

## Exkursionspunkt 4

### Hiebsformen: Umbau von Fichtenreinbeständen (E4; Profil 4)

Ralf-Volker Nagel, Hendrik Rumpf, Uwe Klinck, Karl Josef Meiws

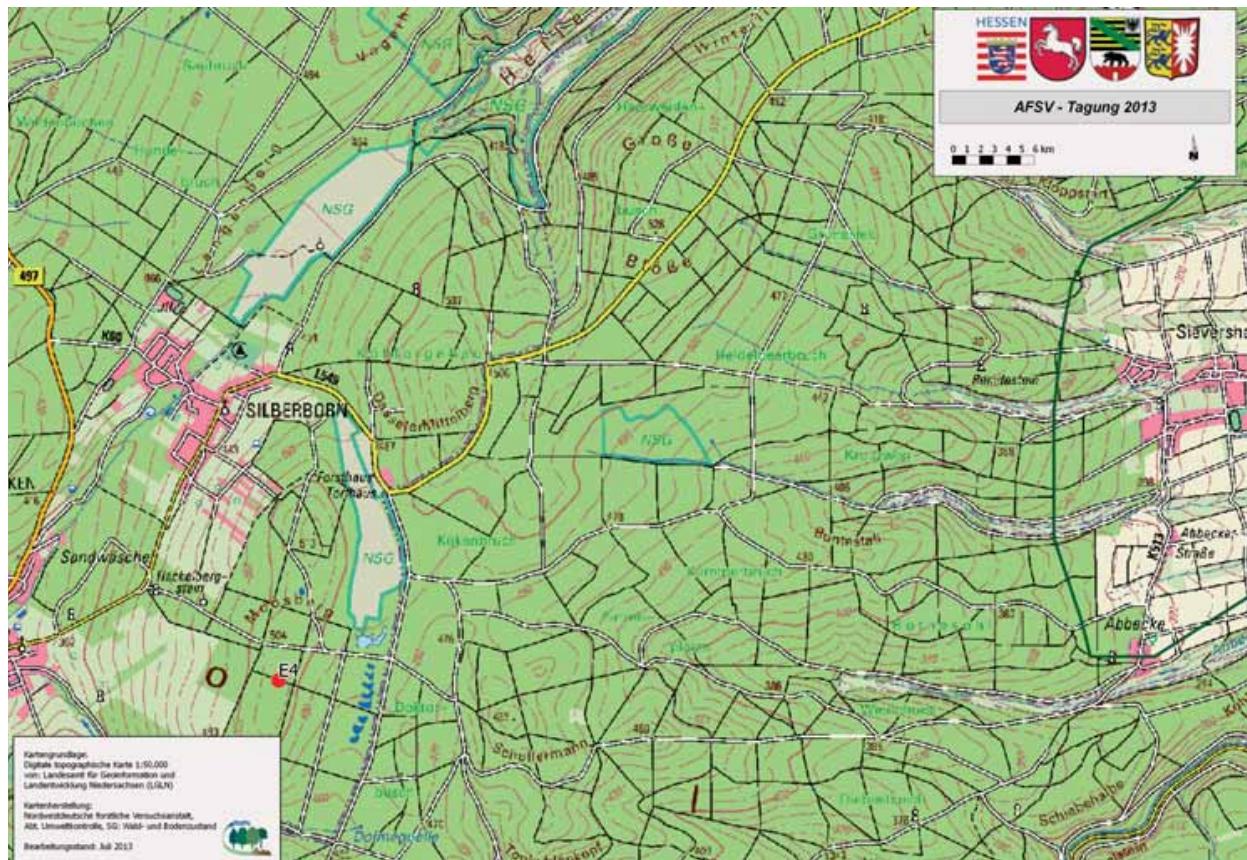


Abb. 1: Lageskizze



Foto: Jan Evers

Tabelle 1: Standortsbeschreibung

Exkursionspunkt: E 4			Standortsaufnahme																
Forstamt:	Neuhaus			Betrieb:	Staatswald														
Waldort:	Abt. 2149 / 2146			Lage im Bestand:	R 3538162 H 5735283														
Profil Nr.:	4		Standortschätzer:	Stüber, Paar, Evers, Dammann, Hövelmann			Datum:	31.05.13											
Lage	Wuchsgebiet			Wuchsbezirk		Teilwuchsbezirk													
	Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland			Hoher Solling		-													
	m über NN	Exposition		Hangneigung		Geländeform													
	500	-		-		Plateau, bzw. schwach nach Südwesten													
Klima	Bezugsstation(en)		Zeitraum	tj°C	tv°C	mmj	mmVz	Vz-Tage	i										
	Regionalisierte Klimadaten von umliegenden Niederschlags- und Klimastationen des dt. Wetterdienstes		1961 - 1990	7,2	13,8	987	372	143	15,6										
			1981 - 2010	8,3	14,8	971	399	147	16,1										
Boden	Wuchszone				Klimafeuchte														
	montan - Untere Buchenzone				schwach bis mäßig subatlantisch														
	Geologie/Stratigraphie		Ausgangsmaterial der Bodenbildung																
Vegetation	Quartär über Trias		Lößlehmbeeinflusste Buntsandstein-Fließberden über Buntsandstein toniger Ausprägung																
	Humusform		Bodenart(en)																
	feinhumusreicher, rohhumusartiger Moder; stellenweise auch feinhumusarmer Rohhumus aus Nadelstreu.		schluffiger Lehm über tonigem Lehm																
	Bodenskelettanteil		Gefüge		Physiol. Gründigkeit		Durchwurzelung												
	15%		Subpolyeder - Polyeder		> 100 cm		> 100 cm												
Standort	Boden-Subtyp		schwach podsolierte Pseudogley-Braunerde																
	Weiserpflanzen, ökolog. Gruppe		Oxalis acetosella (III 2), Dryopteris carthusiana (III 2), Rubus idaeus (02, II 3a), Urtica dioica (01), Impatiens parviflora (02, II 3a), Mycelis muralis (II 3b), Vaccinium myrtillus (II 1), Trientalis europaea (III 2), Gymnocarpium dryopteris (III 3), Rubus fruticosus (02), Luzula sylvatica (III 1), Trientalis europaea (III 2), Polytrichum formosum (II 2a),																
