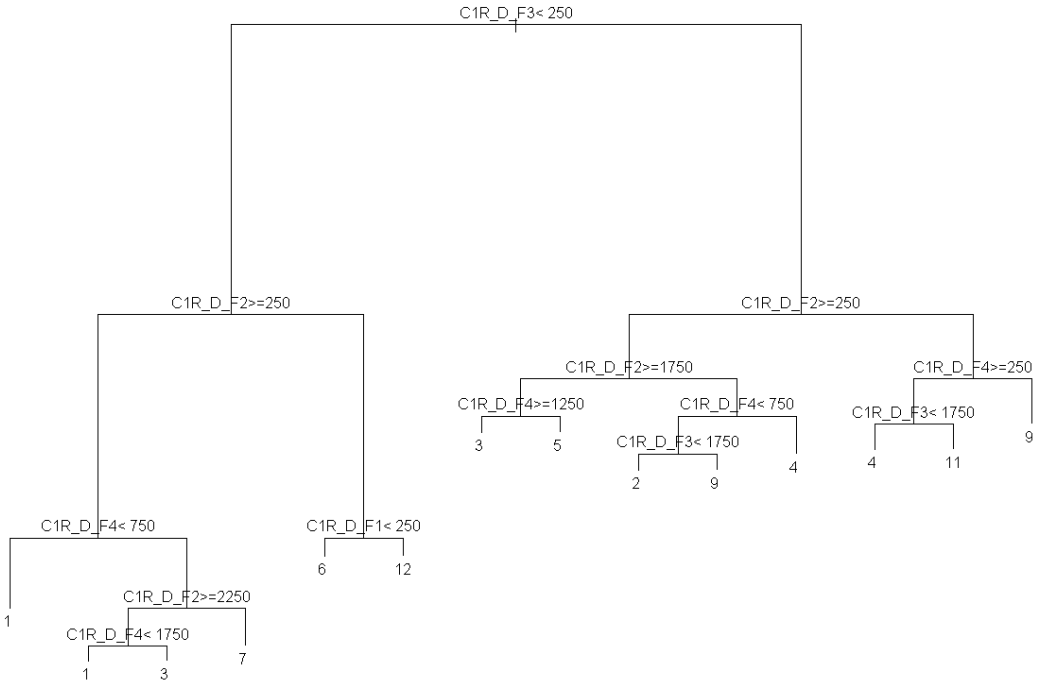
Die Baumarten-Cluster 1, 2, 3, und 8 (jeweils *B. pendula*-Cluster, Misch-Baumarten-Cluster, *P. sylvestris*-Cluster und *Q. petraea & Q. robur*-Cluster) treten im *tree* zweimal und der Baumarten-Cluster 7 (*C. betulus*-Cluster) dreimal auf. Damit ergibt sich, dass sie hinsichtlich der Variablen, die zur Bildung des *tree* hinzugezogen wurden, relativ heterogen sind. Trotzdem handelt es sich nicht um die Cluster, die sich auf Basis der mittleren Distanzen als die heterogensten ergaben (s. Kapitel 3.3.3.1).

Baumartengruppen-Cluster

Zur Differenzierung der Baumartengruppen-Cluster sind dieselben Dichte-Werte, wie im *tree* der Baumarten-Cluster, von Bedeutung.

Abbildung 9: *classification tree* für die Baumartengruppen-Cluster (n = 6 478 Plots)

Figure 9: Arbre de classification des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences (n = 6 478 placettes)



C1R steht für den Aufnahmekreis C1, D steht für Dichte, F1 steht für die *Serotina*-Baumartengruppe, F2 für die *Betula*-Baumartengruppe, F3 für die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten, F4 für die Gruppe Wirtschaftsnadelbaumarten.
An jeder Verzweigung ist die jeweils zu erfüllende Bedingung aufgeführt. Der linke Ast bezeichnet jeweils die Plots, die die Bedingung erfüllen..

Die Baumartengruppen-Cluster 8 ("*Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - B. pendula - C. betulus* - Baumartengruppen-Cluster") und 10 ("*P. sylvestris - F. sylvatica - B. pendula - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster") erscheinen nicht im *tree.* Dies bedeutet, dass sie sich anhand der Kriterien, die bei der Bildung des *tree* eine Rolle spielen, nicht von den anderen Baumartengruppen-Clustern unterscheiden lassen. Die paarweisen Vergleiche ergaben (s. Kapitel 3.3.3.2), dass die Baumartengruppen-Cluster 4 und 10 statistisch nicht verschieden waren, während alle andere Baumartengruppen-Cluster sich statistisch voneinander unterschieden. Der Baumartengruppen-Cluster 10 konnte im *tree* von dem Baumartengruppen-Cluster 4 nicht unterschieden werden. Für die Abwesenheit des Baumartengruppen-Clusters 8 kann keine Erklärung gegeben werden.
Die Baumartengruppen-Cluster 1, 3, 4, und 9 (jeweils *B. pendula* – Baumartengruppen-Cluster, *B. pendula - P. sylvestris* – Baumartengruppen-Cluster, *P. sylvestris - F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster und *F. sylvatica - C. betulus - Q. petraea & Q. robur* –

Baumartengruppen-Cluster) treten zweimal im *tree* auf. Dies bedeutet, dass sie hinsichtlich der Kriterien der Verzweigung relativ heterogen sind.

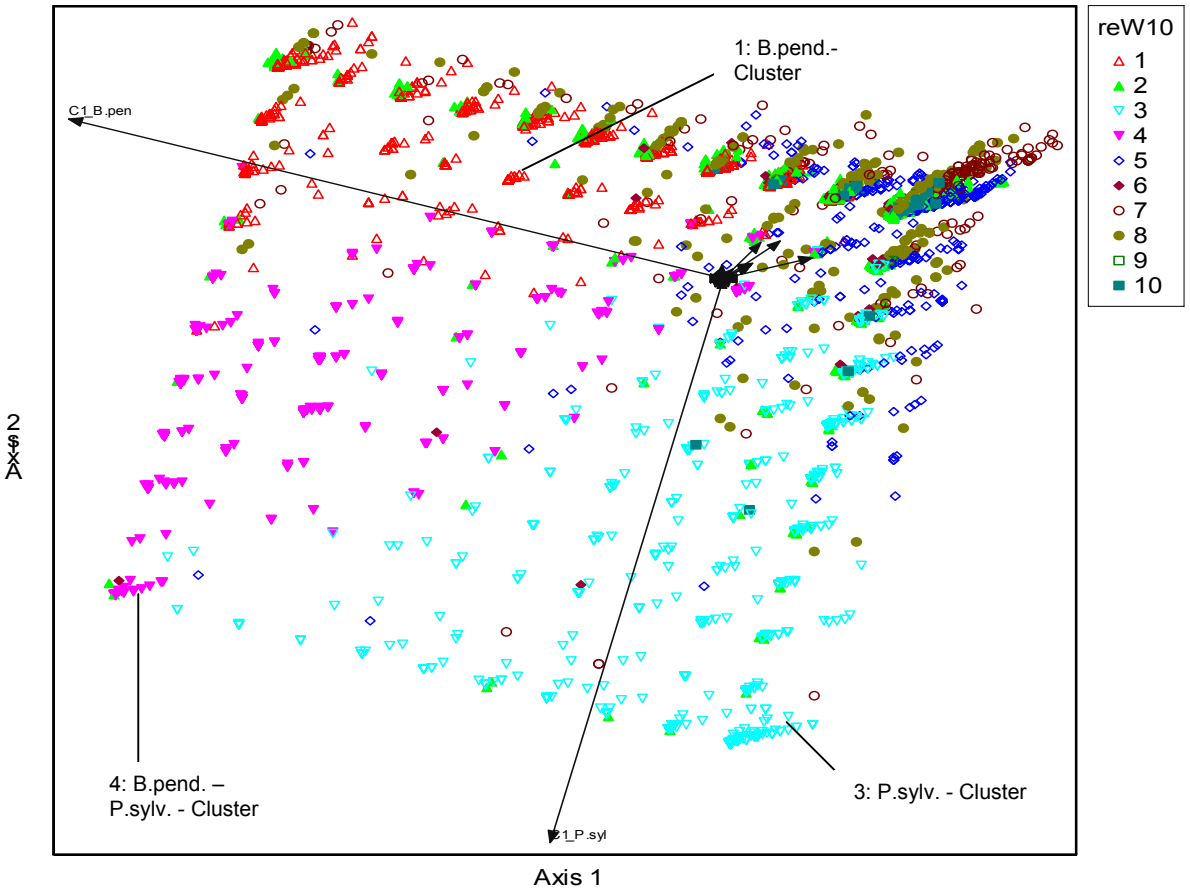
3.3.4.4 Ergebnisse der Hauptkomponentenanalysen

Die Kombination der Verfahren *Variance/Covariance (centered)* und *distance-based biplots* mit unstandardisierten Daten ergab für die Cluster sowie für die Typen die am besten verwertbaren Grafiken. Deswegen wurden die Hauptkomponentenanalysen anhand dieser Verfahren durchgeführt.

Baumarten-Cluster

Abbildung 10: Verteilung der Baumarten-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse

Figure 10: Représentation des types statistiques basés sur la densité des essences dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances



Jedes Symbol steht für einen Plot. Die unterschiedlichen Symbole entsprechen den unterschiedlichen Clustern. Die Pfeile stellen die Baumarten dar. Die Baumart ist umso bedeutender, je länger der Pfeil ist. C1 steht für die im Kreis C1 aufgenommenen Variablen, D steht für Dichte, B.pen. für *Betula pendula*, P.syl. für *Pinus sylvestris*.

Zwei Baumarten sind für die Verteilung der Cluster bei weitem die bedeutendsten. Es handelt sich um *B. pendula* (Pfeil nach links) und *P. sylvestris* (Pfeil nach unten). Nach oben-rechts sind noch fünf weitere Pfeile zu erkennen: drei längere und zwei kleinere. Die drei längeren entsprechen von links nach rechts den Baumarten *Q.petraea & Q. robur*, *C. betulus*, und *F. sylvatica*; die zwei kürzeren *S. aucuparia* und *P. serotina.* Die Pfeile der anderen Baumarten sind nicht sichtbar.

Hinsichtlich der Differenzierung der Cluster sind damit die sieben obengennanten Baumarten als die bedeutendsten zu bewerten. *B. pendula* und *P. sylvestris* waren die häufigsten Baumarten der Jungwuchbestände. Sie traten auf jeweils 48% und 42% der Plots auf. *Quercus petraea & Q. robur*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*; *Sorbus aucuparia* und *Prunus serotina* waren die zweithäufigsten Baumarten (s. Kapitel 3.1.1.1). Diese sieben Baumarten gehörten auch zu denjenigen, die im *classification tree* der Baumarten-Cluster bei der Differenzierung der Cluster eine Rolle spielten (s. Kapitel 3.3.4.3).

Nur drei Cluster unterscheiden sich deutlich nach ihrer Verteilung gegenüber den *B. pendula* - und *P. sylvestris*-Pfeilen. Unten rechts, vom *P. sylvestris*-Pfeil durchquert, dehnt sich der *P. sylvestris* - Baumarten-Cluster aus (Cluster 3). Oben links ist um den *B. pendula*-Pfeil herum der *B. pendula* – Baumarten-Cluster (Cluster 1) zu finden, wobei die meisten Plots oberhalb des Pfeils liegen. Zwischen den zwei Pfeilen, mit einer Verschiebung in Richtung *B.-pendula* Pfeil, liegen die Plots des *B. pendula* - *P. sylvestris* - Baumarten-Clusters (Cluster 4).
Die anderen Cluster sind mehr oder weniger in dem oben rechts an der Spitze der drei Pfeile liegenden Paket konzentriert. Dieses Paket enthält die meisten Plots der Cluster 5 bis 10 (*F. sylvatica* – Baumarten-Cluster, *S. aucuparia* – Baumarten-Cluster, *C. betulus* – Baumarten-Cluster, *Q. petraea & Q. robur* – Baumarten-Cluster, *P. avium* - Baumarten-Cluster, und *P. serotina* - Baumarten-Cluster). Der *F.sylvatica* – und der *Q. petraea & Q. robur* – Baumarten-Cluster (Cluster 5 und 8) weisen den Trend auf, sich entlang der *B. pendula* - und *P. sylvestris* – Pfeile auszudehnen. Dies könnte daran liegen, dass diese letzten Baumarten einen bedeutenden Anteil an der Baumartenzusammensetzung dieser beiden Cluster einnehmen. Dies ist auch der Fall beim *S. aucuparia* – Baumarten-Cluster (Cluster 6), der aber in der Grafik, möglicherweise aufgrund seiner geringen Plotanzahl, kaum zu erkennen ist. Der Misch - Baumarten-Cluster (Cluster 2) weist die heterogenste Verteilung auf. Der Großteil seiner Plots befindet sich im Paket, auch wenn eine nicht unbedeutende Zahl oberhalb des *Betula pendula*-Pfeils liegt.
Daraus ergibt sich, dass der *B. pendula* – Baumarten-Cluster, der *P. sylvestris* – Baumarten-Cluster und der *B. pendula – P. sylvestris* – Baumarten-Cluster bei weitem die statistisch bedeutendsten sind.

Obwohl der *P. sylvestris* - und der *B. pendula* - Baumarten-Cluster (Cluster 1 und 3) zweimal im *classification tree* erschienen (s. Kapitel 3.3.4.3), und somit als ziemlich heterogen bezeichnet werden können, lassen sie sich bei der Hauptkomponentenanalyse gut von den anderen Clustern trennen. Im Übrigen war die mittlere Distanz des *B. pendula* - Baumarten-Clusters sehr gering, was auf eine gute Homogenität dieses Clusters hindeutet. Dagegen gehörten die mittleren Distanzen des *P. sylvestris*-Baumarten-Clusters und des *B. pendula – P. sylvestris* – Baumarten-Clusters zu den höchsten, was auf eine gewisse Heterogenität dieser Cluster hinweist (s. Kapitel 3.3.3.1).
Die paarweisen Vergleiche ergaben (s. Kapitel 3.3.3.2), dass der *B. pendula* - Baumarten-Cluster und der *B. pendula* - *P. sylvestris* - Baumarten-Cluster sich statistisch nicht voneinander unterscheiden. Im

Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse erscheinen sie aber klar voneinander getrennt, obwohl sie sich an ihrer gemeinsamen Grenze leicht überlappen.

