

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Landespflege
Prof. Dr. W. Konold

Energieholzanbau auf Rekultivierungsflächen

**Eine Konzeption im Hinblick auf die Rohstoffgewinnung für die Pelletproduktion
unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte**



Diplomarbeit an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften

von

Wolfram Rösch

vorgelegt
im Mai 2009

Referent: Prof. Dr. Werner Konold
Korreferent: Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand aus dem Projekt „Energieholz und Landschaft im Landkreis Ravensburg“, das gemeinsam von der Fa. Schellinger KG und dem BUND Ravensburg-Weingarten im Jahre 2007 initiiert wurde, um Flächen identifizieren zu können, die zur Deckung des Rohstoffbedarfes für die Pelletproduktion beitragen können. Die Konzentration lag hierbei explizit auf Standorten, wie bspw. Straßen- und Bahntrassen, Rekultivierungsflächen oder gestörten Niedermoorstandorten, die aufgrund unterschiedlicher ökonomischer, technischer oder ökologischer Restriktionen nicht ohne weiteres mittels KUP energetisch bewirtschaftet werden können und somit aus der allgemeinen Flächenkonkurrenz ausscheiden. Durch eine nachhaltige energetische Bewirtschaftungsweise könnte jedoch gleichzeitig der ökonomische wie auch der ökologische (naturschutzfachliche) Wert dieser Flächen gesteigert werden und somit eine doppelte Wertschöpfung in der Region für die Region generiert werden.

Bei der Untersuchungsfläche handelt es sich um eine ehemalige Kiesgrube, die sich im Süden der Gemarkung Ravensburg befindet. Diese wurde im Verlauf der letzten 40 Jahre in drei Abschnitten rekultiviert, d.h. es stocken bereits junge Waldbestände darauf (Abbildung 1).

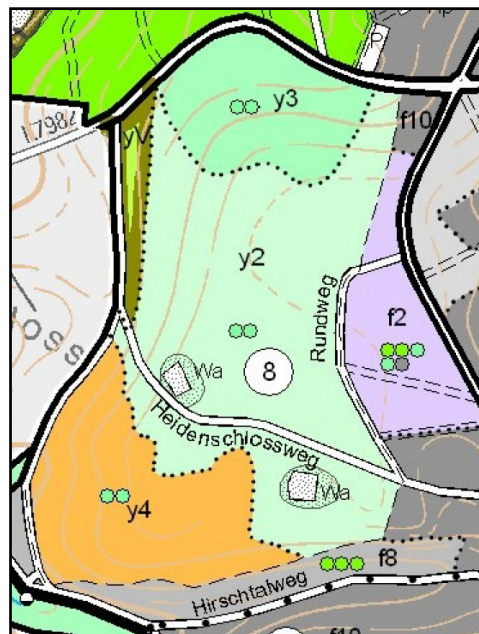


Abb. 1: Karte der Untersuchungsfläche mit den unterschiedlichen Rekultivierungsabschnitten
(Quelle: LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, 2006)

Die Aufgaben bzw. die Ziele der vorliegenden Arbeit bestanden nun darin, in Absprache mit dem Flächeninhaber, dem Kreisforstamt Ravensburg, einerseits einen Vorschlag zur nachhaltigen Nutzung des aktuellen Bestandes zu unterbreiten, andererseits eine Konzeption zur nachhaltigen energetischen Nutzung für die Zukunft zu entwickeln, wobei die Verwendbarkeit der erzeugten Biomasse für die Rohstoffbeschaffung in der Pelletproduktion, namentlich durch die Fa. Schellinger KG, im Fokus der Planungen stehen sollte. Als zukünftige Nutzungsform wurde dabei eine nieder- bis mittelwaldartige Bewirtschaftungsweise gewählt.

2 Material und Methoden

Die Planung einer ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Ernte der aktuellen Bestände und die Abgabe einer standortgerechten Baumartenempfehlung für die zukünftige Nutzungsweise erforderten eine differenzierte methodische Herangehensweise. Es wurde daher ein systematisches Raster über die Untersuchungsfläche gelegt, das in den kleineren Teilflächen (Y4 und Y3) eine Seitenlänge von 50 m und in der größten Teilfläche (Y2) eine Seitenlänge von 75 m aufweist. Die Schnittpunkte dieses Rasters stellten jeweils die Mittelpunkte für Vegetations- bzw. Waldstrukturaufnahmen dar (Abbildung 2). Hierbei wurden in einem Probekreis mit der Fläche von 100 m² alle Baumarten mit einem Durchmesser > 2 cm Brusthöhendurchmesser (BHD), inklusive stehendes Totholz, aufgenommen, und einzelne Höhen gemessen. Auf einer Fläche von 25 m² wiederum wurde die Verjüngung < 2 cm BHD aufgenommen und die verbissenen Individuen gezählt. Jeder zweite Probekreismittelpunkt stellte überdies einen Einschlagspunkt für eine Bohrstockprobe dar (Abbildung 2). Hierbei wurden die Parameter Horizont, -tiefe, Textur, Skelett- und Humusgehalt, pH-Wert, Carbonatgehalt und Staunässe ermittelt. Darüber hinaus wurde pro Teilfläche ein Bodenprofil angelegt, wobei zusätzlich zu den o.g. Parametern noch die Humusform, die Lagerfestigkeit und die Durchwurzelbarkeit des Substrates bestimmt wurden. Die Auswertung der Daten erfolgte im Programm Holzernte 7.1 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) und mit dem Programm Excel der Fa. Microsoft. Die naturschutzfachlichen und waldbau- bzw. waldwachstumskundlichen Gesichtspunkte wurden mittels einer intensiven Literaturrecherche zusammengetragen.

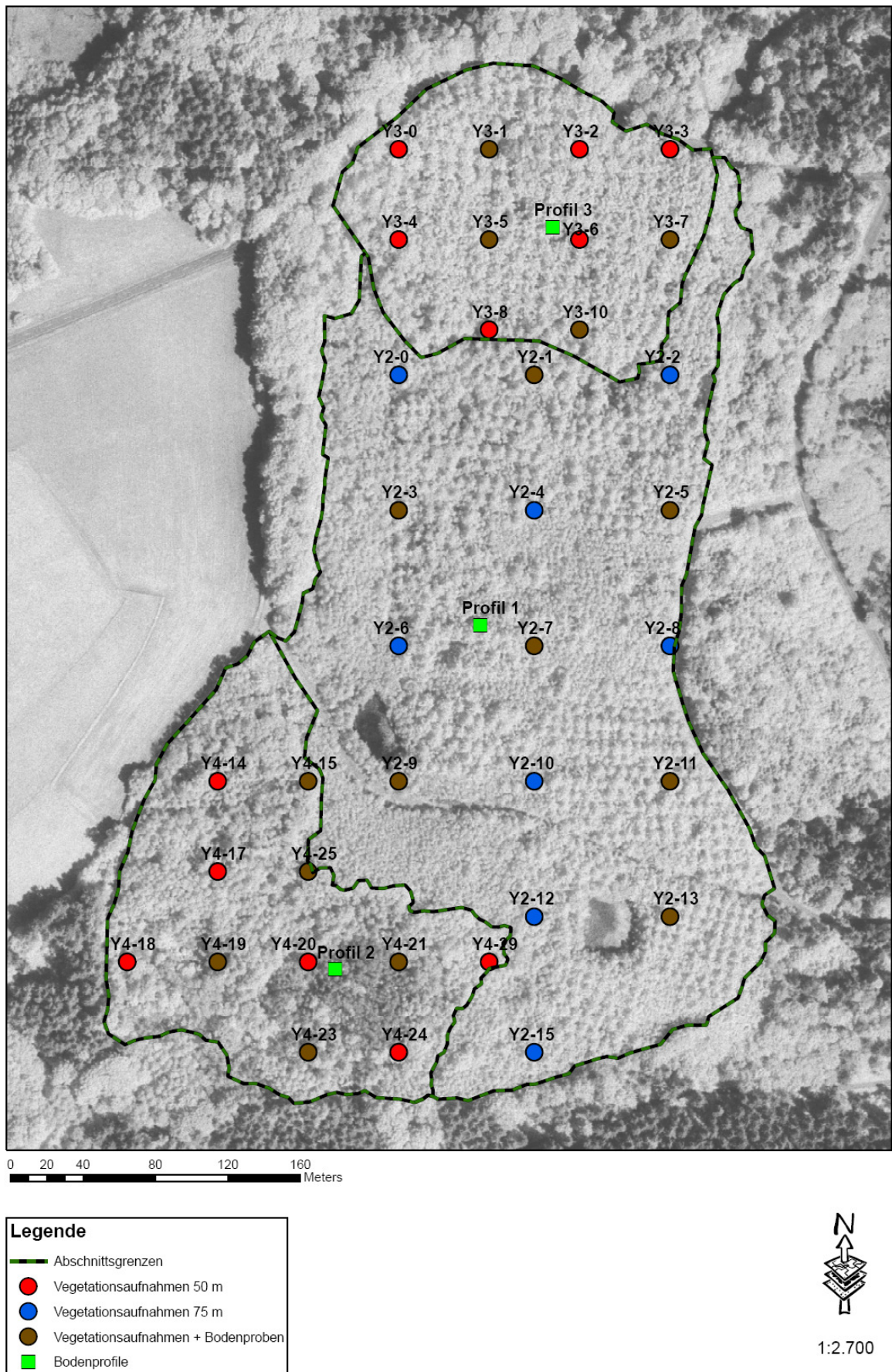


Abb. 2: Aufnahmedesign auf der Untersuchungsfläche
 © Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bodenaufnahmen unterscheiden sich in den einzelnen Rekultivierungsabschnitten teilweise erheblich voneinander (Abbildungen 3 und 4).