	Potentielle natürliche Waldgesellschaft		Hainsimsen-Buchenwald																
Waldbau	Waldbestand mit derz. Bonitäten		Fi 109, Bonität 1,8 (2009, Kontrolle)																
	Forstgeschichte		2x Kompensationskalkung (1987, 2001)																
	Gelände-wasser-haushalt	nachhaltig bis staufrisch, frisch/betont frisch 137 mm nWSK (bis 90 cm)			Trophie	mesotroph													
Standort	Geländewasserhaushalt, Waldgesellschaft und Boden-Subtyp (-Form)																		
	Hessen: Untere Buchenzone - stark subatlantisch - frisch/betont frisch - mesotroph																		
	Nds.: nachhaltig bis staufrisch; ziemlich gut bis mäßig mit Nährstoffen versorgt, basenarmes Grundgestein; 9s.4-2.3.T																		
Waldbau	Standörtl. Mögl. Baumarten		Fl, BU, DGL, ELA, KTA																
	Betriebszieltypen		BU/Fl, BU/ELA, BU/DGL																

Tabelle 2: Profilbeschreibung

Horizont- und Schichten-symbole	Tiefen- und Mächtigkeitsangaben (cm)	Bodenfarbe, Bodenart, Bodenskelettanteile, Carbonatgehalt, Humusgehalt, Makrogefüge und Lagerungsdichte, Fleckung, Konkretionen, Durchwurzelung, Horizontbegrenzung
<b>Humus- auflage:</b>		
OL	7 - 6	locker gelagerte Nadelstreu
Of	6 - 3,5	vernetzt, stellenweise auch locker gelagertes Förmamaterial, mittelstark durchwurzelt
Oh	3,5 - 0	kompakt, unscharf brechbares, teilweise loses Humusmaterial, auch bröckelig, mittel bis stark durchwurzelt
<b>Mineral- boden:</b>		
I Aeh	0 - 9,5	dunkel rötlich-brauner, locker gelagerter schluffiger Lehm; mittel humos; karbonatfrei; 10% Grus und 5% Steine; subpolyedrisch; mittel fein- und gering grobdurchwurzelt
I Bv	9,5 - 50	rötlich-brauner, locker bis mitteldicht gelagerter schluffiger Lehm; sehr schwach humos; karbonatfrei; 10% Grus und 5% Steine; kleine Subpolyeder; mittel fein- und gering grobdurchwurzelt
II /Cv/Swd	50 - 95	gelblich-roter, schwach toniger bis toniger Lehm; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; dunkel- und hellrostfarbene Oxidationsflecken, sowie Bleichungen; Mangan- und Eisenkonkretionen; noch sehr schwach durchwurzelt, Subpolyeder
Sd ilCv	95 - 115	gelblich-roter, toniger Lehm
ilCv	115 - 125	rötlich-brauner, lehmiger bis toniger Sand