Aus dieser Visualisierung der Baumarten-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

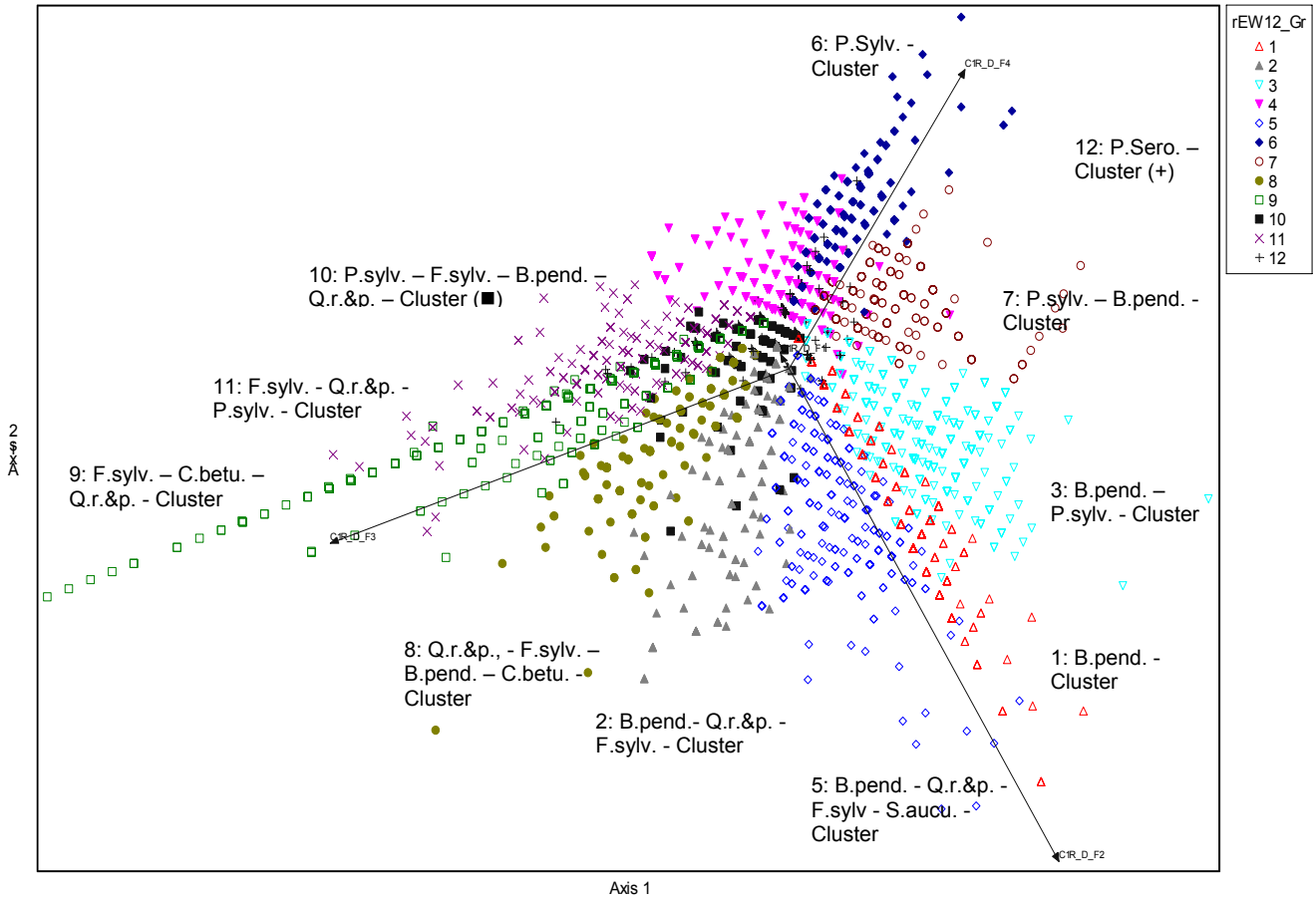
- Die Dichte von *B. pendula* und die Dichte von *P. sylvestris* sind für die Differenzierung der Baumarten-Cluster bei weitem die bedeutendsten Variablen.
- Nur drei Baumarten-Cluster lassen sich von den anderen deutlich unterscheiden: *B. pendula* – Baumarten-Cluster, der *P. sylvestris* - Baumarten-Cluster, und der *B. pendula* - *P. sylvestris* - Baumarten-Cluster (Baumarten-Cluster 1, 3, und 4).
- Die drei Baumarten-Cluster, die sich von den anderen am besten unterscheiden, sind nicht diejenigen, die auf Basis der mittleren Distanzen die größte Homogenität aufweisen. Außerdem gehören zwei von ihnen zu den Baumarten-Clustern, die im *classification tree* mehrmals auftreten, und damit als relativ heterogen angesehen werden können.

Baumartengruppen-Cluster

Die Cluster sind um die Pfeile der Baumartengruppen gut verteilt.

Abbildung 11: Verteilung der Baumartengruppen-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse

Figure 11: Représentation des types statistiques basés sur la densité des groupes d'essences dans le repère des deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances



Jedes Symbol steht für einen Plot. Die unterschiedlichen Symbole entsprechen den unterschiedlichen Clustern. Die Pfeile stellen die Baumartengruppen dar. Die Baumartengruppe ist umso bedeutend, je länger der Pfeil ist. C1 steht für die im Kreis C1 aufgenommenen Variablen, D steht für Dichte, F1 für die *Serotina*-Baumartengruppe, F2 für die *Betula*-Baumartengruppe, F3 für die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten, F4 für die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten.

Der *Betula*-Baumartengruppe - Pfeil (Pfeil nach unten rechts) ist der längste. Diese Baumartengruppe stellt sich also hinsichtlich der Differenzierung der Baumartengruppen-Cluster als die bedeutendste dar. Es folgen die Baumartengruppe der Wirtschaftslaubbaumarten (Pfeil nach unten links) und die Baumartengruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten (Pfeil nach oben rechts). Der Pfeil der *Serotina*-Baumartengruppe ist kaum zu sehen: dieser Gruppe wird eine geringe Bedeutung beigemessen. Er weist in die zum *Betula*- Baumartengruppe - Pfeil entgegengesetzte Richtung. Bei der Hauptkomponentenanalyse der Typen hatten dagegen die Wirtschaftslaubbaumarten, noch vor der *Betula*-Baumartengruppe, die größte Bedeutung.

Um dem Wirtschaftsnadelbaumarten-Pfeil entsprechen die gefüllten Rauten dem *P. sylvestris*- Baumartengruppen-Cluster (Cluster 6), und direkt rechts vom *Betula*-Baumartengruppe - Pfeil befindet sich der *B. pendula* – Baumartengruppen-Cluster (Cluster 1). Zwischen den beiden liegen die zwei Baumartengruppen-Cluster, bei denen *B. pendula* und *P. sylvestris* die häufigsten Baumarten sind (Cluster 3 und 7). Zwischen dem *Betula* - Baumartengruppen-Pfeil und dem Wirtschaftslaubbaumarten-Pfeil liegen die Baumartengruppen-Cluster, deren Hauptbaumarten zu diesen zwei Baumartengruppen gehören (Cluster 2, 5, 8). Je mehr man sich dem Wirtschaftslaubbaumarten-Pfeil nähert, desto wichtiger wird der Anteil der Baumarten dieser Gruppe an der Zusammensetzung der betroffenen Cluster, im Vergleich zum Anteil von *B. pendula*. Zwischen dem Wirtschaftslaubbaumarten-Pfeil und dem Wirtschaftsnadelbaumarten-Pfeil befinden sich die Baumartengruppen-Cluster, die hauptsächlich aus Baumarten dieser beiden Gruppen bestehen, wobei die zwei Cluster, die näher an dem Wirtschaftslaubbaumarten-Pfeil liegen (Cluster 9 und 11), von Wirtschaftslaubbaumarten dominiert sind, und die zwei Cluster, die näher an dem Wirtschaftsnadelbaumarten-Pfeil liegen, von *P. sylvestris* dominiert sind (4 et 6). Zwischen diesen zwei Paaren von Clustern ist der *P.sylvestris - F. sylvatica - B. pendula - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster (Cluster 10) zu finden. Der *P. Serotina* - Baumartengruppen-Cluster ist in der Mitte der Grafik zu erkennen, einige Plots sind entlang dem Wirtschaftsnadelbaumarten-Pfeil verstreut.

Allgemein weisen die Baumartengruppen-Cluster eine gute Verteilung im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse. Nur zwei Cluster sind von den anderen nicht klar getrennt: der *P. sylvestris - F.sylvatica - B. pendula - Q.petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster und der *Prunus serotina* - Baumartengruppen-Cluster. Der *P. serotina*- Baumartengruppen-Cluster hatte unter den Baumartengruppen-Clustern die höchste mittlere Distanz, der *P. sylvestris - F. sylvatica*. - *B. pendula - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster die dritthöchste. Dies bedeutet, dass sie im Vergleich zu den anderen Clustern ziemlich heterogen sind. Der Baumartengruppen-Cluster mit der zweithöchsten mittleren Distanz ist der *P. sylvestris - F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster (Cluster 4). Dieser lässt sich relativ gut von den anderen unterscheiden, überlappt sich aber mit dem *Pinus* sylvestris - Baumartengruppen-Cluster. Aus den paarweisen Vergleichen ergab sich außerdem, dass der *P. sylvestris - F. sylvatica - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster und der *P. sylvestris - F. sylvatica - B. pendula - Q. petraea & Q. robur* - Baumartengruppen-Cluster (Cluster 4 und 10) sich statistisch nicht voneinander unterschieden. Im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse liegen sie nämlich nahe aneinander. Im *classification tree* erschien der letzte Cluster nicht, was auf eine statistische Ähnlichkeit mit dem ersten hinweisen könnte. Der *Q. petraea & Q. robur - F. sylvatica - B. pendula - C. betulus* - Baumarten-Cluster erschien auch nicht im *tree,* ist aber bei der Hauptkomponentenanalyse von den anderen Baumartengruppen-Cluster klar getrennt.

Aus dieser Visualisierung der Baumarten-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Im Vergleich zu den drei anderen Baumartengruppen kann der *Serotina*-Gruppe hinsichtlich der Differenzierung der Baumartengruppen-Cluster ein geringes Gewicht beigemessen werden.
- Im Vergleich zu den Typen und den Baumarten-Cluster weisen die Baumartengruppe-Cluster eine gute Verteilung auf.
- Die Baumartengruppen-Cluster, die sich von den anderen am besten unterscheiden, sind nicht immer diejenigen, die den mittleren Distanzen nach die homogensten sind. Trotzdem spiegelt die Verteilung der Baumartengruppen-Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen der Hauptkomponentenanalyse allgemein die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche wider.
- Die Baumartengruppen-Cluster, die zweimal im *classification tree* auftraten, sind nicht weniger sauber von den anderen Clustern getrennt, als diejenigen, die nur einmal im *tree* erschienen.

3.3.5 Ergebnisse der Überprüfung im Freiland

Auf denselben neun Plots, die der Überprüfung der Typologie der französischen Forstverwaltung durch die Revierleiter dienten, wurden die Cluster anhand der *classification tree* bestimmt. Auf den Plots vom V-Typ konnte die Bestimmung nicht erfolgen, da die unbestockten Plots in die statistischen Typologien nicht miteinbezogen wurden.

Tabelle 59: Ergebnisse der Überprüfung der statistischen Typologien im Freiland - Zugehörigkeit der neun Versuchs-Plots zu den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung, zu den Baumarten-Clustern und zu den Baumartengruppen-Cluster

Tableau 59: Résultats du test sur le terrain des typologies statistiques: *correspondances entre types définis par l'ONF et types statistiques sur les neuf placettes-tests*

Plot	Typ	Baumarten-Cluster	Baumartengruppen-Cluster
1	D4	3: *Pinus sylvestris* - Cluster	*7: Pinus sylvestris - Betula pendula* - Cluster
2	C3	3: *Pinus sylvestris* - Cluster	6: *Pinus sylvestris* - Cluster
3	D5	3: *Pinus sylvestris* - Cluster	6: *Pinus sylvestris* - Cluster
4	C3	3: *Pinus sylvestris* - Cluster	*7: Pinus sylvestris - Betula pendula* - Cluster
5	D2	4: *Betula pendula* - Cluster	3: *Betula pendula - Pinus sylvestris* - Cluster
6	V4	-	-
7	V3	-	-
8	C2	1: *Betula pendula* - Cluster	1: *Betula pendula* - Cluster
9	V1	-	-

Diese Ergebnisse deuten auf eine gewisse Heterogenität der Cluster im Vergleich zu den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung hin. So entsprachen der Plot von Typ D4 ("Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit"), der Plot vom Typ D5 ("Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung") sowie die zwei Plots von Typ C3 ("lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit") einem einzigen Baumarten-Cluster, und zwar dem *P. sylvestris*-Baumarten-Cluster. Die Baumartengruppen-Cluster lieferten präzisere Aussagen, da die 4 Typen zwei Baumartengruppen-Cluster entsprachen.

Der Plot von Typ D4 und einer der Plots von Typ C3 (Plot 4) entsprachen dem *P.sylvestris – B. pendula*-Cluster. Der Plot von Typ D5 und der zweite Plot von Typ C3 (Plot 2) entsprachen dem *P. sylvestris*-Cluster. Der Plot von Typ C2 ("lockere Verjüngung von Baumarten der Betula-Baumartengruppe dominiert") wurde zweimal dem *B.pendula*-Cluster zugeordnet, wohingegen der Plot von Typ D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt ") zwei verschiedenen Baumarten-Clustern zugeordnet wurde: dem *Betula pendula* - Baumarten-Cluster und dem *Betula pendula – Pinus sylvestris* – Baumartengruppen-Cluster.

Daraus ergibt sich, dass die Baumartengruppen-Cluster realitätsnäher als die Baumarten-Cluster sind, und dass die Cluster allgemein im Vergleich zu den Jungwuchstypen der französischen Forstverwaltung (vor allem bezüglich der Gesamtdichte) heterogene Verjüngungssituationen zusammenfassen.

4 Diskussion

4.1 Überblick über die gewonnenen Ergebnisse

Die deskriptive Auswertung der aufgenommenen Daten ergab, dass die erfassten Flächen zu 60%, mit dichten - D≥2 000 St/ha - Jungwuchsbeständen bestockt waren, aber auch, dass unbestockte Flächen einen bedeutenden Anteil (19%) an der Gesamtsturmwurffläche einnahmen. *Betula pendula* erwies sich als die am häufigsten auftretende Art der Jungwuchsbestände, noch vor *Pinus sylvestris, Fagus sylvatica* und *Quercus petraea & Q. robur,* die die Hauptbaumarten der Vorbestände und der Umgebungsbestände darstellen. Zwischen den erhobenen Variablen konnten keine straffen Beziehungen nachgewiesen werden.

Der auf der Grundlage von Erfahrungswerten entwickelten Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung, die überwiegend auf der Gesamtdichte und den relativen Dichten von Baumartengruppen aufbaut, wurden zwei statistische Typologien aus Clusteranalysen gegenübergestellt. Die eine beruht auf der Dichte der einzelnen Baumarten, die zweite auf der Dichte der Baumartengruppen.

Typen und Cluster wurden anhand ihrer Baumartenzusammensetzung und der statistischen Kennwerte der Gesamtdichte charakterisiert. Die Cluster sind im Hinblick auf die Baumartenzusammensetzung bzw. Baumartengruppenzusammensetzung homogener als die Typen, während die Typen im Hinblick auf die Gesamtdichte deutlich homogener als die Cluster sind. Die beste statistische Unterscheidbarkeit wiesen die Baumartengruppen-Cluster auf.

Die Kriterien, die die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung zur Bildung der unterschiedlichen Jungwuchstypen ausgewählt hatten, wurden durch die *classification tree*- Analyse und durch die Hauptkomponentenanalyse bestätigt. Für die Cluster wurden die *classification trees* als Bestimmungsschlüssel verwendet. Die Überprüfung der verschieden Typologien im Freiland zeigte, dass die Cluster Verjüngungssituationen zusammenfassten, die anhand der Typologie der französischen Forstverwaltung differenziert werden konnten.