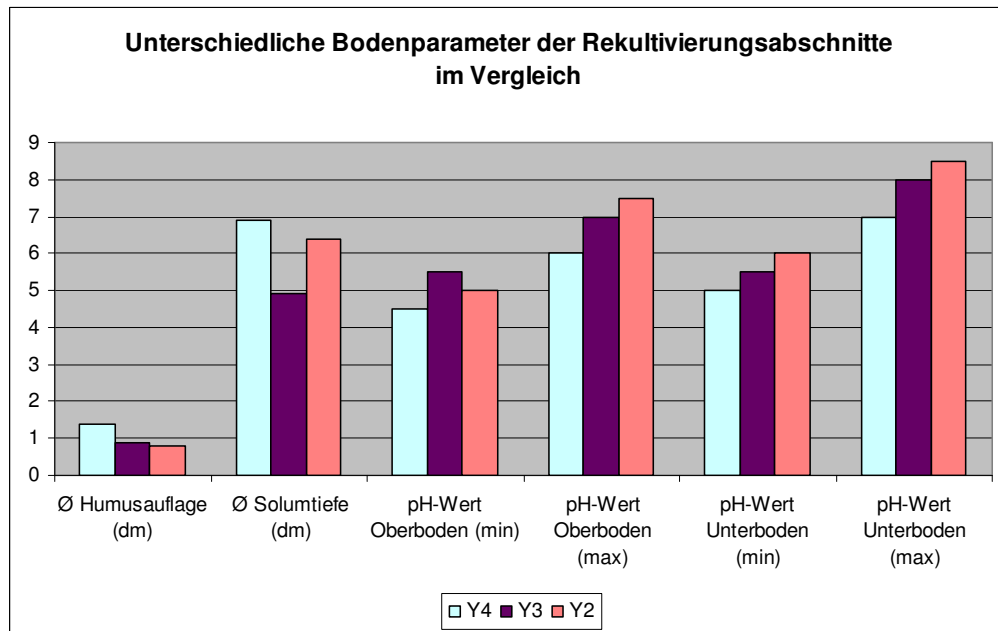


Abb. 3: Ausgewählte Bodenparameter der einzelnen Rekultivierungsabschnitte im Vergleich

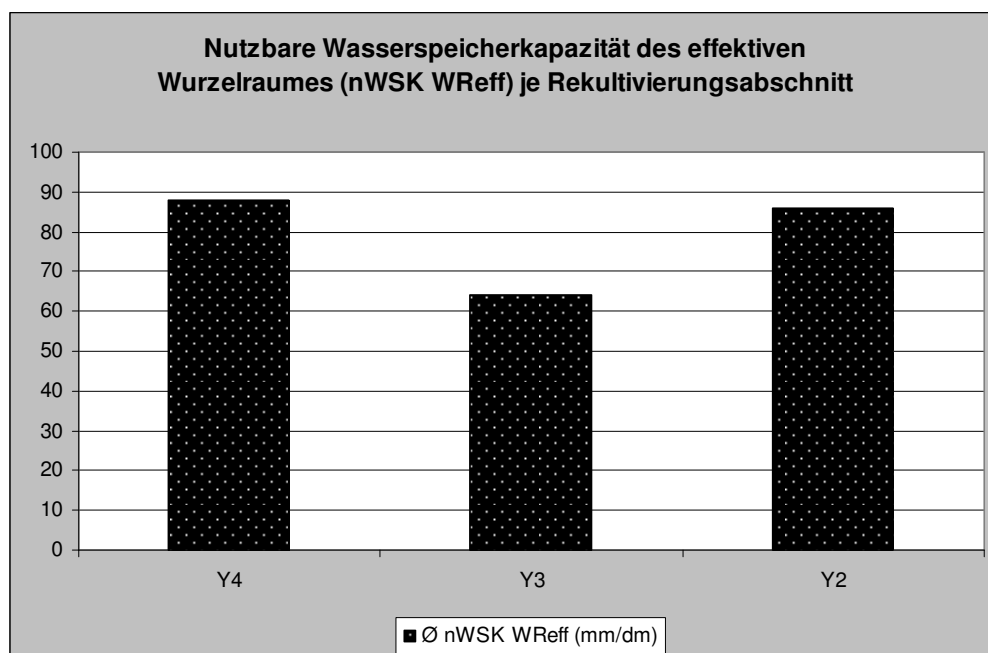


Abb. 4: Durchschnittliche Nutzbare Wasserspeicherkapazität des effektiven Wurzelraumes ($nWSK_{WR_{eff}}$) in den einzelnen Rekultivierungsabschnitten

Innerhalb der jeweiligen Abschnitte konnten jedoch überwiegend Übereinstimmungen festgestellt werden (Tabellen 1-3).

Tab. 1: Ergebnisse der Auswertung der Bodenaufnahmen im Abschnitt Y4

Probe- kreis bzw. Profil	Horiz- ont	Solum- tiefe in dm	Textur	Skelett- gehalt in Vol%	Humus- gehalt in Gew. %	nWSK WR _{eff} in mm/dm	pH- Wert	Carbonatgehalt in m%
Y4-15	Ah	2,3	Sandschluff	50-75	2-5	25,37	6	< 0,5
	B	5,5	Schluffsand	>75	1-2	17,86	7	< 0,5
Summe		7,8				43		
Y4-19	Ah	1,5	Tonlehm	10-25	2-5	20,56	5	0
	B	4,3	Schluffsand	50-75	1-2	41,22	5,5	< 0,5
Summe		5,8				62		
Y4-21	Ah	1,7	Lehmschluff	50-75	2-5	18,05	4,5	< 0,5
	B	6,7	Sandschluff	25-50	1-2	118,80	5	< 2
Summe		8,4				137		
Y4-23	Ah	1,3	Sandlehm	2-10	5-10	32,52	5	< 0,5
	B	6,4	Schluffsand	25-50	1-2	101,50	6,5	< 0,5
Summe		7,7				134		
Y4-25	Ah	0,5	Sandschluff	25-50	2-5	9,83	4,5	0
	B	5,0	Lehmsand	50-75	1-2	39,88	6	< 0,5
Summe		5,5				50		
Profil 2	Ah	1,3	Sandschluff	25-50	2-5	23,95	5,5	< 0,5
	B	5,1	Schluffsand	25-50	< 1	80,48	6	< 2
Summe		6,4				104		