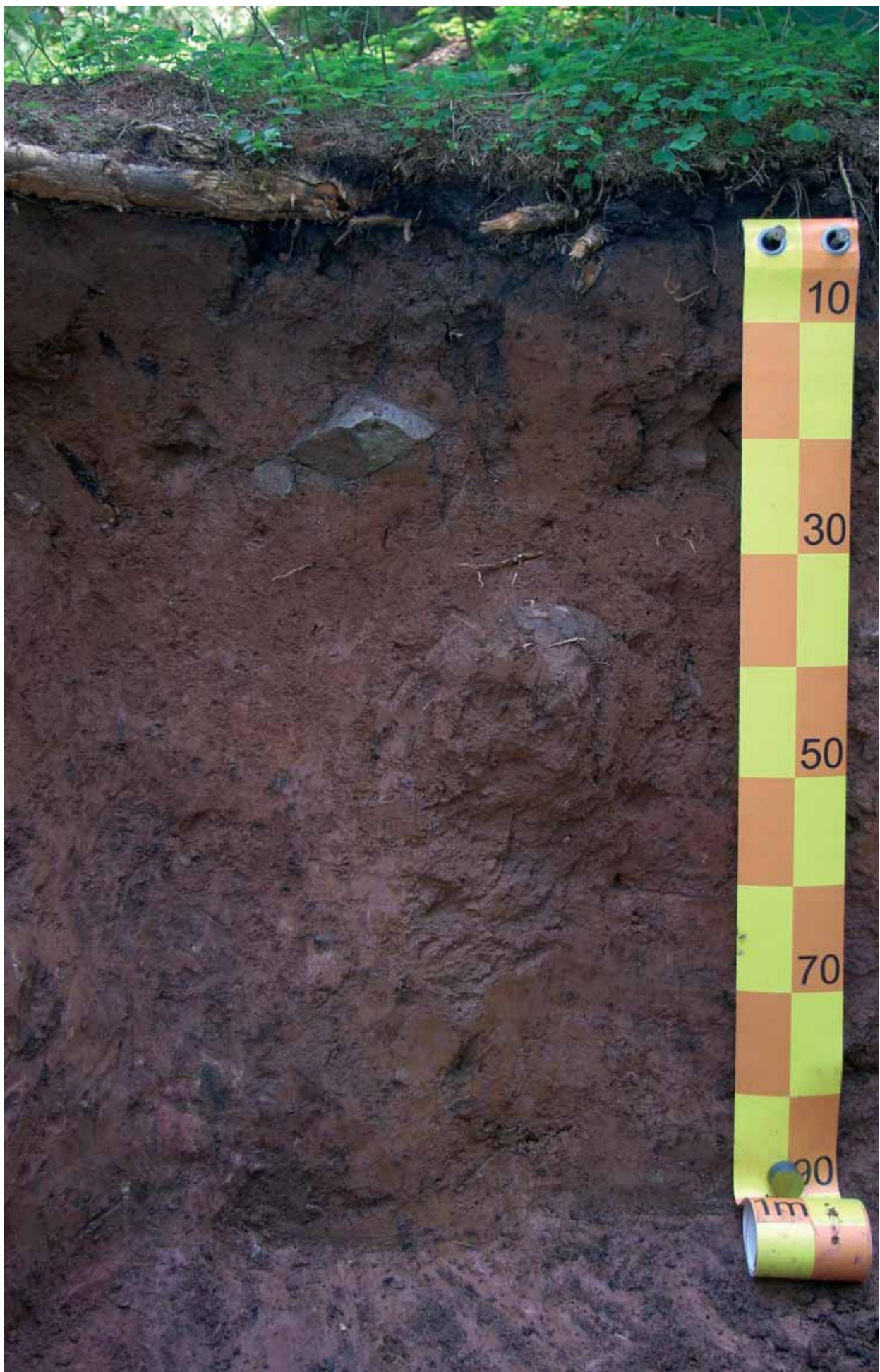


Abb. 2: Profilfoto (Winfried Klotz)

Tabelle 3: Bodenchemie und -physik (Hiebsformenversuche 2013)

Tiefe	pH (DIN-H <sub>2</sub> O)	pH (DIN-KCl)
cm		
<b>OLF</b>	4,61	3,90
<b>OH</b>	4,01	3,10
<b>0 - 5</b>	3,94	2,96
<b>5 - 10</b>	3,99	3,15
<b>10 - 30</b>	4,25	3,62
<b>30 - 60</b>	4,37	3,93
<b>60 - 90</b>	4,29	3,86

eff. Austauschkapazität NH <sub>4</sub> Cl, Auflage Königswasser					
Tiefe	BS	AK	Ca	Mg	K
cm	%	kmol(c)/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
<b>OLF</b>	-	-	315	19	86
<b>OH</b>	-	-	325	23	102
<b>0 - 5</b>	26	64	234	46	30
<b>5 - 10</b>	15	68	123	33	25
<b>10 - 30</b>	8	158	114	30	114
<b>30 - 60</b>	7	200	75	35	191
<b>60 - 90</b>	5	343	70	38	344
<b>0 - 90</b>	14	833	615	182	705
<b>Summe</b>			1255	224	893

Elementaranalyse											
Tiefe	C	N	C/N	Bewertungsrahmen nach der Forstlichen Standortskartierung (AK Standortskartierung 2003)							
cm	t/ha	t/ha	-	(eff. Wurzelraum mit Aufzehrhumus)	sehr gering	gering	gering mittel	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
<b>OLF</b>	16,0	0,65	25	Basensättigung (%)	7	20	30	50	70	85	
<b>OH</b>	30,0	1,32	23	Ake (kmolc/ha)	50	100	250	500	1000	2000	
<b>0 - 5</b>	27,9	1,51	18	Ca (kg/ha)	200	400	800	2000	4000	8000	
<b>5 - 10</b>	19,0	1,21		Mg (kg/ha)	50	100	200	500	1000	2000	
<b>10 - 30</b>	27,4	2,31		K (kg/ha)	200	400	600	800	1200	1600	
<b>30 - 60</b>	21,9	2,24		C (t/ha)	50	100	200	400			
<b>60 - 90</b>	7,6	1,48		N (t/ha)	2,5	5,0	10,0	20,0			
<b>0 - 90</b>	103,8	8,75		C/N	35	25	20	16	12	10	
<b>Summe</b>	149,8	10,71		Pufferbereiche	Fe-Oxid	Al-Oxid	Austauscher	Kohlensäure/Silikat	Carbonat		
				pH (H <sub>2</sub> O)	3,5	4,2	5,0		6,2		
				nutzbare Feldkapazität (mm)	30	60	90	120	180	240	äußerst hoch