4.2 Vergleich der Verfahren zur Erstellung der Typologie

4.2.1 Vergleich im Hinblick auf die statistische Unterscheidbarkeit der Typen und der Cluster

Zum Ziel eines objektiven Vergleichs von Typen und Clustern wurden die verschiedenen Typologien denselben statistischen Analysen (*Multi-Response Permutation Procedures - Analyse, classification tree* - Analyse, und Darstellung der Typen bzw. der Cluster im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen einer Hauptkomponentenanalyse) unterzogen, die eine Aussage über die statistische Homogenität und die statistische Unterscheidbarkeit der Typen bzw. der Cluster erlauben sollten. Mit Ausnahme der *classification trees* stimmten die Ergebnisse der verschiedenen Analysen darin überein, die Baumartengruppen-Cluster als die statistisch beste, die Baumarten-Cluster als die statistisch zweitbeste und die Typen der französischen Forstverwaltung als die statistisch drittbeste

Typologie zu erweisen. Die Baumartengruppen-Cluster wiesen eine statistisch bessere Homogenität und Unterscheidbarkeit als die Baumarten-Cluster und die Typen auf.

4.2.2 Vergleich im Hinblick auf die Praktikabilität der Typologien

4.2.2.1 Praktikabilität der Typologie der französischen Forstverwaltung

Die Typologie der französischen Forstverwaltung und deren Bestimmungsschlüssel wurden im Freiland getestet. Daraus ergab sich, dass die Einschätzung der Gesamtdichte, die das Eingangskriterium des Bestimmungsschlüssels ist, kein Problem birgt: wie unter Kapitel 3.2.2 erläutert wurden die Kategorien "D-Typen", "C-Typen" und "V-Typen" meistens richtig bestimmt. Die wenigen Fehler betrafen vor allem die C-Typen, die als V-Typen und zwar meistens als Typ V3 "Blöße mit einzelnen Jungwüchsen" falsch identifiziert wurden (Plots 2, 4, 8 in der Tabelle 28). Bei dem Plot 4 können diese Fehler daran liegen, dass die Dichte ziemlich niedrig war. Die Fläche um den Plot 8 hätte dem Typ V3 zugeordnet werden müssen. Bei den kurz vor dem Test gegebenen Erklärungen zur Anwendung des Bestimmungsschlüssels wurde den Revierleitern empfohlen, für den Fall, dass die Identifizierung eines bestimmten Typs unklar sei, sich für denjenigen zu entscheiden, der bezüglich des nächstgelegenen Umfeld der repräsentativste ist. Dies könnte die falsche Bestimmung des Typs C2 ("lockere Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert") als Typ V3 beim Plot 8 erklären.

Für die Verwechselung der Typen D1 "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppen" und D2 "Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt" (Plot 5) können mehreren Erklärungen gegeben werden. Zunächst könnte eine zu rasche Bestimmung des Typs hierfür die Grundlage sein. Aus Sicht der Logik ergibt sich der Typ D2 als ein "Untertyp" des Typs D1, da bei beiden die Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominieren. Der Unterschied zwischen den beiden Typen besteht darin, dass Wirtschaftslichtbaumarten beim Typ D2 einen bedeutenden Anteil an der Verjüngung einnehmen, beim Typ D1 nicht. Daraus ergibt sich, dass man bei der Anwendung des Schlüssels zum Typ D1 gelangen kann, ohne einen logischen Fehler begangen, und trotzdem den Typ falsch bestimmt zu haben, weil man die Anwesenheit von Wirtschaftsbaumarten nicht berücksichtigt hat, was zu den Typen D2 oder D3 führen sollte. Dies macht die Notwendigkeit einer guten Übersicht über die verschiedenen Typen zur Durchführung der Aufnahmen deutlich. Eine andere mögliche Erklärung für diese Verwechselung der Typen D1 und D2 könnte den Hinweisen, die zur Bestimmung den Typen gegeben wurden, zuzuweisen sein. Den Revierleitern wurde gesagt, sie sollen bei der Bestimmung eines Typs sämtliche Jungwüchse nicht berücksichtigen. Zum Beispiel: die Anwesenheit eines *Betula pendula*-Jungbaums in einer dichten *Pinus sylvestris* - Verjüngung sollte sie nicht dazu führen, den Typ D4 "Dichte Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit" statt den Typ D5 "Dichte Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung" auszuwählen. Da auf dem Plot 5 *Betula pendula* stark dominierte, haben vielleicht einige Revierleiter aus diesem Grund die *Pinus sylvestris*-Jungwüchse bewusst vernachlässigt.

Die Verwechselung des Typs V3 "Blöße mit einzelnen Jungwüchsen" mit dem Typ V1 "Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert" beim Plot 7 könnte auch durch folgenden Sachverhalt verursacht worden sein. Der Boden war durch *Molinia caerulea* und *Pteridium aquilinum* fast zu 100% bedeckt, und nur drei Jungwüchse waren im Kreis zu finden. Drei Viertel der Revierleiter haben diese drei Jungwüchse vernachlässigt.

Viele Fehler wurden bei der Bestimmung des Typs V4 "Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen" begangen. Die Hälfte der Revierleiter hat entweder den Typ V1 oder den Typ V3 eingegeben. Dies deutet eventuell auf eine zu genaue Differenzierung zwischen den unbestockten oder fast unbestockten Plots hin. Bei den Typologien der zwei anderen Naturräume des Interreg-Projektes wurden allerdings nur noch zwei Typen aus den im Kreis C1 unbestockten Plots gebildet. Der Typ V4 blieb unverändert, und die Typen V1, V2, und V3 wurden zu einem einzigen Typ "Blöße eventuell mit einzelnen Jungwüchsen" zusammmengefasst. Im Naturraum "Haguenau-Ebene" nehmen aber die V-Typen mit 19% der Gesamtplotanzahl einen höhereren Anteil als in den anderen Naturräumen ein. Die Hemmung der Wiederbewaldung von Sturmwurfflächen durch die Bodenvegetation (Typ V1) muss genau lokalisiert werden, da in diesem Fall Pflanzungen geplant werden sollten. Deswegen wurde beschlossen, für diesen Naturraum die vier V-Typen beizubehalten.

Die vielen Fehler bei der Bestimmung des Typs C3 "lockere Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit "auf dem Plot 4 und Anmerkungen der Revierleiter dazu, machten eine Lücke der Typologie und des Bestimmungsschlüssels deutlich. Auf diesem Plot war die Gesamtdichte von knapp 1 000 St/ha und es gab ziemlich viele *Betula pendula*-Jungwüchse, die aber gegenüber den *Pinus sylvestris*-Jungwüchsen in der Minderheit waren. Die Revierleiter, die eine Gesamtdichte kleiner als 1 000 St/ha geschätzt hatten, konnten den Plot keinem Typ richtig zuordnen. Bei den Typen C3 und C4 beträgt die Gesamtdichte mindestens 1 000 St/ha. Die Typen C1 und C2 behinhalten zwar Plots mit einer Gesamtdichte kleiner als 1 000 St/ha, aber die *Betula-Baumartengruppe* ist beim Typ C1 abwesend und beim Typ C2 die dominante Baumartengruppe, was der Situation auf dem Plot 4 beides nicht entspricht.

Diese Lücke in der Typologie erklärt sich daraus, dass Verjüngungen aus Wirtschaftsnadel- und/oder Wirtschaftslaubbaumarten mit einer Dichte kleiner als 1 000 St/ha und mit beigemischeten Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe im Datensatz nicht vorhanden waren. Die französische Forstverwaltung hat den Schlüssel troztdem verändert, um im Hinblick auf die zweite großangelegte Aufnahmekampagne diesen Fall zu berücksichtigen. So wurde der Typ C1 neu definiert: damit er Plots auf denen Baumarten der *Betula*-Gruppe gegenüber Wirtschaftslaub- und Wirtschaftsnadelbaumarten in der Minderheit stehen, integrierte.

Nach dem Test betonten alle Revierleiter die Klarheit und die Leichtigkeit in der Anwendung des Bestimmungsschlüssels. Dies deutet auf eine gute Praktikabilität der Typologie und des entsprechenden Bestimmungsschlüssels.

Die Typologie der französischen Forstverwaltung ist geprägt durch ihre Orientierung an einer zukünftigen waldbaulichen Behandlung. Bei der Entwicklung der Typen haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung zum einen der Ablauf unterschiedlicher biologischer Prozesse (Konkurrenz, Erziehung, Qualifizierung, und Beschattung des Bodens[5]), die eine wichtige Grundlage für die zukünftige waldbauliche Behandlung darstellen, berücksichtigt, und zum anderen versucht, die Bedingungen für die Förderungsanträge zu erfüllen.

Die Typen C1, C2 und D1 (jeweils "sehr lockere - D≤500 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten ohne Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe", "lockere - 500≤D<2000 St/ha - Verjüngung von Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe" und "Dichte - D≥2000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe dominiert") entsprechen nicht den Voraussetzungen für die Wiederbewaldungsleitlinie "IT2"[6] nicht unterzogen werden, weil die Dichte der Wirtschaftsbaumarten unzureichend ist. Hingegen ensprechen sie den Kriterien einer ehemaligen Wiederbewaldungsleitlinie ("IT1"[7]), deren Wiedereinführung die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung als sinnvoll erachten. Die Dichte der Jungwüchse ist beim Typ C1 sehr niedrig, weshalb keine Qualifizierung einsetzen kann. Um mit dieser Waldgeneration Wertholz zu produzieren, wäre eine Notqualifizierung[8] erforderlich. Hierbai lägen Pflanzungen standortgerechter Arten in Klumpen im Bereich des Möglichen. Die Typen C2 und D1 sind beide von *Betula pendula*[9] dominiert. Im Typ C2 ist die Gesamtdichte allerdings niedriger. Bei diesem Typ wären Knicken und Ringeln von Birken zugunsten der Wirtschaftsbaumarten sowie die Notqualifizierung von ein paar Dutzend von *Betula pendula*-Jungwüchsen je Hektar (bei einer Oberhöhe von 12-15 m) zur Erzeugung von Wertholz möglich. Im Typ D1 findet die Qualifizierung der *Betula pendula*-Jungwüchse statt. Zur Erzeugung von *Betula pendula*-Wertholz könnten die Auszeichnung und die Freistellung von 50 bis 100 qualitativ guten *Betula pendula*-Jungwüchsen je Hektar (bei einer Oberhöhe von 12-15 m) geplant werden. Bevor der Boden infolge des leichten Schirms der *Betula* pendula-Jungbäume vergrast, könnte der Unterbau einer Wirtschaftsschattbaumart, z.B *Fagus sylvatica* auf geeigneten Standorten, in Angriff genommen werden.

Bei den Typen C3, C4, und allen D-Typen mit Ausnahme des Typs D1, kann gemäß der Wiederbewaldungsleitlinie "IT2" verfahren werden, da die Wirtschaftsbaumarten in ausreichender Dichte auftreten. Bei den Typen C3 und C4 (jeweils "lockere - 500<D<2000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u./o. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der Betula-Baumartengruppe in der Minderheit" und "lockere - 500<D<2000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftsnadel- und

[5] Die Konkurrenz führt zum Absterben einer gewissen Anzahl von Jungwüchsen. Konsequenzen der Erziehung sind die Wuchsform, insbesondere die Feinastigkeit. Mit "Qualifizierung" ist die Astreinigung gemeint. Die Beschattung des Bodens ist hinsichtlich des Vermeidens der Vergrasung durch verjüngungsfeindliche Pflanzenarten von Bedeutung (WILHELM, pers. Mitt.).

[6] "IT" steht für französisch "itinéraire de reconstitution" (d. h. Wiederbewaldungsleitlinie). Diese Leitlinie betrifft Jungwuchsbestände, in denen die Hauptwirtschaftsbaumarten mit einer Ausgangsdichte von 500 St/ha auftreten. 4 Jahre später soll die Gesamtdichte mindestens 1 000 St/ha betragen, wovon 700 St/ha auf Hauptwirtschaftsbaumarten entfallen müssen. Gefördert werden die Anlegung und Instandhaltung von Zugangslinien, und Ergänzungspflanzungen, sowie Pflegeeingriffe (Knicken, Ringeln) zugunsten standortgerechter Baumarten (OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, AGENCE DE HAGUENAU, pers.Mitt)

[7] Bei der Wiederbewaldungsleitlinie "IT1" sollten die Hauptwirtschaftsbaumarten mit einer Ausgangsdichte von 200 St/ha auftreten. Vier Jahre später sollte der Bestand eine Gesamtdichte von 400 St/ha aufweisen darunter mindestens 280 St/ha auptwirtschaftsbaumarten (OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, AGENCE DE HAGUENAU, pers.Mitt).

[8] s. Fußnote 4 s. 57

[9] Da *Betula pendula* 84% der Gesamtstammzahl der *Betula*-Gruppe einnimmt, werden die anderen Baumarten bei dieser Vorstellung der waldbaulichen Zielen für die unterschiedlichen Typen vernachlässigt.

Wirtschaftslaubbaumarten ohne Baumarten der Betula-Baumartengruppe") reicht die Gesamtdichte nicht für die Qualifizierung von Jungwüchsen. Um Laub- oder Nadelwertholz zu erzeugen, sollte auf Notqualifizierung zurückgegriffen werden. Beim Typ C3 könnten einige qualitativ gute *Betula pendula*-Jungbäume je Hektar ausgewählt, entastet und freigestellt werden, um durch die Produktion von *Betula pendula*-Wertholz einen Zwischenertrag zu erzielen.

Die Typen D2 "Dichte - D≥2000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt, und D3 "Dichte - D≥2000 St/ha - Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Schattbaumarten beigemischt" sind oft stark von *Betula pendula* dominiert. Zur Erhaltung der Wirtschaftsbaumarten, die in der Minderheit sind, sollte beim Typ D2 zugunsten der Lichtbaumarten-Jungwüchse eingegriffen werden (Knicken und Ringeln von *Betula pendula*-Jungwüchse), da diese im Gegensatz zu den Schattbaumarten-Jungwüchse des Typs D3 der Beschirmung von dichten *Betula pendula* - Jungwüchsen nicht standhalten können. Bei diesen beiden Typen kann eine Erzeugung von *Betula pendula*-Wertholz und von Wirtschaftslaub- bzw. Wirtschaftsnadelwertholz erzielt werden. Diese Möglichkeit besteht gleichermaßen für den Typ D4 "Dichte - D≥2000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten mit Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe in der Minderheit", wobei die Anteile der verschiedenen Baumartengruppen an der Wertholzproduktion umgekehrt vertreten wären. Bei den Typen D2 und D3 könnte der Unterbau einer Wirtschaftsschattbaumart durchgeführt werden, um in die Zukunft den Wirtschaftsbaumarten einen bedeutenderen Anteil am Gesamtbestand zu sichern. Die Typen D5, D6, und D7 (jeweils "Dichte - D≥2000 St/ha - Wirtschaftsnadelbaumarten-Verjüngung", "Dichte - D≥2000 St/ha - Wirtschaftslaubbaumarten-Verjüngung" und "Dichte - D≥2000 St/ha - Verjüngung aus Wirtschaftslaub- u. Wirtschaftsnadelbaumarten beigemischt") bestehen ausschließlich aus Wirtschaftsbaumarten. Die Begünstigung der qualitativ besten Stämmen (Knicken und ringeln von Konkurrenten, Entfernung von Protzen, und spätere Auszeichnung und Freistellung der qualitativ besten Bäumen) in den nächsten Jahren sollte eine Wertholzproduktion erlauben. Beim Typ D7 könnte sich eine Mischwuchsregulierung zur Erhaltung des Baumartenreichtums als nützlich erweisen.