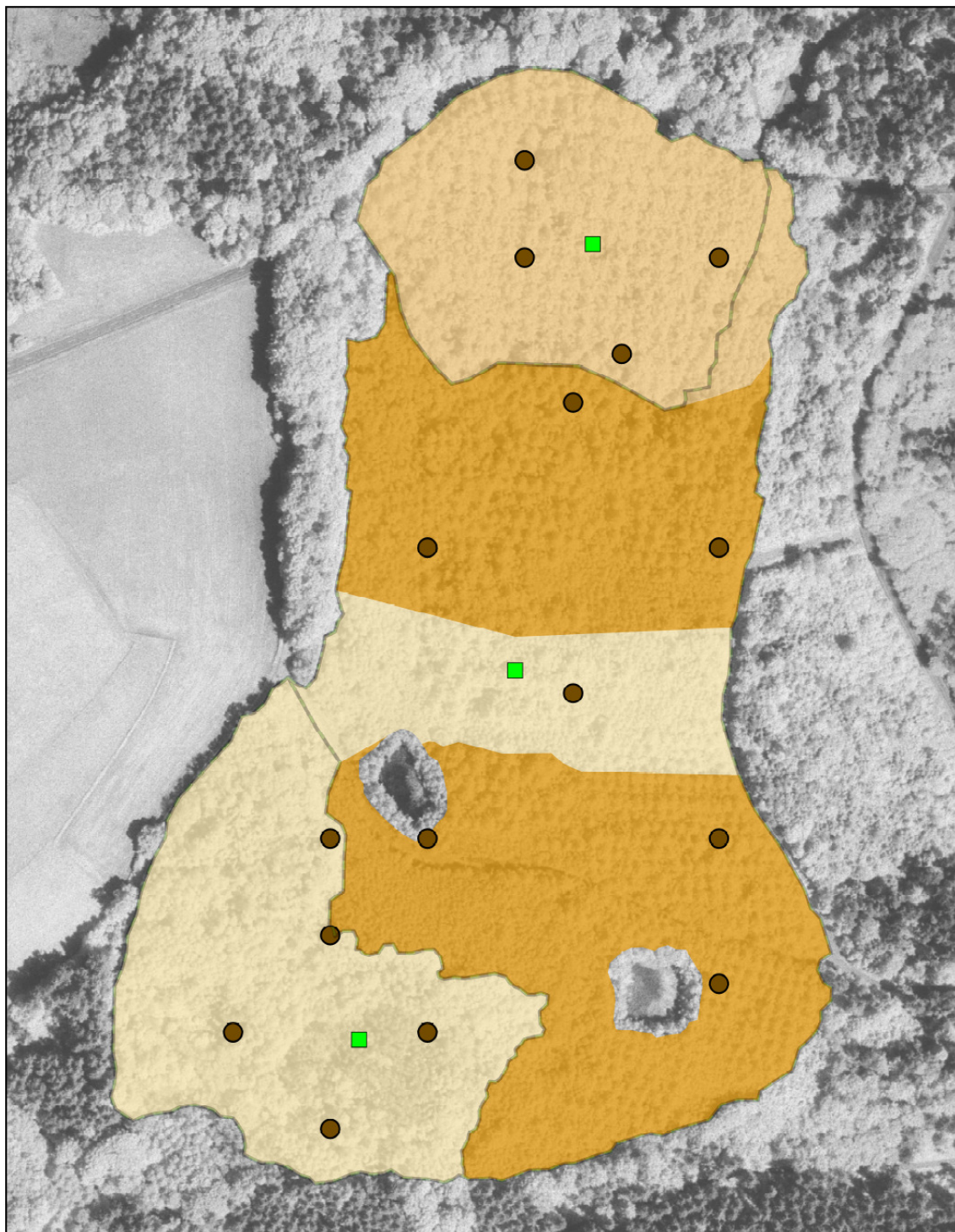
Tab. 2: Ergebnisse der Auswertung der Bodenaufnahmen im Abschnitt Y3

Probe- kreis bzw. Profil	Horiz- ont	Solum- tiefe in dm	Textur	Skelett- gehalt in Vol%	Humus- gehalt in Gew. %	nWSK WR _{eff} in mm/dm	pH- Wert	Carbonatgehalt in m%
Y3-1	Ah	0,7	Sandschluff	50-75	2-5	8,42	6	< 0,5
	Bl	2,3	Schluffsand	25-50	-	36,30	6,5	25-50
	Bll	2,5	Schluffsand	25-50	-	39,45	6,5	< 2
Summe		5,5				84		
Y3-5	Ah	0,4	Sandschluff	25-50	2-5	8,06	6	< 2
	B	2,8	Sandschluff	50-75	-	29,66	7	2-10
Summe		3,2				38		
Y3-7	Ah	1,5	Lehmschluff	25-50	5-10	28,33	5,5	25-50
	B	3,7	Lehmschluff	50-75	-	37,12	8	> 50
Summe		5,2				65		
Y3-10	Ah	1,4	Sandlehm	50-75	5-10	14,89	7	< 2
	B	3,2	Sandschluff	25-50	1-2	57,00	7,5	2-10
Summe		4,6				72		
Profil 3	Ah	0,7	Sandschluff	50-75	2-5	8,42	5,5	< 0,5
	B	5,3	Schluffsand	50-75	-	50,18	5,5	< 2
Summe		6,0				59		



Tab. 3: Ergebnisse der Auswertung der Bodenaufnahmen im Abschnitt Y2

Probe- kreis bzw. Profil	Hori- zont	Solum- tiefe in dm	Textur	Skelett- gehalt in Vol%	Humus- gehalt in Gew.%	nWSK WR _{eff} in mm/dm	pH- Wert	Carbonatgehalt in m%
Y2-1	Ah	0,7	Lehmschluff	25-50	5-10	14,95	5,5	< 0,5
	Bl	2,3	Tonlehm	50-75	1-2	13,69	6	< 2
	Bll	3,3	Sandschluff	25-50	-	58,27	8	10-25
Summe		6,3				87		
Y2-3	Ah	0,8	Tonlehm	25-50	5-10	12,25	5,5	0
	B	4,2	Normallehm	25-50	1-2	48,41	7	2-10
Summe		5,0				61		
Y2-5	Ah	2,0	Lehmschluff	25-50	2-5	34,44	5	< 0,5
	B	6,8	Sandlehm	25-50	1-2	101,44	6	2-10
Summe		8,8				136		
Y2-7	Ah	0,7	Normallehm	25-50	2-5	9,48	5	< 0,5
		7,3	Lehmsand	50-75	1-2	57,99	7	2-10
Summe		8,0				67		
Y2-9	Ah	0,2	Tonschluff	50-75	2-5	3,06	7,5	< 0,5
	B	4,7	Normallehm	50-75	< 1	32,17	8,5	2-10
Summe		4,9				35		
Y2-11	Ah	0,5	Tonlehm	25-50	2-5	6,69	6,5	0
	B	4,6	Lehmschluff	25-50	1-2	77,41	7,5	2-10
Summe		5,1				84		
Y2-13	Ah	0,7	Tonlehm	10-25	2-5	10,67	6,5	< 0,5
	B	6,5	Lehmschluff	10-25	-	143,45	7,5	25-50
Summe		7,2				154		
Profil 1	Ah	0,7	Lehmschluff	25-50	2-5	12,70	5,5	< 0,5
	B	5,3	Schluffsand	50-75	-	50,18	6,5	< 0,5
Summe		6,0				63		

Bezüglich des Parameters Textur wurden drei unterschiedliche Einheiten auf der Untersuchungsfläche ausgeschieden, die prinzipiell den drei Rekultivierungsabschnitten entsprechen, an der einen oder anderen Stelle jedoch über die Abschnittsgrenzen hinausreichen (Abbildung 5).



0 20 40 80 120 160 Meters

Legende	
	Abschnittsgrenzen
	Bodenprofile
	Bodenproben
	Lehmsand-Lehmschluff
	Lehmschluff-Tonlehm
	Schluffsand-Lehmschluff



1:2.700

Abb. 5: Textur-Einheiten auf der Untersuchungsfläche

© Landesvermessungsamt Baden-Württemberg

Die Ergebnisse der Waldstruktur- bzw. Vegetationsaufnahmen zeigten einen nicht unerheblichen Strukturreichtum in den jeweiligen Rekultivierungsabschnitten der Untersuchungsfläche infolge einer relativ hohen Baumartendiversität und der teilweise vorhandenen Mehrschichtigkeit durch bereits angekommene Verjüngung unterhalb der herrschenden Baumarten, die jedoch zu einem hohen Grad durch Wildverbiss geschädigt ist (Abbildungen 6-8). Der Holzvorrat ist ebenfalls nicht unerheblich und liegt in der Größenordnung von 223 Efm/ha (Y4), 250 Efm/ha (Y3) und 160 Efm/ha (Y2) (Tabellen 4-6).