Tiefe	TRD Fb	GBA	Masse	nFK
cm	g/cm <sup>3</sup>	Vol%	t/ha	mm
<b>OLF</b>	-	-	36	
<b>OH</b>	-	-	77	
<b>0 - 5</b>	0,98	0	488	14
<b>5 - 10</b>	1,24	4	595	13
<b>10 - 30</b>	1,34	21	2122	39
<b>30 - 60</b>	1,58	22	3678	42
<b>60 - 90</b>	1,75	3	5092	29
<b>0 - 90</b>	1,53	13	11974	137

Steindichte: 2,00 g/cm<sup>3</sup>

## Versuchsanlass

Die Vermehrung von Laub- und Mischwäldern zählt nach wie vor zu den vorrangigen waldbaulichen Zielen in Niedersachsen. Auf großen Flächen ist ein Umbau von Nadelholzreinbeständen vorgesehen. Die Überführung der Reinbestände in Laubholz- oder Mischbestände soll möglichst kahlschlagfrei im Zuge von Zielstärkennutzungen erfolgen. Von dieser Hiebsform verspricht man sich ökologische und ökonomische Vorteile. In starkholzreichen Altbeständen, in windwurfgefährdeten Lagen oder bei der Überführung in Eichenbestände kann jedoch die Abkehr von einer reinen Zielstärkennutzung und eine raschere Räumung durch Femel- oder Saumhieb bis hin zu kleineren Kahlschlägen waldbaulich sinnvoll sein. Die Hiebsform und die daran geknüpfte Form der Verjüngung müssen jedoch im Voraus waldbaulich, ökologisch und betriebswirtschaftlich bewertet werden, um zu differenzierten Empfehlungen kommen zu können.

## Versuchsanlage

Zu diesem Zweck hat die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) in Zusammenarbeit mit den Niedersächsischen Landesforsten im Winter 2003/2004 zwei Versuche im Solling eingerichtet.

Auf der Fläche „Otterbach“ werden Zielstärkennutzung und Kleinkahlschlag mit einander verglichen, daneben werden dort schwerpunktmäßig die verschiedenen stoffhaushaltlichen Gesichtspunkte bearbeitet (siehe unten). Die Ausführungen zur Ertragskunde und zum Waldbau beziehen sich auf die Fläche „Neuhaus“, wo zusätzlich noch Saumschläge ausgeführt wurden. In beiden Versuchen gibt es darüber hinaus unbehandelte Kontrollen, wo weder Eingriffe im Schirm, noch Verjüngungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Bestandesdaten zur Charakterisierung der waldbaulichen Ausgangssituation zeigt Tabelle 4.

*Tabelle 4: Ertragskundliche Kennwerte zur Ausgangssituation der Fichtenreinbestände der Versuchsfläche Neuhaus zu Versuchsbeginn im Frühjahr 2004*

	Alter I [Jahre]	Stamm- zahl [je ha]	d <sub>100</sub> [cm]	h <sub>100</sub> [m]	d <sub>g</sub> [cm]	h <sub>g</sub> [m]	G/ha [m <sup>2</sup> /ha]	Vorrat [Vfm/ha]	B	Ekl.	Ifd. Zuw. (2004-2009) [Vfm/ha*a]
Whlg. 1	90	319	51,9	30,9	43,9	29,4	48,3	605	1,1	1,6	12,6
Whlg. 2	104	304	55,9	31,1	47,3	31,4	53,5	706	1,2	1,7	11,9

Die Hiebsform Kleinkahlschlag besteht aus einer 1 ha großen Kernfläche und einer 30 m breiten Umfassung. Der Saumschlag gliedert sich in vier 30 m tiefe Säume, wobei dem aktuellen Außensaum immer ein vorbereiteter, aufgelockerter Innensaum folgt. Für die Hiebsform Zielstärkennutzung wurde eine Mindestzielstärke von  $\geq 45$  cm BHD unterstellt. Jede beschriebene Hiebsform ist zweifach wiederholt. Nach der Versuchsanlage erfolgen die weiteren Abnutzungen der Säume sowie Nachlichtungen bzw. Zielstärkennutzungen planmäßig nach 5, 10, 15 und 20 Jahren (Abb. 3).