Der Typ S stellt einen besonderen Fall dar. Diese Jungbestände, die von *Prunus serotina* dominiert sind, könnten kurzfristig eine Energieholzproduktion leisten. Langfristig ist das Zurückdrängen dieser Baumart erwünscht. Dies wird allerdings dadurch erheblich erschwert, dass *Prunus serotina* besonders ausschlagfähig ist. Eine Lösung wäre der Unterbau einer standortgerechten Schattbaumart. Da *Prunus serotina* sehr lichtbedürftig ist, würde ihre Entwicklung unter Beschirmung einer Schattbaumart wahrscheinlich nachlassen.

Für die unbestockten oder fast unbestockten Flächen haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung vier Typen, wie unter Kapitel 2.5.1 ausführlich beschrieben, entwickelt. Bei den Typen V1 "Blöße von blockierender Konkurrenzvegetation überwuchert" und V2 "Blöße von der Konkurrenzvegetation teilweise überwuchert" ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verjüngungsdynamik noch einsetzt, sehr gering. Beim Typ V1 ergibt sich zusätzlich das Problem der Notwendigkeit einer Bekämpfung der Konkurrenzvegetation. Eine Wiederbestockung dieser Flächen kann daher nur künstlich erfolgen. Bei den Typen V3 ''Blöße mit einzelnen Jungbäumen" und V4

"Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen" findet eine gewisse natürliche Wiederbewaldungsdynamik statt. Ein weiteres Abwarten oder die kurzfristige Durchführung von Pflanzung sind möglich.

Welche von all diesen zu erwägenden waldbaulichen Maßnahmen in Zukunft Anwendung finden, wird von mehreren Faktoren abhängen. Dabei werden der Standort, die Geldmittel und die Zielsetzung der Waldbesitzer im Vordergrund stehen. Die Erzeugung von Wertholz benötigt eine Mindestanzahl von Eingriffe. Die Produktion von Energieholz oder Industrieholz, die keine Eingriffe benötigt, stellt immer eine Alternative zu den obenerwähnten Maßnahmen dar.

4.2.2.2 Praktikabilität der statistischen Typologien

Die *classification tree*s wurden als Bestimmungsschlüssel zur Identifizierung der Cluster angewandt. Bei den Baumarten-Clustern beruht der *tree* auf den relativen Dichten der häufigsten Baumarten der Jungwuchsbestände, während der *tree* der Baumartengruppen-Cluster auf der Dichte der Baumartengruppen aufbaut. Wie unter Kapitel 3.3.4.3 erläutert sind die Dichte-Werte, die die Differenzierung der Cluster erlauben, diejenigen, die die französische Forstverwaltung als Grenzwerte für die Gesamtdichte der Typen ausgewählt hatte. Zur Einschätzung der Dichte der Baumarten konnten also die im Bestimmungsschlüssel der Typen für die Gesamtdichte angegebenen mittleren Abstände zwischen den Bäumen oder die entsprechenden Baumzahlen in Kreis mit 10 m Radius angewandt werden. Zur Bestimmung eines Clusters mussten oft mehr Kriterien geprüft werden, als zur Bestimmung eines Typs anhand des Bestimmungsschlüssels der französischen Forstverwaltung notwendig waren. Allerdings erlaubte die Abwesenheit von Baumarten bzw. von Baumartengruppen eine schnelle Bestimmung der Cluster.
Die Ergebnisse der Bestimmungen der Cluster auf den neun Versuchs-Plots (s. Kapitel 3.3.5) bestätigten, dass die Typen realitätsnäher als die Baumartengruppen-Cluster und in noch höheren Maße als die Baumarten-Cluster sind. Bei den statistischen Typologien wurden Jungwuchsbestände von sehr unterschiedlicher Gesamtdichte demselben Cluster zugeordnet, da sie vor allem auf der Baumarten- bzw. Baumartengruppenzusammensetzung aufbauen.

Die statistischen Typologien wurden den Mitarbeitern der französischen Forstverwaltung vorgestellt. Diese bemerkten die Ähnlichkeiten zwischen einigen Baumartengruppen-Clustern und einigen Typen. Beispielweise ähnelt der *Betula pendula* - Baumartengruppen-Cluster dem Typ D1 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe"), und der *Betula pendula - Pinus sylvestris* - Baumartengruppen-Cluster dem Typ D2 ("Dichte Verjüngung aus Baumarten der *Betula*-Baumartengruppe mit Lichtbaumarten beigemischt").
Außerdem betonten die Mitarbeiter die Tatsache, dass die Typen aus Sicht der Gesamtdichte viel homogener als die Cluster sind, und damit eine bessere Grundlage für die Erarbeitung der Waldbau-Leitlinie darstellen.

Im Gegensatz zu den statistischen Typologien ist die Typologie der französischen Forstverwaltung nicht nur deskriptiv, sondern auch an waldbaulichen Zielen orientiert. Sie wurde bewusst auf diese Weise entwickelt, um die Erarbeitung der darauf aufbauenden Waldbau-Leitlinie zu erleichtern. Durch die Orientierung an bestimmten waldbaulichen Zielen werden allerdings die

Anwendungsmöglichkeiten der Typologie beschränkt: sollte eine andere waldbauliche Zielsetzung festgelegt werden, könnte sich diese Typologie als nicht mehr brauchbar erweisen. Dagegen bleiben die statistischen Typologien aus den Clusteranalysen, die rein deskriptiv sind, mit einer Vielfalt von waldbaulichen Zielen kombinierbar. Die pragmatisch ausgerichtete Jungwuchstypologie der französischen Forstverwaltung hat auch den Nachteil, dass ein Erfahrungswissen für die Einteilung der Typen vorausgesetzt wird.

4.2.3 Vergleich im Hinblick auf den Aufwand zur Erstellung der Typologie

4.2.3.1 Aufwand der Aufnahmen und der Dateneingabe

Die drei Typologien (die Typologie der französischen Forstverwaltung und die zwei Typologien aus den Clusteranalysen) bauen auf einen Teil der Daten, die von 16 Revierleiter und einigen Praktikanten erfasst wurden, auf. Die von den Revierleitern für die Aufnahmen gewidmete Zeit betrug mehr als 600 Stunden. Im Durchschnitt haben die Revierleiter 27 Plots pro Tag erfasst, was einer Fläche von 6,7 ha pro Tag entspricht. Die Eingabe der in den Aufnahmeblättern der Revierleiter enthaltenen Daten benötigten etwa 500 Stunden Arbeit. Auf den Naturraum "Haguenau-Ebene", entfallen etwa 2/3 der Probeflächen. Die Erfassung der Daten, auf denen die drei Typologien aufbauen, entspricht also etwa 400 Stunden Arbeit und deren Eingabe etwa 330 Stunden (OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, AGENCE DE HAGUENAU, pers.Mitt).

4.2.3.2 Aufwand der Entwicklung der Typologien

Wie unter Kapitel 2.3 erläutert, wurde der Datensatz geprüft, gereinigt, ergänzt und in drei Datensätze aufgeteilt, wobei die vorliegende Arbeit auf der Bearbeitung des Datensatz "Haguenau-Ebene" aufbaut. Eine deskriptive Auswertung der Daten war eine Voraussetzung zur Entwicklung einer Typologie. Durch eine Übersicht über die verschiedenen aufgenommenen Variablen sollte sie eine Bestandesaufnahme der Sturmwurfflächen liefern.Die Suche nach Zusammenhängen zwischen den Variablen sollte die Bestimmung von erklärenden Variablen, die bei der Entwicklung der Typologie Berücksichtigung hätten finden sollen, erlauben. Da kein brauchbares Ergebnis erzielt werden konnte, entschied sich die französische Forstverwaltung für eine komplett pragmatisch ausgerichtete Vorgehensweise. Ein Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung listete auf Basis seiner Erfahrung mögliche Jungwuchstypen auf, deren Existenz im Datensatz geprüft wurde. Im Laufe einer Besprechung, woran der elsässische Waldbautrainer teilnahm, wurden die endgültigen Jungwuchstypen entwickelt, wobei die Perspektive einer zukünftigen waldbaulichen Behandlung eine wichtige Rolle spielte (s. Kapitel 2.5.1). Die Anwendung von Aussortieren in Microsoft® Excel erlaubte die Zuordnung der Plots zu den verschiedenen Typen. Die Baumartengruppenzusammensetzung von 206 Plots, die den Charakteristiken der 16 gebildeten Typen nicht genau entsprachen, wurde bestimmt. Jeder dieser "problematischen" Plots wurde infolgedessen in den Typ eingeordnet, dessen Kriterien er am ehesten entsprach. Ein dieser Typologie entsprechender Bestimmungsschlüssel wurde von einem Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung erarbeitet. Des Weiteren wurde für

jeden Typ eine Zusammenfassung der wichtigsten Variablen (Baumartenzusammensetzung; Gesamtdichte; Dichte, Höhe, Qualität und Verbissgrad der häufigsten Baumarten; betroffene Standorte; häufigste Arten der Bodenvegetation) in Form von Grafiken und Tabellen erarbeitet.
Die Entwicklung der Typologie der französischen Forstverwaltung beruht zum einen auf der Erfahrung der im Projekt beteiligten Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung, zum anderen auf sehr einfache Analysen anhand des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft® Excel. Der zeitaufwendigste Teil der Arbeit war nicht die Entwicklung der Typologie selbst, sondern die Anfertigung des Datensatzes (Datenprüfung, und -reinigung, Berechnung neuer Variablen und Erstellung der Baumarten- und Bodenvegetationstabellen) und die Erstellung der Zusammenfassungen der Typen.

Bei der Entwicklung der statistischen Typologien wurde der Aufwand zur Anfertigung des Datensatz dadurch erhöht, dass die Anwendung des Softwarepakets PCORD® zur Durchführung der hierarchischen Clusteranalysen eine Umkodierung mancher Variablen verlangte. Aufgrund der Größe des Datensatzes brauchte der Computer zur Durchführung einer Clusteranalyse bis zu anderthalb Stunden Rechenzeit. Außerdem ergab sich auch das Problem, dass die Dendrogramme aufgrund ihrer Größe völlig unübersichtlich waren. Zur Bestimmung der günstigsten Anzahl von Clustern sowie der günstigsten Kombination von Distanzmaß und Clusteralgorithmus wurde aus diesem Grund auf den Gesamt-A-Wert zurückgegriffen. Dieser ergab sich aus einer *Multi-Response Permutation Procedures* – Analyse, wofür der Computer allerdings dreiviertel Stunde Rechnungszeit benötigte. Die Durchführung verschiedener Clusteranalysen und der entsprechenden *Multi-Response Permutation Procedures* – Analysen erwies sich deswegen als sehr zeitaufwendig.
Des Weiteren waren zusätzlichen Analysen notwendig. Die Kriterien, die die verschiedenen Typen differenzieren, wurden von der französischen Forstverwaltung bei der Entwicklung der Typologie festgelegt. Somit war die Zusammensetzung der Typen schon bei der Entwicklung der Typologie bekannt. Dagegen sind die Kriterien, die zur Bildung der Cluster im Laufe der hierarchischen Clusteranalysen führten, unbekannt. Die Bestimmung der Zusammensetzung der Cluster sowie der Kriterien, die eine Differenzierung der Cluster erlauben, musste deswegen anhand weiterer Analysen erfolgen.
Im Hinblick auf einen Vergleich mit den Typen wurden für jeden Cluster die Baumarten-zusammensetzung und die statistischen Kennwerte der Gesamtdichte bestimmt. Die Erstellung der *classification trees* und die Durchführung der Hauptkomponentenanalyse erlaubten die Bestimmung der Kriterien, die hinsichtlich der Differenzierung der Cluster von Bedeutung sind.

Der Aufwand für die Entwicklung einer statistischen Typologie ist aufgrund der Bestimmung der geeignetsten Methoden zur Klassifizierung und der Notwendigkeit der Durchführung zusätzlicher Analysen höher als derjenige für die Entwicklung einer erfahrungsgemäßenTypologie. Die Stärken und Schwächen der Typologien sind in folgender Tabelle einander gegenübergestellt:

Tabelle 60: Stärken und Schwächen der Typologie der französischen Forstverwaltung und der statistischen Typologien

Tableau 60: Points forts et points faibles de la typologie élaborée par l'ONF et des typologies statistiques

	Stärken	Schwächen
Typologie der französischen Forstverwaltung	- die Charakteristika der Typen sind durch die Entwicklung der Typologie bestimmt - gute Praktikabilität (leichte Bestimmung der Typen anhand des Bestimmungsschlüssels) - die Typen sind "waldbaulich orientiert", dadurch: relativ leichte Ableitung einer waldbaulichen Behandlung für einen Typ oder eine Zusammenfassung von Typen - Aufwand der Entwicklung der Typologie relativ gering	- Statistische schlechte Unterscheidbarkeit der Typen - Erfahrungswissen für die Einteilung der Typen notwendig - Keine saubere Trennung von Beschreibung des Ist-Zustandes und der weiteren waldbaulichen Behandlung
Statistische Typologien	- gute statistische Unterscheidbarkeit der Cluster - gute Praktikabilität: leichte Bestimmung der Typen anhand des Bestimmungsschlüssels	- unbestockte Plots können nicht in die Analyse einbezogen werden - die Charakteristika der Typen müssen anhand weiterer Analysen bestimmt werden - die Cluster sind aus Sicht der Verjüngungsdichte heterogen - bei großem Datensatz: hoher Zeitaufwand für die Durchführung der Analysen und problematische Darstellung der Ergebnisse

4.3 Bewertung der Methodik zur Datenaufnahme und Datenauswertung und der daraus gewonnenen Ergebnisse

4.3.1 Methodik der Aufnahmen

In diesem Kapitel wurde nur die Methodik der Aufnahme der Variablen, die bei den Typologien eine Rolle spielten, d. h. die Dichte der Jungwüchse, ihrer Verteilung, und die Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation, diskutiert.

4.3.1.1 Stichprobendesign und Erfassung der Verjüngungsdichte

Nach den Stürmen Vivian und Wiebke wurde festgestellt, dass die rasche und vielleicht auch zu zurückhaltende Einschätzung der Naturverjüngungsvorräte und –dynamik auf den Sturmwurfflächen zu einer Unterschätzung und damit zu unnötigen Aufwendungen für Pflanzungen geführt hatte (KENK 2002; VON GILSA et al. 2005). QUIÑONES-NADLER et al. (2005) empfehlen die Benutzung von Verjüngungsaufnahmeleitlinien (*protocole d'estimation de la régénération*), und führen als Beispiel das "REGENAT"-Modell, das zur Schätzung des Erfolgsgrads einer nicht im Kontext von Sturmwurfflächen entstandenen Naturverjüngung entwickelt wurde. In der Leitlinie zur Wiederbewaldung der Wälder nach den Stürmen von 1999 (MORTIER 2001) wird mit der Zielsetzung einer objektiven Schätzung der Naturverjüngung eine Aufnahme anhand von systematisch verteilten Aufnahmeflächen geboten. DIE FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (2000) empfiehlt auch Stichproben zur Schätzung der Verjüngungsvorräte, wobei in einem von einem etwa 30 x 30 m Raster ausgehenden Probekreisen mit Radius 2 bis 2,5 m die Baumzahl und die Verteilung der Jungwüchse eingeschätzt werden soll. Somit soll durch die Aufnahme von 1 bis max. 2% der Fläche eine ausreichende Aussagezuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse erreicht werden.
Allgemein sind repräsentative Stichprobenaufnahmen (d. h. Aufnahmen mit Hilfe von Probekreisen oder Probequadraten) zur Ermittlung der Dichte von Verjüngungspflanzen die Regel. Die systematische Auswahl ist im forstlichen Bereich weit verbreitet. Gegenüber der Zufallsauswahl kann sie bei gleicher Stichprobendichte zu geringeren Fehlern führen. Dies trifft aber nur zu, wenn das zu erhebende Merkmal innerhalb der Grundgesamtheit zufällig verteilt ist. Ansonstens kann es gegenüber der Zufallsauswahl zu einer erheblichen Aufblähung des Stichprobenfehlers kommen (AMMER et al. 2004).