Tab. 4: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen > BHD 7 cm im Abschnitt Y4

	Ø BHD/cm	Efm m.R./ha	Srm/ha	t/atro/ha	Stammzahl/%
Kiefer	17,4	95,6	248,6	41,2	34
Weichlaubholz	15,9	97,0	252,2	45,1	41
Fichte/Douglasie	10,3	17,1	44,3	6,5	20
Esche	14,9	13,3	34,7	7,6	5
Gesamt	14,6	223	580	100	100

Tab. 5: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen > BHD 7 cm im Abschnitt Y3

	Ø BHD/cm	Efm m.R./ha	Srm/ha	t/atro/ha	Stammzahl/%
Kiefer/sNB	10,0	3,3	8,6	1,4	11
Balsampappel	49,7	149,2	388,0	52,7	8
Weichlaubholz	14,3	101,2	263,2	47,1	81
Gesamt	24,7	250	651	100	100

Tab. 6: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen > BHD 7 cm im Abschnitt Y2

	Ø BHD/cm	Efm m.R./ha	Srm/ha	t/atro/ha	Stammzahl/%
Fichte/Douglasie	8,0	1,4	3,7	0,5	2
Balsampappel	33,7	48,8	126,9	17,2	3
Weichlaubholz	11,5	110,1	286,4	51,2	94
Gesamt	17,7	160	417	69	100

Bei der Auswertung der Aufnahmedaten der Individuen unter BHD 7 cm dominiert die Fichte mit vereinzelt eingesprengter Douglasie in den Abschnitten Y4 und Y3 in der Anzahl klar vor den Laubhölzern. Im Abschnitt Y2 hingegen stellt die Erle den Hauptanteil vor allen anderen Baumarten. Im Abschnitt Y4 ist die Esche bei den Laubhölzern ebenfalls recht stark vertreten. Das Gesamtvolumen pro Hektar beträgt im Rekultivierungsabschnitt Y4 10 Efm/ha, im Abschnitt Y3 9 Efm/ha und im Abschnitt Y2 14 Efm/ha (Tabellen 7-9).

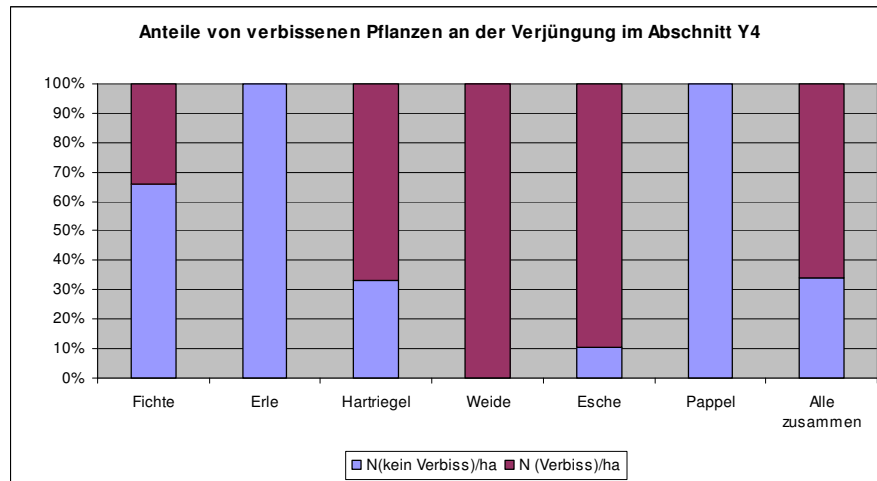


Abb. 6: Gegenüberstellung von verbissenen und unverbissenen Individuen unterschiedlicher Baumarten im Abschnitt Y4

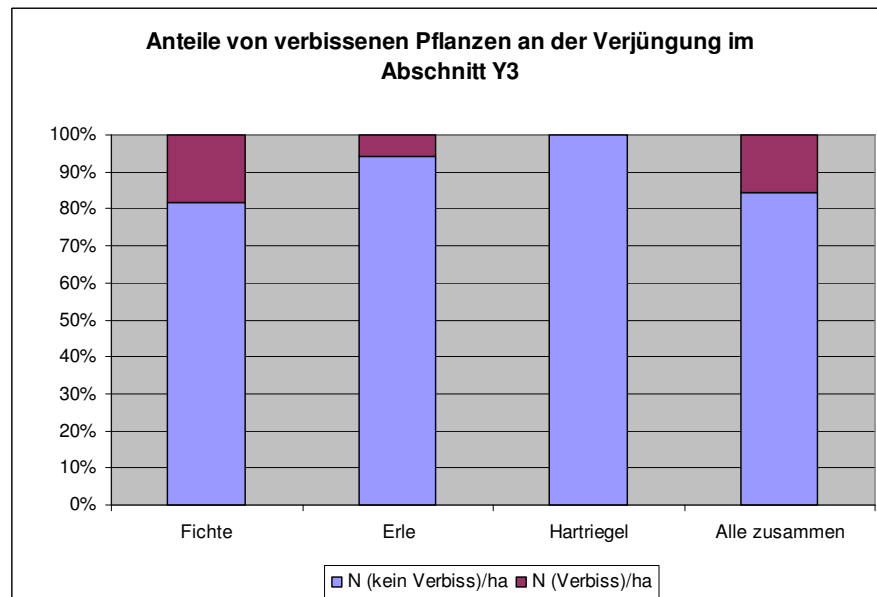


Abb. 7: Gegenüberstellung von verbissenen und unverbissenen Individuen unterschiedlicher Baumarten im Abschnitt Y3

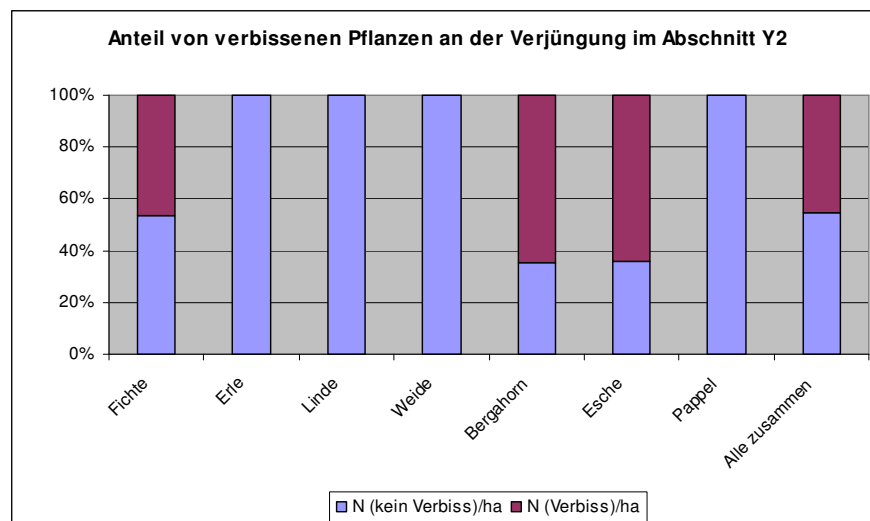


Abb. 8: Gegenüberstellung von verbissenen und unverbissenen Individuen im Abschnitt Y2

Tab. 7: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen < BHD 7 cm im Abschnitt Y4

Baumart	Anzahl	Anzahl/ha	Ø BHD/cm	s	Efm m.R./ha	Srm/ha
Erle	18	180	3,5	1,3	0,7	1,8
Esche	52	520	3,8	1,4	1,6	4,2
Fichte/Douglasie	72	720	3,8	1,2	8,3	21,6
Weide	5	50	3,4	0,6	0,2	0,5
Birke	1	10	4,0	0	0,0	0,0

Tab. 8: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen < BHD 7 cm im Abschnitt Y3

Baumart	Anzahl	Anzahl/ha	Ø BHD/cm	s	Efm m.R./ha	Srm/ha
Erle	40	400	3,7	1,2	1,7	4,4
Fichte/Douglasie	108	1080	3,4	1,1	13,7	35,6
Linde	2	20	5,5	0,5	0,2	0,4
Birke	1	10	2,0	0	0,004	0,01

Tab. 9: Ergebnisse der Auswertung der Vegetationsaufnahmen < BHD 7 cm im Abschnitt Y2

Baumart	Anzahl	Anzahl/ha	Ø BHD/cm	s	Efm m.R./ha	Srm/ha
Erle	83	553	3,9	1,2	2,4	6,2
Linde	6	40	4,8	0,6	0,2	0,5
Fichte/Douglasie	64	427	3,2	0,9	5,4	14,0
Balsampappel	25	167	2,9	0,8	0,8	2,1

Die auf der Untersuchungsfläche festgestellten Totholzvorräte sind sehr unterschiedlich und belaufen sich je nach Alter der Rekultivierungsabschnitte auf 3 bis 17 Vorratsfestmeter pro Hektar (Abbildung 9).