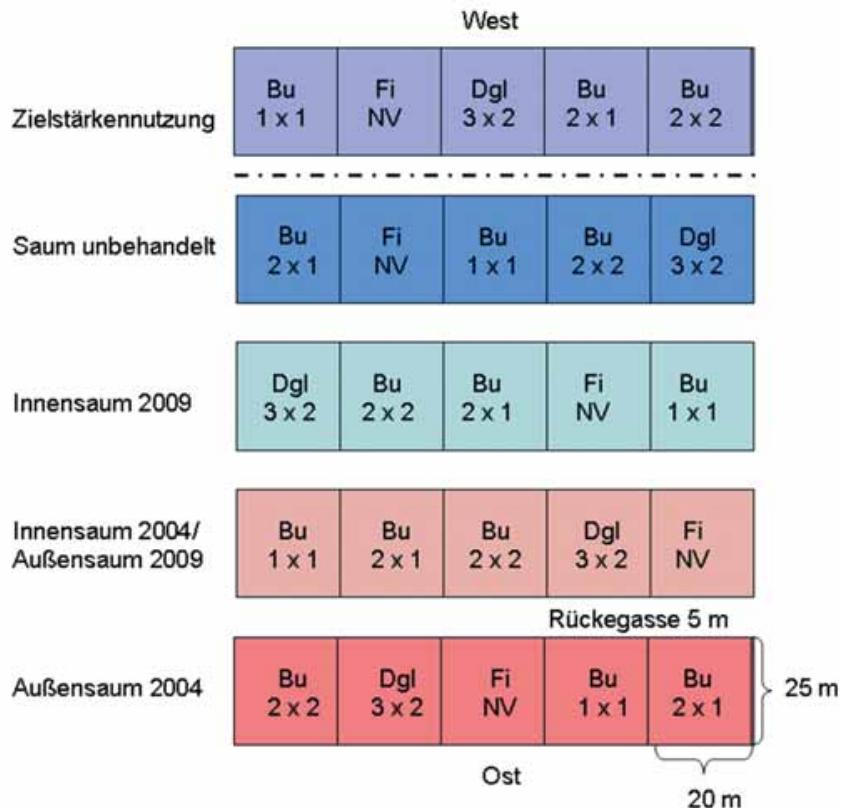


Abb. 3: Bisherige Hiebsfolge im Saumschlag – oberhalb gestrichelter Linie Variante Zielstärkennutzung – und Verjüngungsschema

## Waldbauliche Ergebnisse

Die Vorratsentwicklung differenziert nach Hiebsformen ist für den bei Versuchsbeginn 90jährigen Fichtenbestand (Wiederholung 1) in Abbildung 4 dargestellt.

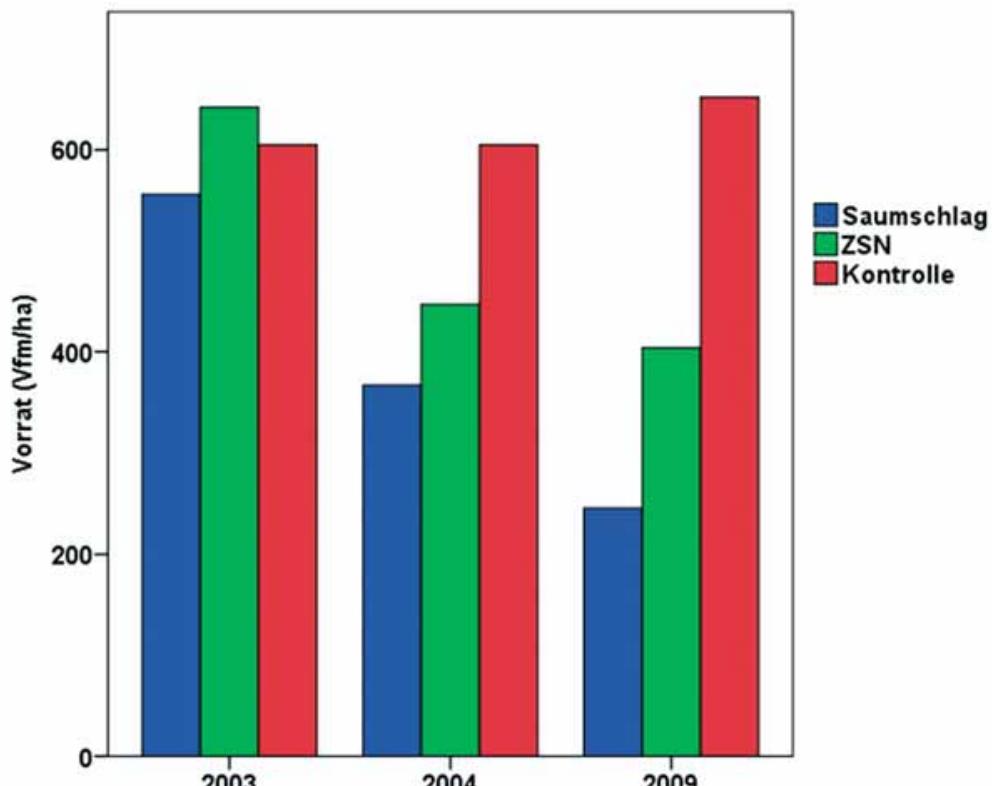


Abb. 4: Vorratsentwicklung in Neuhaus, Wdh. 1 in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung (ZSN = Zielstärkennutzung)

Es wird ersichtlich, dass spätestens nach Erweiterung des Außensaumes im Jahr 2009 der Gesamtvorrat je ha in der Saumschlagvariante gegenüber der Zielstärkennutzung deutlich stärker abgesenkt wird. Auch die Entwicklung des Buchen- und Douglasiennachwuchses führte zu recht deutlichen Differenzierungen. Beide Baumarten zeigten die besten Wuchsleistungen auf der Kahlfläche sowie im 2004 angelegten Außen- und Innensaum (Abb. 5). Die Douglasie reagierte auf eine Erhöhung des Lichtangebotes mit einer größeren Zunahme des Höhen- und Durchmesserwachstums als die Buche, wobei sich dieser Effekt mit zunehmendem Alter verstärkte. Bei längerer, dichter Überschirmung (unbehandelter Saum, Zielstärkennutzung) und fehlendem Seitenlicht blieb das Wachstum der Douglasie gegenüber dem der Buche hingegen auffallend zurück.