Die meisten Verjüngungsaufnahmen auf Sturmwurfflächen fanden anhand Probeflächen konstanter Größe statt (BÜCKING et al. 1998; SCHMIDT-SCHÜTZ & HUSS 1998; DOSSIER 2000; KENK 2002; SCHÖNENBERGER 2002; WOHLGEMUTH 2002; QUIÑONES-NADLER 2004; MENGIN 2006; KOHNLE et al. 2005b). Im Rahmen der meisten wissenschaftlichen Untersuchungen wurden die Probeflächen auf Linien bzw. Transekten angelegt, die die Sturmwurfflächen durchqueren, wobei die Probeflächendichte umso größer ist, je kleiner die Sturmwurffläche ist.
Im Rahmen des Projekts "Revision Wiederbewaldung", das zur Unterstützung der Forstbetriebe bei der Aufarbeitung der Sturmschäden und der Konzeption der Wiederbewaldung der Fläche im

öffentlichen Wald Baden-Württembergs durchgeführt wurde, kamen Probeflächeaufnahmen zum Ziel einer Gegenkontrolle der Verjüngungserfassung zur Anwendung. Bei diesem Projekt erfolgte die landesweite Erhebung als "qualifizierte formatisierte Schätzung durch das örtlich zuständige Forstpersonal" (VON GILSA et al. 2005). An ausgewählten Flächen wurde anhand von Probeflächenaufnahmen die Treffsicherheit dieser gutachtlichen Schätzung durch die "forsttechnischen Stützpunkte" gegengeprüft.

Die Mitarbeiter des Forstamts "Haguenau" haben die Verjüngungsaufnahmeleitlinie "REGENAT" als viel zu aufwendig beurteilt. Des Weiteren sind die Sturmwurfflächen auf deutscher Seite von kleiner bis mittlerer Größe, während große Sturmwurfflächen auf französischer Seite dominieren. Deswegen haben sie in Zusammenarbeit mit der deutschen Forstverwaltung die unter Kapitel 2.2 beschriebenen statistischen und gutachtlichen Aufnahmeverfahren entwickelt.
Mit den vier Probekreisen von 20 m² je ha (was einem Radius von 2,52 m entspricht) beim statistischen Verfahren wurde ein Kompromiss zwischen einer angepassten Fläche zur Auszählung der Verjüngung, einer ausreichenden Repräsentativität der erfassten Fläche (da mit diesem Stichprobendesign fast 1% der Sturmwurfflächen erfasst wird), und dem Zeitaufwand der Erfassung für die Revierleiter erreicht.
Da die Sturmwurfflächen auf deutscher Seite viel kleiner sind, haben die Mitarbeiter der deutschen Forstverwaltung das flächenweise gutachtliche Erfassungsverfahren viel häufiger als das statistische Verfahren angewandt. Das statistische Verfahren haben sie auf den über 7 ha großen Sturmwurfflächen benutzt, da es erst bei Flächen über 7 ha eine ausreichende Repräsentativität aufweist (PRÖMSE 2006). Des Weiteren wurde gleichzeitig zur Beschreibung eine Maßnahmenplanung für die betroffenen Schadflächen erstellt. Somit ist diese Vorgehensweise derjenigen des Projektes "Revision Wiederbewaldung" sehr nah (KOHNLE et al. 2005a).
Im Rahmen eines Erfahrungsberichts wurden beide Verfahren getestet und verglichen (PRÖMSE 2006). Es wurde bestätigt, dass das statistische Aufnahmeverfahren für kleinere inhomogene Flächen ungeeignet ist, weil es die Flächen nur ungenügend repräsentiert, während die Begehung durch einen erfahrenen Revierleiter und dessen Schätzangaben zuverlässigere Aussagen liefert. Kein eindeutiger Trend, dass ein Verfahren die Verjüngung unter- oder überschätzen würde, konnte bestimmt werden. Trotzdem ergibt sich beim statistischen Verfahren ein systematischer Fehler aus der Eingabe von ">10" statt der genauen Ermittlung der Baumzahl. PRÖMSE (2006) unterstreicht die allgemeine Schwierigkeit der Auswertung der Daten aus dem statistischen Verfahren. Außerdem hat die Auswertung der Erfassungszeit ergeben, dass bei der flächenweisen gutachtlichen Methode der Zeitaufwand bei entsprechender Sorgfalt ähnlich hoch wie bei der statistischen Methode ist.
PRÖMSE (2006) hat die Stärken und Schwächen beider Verfahren in folgender Tabelle einander gegenübergestellt:

Tabelle 61: Stärken und Schwächen der im Interreg-Projekt angewangten Erfassungsmethoden (aus PRÖMSE 2006)

Tableau 61: Points forts et points faibles des deux méthodes de relevés employées dans le cadre du projet Interreg (extrait du rapport de PRÖMSE, 2006)

	Stärken	Schwächen
Gutachtliche Aufnahmemethode	- ohne Hilfsmittel (GPS, Kompass) durchführbar - Maßnahmenplanung und –protokoll - Gute Auswertungsmöglichkeit über die Maßnahmen möglich	- Erfahrung bzw. Geschick beim Schätzen notwendig - Laubbäume werden im unbelaubten Zustand übersehen und damit unterschätzt - Subjektives Verfahren, vom „Götterblick“ abhängig
Statistische Aufnahmemethode	- objektives, statistisch auswertbares Verfahren - Zwangsläufige Erhebung der ganzen Fläche	- Hilfsmittel, am besten GPS, nötig - Erst bei großen Schadflächen repräsentativ - Verfahrensimmanenter Fehler durch die Beschreibung >10 statt Auszählung - Auswertung der Ergebnisse sehr schwierig

4.3.1.2 Erfassung der Verteilung der Jungwüchse

Zur Differenzierung der Typen V3 ("Blöße mit einzelnen Jungwüchsen") und V4 ("Blöße mit seltenen Verjüngungsgruppen") wurde auf die Verteilung der Jungwüchse im großen Aufnahmekreis C2 zurückgegriffen. Die Verteilung wurde anhand der vier Stufen "selten" / "einzeln" / "gruppiert" / "komplett" erfasst (s. Kapitel 2.2). Plots mit seltenen oder einzelnen Jungwüchsen im Kreis C2 wurden dem Typ V3, Plots mit einem gruppenweise oder komplett verjüngten Kreis C2 dem Typ V4 zugeordnet. Diese Einteilung erfolgte, weil beim Typ V4, im Gegensatz zum Typ V3, eine Qualifizierung der Jungwüchsen stattfinden kann. Knicken und Ringeln zugunsten qualitativ guter Bäume könnte sich zukünftig bei den Jungwuchsgruppen des Typs V4 als sinnvoll erweisen.
Die Aufnahme der Verteilung der Jungwüchse im Kreis C1 war wenig sinnvoll, insbesondere bei hohen Verjüngungsdichten. Nur bei den lockeren Verjüngungen könnte die Variable "Verteilung" relevant sein, insofern, als sie auf die mögliche qualitative Entwicklung der Jungwüchse und dadurch auf die Intensität der erforderlichen zukünftigen waldbaulichen Maßnahmen zur Erzeugung von Wertholz hindeutet. Kommen die Jungwüchse der vorhandenen Baumarten in Gruppen vor, sollte

eine intraspezifische Qualifizierung innerhalb der Gruppen erfolgen, die zu einer qualitativ guten Entwicklung der Jungwuchsbestände beitragen kann. Das heißt, dass kurzfristig qualitativ gute Jungwüchse ohne Eingriffe erzielt werden könnten. Wenn dagegen die Jungwüchse einzeln auftreten, kann keine Qualifizierung stattfinden. Um qualitativ gute Bäume zu bekommen, sollte stark eingegriffen werden, insbesondere durch Grünästung.

Verschiedene Verfahren wurden zur Abschätzung der horizontalen Verteilung von Verjüngungspflanzen auf einer Probefläche entwickelt: der nichtparametrische Dispersionsindex IDPN von Bouxin und Gautier, der Aggregationsindex von Clark und Evans, der Varianz-Mittelwert Index sowie das Null-flächendiagramm nach Cox. Diese bauen entweder auf Verjüngungshäufigkeiten, auf in bestimmten Aufnahmeflächen ermittelten Pflanzenzahlen, oder noch auf Abstandsmessungen auf (AMMER et al. 2004). Dieses letzten Verfahren wurde zum Beispiel im Rahmen des Sturmwurfflächenprogramms Baden-Württembergs angewandt (SCHMIDT-SCHÜTZ & HUSS 1998) Die entsprechenden Aufnahmenverfahren unterscheiden sich von derjenigen des Interreg-Projekts. Des Weiteren wurde im Rahmen des Projekts hinsichtlich der Verteilung der Jungwüchse keine präzisere Aussage, als diejenige, die die Eingabe einer der obengenannten Verteilungsstufe lieferte, benötigt.
Außerdem ist die Aussagefähigkeit der Variable "Verteilung" hinsichtlich der qualitativen Entwicklung der Jungwüchse relativ gering. Viele biotische und abiotische Faktoren (Ökologische Eigenschaften der vorhandenen Baumarten, Qualität des Standorts, Verbissdruck, Insekten- und Pilzbefall, klimatische Ereignisse…) beeinflussen die qualitative Entwicklung der Jungwuchsbestände. Deswegen wurde der Verteilung der Jungwüchse bei der Entwicklung der statistischen Typologien kein bedeutendes Gewicht beigemessen.

4.3.1.3 Erfassung der Konkurrenzvegetation

Die Mitarbeiter der französichen Forstverwaltung wollten den Anteil der Flächen kennen, auf denen der Verjüngungsprozess aufgrund blockierender Konkurrenzvegetation stark gehemmt ist, da auf diesen Flächen Pflanzungen stattfinden sollten. Deswegen wurden die Typen V1 und V2 differenziert. Dem Typ V1 wurden die Plots zugeordnet, die eine Gesamtbodendeckung durch verjüngungsfeindlichen Pflanzenrten größer als 75% aufwiesen (s. Kapitel 2.5.1).

In vielen waldbaulichen Untersuchungen wird der Deckungsgrad nicht getrennt nach Pflanzenart erfasst und dann summiert, was zu Werten über 100% führen kann, sondern als artunterspezifischer Wert ≤ 100%, gegebenenfalls nach verschiedenen Schichten. Es wurde auch festgestellt, dass die Deckungsgradschätzungen in Untereinheiten der eigentlichen Probeflächen in jedem Fall vorteilhaft sind und verlässlichere Schätzungen zulassen geschätzt (AMMER et al. 2004). Um die Aufnahmeeinheiten nicht zu multiplizieren erfolgte die Aufnahme der Bodenvegetation im Rahmen des Interreg-Projekts in dem kleinen Kreis C1. Die Revierleiter sollten den Deckungsgrad der Bodenvegetation einschätzen und deren Aufteilung in Arten in 5%-Stufen eingeben, so dass die Summe aller erfassten Arten 100% ergab. Diese Anweisung wurde aber nicht von allen Revierleitern berücksichtigt, so dass die Summe der Bedeckungsgrade aller vorhandenen Pflanzenarten manchmal 100% überschritt. Unter dem Kapitel 2.3.2 wurde erläutert, wie in diesem Fall zur Homogenisierung

der Daten die Deckungsgrade der Pflanzenarten in gleichen Verhältnissen so vermindert werden mussten, dass ihre Summe anschließend 100% ergab.

Bei den französischen Sturmwurfflächen-Projekten und im Rahmen des Sturmwurfflächenprogramms Baden-Württembergs wurde die Bodenvegetation anhand der Methode von Braun-Blanquet aufgenommen, die folgende Deckungsgrade vorsieht:

+ : weniger als 5 Pflanzen, die einen Bedeckungsgrad kleiner als 5% aufweisen
1 : Bedeckungsgrad < 5% aber mehr als 5 Pflanzen
2 : Bedeckungsgrad von 5 bis 25%
3 : Bedeckungsgrad von 25 bis 50%
4 : Bedeckungsgrad von 50 bis 75%
5 : Bedeckungsgrad > 75% (QUIÑONES-NADLER 2004).

Ziel des Projekts war es aber nicht, eine wissenschaftliche Aufnahme der Bodenvegetation durchzuführen, sondern die Flächen zu identifizieren, wo eine verjüngungshemmende Vegetation sich etabliert hat und eine Vorstellung von der Häufigkeit der verjüngungsfeindlichen Pflanzenarten (z.B. *Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Rubus fruticosus*…) zu gewinnen. Die Aufnahme der Bodenvegetation war in Anwesenheit einer großen Pflanzenzahl ziemlich zeitaufwendig. Mit dem Ziel der Aufwandminimierung hätte es sich als sinnvoller erwiesen, anstatt der vollständigen Erfassung der vorhandenen Arten und deren Deckungsgrade, nur die Gesamtbodenbedeckung und die Anteile, die die in einer festen Liste eingetragenen verjüngungsfeindlichen Arten darin einnehmen, zu ermitteln. Es ist nämlich wichtig, die häufigsten verjüngungsfeindlichen Pflanzenarten (vor allem *Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Rubus fruticosus*) zu lokalisieren, weil unterschiedliche Bekämpfungsmethoden zur ihrer Beseitigung zur Anwendung kommen.

Eine andere Alternative ist die Bildung von die Gefährdung der Verjüngung berücksichtigenden Konkurrenzvegetation-Kategorien und die Ermittlung des Deckungsgrads jeder vorhandenen Kategorie. Die Mitarbeiter der deutschen Forstverwaltung haben die folgenden Kategorien definiert:

- Flächen ohne jegliche Vegetation,
- Flächen auf denen die Konkurrenzvegetation ein Aufkommen der Verjüngung unmöglich macht,
- Flächen auf denen die Konkurrenzvegetation die Verjüngung unter 1,30 m Höhe gefährdet und
- Flächen, auf denen die Konkurrenzvegetation keine Rolle spielt, weil die Verjüngung schon aus dem Gefahrenbereich herausgewachsen ist (PRÖMSE 2006).

Diese Vorgehensweise erleichtert die Auswertung der Daten erheblich. Sie hat aber den Nachteil, dass man überhaupt keine Information über die Zusammensetzung der Konkurrenzvegetation hat. Die Eingabe der vorhandenen verjüngungsfeindlichen Arten bei den zweiten und dritten Kategorien könnte eine Lösung darstellen.