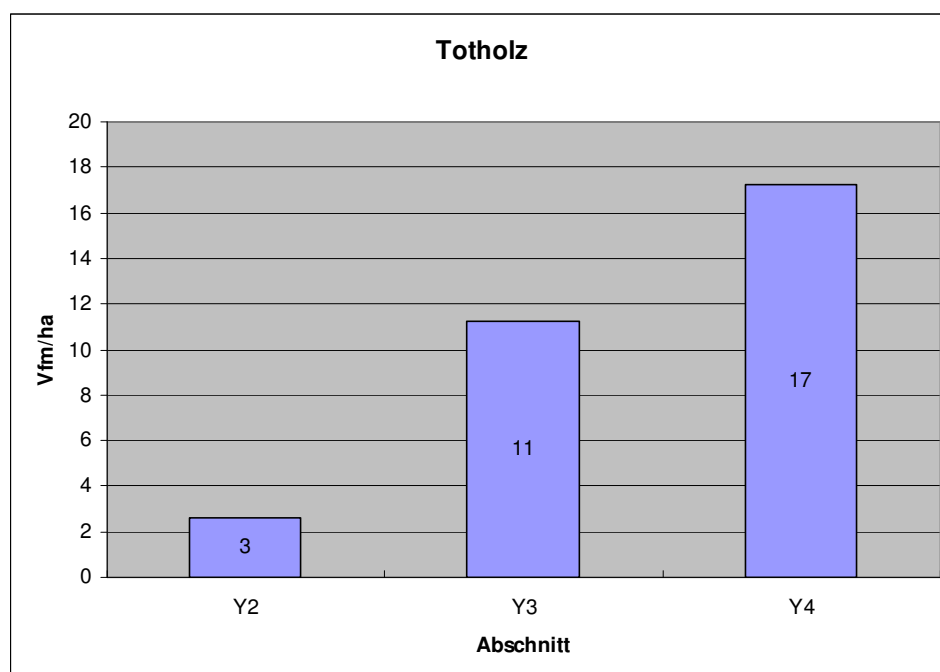


Abb. 9: Totholzvorrat pro Hektar je Rekultivierungsabschnitt

4 Diskussion/Konzeption

Bei der Kalkulation der Erntekosten der aktuellen Bestände musste auf verschiedene Studien in vergleichbaren Beständen zurückgegriffen werden. Die günstigste Variante ist demnach eine Kombination aus motormanueller und vollmechanisierter Ernte, wobei Kosten in Höhe von durchschnittlich 13,50 €/Srm anfallen. Legt man aktuelle Hackschnitzelerlöse in Höhe von 13,33 €/Srm zugrunde, so ist unter günstigen Voraussetzungen bereits jetzt schon mit wirtschaftlichen Erntemaßnahmen zu rechnen. Um ökologische Gesichtspunkte nicht zu vernachlässigen, sollte der Umbau der aktuellen zur neuen Nutzungsform kontinuierlich vonstatten gehen. Dies impliziert auch, dass das Totholz auf der Fläche belassen werden sollte. Je nach geplanter Variante und der daraus folgenden Beschaffenheit der zukünftigen Ausschlagwälder werden Flächengrößen zwischen 0,5 und 1 ha bei gleichzeitigen Eingriffszeitpunkten zwischen 2 und 4 Jahren angesetzt, um Wanderungsbewegungen für unterschiedliche Tier- und Pflanzenarten gewährleisten zu können (Tabelle 10, Abbildung 10).

Tab. 10: Konzeption zum kontinuierlichen Umbau der einzelnen Teilflächen in Ausschlagwälder

Jahr	Zu beerntende Bestände in den jeweiligen Abschnitten
2009	Y4 (Variante 1 bzw. Variante 2) + Y3 + Y2
2010	Hiebsruhe
2011	Y4 (Variante 2) + Y2
2012	Hiebsruhe
2013	Y4 (Variante 1 bzw. Variante 2) + Y3 + Y2
2014	Hiebsruhe
2015	Y4 (Variante 2) + Y2
2016	Hiebsruhe
2017	Y4 (Variante 1 bzw. Variante 2) + Y3 + Y2
2018	Hiebsruhe
2019	Y4 (Variante 2) + Y2
2020	Hiebsruhe
2021	Y4 (Variante 1 bzw. Variante 2 Neu) + Y3 Neu + Y2
2022	Hiebsruhe
2023	Y2 + Y4 (Variante 2 Neu)
2024	Hiebsruhe
2025	Y4 (Varianten 1 & 2 Neu) + Y3 Neu + Y2 Neu

Durch die Baumartendiversität der zukünftigen Ausschlagwälder und das Ernteregime, das geprägt ist von einer kahlschlagartigen Nutzung des Niederwaldes mit Belassung einzelner Oberschichtbaumarten, entsteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten und einem horizontalen wie vertikalen Strukturereichtum, in dem unterschiedliche Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum finden und somit die Diversität auf der Fläche erhöht werden kann. Die Planungen sehen im Abschnitt Y4 (Variante 2) eine Mischung aus Esche und Robinie in der Unterschicht vor mit einzelnen Erlen, Kiefern, Eschen, Ahornen und Eichen in der Oberschicht. Bei Variante 1 hingegen wird gänzlich auf Pflanzungen verzichtet und die Fläche komplett der Sukzession überlassen. Im Abschnitt Y3 ist mit den Pionierbaumarten Aspe, Robinie, Weißerle,

Salweide und Birke eine überwiegend niederwaldartige Bewirtschaftung vorgesehen, die jedoch auch durch einzelne Überhälter aus vorwüchsigen Unterschichtbaumarten angereichert werden soll. Der Niederwald des Abschnittes Y2 wiederum setzt sich hauptsächlich aus Edellaubhölzern (Spitz-, Berg-, Feldahorn, Esche) zusammen und wird komplettiert durch Linde, Hainbuche sowie Hasel. Die Oberschicht soll außer einzelnen Edellaubhölzern zusätzlich durch Wildobstarten und Eichen bereichert werden. Die Rotationsperioden werden je nach Abschnitt und Variante auf 12 bzw. 16 Jahre festgelegt, in denen dann laut Prognose ein Volumen von 100 bis 120 Efm/ha an Biomasse produziert werden soll.

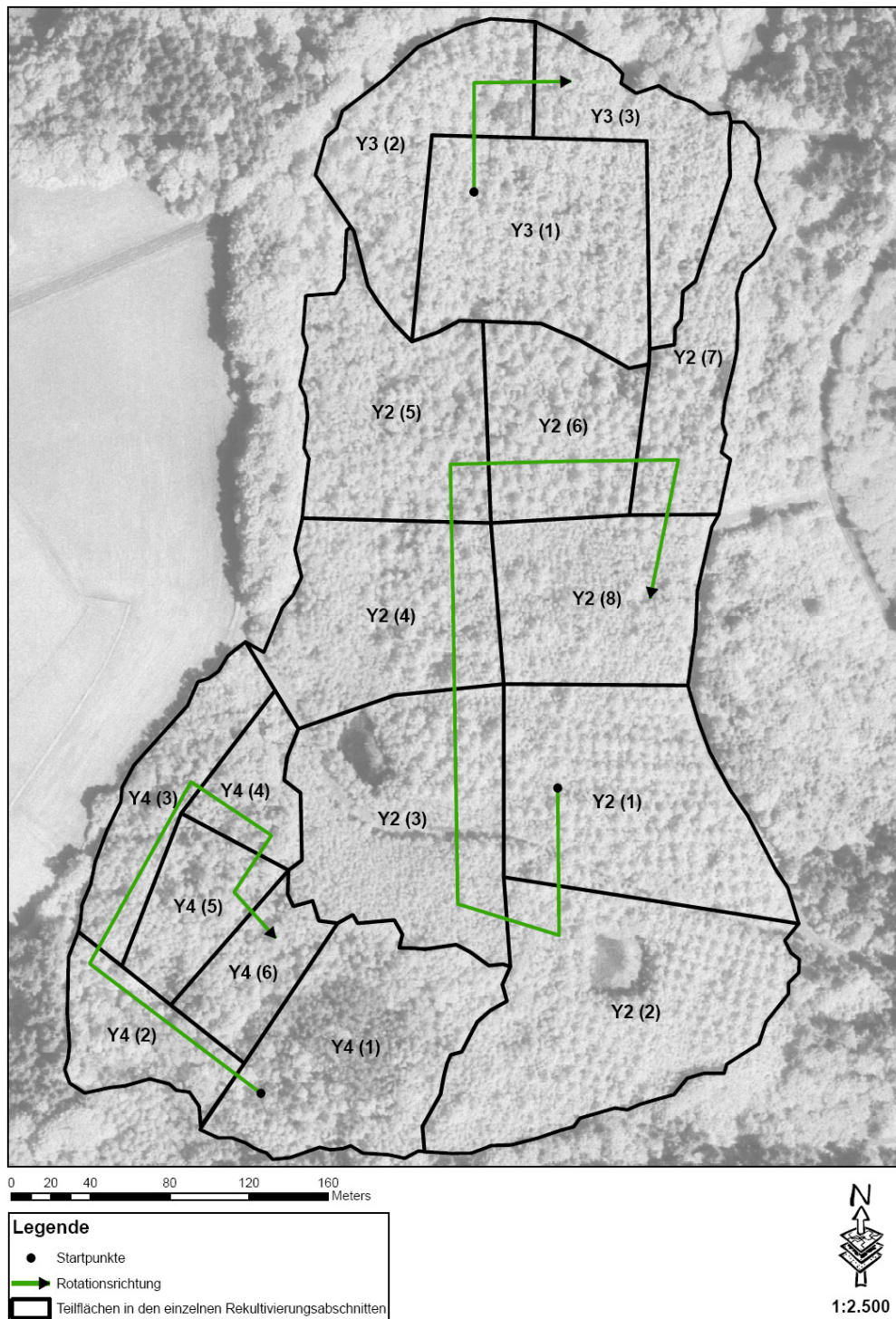
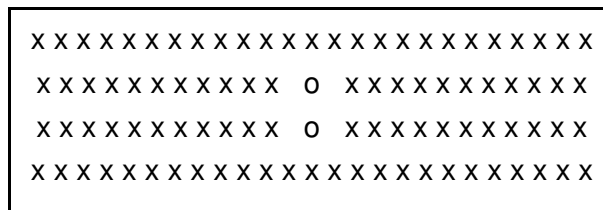