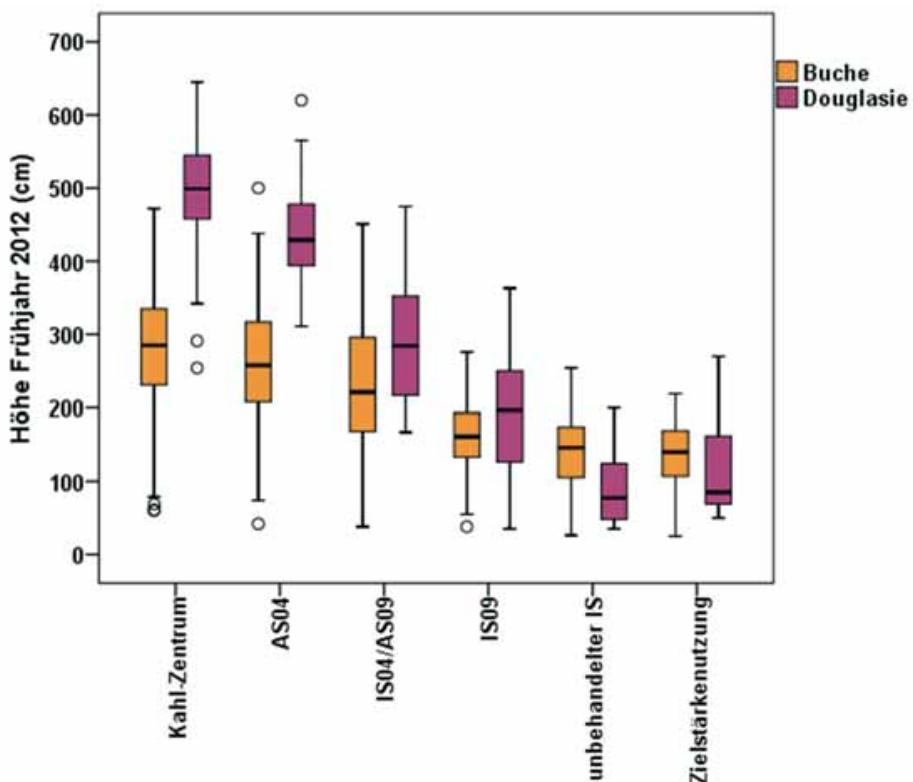


Abb. 5: Höhendifferenzierung in Abhängigkeit von Hiebsform und Baumart (AS/IS = Außen- / Innensaum, 04 = 2004 angelegt, 09 = 2009 angelegt)

Die Ausschaltung der Altbestandswurzelkonkurrenz über Wurzeltrenngräben führte zu einer signifikanten Verbesserung des Bodenwasserhaushaltes und der Nährstoffversorgung der jungen Buchen und Douglasien (v. Lüpke & Spellmann 2010, Petritan & v. Lüpke 2011). Beide Baumarten zeigten eine größere Wachstumssteigerung unter den günstigen Beleuchtungsverhältnissen im Innensaum. Die Douglasie reagierte auf die Be seitigung der Wurzelkonkurrenz durch Altfichten mit einer Zunahme des Längenwachstums bereits bei dem deutlich niedrigeren Strahlungsniveau in der „Zielstärkennutzung“ und durchweg stärker als die Buche.

## Ökologische/stoffhaushaltliche Untersuchungen

In der Diskussion um den Kahlenschlag als Hiebsform werden aus ökologischer Sicht häufig die damit verbundenen Nährstoffverluste geltend gemacht, die zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit des Standortes führen können. Als Hauptgründe für die Verluste gelten hohe Stickstoff-Mineralisationsraten, fehlende oder nur geringe Nährstoffaufnahme durch die Vegetation und hohe Nitratausträge mit dem Sickerwasser. Getrieben werden diese Prozesse vom Energie- und Wasserhaushalt, der auf Kleinkahlschlägen infolge der Randeffekte differenzierter als auf großen Kahlflächen ausgeprägt ist.

## Material und Methoden

Die Abt. 1273 des Forstamtes Neuhaus im Solling, Revierförsterei „Otterbach“ war Ende 2003 mit einem 85-jährigen Fichtenreinbestand bestockt, in dem zwei Kleinkahlschläge (inkl. Umfassung je 2,6 ha) und zwei Zielstärkennutzungen á 1 ha ausgeführt wurden. In letzteren erfolgte eine harvestergerechte Erschließung,

so dass vergleichsweise hohe Hiebsmassen von bis zu 120 Efm je ha anfielen. Die Flächen wurden gezäunt und mit Douglasie und Buche in verschiedenen Verbänden bepflanzt (Abb. 3). Sie liegen 300 m ü. NN, sind einmalig gekalkt (3 t/ha Dolomit in 1987) und weisen mittlere Jahresniederschläge bzw. -temperaturen von 900-950 mm bzw. 7,5°C auf. Zur Ermittlung der Stoffein- und -austräge (100 cm Tiefe) fanden die Modelle Expert-N und das Kronenraumbilanzmodell von ULRICH Anwendung.