[0]

4.3.2 Methodik der Datenbearbeitung zur Entwicklung der Typologien

4.3.2.1 Dateneingabe

Obwohl die französische Forstverwaltung zur Vermeidung der meisten Fehlermöglichkeiten bei der Dateneingabe eine Datenmaske entwickelt hatte, blieben sehr vielen Fehler im Datensatz. Zum Beispiel fehlten wichtige Daten wie die Stammzahlen und eine Baumart bzw. eine Pflanzenart wurde manchmal mehrmals für denselben Plot angegeben. Das System ablaufender Menus, Test- und Sperrfunktionen, das die Eingabemaske unterstützte, sollte noch verbessert werden.
Des Weiteren erfolgte die Eingabe der Pflanzenarten der Bodenvegetation anhand einer Pulldown-Liste. Diese Pulldown-Liste enthielt die häufigsten Pflanzenarten der betroffenen Naturräume. Für den Fall, dass ein Revierleiter eine Pflanzenart aufgenommen hatte, die in der Liste nicht aufgeführt war, bestand die Möglichkeit, "sonstige Pflanzenarten" auszuwählen. Folglich kam es zu einem Verlust an Genauigkeit. Hinsichtlich der Zielsetzung des Projekts (Flächen zu identifizieren, wo eine verjüngungshemmende Vegetation sich etabliert hat, und Größenordnung über die Häufigkeit der verjüngungsfeindlichen Pflanzenarten zu gewinnen) war aber diese Vorgehensweise befriedigend.

4.3.2.2 Datenbearbeitung

Um die Analysen zu vereinfachen und eine bessere Übersicht über die Verjüngung zu bekommen haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung wie folgt vier Baumartengruppen gebildet:

1. die *Serotina*-Baumartengruppe, die aus Baumarten besteht, deren Holz heute nicht verwertet wird, außer als Energieholz
2. die *Betula*-Baumartengruppe, deren Baumarten, früher ungeachtet oder entfernt, einen Vorwald bilden und eine Zwischenproduktion leisten können
3. die Gruppe der Wirtschaftslaubbaumarten
4. die Gruppe der Wirtschaftsnadelbaumarten, die wie die vorhergehende Gruppe die üblichen Wirtschaftsbaumarten beinhaltet.

Diese Gruppen entsprechen keiner wissenschaftlichen Klassifizierung, sondern wurden von den Mitarbeitern der französischen Forstverwaltung im Hinblick auf die zukünftige waldbauliche Behandlung der Sukzessionswälder gebildet.
Im Rahmen des Sturmwurfflächenprogramms Baden-Württembergs haben SCHIMDT-SCHÜTZ & HUSS (1998) die Baumarten im Hinblick auf eine ökologische und waldbauliche Bewertung dagegen in die folgenden drei Gruppen eingeordnet:

1. kurzlebige Pionierbaumarten: Birke *(Betula pendula)*, Aspe *(Populus tremula*), Weiden (*Salix sp)*, Faulbaum *(Frangula alnus)*, und Vogelbeere *(Sorbus aucuparia*)
2. Fichte (*Picea abies*)
3. sonstige Baumarten.

Diese Einteilung ist wie diejenige der französischen Forstverwaltung an der Praxis orientiert und von der Ausgangssituation geprägt (ehemalige Fichtenbestände). Auch die französische Forstverwaltung hat für eine bessere Anpassung an die Charakteristika und die daraus resultierenden Problematiken

jedes Naturraums bei der Entwicklung der Typologien für die anderen Naturräume an die Zusammensetzung der Baumartengruppen geändert. Für die Naturräume der Nordvogesen bildet die Fichte wie bei der Untersuchung von SCHIMDT-SCHÜTZ & HUSS (1998) eine eigene Gruppe, weil ihr Zurückdrängen aufgrund ihrer Standortungerechtigkeit erklärtes Ziel der örtlichen Waldbewirtschaftung ist. Die Baumartengruppen der Wirtschaftslaubbaumarten und der Wirtschaftsnadelbaumarten wurden außerdem in Gruppen von Licht- und Schattbaumarten umgewandelt. Bezüglich des Naturraums "Rheintal" wird Schwerpunkt auf die Baumarten Eiche (*Quercus petraea & Q. robur)* und Esche (*Fraxinus excelsior*) gelegt. Letztere tendiert dazu, überhand zu nehmen und muss zurückgedrängt werden, während zur Erhaltung der erste eingegriffen werden muss.
SCHIMDT-SCHÜTZ & HUSS (1998) haben den Faulbaum (*Frangula alnus*) der Gruppe der kurzlebigen Baumarten zugeordnet. Wie unter Kapitel 2.3.2 erläutert wurde diese Art von den Revierleitern manchmal als Baumart, manchmal als Art der Konkurrenzvegetation erfasst. Da *Frangula alnus* nicht verwertet werden kann und auch nicht als Energieholz nutzbar ist, im Gegensatz zu z.B. *Prunus serotina*, haben sich die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung für ihre Einordnung in die Konkurrenzvegetation entschieden.

Für die Dichte der Baumarten haben die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung die folgenden fünf Stufen gebildet:

- 0 : keine Baumart
- 1 : 0<D<1 000 St/ha
- 2 : 1 000≤D<2 000 St/h
- 3 : 2 000≤D<3 000 St/ha
- 4 D≥3 000 St/ha.

In Anlehnung an die FORSTLICHE VERSUCHS- U. FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (2000) und an MORTIER (2001), wird eine Naturverjüngung als ausreichend betrachtet, wenn sie mindestens nach einer Wachstumsperiode in Mindestzahl von 1 000 St/ha bei Nadelbäumen und 2 000 St/ha bei Laubbäumen vorhanden ist. Bei diesen Stufen werden die obengenannten Grenzwerte berücksichtigt, sowie die Grenzwerte, die für die Förderungsanträge von Bedeutung sind.
Hinsichtlich der Auswertung der Daten war die Tatsache, dass ab 10 Jungwüchse im Kreis C1 "> 10" statt die genaue Zahl ermittelt wurde, problematisch. Dies führt zu einer systematischen Unterschätzung der Dichte der Baumarten, die mit mehr als zehn Stücke auf einem Plot auftreten, und somit zu einer Unterschätzung der Gesamtdichte ab 5 000 St/ha (10 Bäume in C1 = 5 000 St/ha). Hinsichtlich der Typologie ist dies aber von geringer Bedeutung, da die Untergrenze der höchsten Stufe 2 000 St/ha beträgt.

4.3.2.3 Ergebnisse der deskriptiven Auswertung der Daten

Diese Ergebnisse, die aus der deskriptiven Auswertung der Daten gewonnen wurden, gehen mit jenen des französischen Großsturmwurfflächen-Projekt konform. Bei diesem Projekt wurde festgestellt, dass auf den sauren bis mässig sauren Standorten in ehemaligen Lichtbaumartenbeständen (überwiegend *Pinus sylvestris*- und *Quercus petraea & Q. robur*-Bestände)

der Anteil der Wirtschaftsbaumarten ziemlich niedrig ist, und dass Pionierbaumarten und v.a. *Betula pendula* oft dominieren. Des Weiteren wurde für *Rubus fruticosus, Pteridium aquilinum, Cytisus scoparius, Juncus effusus,* und *Deschampsia flexuosa* auf denselben Standorten hohe Deckungsgrade beobachtet. *Betula pendula* bleibt auf allen Standorten die zweithäufigste Baumart der Verjüngungen (QUIÑONES-NADLER et al. 2005; VAN COUWENBERGHE 2006).

Außerdem hatten Mitarbeiterinnen der französischen Forstverwaltung im Laufe von im Jahr 2 000 gemachten Begehungen von Sturmwurfflächen der 90er Jahre im Elsass schon die häufige Dominanz von *Betula pendula*, manchmal von *Salix sp.* und *Sorbus aucuparia* begleitet, in der Verjüngung festgestellt. Des Weiteren hatten sie eine Hemmung des Verjüngungsprozesses aufgrund einer Ausbreitung von verjüngungsfeindlicher Arten wie *Pteridium aquilinum, Rubus fruticosus, Cytisus scoparius* und sozialen Krautarten beobachtet (PLANCHAIS & SEYNAVE 2001).

4.3.2.4 Suche nach Beziehungen zwischen den erhobenen Variablen

Die Erarbeitung von Zusammenhängen zwischen den Variablen sollte die Bestimmung von Faktoren, die hinsichtlich der Typologie von Bedeutung gewesen wären, erlauben. Ziel war, erklärende Variablen für die Dichte, die Höhe, die Qualität und den Verbissgrad der Jungwüchse zu bestimmen. Dafür wurde auf Korrelationskoeffizienten und Kontingenzkoeffizienten zurückgegriffen, was aufgrund der Zahl der zu untersuchenden Variablen zeitaufwendig war. Außerdem führten die Analysen zu keinem anwendbaren Ergebnis, da keine straffen Beziehungen nachgewiesen werden konnten. (s. Kapitel 3.1.2). Die Anwendung von multivarianten Verfahren (z.B. von einer multiplen Regression), in den alle möglichen erklärenden Variablen wären einbezogen worden, hätte vielleicht anwendbare Ergebnisse ergeben. Die Durchführung solcher Analysen hätte eine weitere Umstrukturierung des Datensatzes benötigt, was aus Zeitgründen nicht sinnvoll erschien.

Diese unbefriedigenden Ergebnisse lassen sich zum Teil dadurch erklären, dass die Daten sich auf einen einzigen Naturraum beziehen. Der Naturraum ist definitionsgemäß bezüglich der ökologischen Bedingungen homogen. Teilweise könnten die schwach ausgepräten ökologischen Gradienten für die Anwesenheit von straffen Beziehungen verantwortlich sein.
Außerdem wurde die Aufnahmemethode vor allem im Hinblick auf eine Bestandesaufnahme der Sturmwurfflächen konzipiert. Die Aufnahmen sollten zwar als Grundlage für die Entwicklung einer Typologie dienen, allerdings sollte diese lediglich auf Merkmalen aufbauen, die im Gelände einfach zu beobachten und aufzufassen sind. Deswegen und aufgrund des Ausmaßes der zu erfassenden Sturmwurfflächen wurden die Aufnahmen im Rahmen des Projekts nicht so genau durchgeführt, wie dies im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen der Fall gewesen wäre. Wenn die Bestimmung von erklärenden Faktoren für die Entwicklungsdynamik der Verjüngung erklärtes Ziel einer wissenschaftlichen Untersuchung war, wurden sehr viele ökologischen Parameter mit sehr genauen Methoden erfasst. Zum Beispiel wurde beim französischen Großsturmwurfflächen-Projekt die Bodenvegetation mit der Methode von Braun-Blanquet erfasst, bodenkundliche Daten wurden aus gründlicher Beschreibungen von Bodenprofilen sowie aus Analysen von Bodenproben im Labor gewonnen. Topoklimatische Daten und meteorologische Daten wurden erfasst, die die Berechnung

von ökologischen Variablen wie den Wasserhaushalt erlaubten. Zur Bestimmung der Anteile der Vorausverjüngung wurde das Alter von Jungwüchsen bestimmt. Die Baumartenzusammensetzung des Vorbestandes und dessen Schirm wurden anhand einer Stumpfaufnahme erfasst. Aufnahmen erfolgten in den Nebenbeständen zur Bestimmung ihrer Baumartenzusammensetzung, Höhe und Alterstufe. Der Schlagabraum wurde getrennt nach Ästestärke-Stufen erfasst. Des Weiteren war bekannt, welches Räumungsverfahren nach dem Sturm angewandt wurde, und die Wildbestände wurden auf Basis der Abschusspläne geschätzt (QUIÑONES-NADLER 2004). Solche aufwendigen Aufnahmen konnten im Rahmen des Interreg-Projektes natürlich nicht durchgeführt werden, zumal sie auch der Zielsetzung des Projekts nicht entsprachen.

Die Auswertung der beim Großsturmwurfflächen-Projekts erfassten Daten ergab folgende Ergebnisse (QUIÑONES-NADLER 2004; VAN COUWENBERGHE 2006):

- Der pH-Wert und die Baumartenzusammensetzung des Vorbestandes sind die wichtigsten erklärenden Faktoren für die Dichte und die Baumartenzusammensetzung der Verjüngung, wobei ein zeitlich begrenzter Wasserstau auch eine Rolle spielen könnte.
- Es konnte keinen Zusammenhang zwischen der Dichte der Verjüngung und der Bodenbedeckung durch die Konkurrenzvegetation nachgewiesen werden, aber der Trend einer niedrigeren Verjüngungsdichte auf Plots, von *Pteridium aquilinum, Juncus effusus und Rubus fruticosus* überwuchert, konnte beobachtet werden.
- Zwischen dem Schlagabraum und der Dichte der Verjüngung zum einem, zwischen dem Schlagabraum und dem Verbissgrad zum anderen, konnten ebenfalls keine statistisch gesicherte Zusammenhänge gefunden werden. In ehemaligen Fichten- und Buchenwäldern schien die Verjüngungsdichte umso geringer, je mehr Sturmholz liegengeblieben war. Der Verbiss schien niedriger auf Probeflächen mit einer sehr großen Menge am Sturmholz.
- Es konnte keinen Einfluss der stehengebliebenen Bäume, der Entfernung zum nächsten Waldrand und der Zusammensetzung der umgebenden Bestände auf die Verjüngung festgestellt werden.
- Die Vorausverjüngung nimmt einen Anteil von 15% an der Verjüngung ein: die meisten Jungwüchse traten nach dem Sturm auf.

Die Tatsache, dass beim Interreg-Projekt geringe Beziehungen zwischen dem Standort und der Gesamtdichte der Verjüngung, der Dichte der vier Baumartengruppen sowie der Dichte der vier häufigsten Baumarten vorlagen (s. Kapitel 3.1.2), steht im Einklang mit den Ergebnissen des französischen Großsturmwurfflächen-Projekts. Bezüglich der Konkurrenzvegetation ergaben sich nur schwache Zusammenhänge zwischen deren Deckungsgrad und der Höhe und Qualität der *Serotina*-Baumartengruppe. Geringe Beziehungen lagen zwischen Verbissgrad und Schlagabraum vor, aber im Gegensatz zu dem beim Großsturmwurfflächen-Projekt festgestellten Trend, stieg beim Interreg-Projekt der Verbiss mit zunehmender Menge an verbleibenem Sturmholz an. Während, wie beim Großsturmwurfflächen-Projekt, kein Einfluss der Entfernung zum nächsten Waldrand nachgewiesen werden konnte, lagen geringe Beziehungen zwischen der Überschirmung durch die Vorbestockungsreste und die Höhe von *Betula pendula* und *Quercus petraea & Q. robur* vor.

Beim Sturmwurfflächenprogramm Baden-Wüttembergs wurde auch der Einfluss des Nährstoffhaushalts und des Vorbestandes auf die Verjüngung nachgewiesen, und die Rolle der Bodenvegetation im Verlauf der natürlichen Wiederbesiedlung betont. Das Räumungsverfahren, das die Entwicklung der Bodenvegetation und den Verlauf der Wiederbewaldung insbesondere durch die Beseitigung bzw. die Erhaltung der Vorausverjüngung beeinflusst, wurde dabei als ein entscheidender, erklärender Faktor für die Verjüngungsdynamik auf Sturmwurfflächen bezeichnet (FISCHER et al. 1998; HETZEL & REIF 1998, SAYER & REIF 1998; SCHMIDT-SCHÜTZ & HUSS 1998). Einen Zusammenhang zwischen der Entfernung zum nächsten Waldrand und der Baumartenzusammenseztung der Verjüngung hat KENK (2002) nachgewiesen.
Andere mögliche erklärende Faktoren für die Baumartenzusammensetzung der Verjüngung, ihre Dichte und ihr Wachstumsdynamik wären das Mikroklima, die Anwesenheit bzw. die Abwesenheit von Mykorrhizapilzen, die Samenbank des Bodens, das Angebot an offenem Mineralboden und die Biologie der Baumarten durch ihre Verbreitungsmechanismen und ihre Keimprozesse (FISCHER et al. 1998, FORSTLICHE VERSUCHS- U. FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG 2000, MORTIER 2001).