Abb. 10: Bewirtschaftungsmodell für die einzelnen Rekultivierungsabschnitte der Untersuchungsfläche

Das Pflanzschema zur konkreten Umsetzung der Maßnahmen könnte folgendermaßen aussehen:



Legende: x = Niederwald; o = Oberschicht

Der Pflanzabstand in der Niederwaldschicht beträgt 1 x 2 m. Empfohlen wird ein mittleres Pflanzensortiment in der Größe 50-80 cm, damit die Pflanzen weniger durch Konkurrenzvegetation behindert werden. In jeder 2. und 3. Reihe werden jeweils zwei Trupps der potenziellen Oberschichtbaumarten im Abstand 3 x 2 m gepflanzt, wobei die Verteilung innerhalb der Reihe variieren sollte. Es wird hierbei ein Heister-Sortiment in der Größe 120-150 cm empfohlen, um zum einen die Konkurrenzvegetation umgehen zu können, zum anderen einen Wuchsvorsprung vor den schneller wachsenden Niederwaldbaumarten (insbesondere Edellaubhölzer) gewährleisten zu können. Darüber hinaus sollten die potenziellen Überhälter einzeln gegen Verbiss bzw. Schälen geschützt werden. Insgesamt sind 20 Überhälter-Trupps vorgesehen. Sind darüber hinaus weitere Oberschicht-Baumarten gewünscht, so können diese aus den gepflanzten oder bereits vorhandenen Edellaubbaumarten rekrutiert werden. Rechnet man mit einer Gesamtpflanzenzahl von rund 5000 N/ha, so müssen davon noch die bereits jetzt schon auf den jeweiligen Abschnitten vorhandenen Individuen abgezogen werden, die laut Baumartenempfehlung für den jeweiligen Standort geeignet sind. Diese Zahl setzt sich jeweils aus den Individuen < BHD 7 cm und der Verjüngung zusammen. Im Abschnitt Y3 können die Oberschicht-Trupps entfallen, da alle empfohlenen Niederwaldbaumarten ähnliche Wuchseigenschaften aufweisen. Analog zu Abschnitt Y4 können auch hier bereits jetzt schon vorhandene und als Überhälter geeignete Bäume mit lichten Kronen (Birke bspw.) vor den jeweiligen Erntemaßnahmen als Überhälter gekennzeichnet werden, ansonsten sollten vor der ersten Erntemaßnahme in der neuen Nutzungsform einzelne vorwüchsige, vitale Niederwald-Individuen ausgewählt werden, die dann in die Oberschicht einwachsen können.

Das Rhodener Pflanzverfahren gilt nach Recherchen für die vorliegende Arbeit als das auf skelettreichen oder stark durchwurzelten Böden am meisten geeignete Verfahren. Es ist dort allen anderen gängigen manuellen und motormanuellen Verfahren sowohl bezüglich der Pflanzgerechtigkeit als auch der Wirtschaftlichkeit überlegen. Gedacht ist es hauptsächlich für Laubholzsortimente mit Wurzellängen bis 28 cm. Der Vorteil an diesem Verfahren liegt v.a. daran, dass auch Pflanzen mit längerer Wurzel unter Ausnutzung des 30 cm langen Blattes sehr tief in den Boden eingebracht werden können, und somit Wurzelschnitte bei starken Wurzeln, wie Pfahlwurzeln von Eichen bspw., vermieden werden können. Damit können Eintrittspforten für Krankheitserreger verhindert werden. Außerdem erhält die Pflanze somit einen festen Sitz. Darüber hinaus stellt das Verfahren keine besonderen Anforderungen an die Schlagräumung und erhielt zudem günstige Bewertungen bei ergonomischen Untersuchungen.

Aufgrund der vorgenannten Faktoren erscheint dieses Pflanzverfahren gerade für die Untersuchungsfläche als sehr geeignet.

Bei der betriebswirtschaftlichen Untersuchung der Maßnahmen wurden die Kosten (Pflanzmaßnahmen und Ernte) den potenziellen Erlösen für die erzeugten Hackschnitzel gegenübergestellt. Die Kosten müssen hierbei auf die Anzahl der potenziell maximal möglichen Rotationsperioden umgelegt werden. Dazu muss die Vitalität bzw. Produktivität der Stockausschläge in Jahren abgeschätzt werden. Zur einfacheren Berechnung wurden hierfür für die geplanten kurzlebigeren Pionierbaumarten in den Abschnitten Y4 und Y3 96 Jahre, für die langlebigeren Edellaubbaumarten im Abschnitt Y2 160 Jahre angesetzt. Daraus lassen sich also folglich 8 (Y4/Y3) bzw. 10 (Y2) Rotationsperioden ableiten. Die Umtriebszeiten der Oberschichtbaumarten wurden bei der Aufstellung ebenso wenig wie die potenziellen Erlöse berücksichtigt, da die Entwicklung dieser Bäume sehr schwer abschätzbar ist. Es handelt sich bei der nachfolgenden Aufstellung also um eine sehr konservative Schätzung. Die Pflanzkosten (Rhodener Pflanzverfahren) und die Kosten für die einzelnen Pflanzen entstammen Angaben aus dem Internet, wobei es sich bei Aspe und Salweide um Klone für Kurzumtriebsplantagen (KUP) handelt. Für die Erntekosten wurden mittlere Werte vergleichbarer Bestände aus einer Dissertation an der Uni Freiburg zugrunde gelegt. Diese liegen bei 35,49 €/Efm bzw. 13,65 €/Srm. Die Kosten verteilen sich auf die einzelnen Abschnitte wie folgt:

Abschnitt Y4:

Tab. 11: Pflanzkosten im Abschnitt Y4

Einzelne Posten	Stückzahl	Sortiment (cm)	Einzelpreis/€	Gesamtpreis/€
Robinie	2400	50-80	0,77	1848,00
Stieleiche (Heister)	10	50-80	1,99	19,90
Wildschutzspirale	10	50-80	0,69	6,90
Pflanzkosten	2410		0,63	1518,30
Gesamt				3393,10

Bei einem Zinssatz von 6 % p.a. und einer Laufzeit von 12 Jahren summieren sich die Kosten für die Pflanzung (Tabelle 11) auf 6827,58 €. Teilt man diesen Wert auf 8 Rotationsperioden auf, so erhält man Kosten in Höhe von 853,45 € pro Rotationsperiode und Hektar. Legt man eine Volumenleistung von 100 Efm/ha und Rotationsperiode zugrunde, so kommen Erntekosten in Höhe von 3549,- €/ha dazu. Es ergeben sich folglich Gesamtkosten in Höhe von 4402,45 €/ha bzw. 44,02 €/Efm. Die Hackschnitzelerlöse müssten also umgerechnet bei 16,93 €/Srm liegen, um zumindest die Kosten decken zu können.