## Ergebnisse

### Energiehaushalt

Auf der Kleinkahlschlagsfläche hängt die Höhe der Einstrahlung in den Randbereichen von der Exposition und der Höhe des Bestandesrandes sowie von der sich im Laufe des Jahres ändernden Höhe des Standes der Sonne ab. Besonders ausgeprägt ist der räumliche Gradient der Bodentemperaturen im Sommer, wo die Schattenwirkung des Altbestandes im Südosten am weitesten auf den Kleinkahlschlag reicht, während der angrenzende Bestand im Nordwesten am stärksten unsonnig wird (Abb. 6). In Kombination mit den von Fröhlich & Klinck (2011) modellierten CO<sub>2</sub>-Freisetzungsraten würden in den ersten drei bis vier Jahren nach dem Kahlhieb im zentralen Bereich (rot) schätzungsweise ca. 800 kg C/ha/a und im Übergangsbereich (gelb) ca. 300 kg C/ha/a mehr veratmet werden als im Altbestand. Bei einem C:N-Verhältnis von 20 entspräche dies ca. 40 kg N/ha/a bzw. 15 kg N/ha/a.

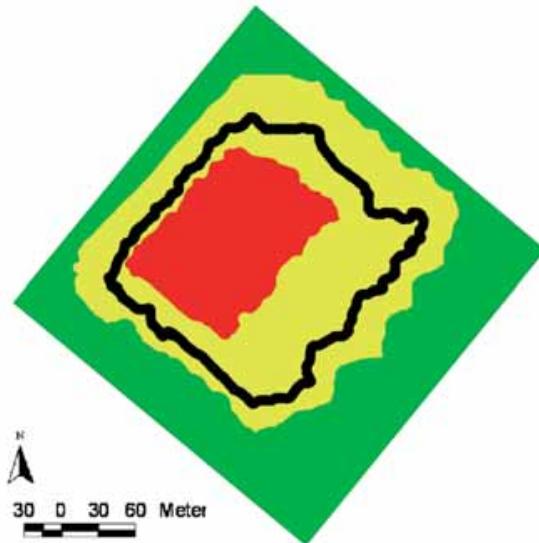


Abb. 6: Flächen mit (gelb) und ohne sommerlichen Gradienten der Bodentemperatur (< 2,5°C) (rot = Kahlschlagsituation, grün = Bestandessituation) im 2. Jahr nach Anlage eines Kleinkahlschlags (schwarze Linie = Krone der randständigen Bäume).

### Wasser- und Spurengashaushalt

Bedingt durch die zunächst nur spärliche Vegetation nach Anlage der Versuchsflächen war die Verdunstung im Zentrum wie auch im Südosten des Kleinkahlschlags zunächst deutlich geringer als im Altbestand. Infolge dessen lag die Sickerwasserrate im 2. Jahr (2005) nach Ausführung der Hiebe hier z. B. um 70-85 % höher. Ein partieller Sauerstoffmangel aufgrund erhöhter Bodenwassergehalte kann auch negative Auswirkungen auf den Spurengashaushalt haben. So waren im 1. Jahr nach dem Kahlhieb (2004) die Emissionen von Lachgas um das 5fache erhöht, die Aufnahme von Methan aber um das sechsfache niedriger als im Altbestand. Hinsichtlich der Dynamik der klimawirksamen Spurengase muss der Kleinkahlschlag demnach folglich als zunächst ungünstig beurteilt werden.

### Nährstoffhaushalt

Neben veränderten Einträgen und Spurengasemissionen sind hinsichtlich einer Ökosystembilanz der Makronährstoffe auch deren Austräge von Interesse. Mit Nitratverlusten geht nicht nur der Austrag weiterer Nährstoffe wie Calcium (Ca), Kalium (K) und Magnesium (Mg), sondern auch eine Verschlechterung der Qualität des Sicker- und Grundwassers einher. Die Stickstoffbilanz im 2. bis 4. Jahr nach dem Kahlhieb (2004 - 2007) zeigte deutlich verringerte Einträge bei zunächst hohen Austrägen (Abb. 7). Durch die aufkommende Vegetation (Abb. 7) war der Saldo aber alsbald ausgeglichen. Im Gegensatz zu Altbestand und Zielstärkennutzung fand auf dem Kleinkahlschlag eine Stickstoffabreicherung und damit eine Verringerung des Potenzials zukünftiger Nährstoffverluste durch Nitrat statt. Die Zielstärkennutzung zeigte im Vergleich zur Kontrolle nur moderat verringerte Einträge bzw. erhöhte Austräge. Beide Behandlungen reagierten deutlich auf das besonders regenreiche Jahr 2007, während der Kleinkahlschlag seinen Saldo entgegen diesem Trend weiter konsolidierte.

Aufgrund des Ladungsausgleiches von Anionen und Kationen ist der Austrag von Calcium, Kalium und Magnesium vom Sickerwassertransport von Chlorid, Nitrat und Sulfat abhängig. In der Diskussion um den Kahlschlag wird vor allem das Nitrat als die treibende Kraft des Nährstoffverlustes genannt. Im vorliegenden Fall war dagegen das Sulfat, das in den 1960-1990er Jahren mit dem sauren Regen eingetragen wurde, selbst im 2. Jahr (2005) nach Anlage des Kleinkahlschlags das quantitativ wichtigste Anion, als die Nitratausträge am höchsten waren (Abb. 7).