4.3.2.5 Methodik der Entwicklung der Typologien

Die Entwicklung der Typologie durch die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung baut zum großen Teil auf ihre Kenntnis des Geländes auf, was eine gewisse Erfahrung verlangt. Für die französischen Förster waren die Gesamtdichte und die relativen Dichten verschiedener Baumartengruppen bezüglich der Entwicklung der Verjüngung und der zukünftigen waldbaulichen Behandlung die Schlüsselfaktoren, die sie bei der Bildung von Jungwuchstypen berücksichtigten. Den Standort hielten sie auch für eine entscheidende Variable, was die statistische Auswertung der Daten bestätigte (s. Kapitel 3.1.2). Die Integrierung dieser Variable hätte aber die Typologie viel komplexer gemacht und ihre Praktikabilität verschlechtert, da die Bestimmung der Standorte relativ kompliziert ist. Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung hielten es für sinnvoller, bei der Erarbeitung der auf der Typologie basierenden Waldbau-Leitlinie, für die verschiedenen Typen mögliche waldbauliche Zielsetzungen vorzustellen, die diese Variable berücksichtigen würden.

Einfache Arbeitsschritte im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft® Excel erlaubten die Einordnung der Plots in die verschiedenen Typen, was Voraussetzung für die Kartierung war. Diese Kartierung soll als Grundlage für die Planung der waldbaulichen Maßnahmen in den Sukzessionswäldern dienen. Da die Typen im GIS nicht in Form von Polygonen sondern von Punkten gespeichert sind, war es leider nicht möglich, die mittlere Fläche einer Typ-Zone zu bestimmen, wobei unter Typ-Zone eine Zone, die aus mehreren nebeneinander gelegenen Pixels desselben Typ besteht, zu verstehen ist. Dies hätte wichtige Informationen über die Homogenität bzw. die Heterogenität der Sturmwurfflächen geliefert. Eine andere Möglichkeit, um diese Information zu bekommen, wäre die Untersuchung der Nachbarschaftsbeziehungen der Typen gewesen. Diese konnte aber im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit aus Zeitgründen nicht realisiert werden.

In den hierarchischen Clusteranalysen, aus denen die statistischen Typologien gewonnen wurden, konnten die 1 561 unbestockten Plots nicht einbezogen werden. Dies ist im Vergleich zu der

Typologie der französischen Forstverwaltung umso mehr einen Nachteil, als diese 1 561 Plots einen Anteil von 19% an der Gesamtplotzahl des Naturraums einnehmen und einer fast 400 ha großen Fläche entsprechen. Die französische Forstverwaltung hat diese Plots übrigens in vier Typen eingeteilt.

4.3.3 Methodik der Prüfung der Typologien

4.3.3.1 Überprüfung der Typologie der französischen Forstverwaltung im Freiland

Um möglichst viel Typen innerhalb einer möglichst geringen Distanz zu finden wurde zur Durchführung des Praxistests mit den Revierleitern auf Basis der Kartierung der Typen eine Sturmwurffläche ausgewählt, die sich als ein Mosaik von Typen darstellte. Der Nachteil dabei war, dass die Heterogenität der Verjüngung die Bestimmung der Typen leicht erschwerte. Bei den kurz vor dem Test gegebenen Erklärungen zur Anwendung des Bestimmungsschlüssels wurden den Revierleitern empfohlen, für den Fall, dass sie bei der Identifizierung eines Typs zögerten, sich für denjenigen zu entscheiden, der die Umgebung am besten repräsentierte. Dies war bei dem Test aufgrund dieser Heterogenität der Verjüngungssituation nicht hilfreich. Außerdem befand man sich bei einigen Plots, insbesondere beim Plot 4 (s. Tab. 28), an der Grenze zwischen zwei Dichte-Stufen, was auch einige Bestimmungsfehler erklären könnte.

Aus praktischen und zeitlichen Gründen wurden nur 9 Versuchs-Plots angelegt. Dies beschränkt einigermaßen die Aussagefähigkeit der Ergebnisse des Praxistests. Diese Überprüfung der Typologie im Freiland durch die Revierleiter lieferte aber wichtige Informationen: sie machte eine Lücke der Typologie deutlich und erlaubte, mögliche Schwierigkeiten bei der Bestimmung von gewissen Typen zu bestimmen.

4.3.3.2 Analysen zur Prüfung der statistischen Qualität der Typologien

Wie unter Kapitel 2.5.3 erläutert, wurde zur Prüfung der statistischen Qualität der Typologie auf mittlere Distanzen, Gesamt-A-Werte, und paarweise Vergleiche aus *Multi-Response Permutation Procedures* - Analysen zurückgegriffen. Die Ergebnisse ergaben, dass die mittlere Distanz und damit dadurch der Gesamt-A-Wert ein Maß für die Homogenität der Typen bzw. der Cluster hinsichtlich ihrer Baumarten- ober Baumartengruppenzusammensetzung darstellt. Bei den paarweisen Vergleichen wurde ebenfalls zur Differenzierung der Typen bzw. der Cluster die Gesamtdichte nicht berücksichtigt (s. Kapitel 3.2.3.1 und 3.3.3). Daher bezieht sich möglicherweise die Bewertung der statistischen Qualität der Klassikationen nur auf die Baumarten- bzw. der Baumartengruppenzusammenseztung der Typen und der Cluster, was die statistische Qualität der Typologie der französischen Forstverwaltung, bei der die Variable "Gesamtdichte" im Vordergrund steht, wahrscheinlich verschlechtert.

4.3.3.3 Analysen zur Charakterisierung der Typen und der Cluster

Indicator Species Analysis

Indicator species Analysis wurden durchgeführt, um die Typen und die Cluster anhand Leitbaumarten und Leitpflanzenarten zu charakterisieren und sie dadurch voneinander zu unterscheiden.

Allgemein sind die Baumarten, die sich bei den *Indicator Species Analysis* als Leitbaumarten von Typen und Clustern ergaben, auch hinsichtlich der Stammzahl die häufigsten Baumarten der betroffenen Typen bzw. Cluster.

Die *Indicator Species Analysis* für die Pflanzenarten erlaubten nicht, die Cluster bzw. die Typen anhand der Bodenvegetation zu charakterisieren: die Indikatorwerte der häufigsten Arten lagen bei den verchiedenen Typen und Clustern sehr nah aneinander, so dass keine Pflanzenart als Leitart eines Typs oder eines Clusters bezeichnet werden kann.

Diese Analysen erbrachten wenige Informationen. Sie bestätigten die Bedeutung der häufigsten Baumarten der Cluster bzw. der Typen, und die geringe Relevanz der Konkurrenzvegetation zur Differenzierung der Typen und der Cluster.

Classification trees

Den *classification tree* - Analysen wurden die Variablen unterzogen, die zur Bildung der Typen und der Cluster herangezogen wurden. Somit ergaben die *trees* die Werte der Variablen, die eine statistische Differenzierung der Typen bzw. der Cluster erlauben.

Der *classification tree* der Typen bestätigte, dass die von der französischen Forstverwaltung ausgewählten Werten, vor allem für die Gesamtdichte und die Dichte der Baumartengruppen, auch statistisch relevant sind.

Was die Cluster betrifft, lieferten die *classification trees* einen höchst bedeutend Beitrag, da hier im Gegensatz zu den Typen die Kriterien, die zur Entwicklung der Cluster führten, unbekannt sind. Außerdem dienten die *classification trees* als Bestimmungsschlüssel für die Identifizierung der Cluster im Gelände. Somit erwiesen sie sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit als besonders hilfsreich.

Hauptkomponentenanalysen

Die Hauptkomponentenanalysen wurden zum Ziel einer grafischen Darstellung der Cluster und der Typen durchgeführt. Wie bei der Erstellung der *classification trees* wurden nur die Variablen der Analysen unterzogen, die zur Bildung der Typen und der Cluster herangezogen worden waren. Sie erlaubten die hierarchische Anordnung der Variablen, die hinsichtlich der Differenzierung der Typen bzw. der Cluster die bedeutendsten sind, lieferte aber im Gegensatz zu den *trees* keine kritischen Werte für diese Variablen. Des Weiteren ermöglichten sie eine weitere Bewertung der statistischen Unterscheidbarkeit der Typen und der Cluster. Dabei stehen die Hauptkomponentenanalysen im Einklang mit den Ergebnissen der paarweisen Vergleiche.

Die Überprüfung der Typologien anhand von statistischen Analysen ist für die statistischen Typologien geeignet. Was aber die Typologie der französischen Forstverwaltung betrifft, berücksichtigen diese Analysen viele Elemente nicht, die bezüglich der Anwendung der Typologie in der Praxis von Bedeutung sind (Dichte-Stufen für die Förderungsanträge, zukünftige waldbauliche Behandlung…).

4.4 Empfehlungen für die Erstellung einer Typologie von Naturverjüngungen auf Sturmwurfflächen

4.1.1 Empfehlungen für die Aufnahmen

Eine sorgfältige Aufnahme der Verjüngung mehrere Vegetationsperioden nach dem Sturm ist Voraussetzung für jede Planung der weiteren forstlichen Behandlung auf Sturmwurfflächen. Aufnahmeverfahren sollten in Abhängigkeit des Ausmaßes der zu erfassenen Fläche und der Zielsetzung der Aufnahmen entwickelt werden. Repräsentative Stichprobenaufnahmen auf systematisch verteilten Probeflächen konstanter Größe scheinen für großen Sturmwurfflächen angemessen, während eine flächenweise gutachtliche Erfassung für Sturmwurfflächen von kleiner bis mittlerer Größe zuverlässigere Aussagen liefert, insbesondere wenn die Flächen inhomogen sind, weil in diesem Fall die Probeflächen eine ungenügende Repräsentativität aufweisen.
Sollen Sturmwurfflächen von sehr unterschiedlicher Größe erfasst werden, könnten zwei Aufnahmeverfahren (ein statistisches Verfahren und ein gutachtliches Verfahren) angewandt werden. Sie müssen aber so konzipiert werden, dass ein Vergleich der Ergebnisse kein Problem birgt.

Bezüglich der aufgenommenen Variablen ist die genaue Erfassung der Zusammensetzung und der Dichte der Verjüngung im Hinblick auf die zukünftige waldbauliche Behandlung von höchster Bedeutung. Die zusätzliche Erfassung der Höhe, der Qualität und des Verbissgrades der Jungwüchse gibt einen guten Überblick über die Verjüngungssituation und erlaubt eine Einschätzung der qualitativen Entwicklung der nach dem Sturmereignis entstandenen Jungbestände. Hinsichtlich der Entwicklung der Typologie könnten diese Variablen eine Rolle spielen. Während die Dichte der Baumarten möglichst genau (durch Stammzahl) ermittelt werden soll, können Höhe, Qualität und Verbissgrad anhand einfacher Stufen erfasst werden. Außerdem sollte die Einschätzung der Qualität und des Verbissgrads oberhalb bzw. unterhalb einer gewissen Höhe erfolgen, und die Ermittlung der Verteilung ist nur im Fall von lockeren Verjüngungen sinnvoll.
Eine ausführliche Aufnahme der Bodenvegetation erweist sich nicht als zweckmäßig. Die Entwicklung von Konkurrenzvegetations-Kategorien hinsichtlich der Hemmung oder der Gefährdung der Verjüngung und die Ermittlung von deren Deckungsgrad stellen sich als eine günstigere Lösung dar. Ist die artspezifische Lokalisierung der wichtigsten verjüngungshemmenden Arten hinsichtlich ihrer Bekämpfung von Bedeutung, dann sollte der Anteil dieser Arten ermittelt werden.
Der Standort ist die Variable, die die Wiederbesiedlung von Sturmwurfflächen am stärksten beeinflusst. Sie ist auch hinsichtlich der waldbaulichen Behandlung der Sturmwurfflächen (z.B. für die Auswahl geeigneter Baumarten für Pflanzungen) von hoher Bedeutung. Diese Variable muss daher in

jedem Fall ermittelt und berücksichtigt werden. Idealerweise sollte der Standort bereits vor dem Sturmereignis hinreichend genau charakterisiert worden sein, und die unterschiedlichen Standortsfaktoren auch quantifiziert worden sein.
Der Schlagabraum und die Überschirmung durch die Vorbestockungsreste können auch im Hinblick auf die waldbauliche Planung und deren Durchführung von Bedeutung sein und sollten in diesem Fall ermittelt werden.

Die Anwendung von Geländerechnern, die einen direkten Transfer der Daten in die Büro-Rechner erlauben, wäre sinnvoll. Somit würden die zeitaufwendige Dateneingabe der in den Aufnahmeblättern enthaltenen Daten und der damit verbundenen Fehlermöglichkeiten erspart.

4.1.2 Empfehlungen für die Dateneingabe und die Datenbearbeitung

Für den Fall, dass die Daten anhand von Aufnahmeblättern erfasst werden, ist die Erarbeitung einer durch ein System ablaufender Menus, Test- und Sperrfunktionen unterstützten Datenaufnahmemaske zur Vermeidung der meisten Fehlermöglichkeiten notwendig. Die Anwendung des Datenbankprogramms Microsoft® Access zur Erarbeitung der Eingabemaske und zur Erstellung der Datenbank erweist sich für große Datensätze als viel angemessener als eine Datenbearbeitung anhand des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft® Excel. Microsoft® Access erlaubt unter anderem eine praktikable Automatisierung der Darstellung der Ergebnisse anhand von Grafiken und Tabellen und zwar auf verschiedenen Skalen (Sturmwurffläche, Abteilung, Waldort, Revier, Forstamt). Dafür sind aber fundierte Programmkenntnisse erforderlich.

Besondere Sorgfalt sollte auf die Erstellung der Datenbank verwendet werden. Zur Vermeidung einer ungeeigneten Datenstruktur, wie dies im Interreg-Projekt bezüglich der Baumarten und der Pflanzenarten der Fall war, sollte die Datenbank im Hinblick auf die notwendigen Analysen zur Datenauswertung erstellt werden. In vielen Fällen scheint die Umrechnung mancher metrischer Variablen in kategorialen Variablen angezeigt, um eine bessere Übersicht über sie zu bekommen, und sie anhand von Tabellen oder Grafiken darstellbar zu machen. Die Einteilung der Baumarten in die im Hinblick auf die zukünftige forstliche Behandlung gebildeten Baumartengruppen kann auch die Analysen vereinfachen und eine interessante Basis für die Entwicklung der Typologie darstellen.