Abschnitt Y3:

Tab. 12: Pflanzkosten im Abschnitt Y3

Einzelne Posten	Stückzahl	Sortiment (cm)	Einzelpreis/€	Gesamtkosten/€
Robinie	1150	50-80	0,77	885,5
Aspe	1150	50-80	0,83	954,5
Weißerle	800	50-80	0,67	536,0
Salweide	400	50-80	0,70	280,0
Birke	400	50-80	0,68	272,0
Pflanzkosten	3900		0,63	2457,0
Gesamt				5385,0

Bei gleichem Zinssatz und gleicher Laufzeit wie in Abschnitt Y4 summieren sich die Kosten für die Pflanzung (Tabelle 12) auf 10835,68 €. Teilt man diesen Wert wiederum auf 8 Rotationsperioden auf, so erhält man Kosten in Höhe von 1354,46 € pro Rotationsperiode und Hektar. Legt man eine Volumenleistung von 120 Efm/ha und Rotationsperiode zugrunde, so kommen Erntekosten in Höhe von 4258,80 €/ha dazu. Es ergeben sich folglich Gesamtkosten in Höhe von 5613,26 € bzw. 46,78 €/Efm. Die Hackschnitzelerlöse müssten also umgerechnet bei 17,99 €/Srm liegen, um zumindest die Kosten decken zu können.

Abschnitt Y2:

Tab. 13: Pflanzkosten im Abschnitt Y2

Einzelne Posten	Stückzahl	Sortiment (cm)	Einzelpreis/€	Gesamtkosten /€
Spitzhorn	1120	50-80	0,83	929,60
Bergahorn	300	50-80	0,91	273,00
Feldahorn	300	50-80	0,83	249,00
Esche	300	50-80	0,98	294,00
Winterlinde	300	50-80	1,09	327,00
Hainbuche	300	50-80	1,09	327,00
Hasel	300	50-80	0,99	297,00
Wildbirne	12	50-80	1,95	23,40
Elsbeere	12	50-80	3,60	43,20
Wildapfel	4	50-80	2,45	9,80
Speierling	4	50-80	3,60	14,40
Vogelkirsche	4	120-150	2,95	11,80
Stieleiche	4	120-150	1,99	7,96
Wildschutzspirale	8		0,69	5,52
Wildverbissmittel	32		0,50	16,00
Pflanzkosten	2960		0,63	1864,80
Gesamt				4693,48

Bei o.g. Zinssatz und einer Laufzeit von 16 Jahren summieren sich die Kosten für die Pflanzung (Tabelle 13) auf 11923,09 €. Teilt man diesen Wert auf 16 Rotationsperioden auf, so erhält man Kosten in Höhe von 745,19 € pro Rotationsperiode und Hektar. Legt man eine Volumenleistung von 100 Efm/ha und Rotationsperiode zugrunde, so kommen Erntekosten in Höhe von 3549,- €/ha dazu. Es ergeben sich folglich Gesamtkosten in Höhe von 4294,19 €/ha, also 42,94 €/Efm. Die Hackschnitzelerlöse müssten also folglich bei 16,52 €/Srm liegen, um zumindest die Kosten decken zu können.

Die berechneten Gesamtkosten aus Pflanzmaßnahmen und Ernte mit einem Fäller-Sammler-Aggregat liegen folglich zwischen 16,52 €/Srm (Y2) und 17,99 €/Srm (Y3). Die ersten Erntemaßnahmen könnten laut Konzeption im Jahre 2021 in den Abschnitten Y4 und Y3 durchgeführt werden. Angesichts des zukünftig steigenden Energiebedarfs und der Verknappung der Rohstoffe durch die aktuell stark expandierende Bioenergiebranche ist mit steigenden Hackschnitzelerlösen zu rechnen, wodurch letztlich auch wirtschaftliche Erntemaßnahmen zu erwarten sind.

Aufgrund der bei den Vegetationsaufnahmen festgestellten hohen Verbisszahlen ist mit einer überhöhten Wilddichte auf der Untersuchungsfläche zu rechnen. Da die meisten der in der Konzeption für Stockausschlagwälder empfohlenen Laubbaumarten sehr stark bis stark durch Wildverbiss gefährdet sind impliziert dies, dass geeignete Maßnahmen zum Schutz der Pflanzen ergriffen werden müssen. Dies könnte entweder durch angepasste Pflanzensortimente, wie die in der Konzeption genannten Heisterpflanzen, durch Zäunung oder mittels o.g. gezieltem Einzelschutz potenzieller Wertholzträger erfolgen (Wildschutzspiralen bzw. Einstreichen von Pflanzen). Es ist darüber hinaus zweckmäßig, den Jagddruck auf der Fläche zu erhöhen.

In einem Gespräch kurz vor Fertigstellung der vorliegenden Arbeit zeigte sich der neue Jagdpächter der Fläche, Herr Zeller, sehr kooperativ bezüglich der neuen Nutzungsform und der damit postulierten Reduktion des Wildbestandes. Es ist daher anzunehmen, dass die Wilddichte sukzessive abnehmen wird und somit der für die potenziellen Oberschichtbaumarten angedachte Verbisschutz als ausreichend erachtet werden kann.

Die Nieder- bzw. Mittelwaldnutzung stellt allgemein hohe Anforderungen an die Nährstoffversorgung eines Standortes, da infolge der Stockausschlagsnutzung annähernd eine Vollbaumnutzung durchgeführt wird. Insbesondere die Voll- und die Ganzbaumernte werden jedoch in Bezug auf den Nährstoffexport extrem kritisch gesehen, da bei ersterer alle oberirdischen Teile des Baumes, also Blatt- respektive Nadelmasse, Reisig und Derbholz, bei letzterer zusätzlich noch die unterirdischen Teile, also die Wurzeln, aus dem Bestand entnommen werden. Dabei ist die Nährstoffkonzentration in den Feinwurzeln am höchsten und nimmt nachfolgend über Nadeln bzw. Blätter, Rinden, Grobwurzeln und Astholz kontinuierlich ab, bis schließlich im Derbholz die geringste Konzentration erreicht wird. Die Konzentrationen der meisten Nährelemente nehmen jedoch mit zunehmendem Bestandesalter und zunehmender Größe der jeweiligen Baumkompartimente ab. Sinkende Nährelementkonzentrationen in der Erntemasse üben daher mit zunehmendem Alter einen

stärkeren Einfluss auf den Nährelementexport aus als gleichzeitig steigende Erntemassen. Darüber hinaus ist die Effizienz in der Nährelementnutzung der jeweiligen Pflanzen ein weiteres wichtiges Kriterium in Bezug auf den Nährstoffexport, wobei bspw. die Robinie bezüglich Stickstoff (N) sehr ineffizient ist. Da es sich hier aber hauptsächlich um aus der Luft fixierten N handelt, wird der Nährstoffhaushalt des Bodens kaum tangiert. Mit zunehmendem Alter kann allgemein eine steigende Effizienz bezüglich der Nährelementnutzung konstatiert werden.

Untersuchungen an Birken haben gezeigt, dass der Holzanteil an der Gesamtbiomasse von 2,07 Tonnen pro Hektar (t/ha) im Alter von 2 Jahren lediglich 46 % beträgt. Im Alter von 15 Jahren steigt dieser Anteil auf 70 % an der dann erreichten Gesamtmasse von 12,81 t/ha an. Der Rindenanteil dagegen sinkt in den gleichen Altersstufen von 11 % auf unter 10 %. Der Rindenanteil von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb bewegt sich im Alter von 1-3 Jahren zwischen 18 % und 30 %, bei 8 bis 14jährigen Individuen dagegen sinkt er auf 10-15 %. Andere Untersuchungen in KUP mit Pappel und Weide haben gezeigt, dass sich das Verhältnis von Rinde und Stamm mit längeren Umtriebszeiten (bis 12 Jahre) zu Gunsten des nährstoffarmen Stammholzes verschiebt. Dabei sinkt der Rindenanteil, in dem die Mineralstoffe konzentriert gebunden sind. Man kann also konstatieren, dass der Rindenanteil mit zunehmendem Alter generell zugunsten des Holzanteiles zurücktritt. Höhere Rindengehalte sind infolge hoher Konzentrationen an Mineralstoffen gleichbedeutend mit einem hohen Aschegehalt bei der Verbrennung. Hohe Aschegehalte wiederum sind sowohl bei der Pelletproduktion als auch beim Endverbraucher unerwünscht.

Überträgt man die o.g. Erkenntnisse auf die Untersuchungsfläche, so ist aufgrund der genannten Aussagen anzuraten, die Nährstoffversorgung der zu etablierenden Stockausschlagwälder systematisch zu überwachen. Bei den gewählten, relativ langen Rotationsperioden, ist jedoch im Vergleich zu kurzumtriebigen KUP ein vielfach höheres Verhältnis zwischen Holz und Rinde zu erwarten. Berücksichtigt man zusätzlich dazu, dass der Einschlag in der Vegetationsruhe stattfindet, so verbleiben die Baumkompartimente mit der stärksten Akkumulation an Nährstoffen durch die Bewirtschaftungsmaßnahmen entweder auf der Fläche (Blätter) oder werden nur begrenzt ausgebildet (Rinde). Der Nährstoffexport dürfte sich infolgedessen also in Grenzen halten.

Bei einer Gegenüberstellung der Heizwerte unterschiedlicher Holzarten pro Gewichtseinheit (Srm) und einem Wassergehalt von 30 %, was in etwa dem Wert von luftgetrocknetem Holz entspricht, kann man beträchtliche Unterschiede hinsichtlich des Energiegehaltes feststellen (Abbildung 11). So erreicht bspw. die Pappel lediglich knapp 60 % des Energiegehaltes der Hartlaubhölzer Hainbuche oder Robinie. Auch Erle und Weide enthalten nur knapp 70 % des Referenzwertes dieser beiden Hartlaubhölzer. Berücksichtigt man diese Erkenntnisse bei der Holzproduktion zur energetischen Nutzung, so impliziert dies, dass Baumarten mit geringerer Dichte (Weichlaubhölzer, Nadelhölzer) dementsprechend mehr Volumenzuwachs leisten müssen, um ähnliche Heizwerte im Vergleich zu den Hartlaubhölzern erreichen zu können (Abbildung 12).

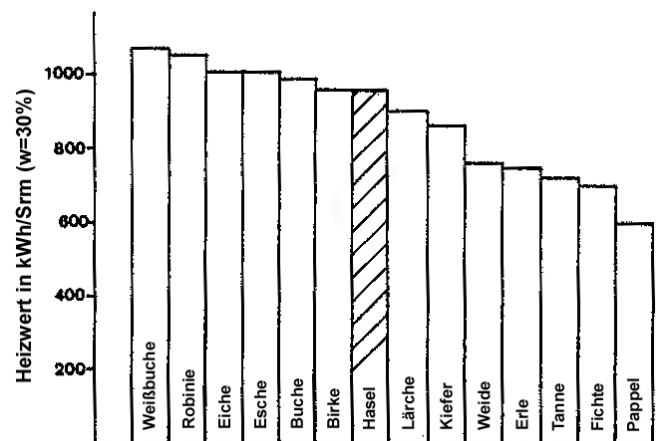


Abb. 11: Heizwerte ausgewählter Baumarten bei einem Wassergehalt von 30% (Quelle: JONAS & SCHUSTER, 1989)

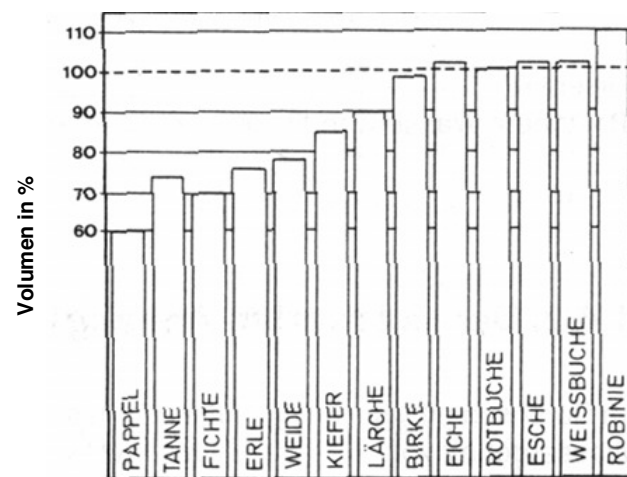


Abb. 12: Vergleich der Heizwerte unterschiedlicher Baumarten nach Volumen (Quelle: WIRTSCHAFTSKAMMER WIEN, 2003)

Wird die vorliegende Konzeption in die Realität umgesetzt, so bietet sich eine Kooperation zwischen dem Kreisforstamt Ravensburg (KFA) und der Schellinger KG an. Findet die Holzproduktion auf der Fläche einzig und allein für die Rohstoffversorgung der Fa. Schellinger statt, so sind unterschiedliche Szenarien für eine Vertragsausgestaltung denkbar. Die Unterschiede beziehen sich dabei hauptsächlich darauf, wer von den Partnern die Kosten für die Pflanzmaßnahmen (Pflanzung und –material) übernimmt und wer das Risiko einer etwaigen Holzpreisänderung trägt. Die Szenarien gehen davon aus, dass die auf die einzelnen Rotationsperioden aufgeteilten Pflanzkosten durch die erntekostenfreien Erlöse gedeckt werden. Der Erntezeitpunkt ist fixiert auf das Ende der jeweiligen Rotationsperiode.

Variante 1:

Das KFA trägt die Kosten für die Pflanzmaßnahmen allein und gibt eine Liefergarantie für die Schellinger KG ab. Die Schellinger KG gibt ihrerseits eine Abnahmegarantie für die

Hackschnitzel ab und bezahlt bei Ernte der Bestände einen vom KFA festgelegten Mindestpreis, der mindestens dessen Pflanzkosten deckt. Zur Durchführung der Erntemaßnahmen wird ein von der Fa. Schellinger beauftragter und bezahlter Unternehmer bestellt. Beauftragt hingegen das KFA einen Unternehmer, so müssen dessen Kosten in den Mindestpreis für die Hackschnitzel mit eingerechnet werden.

Variante 2:

Die Schellinger KG übernimmt die Kosten für die Pflanzmaßnahmen und führt die Ernte in Eigenregie durch, ohne extra dafür bezahlen zu müssen. Wird der Unternehmer jedoch vom KFA beauftragt, so müssen dessen Kosten wiederum mit den Hackschnitzelerlösen verrechnet werden.

Variante 3:

Das KFA trägt die Kosten der Pflanzmaßnahmen allein, beauftragt zum jeweiligen Erntezeitpunkt einen Unternehmer und verkauft die Hackschnitzel zu aktuellen Marktpreisen an die Fa. Schellinger KG. Voraussetzung für diese Variante sind wiederum einerseits eine Abnahmegarantie seitens der Fa. Schellinger KG und andererseits eine Liefergarantie des KFA unter Angabe einer Mindestmenge.

Variante 1 birgt große Vorteile für das KFA in sich. Es muss zwar anfangs die Kosten für die Pflanzmaßnahmen tragen, die aber laut Regelwerk am Ende der Rotationsperiode mit Zinsen in den von der Schellinger KG bezahlten Mindestpreis einfließen. Die Schellinger KG trägt das Risiko eines sich ändernden Hackschnitzelpreises. Steigt dieser bis zum Ende der Rotationsperiode stark an, so gestaltet sich die Rohstoffbeschaffung günstig. Sinkt der Preis jedoch, so könnte sie sich anderweitig wesentlich günstiger mit Rohstoffen für die Produktion versorgen. Steigende Preise haben wiederum für das KFA den Nachteil, dass der Mindestpreis möglicherweise weit unter dem tatsächlich erzielbaren Marktpreis liegt und somit auf zusätzliche Erlöse verzichtet werden muss.

Variante 2 ist die günstigste der o.g. Vorschläge für die Schellinger KG. Das KFA produziert auf seiner Fläche sozusagen Rohstoffe für die Schellinger KG, bekommt dafür aber im Gegenzug die Kosten für die Begründung der Bestände vorfinanziert. Findet die Erntemaßnahme in Eigenregie durch die Schellinger KG statt, so kann bis auf bestimmte für Stockausschlagwälder obligate waldbauliche Maßnahmen komplett über den Verlauf des Rohstoffanbaus verfügt werden. Führt das KFA hingegen die Erntemaßnahmen durch, so kann es zumindest den Unternehmer nach seinen Auswahlkriterien bestimmen.

Die dritte der o.g. Varianten ist wiederum die günstigste für das KFA. Es bewahrt sich hierbei die größten Freiheiten in Bezug auf Unternehmereinsatz und Ernteverfahren. Es muss allerdings auch das Risiko eines sich ändernden Holzpreises tragen. Fällt dieser bis zum Erntezeitpunkt, so ist es möglich, dass die Kosten für die Bestandesbegründung nicht gedeckt werden können. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass sich die Preise im Vergleich zum aktuellen Stand wesentlich nach oben entwickeln werden.