4.1.3 Empfehlungen für die Entwicklung von Typologien

In sehr stark vom Sturm betroffenen Wäldern, wie der Haguenauer Forst, ist die Durchführung einer Maßnahmenplanung gleichzeitig zur Aufnahme der Sturmwurfflächen kaum möglich. Die Entwicklung einer Typologie auf Basis der Aufnahmen kann sich hinsichtlich der waldbaulichen Planung als ein geschickter "Zwischenschritt" erweisen. Die Entwicklung von Jungwuchstypen auf Basis der Kenntnis des Geländes stellt sich als sinnvoll dar. Diese Vorgehensweise erlaubt eine gewisse Flexibilität hinsichtlich der Kriterien, die zur Differenzierung der

Typen herangezogen werden. Außerdem wird somit eine relativ leichte Identifizierung der Typen im Gelände sowie eine "intuitive" Ableitung von waldbaulichen Maßnahmen für jeden Typ bzw. für eine Gruppe von Typen ermöglicht. Die Orientierung der Jungwuchstypen an bestimmten waldbaulichen Zielen weist den Nachteil auf, dass in Falle einer Änderung der waldbaulichen Zielsetzung die Typologie sich als nicht mehr zielführend erweist. Außerdem ist ein großes Erfahrungswissen zur Entwicklung solcher Typen notwendig.Statistische Analysen, wie zum Beispiel die Erarbeitung von Zusammenhängen zwischen den erfassten Variablen, können die Entwicklung der Typologie unterstützen, indem sie erlauben, den Einfluss ausgewählter Variablen auf die Verjüngung zu bestimmen und zu quantifizieren.

Statistischen Typologien können anhand hierarchischer Clusteranalysen entwickelt werden. Da diese Typologien nur deskriptiv sind (und keine waldbauliche Orientierung aufweisen), sind sie mit verschiedenen forstlichen Zielsetzungen kombinierbar. Im Vergleich zu einer "pragmatischen" Typologie weist eine statistische Typologie gewisse Nachteile auf. Die Erarbeitung einer auf der Typologie basierenden Waldbau-Leitlinie zur Behandlung der Sukzessionswälder kann sich schwieriger erweisen und die Integration von Variablen-Werten, die für die Praxis von Bedeutung sind, ist kaum möglich.

Bei beiden Vorgehensweisen ist die Auswahl der Variablen, auf denen die Typologie aufbauen soll, entscheidend. Die relative Dichte von "waldbaulichen" Baumartengruppen erweist sich zur Bildung von Jungwuchstypen als relevant und ausreichend.

Zur Bestimmung der Jungwuchstypen sollte ein Bestimmungsschlüssel erarbeitet werden, der auf Kriterien aufbaut, die vor Ort einfach zu beobachten und aufzufassen sind (z.B. Stammabstände für die Einschätzung der Dichte). Unabhängig von der Methode, die zur Entwicklung der Jungwuchstypologie angewandt wird, sollte eine Überprüfung der Typologie anhand des entsprechenden Bestimmungsschlüssels im Freiland erfolgen, am besten durch die zukünftigen Benutzer dieses Bestimmungschlüssels. Dies liefert wichtige Hinweise über die Praktikabilität der Typologie, insbesondere über die Fehler, die bei der Anwendung des Schlüssels auftreten können, sowie deren möglichen Ursache.

Die Kartierung der Sturmwurfflächen zur Darstellung der Typen bildet eine wichtige Grundlage für die Planung forstlicher Maßnahmen.

5 Zusammenfassung

Am 26. Dezember 1999 traf der Orkan Lothar einen Teil der elsässischen und pfälzischen Wälder sehr hart. Zur waldbaulichen Behandlung der naturverjüngten Sturmwurfflächen arbeiten die Forstverwaltungen von Nord-Elsass und von Rheinland-Pflaz im Rahmen eines Interreg-Projektes zusammen. Betroffen sind auf französischer Seite Wälder der Forstämter "Haguenau" und "Saverne", auf deutscher Seite der Forstämter "Bienwald", "Haardt", "Wasgau" und "Hinterweidenthal".
Im Herbst 2006 wurde im Elsass einen Teil der Sturmwurfflächen mit systematisch verteilten Probekreisen erfasst. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Auswertung der Daten des Naturraums "Hagenau-Ebene" zur Erstellung einer Jungwuchstypologie. Diese Typologie soll zum einen der Erleichterung weiterer Aufnahmen und zum anderen der Erarbeitung einer Waldbau-Leitlinie dienen.

Die Mitarbeiter der französischen Forstverwaltung entwickelten eine Typologie auf Basis ihrer Kenntnis der Verhältnisse des Geländes. Diese Typologie baut überwiegend auf der Gesamtdichte der Jungwuchsbestände und auf den relativen Dichten verschiedener Baumartengruppen auf. Sie ist nicht nur deskriptiv sondern auch an der zukünftigen waldbaulichen Behandlung der Sukzessionswälder orientiert. Die Typologie erlaubte eine Kartierung der Sturmwurfflächen, die eine wichtige Grundlage für die waldbauliche Planung darstellt.
Anhand hierarchischer Clusteranalysen wurden zwei "statistische" Typologien entwickelt, die eine basierend auf der Dichte der einzelnen Baumarten, die andere auf der Dichte der Baumartengruppen. Ziel war, eine pragmatische Vorgehensweise mit einer statistischen Vorgehensweise zur Entwicklung einer Jungwuchstypologie zu vergleichen, und die jeweiligen Vor- und Nachteile der beiden Vorgehensweisen zu bestimmen.

Zum Vergleich wurden die drei Typologien denselben Analysen unterzogen: Überprüfung der statistischen Unterscheidbarkeit der Typen anhand *Multi-Response Permutation Procedures* - Analysen; Charakterisierung der Typen anhand der Baumartenzusammensetzung und der aus einer *Indicator Species Analysis* gewonnenen Leitbaumarten*;* Erstellung eines *classification tree,* der als "statistischer Bestimmungsschlüssel" angesehen werden kann; Darstellung der Typen im Koordinatensystem der zwei Hauptachsen einer Hauptkomponentenanalyse. Die drei Typologien wurden auch im Gelände getestet, um ihre Praktikabilität zu überprüfen.

Daraus ergab sich, dass die Typologie der französischen Forstverwaltung realitätsnähere Typen liefert als die statistischen Typologien. Die statistischen Typen weisen zwar eine bessere statistische Unterscheidbarkeit auf, enthalten aber Plots von sehr unterschiedlicher Gesamtdichte, so dass sie sehr verschiedene Verjüngungssituationen zusammenfassen. Daher sind sie für die Erarbeitung der Waldbau-Leitlinie nicht so gut geeignet wie die auf Grundlage von Erfahrungswerten gebildeten Typen. Außerdem erlaubte die pragmatische Vorgehensweise der französischen Forstverwaltung die Integration von Variablen, die für die Praxis von Bedeutung sind (z. B. die Grenzwerte für die Gesamtdichte, die im Hinblick auf eine mögliche Förderung berücksichtigt werden sollen). Für die Einteilung von pragmatisch ausgerichtete Typen ist allerdings ein großes Erfahrungswissen erforderlich und mit einer Orientierung der Typen an bestimmten waldbaulichen

Zielen besteht das Risiko, dass die Typologie bei einer Änderung der waldbaulichen Zielsetzung ihre Grundlage verliert.

6 Literaturverzeichnis

AMMER, C.; BRANG, P.; KNOKE, T.; WAGNER, S. (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchungen von Jungwüchsen. Forstarchiv, Nr. 75. S. 83-110.

BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, R. (2000): Multivariate Analysemethoden, eine anwendungsorientierte Einführung. 9., überarb. und erw. Aufl. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 661 S.

BODENRIEGER, A.; SCHMIDT, J.; SCHROPP, G. (1998): Das Mikroklima auf den Wasserhaushalt von Test-Pflanzen (*Prunus avium*) S. 113-129 in FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

BÜCKING, W.; SCHÜLER, G.; BECK, M.; STOLZ, T. (1998): Flächige Dokumentation der Struktur, Bodenvegetation, und Verjüngung der Sturmwufflächen. S. 75-93 in FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

BÜHL, A.; ZÖFEL, P. (2000): SPSS Version 10, Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 7., überarb. und erw. Aufl. Addison Wesley Verlag. München. 734 S.

DOSSIER, C. (2000): Quels enseignements tirer des reconstitutions forestières après chablis? ENGREF-Nancy, Mémoire d'élève. 63 p. Unveröffentlichte Diplomarbeit.

DUPOUEY, J.-L. (1983): Etude phytosociologique et écologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin, France). Apports méthodologiques. Potentialités sylvicoles. Thèse Doct.-Ing., INRA Champenoux. 140 S. Unveröffentlichte Doktorarbeit.

FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

FISCHER, A.; HONOLD, A.; REIF, A.; FUNKE, W.; BÜCKING, W. (1998): Die Sturmwurf-Biozönosen in der Startphase der Bestandesentwicklung. S. 357-374 in FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (2000): Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen. Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Nr. 51. 9 S.

GELDREICH, P. (1993): Forêt Indivise de Haguenau, Révision d'Aménagement, Période 1993-2012. Office National des Forêts, Direction Régionale d'Alsace, Division de Haguenau. 182p. Unveröffentlichtes Forsteinrichtungswerk.

GELDREICH, P. (2002): Forêts du Massif de Haguenau, Révision simplifiée d'aménagement forestier 2003-2012. Office National des Forêts, Direction Régionale d'Alsace, Division de Haguenau. 41p. Unveröffentlichtes Forsteinrichtungswerk.

GELDREICH, P. (2006): Compte-Rendu de la réunion «Projet INTERREG - Suivi des régénérations forestières naturelles issues de la tempête Lothar de 1999» du 30 janvier 2006 à Haguenau. Office National des Forêts, Agence de Haguenau. 4p. Unveröffentlichtes Protokoll.

HETZEL, G.; REIF, A. (1998): Vegetationsdifferenzierung und Baumartenverjüngung von Sturmwurfflächen auf Kalkverwitterungslehmen der Schwäbischen Alb. S. 169-187 in FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

HETTESHEIMER, B. (2005): Aus-ästen Auf-ästen, 10 Fragen - 10 Antworten zum Thema "Notqualifizierung". Flyer des Landesforsten Rheinland-Pfalz. [online] http://www.wald-rlp.de/fileadmin/website/downloads/naturnah/boehmer/ausaestung.pdf. [Zugriff am 05.06.07]

HÜSSENDÖRFER, E.; DICKGIEßER, M.; GROß, G. (2005): Entwicklung von Fichten-Tannen-Naturverjüngungen auf Sturmwurfflächen. AFZ-DerWald, Nr. 11. S. 566-568.

KENK, G. (2002): Rôle de la végétation dans la reconstitution après tempête: l'exemple allemand (Bade-Wurtemberg). Revue Forestière Française, Vol LIV, Nr. 6. pp 547-558.

KOHNLE, U.; DINKELAKER, F.; VON GILSA, H. (2005 a): Ergebnisse zum Stand der Wiederbewaldung 2003. AFZ-DerWald, Nr. 11. S. 560-565.

KOHNLE, U.; STRUSS, M.; EISENMANN, P. (2005 b): Entwicklung von Naturverjüngungen aus Fichte und Tanne nach Sturm. AFZ-DerWald, Nr. 11. S. 569-571.

KOHNLE, U.; VON TEUFFEL, K. (2005): Jungbestandespflege in Fichten-Naturverjüngungen auf Sturmflächen ? AFZ-DerWald, Nr. 11. S. 571-574.

KREMER, W. (2006): Projektfahrplan - Die weitere Behandlung der Naturverjüngungen auf den Schadflächen des Orkans Lothar 1999. Office National des Forêts, Agence de Haguenau. 9 S. Unveröffentlicht.

MAC CUNE, B.; MEFFORD, M. J. (1999): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.0MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

MAINDONALD, J.; BRAUN, J. (2007): Data Analysis and Graphics using R, an example-Based Approach. Second Edition. Cambridge Series in Statistical and Probabilities Mathematics. Cambridge University Press. 484 S.

MENGIN, A. (2006): Observatoire des dynamiques naturelles après tempête - Peuplements mités - Première phase 2003-2006. Rapport final. ENGREF-Nancy. 63p. Unveröffentlichter Bericht.

MORTIER, F. (2001): Reconstitution des forêts après tempêtes, guide pour une stratégie de reconstitution durable. Office National des Forêts, Direction Technique - Paris. Imprimerie ONF Fontainebleau. 112 p.

OFFICE NATIONAL DES FORETS - DIRECTION TERRITORIALE ALSACE; ZENTRALSTELLE DER FORSTVERWALTUNG - NEUSTADT/W. (2006): Demande de concours communautaire / Antrag auf EU-Förderung. Office National des Forêts, Agence de Haguenau. 20 S. Unveröffentlicht.

PAMPE, A.; SPELLMANN, H.; SCHMIDTKE, H.; RIECKMANN, P. (2003): Jungendwachstum und Differenzierung von Fichten-Naturverjüngungen - Konsequenzen für die waldbauliche Behandlung. Forst und Holz, Nr. 58. S. 390-394.

PLANCHAIS, I.; SEYNAVE, I. (2001): Reconstitution des forêts après tempête: quels enseignements tirés des châblis précédents ? Tournées organisées en Lorraine (mai - septembre 2000). Office National des Forêts, STIR Nord-Est - DR Lorraine. Imprimerie ONF Fontainebleau. 53p.

PRÖMSE, F. (2006): Vergleich zweier Methoden zur Aufnahme von Sturmwurfflächen nach Lothar. 17 S. Forstamt Westrich, unveröffentlichter Erfahrungsbericht.

QUIÑONES-NADLER, C. (2004): Observatoire des dynamiques naturelles après tempête - Peuplements dévastés - Première phase 2001-2004. Rapport final. ENGREF-Nancy. 72p. Unveröffentlichter Bericht.

QUIÑONES-NADLER, C.; LACOMBE, E.; GEGOUT, J.-C. (2005): La régénération naturelle dans les peuplements dévastés par la tempête de 1999 dans le quart Nord-Est de la France. Revue Forestière Française, Vol. LVII, Nr. 3. pp. 289-309.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007): R version 2.5.0 (2007-04-23). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SAEP (2000): [online] http://saep.regiopamina.org/Inhalte/Willkommen.htm. [Zugriff am 20.11.06].

SAYER, U.; REIF, A. (1998): Entwicklung der Vegetation im überregionalen Vergleich. S. 146-168 in FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

SCHEID, C. (2002): Dynamique naturelle des trouées anciennes dans le nord de la Meuse. ENGREF-Nancy, Mémoire d'élève. 58 p. Unveröffentlichte Diplomarbeit.

SCHMIDT-SCHÜTZ, A.; HUSS, J. (1998): Wiederbewaldung von Fichten-Sturmwurfflächen auf vernässenden Standorten mit Hilfe von Pioniergehölzen. S. 188-211 FISCHER, A. (Hrsg.) (1998): Die Entwicklung von Waldbiozönosen nach Sturmwurf. Umweltforschung im Baden-Württemberg. Ecomed. Landsberg. 427 S.

SCHÖNENBERGER, W. (2002): Windthrow research after the 1990 storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. Forest Snow and Landscape Research, Vol. 77, Issue 1/2. S. 9-16.

VAN COUWENBERGHE, L. (2006): Observatoire des dynamiques naturelles après tempête - Peuplements dévastés - Deuxième phase 2005-2006. Rapport d'étape. ENGREF-Nancy. 37p. Unveröffentlichter Bericht.

VON GILSA, H.; MOOSMAYER, M. (2002): Wiederbewaldung nach „Lothar“. AFZ-DerWald, Nr. 16. S. 835-837.

VON GILSA, H.; DINKELAKER, F.; KOHNLE, U. (2005): Die Revision Wiederbewaldung 2003. AFZ-DerWald, Nr. 11. S. 556-558.

WOHLGEMUTH, T.; KULL, P.; WÜTHRICH, H. (2002): Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. Forest Snow and Landscape Research, Vol. 77, Issue 1/2. S. 17-47.

7 Anhang