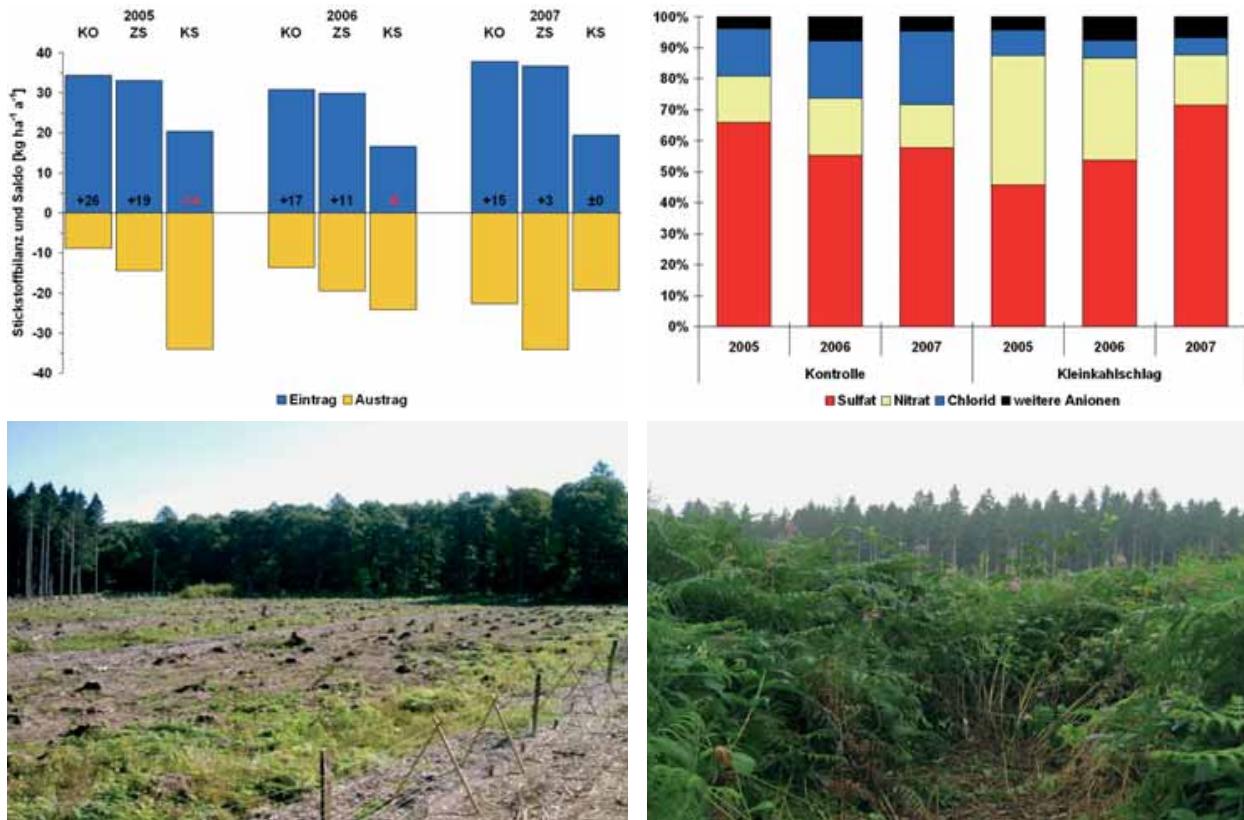


Abb. 7: Oben links: Stickstoffeintrag (blau), -austrag als Nitrat (gelb) und -bilanz in Fichtenaltbestand (KO, Kontrolle), Zielstärkennutzung (ZS) und Kleinkahlschlag (KS). Die Bilanz ist als Zahl (kg N/ha/a) in den Säulen oberhalb der Null-Linie angegeben.

Oben rechts: Anteile von Chlorid, Nitrat und Sulfat an der Summe der Anionenäquivalente im Bodenwasser von Fichtenaltbestand (Kontrolle) und Kleinkahlschlag

Unten links: Bodenvegetation auf dem Kleinkahlschlag nach dessen Anlage

Unten rechts: Bodenvegetation auf dem Kleinkahlschlag im 4. Jahr nach dessen Anlage

Aus den vorliegenden Untersuchungen lässt sich folgern, dass die forstpolitische Diskussion zur geeigneten Hiebsform beim Umbau von Fichtenaltbeständen differenziert geführt werden muss. Im Einzelfall können sowohl waldbauliche wie auch standörtliche Gesichtspunkte den Ausschlag für das eine oder das andere Verfahren geben. Es konnte gezeigt werden, dass die durch die Wahl der Hiebsform bewirkten Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt in starkem Maße davon abhängen, welche Bedingungen hinsichtlich Bodeneigenschaften und aktueller und vergangener luftbürtiger Stoffeinträge herrschen.

Zu dem vorliegenden Vergleich von Kleinkahlschlag und Zielstärkennutzung ist einschränkend anzumerken, dass die Dauer von deren Wirkungen auf den Stoffhaushalt unterschiedlich ist. Während beim Kleinkahlschlag die Auswirkungen abrupt, aber kurz sind, ziehen sie sich bei der Zielstärkennutzung über den gesamten Zeitraum des Umbaus von 15 bis 20 Jahren hin. Dem entsprechend muss bei einer endgültigen ökologischen Bewertung der Zeitraum der gesamten Umbaumaßnahme berücksichtigt werden.

## Literatur

- Fröhlich, D. & Klinck, U. (2011): Beiträge zu Stoff-, Energie- und Wasserhaushalt nach Kahlschlag. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften. Saarbrücken. ISBN: 978-3838119090.
- Klinck, U., Fröhlich, D., Meiwas, K. J. & Beese, F. (2013): Entwicklung der Stoffein- und -austräge nach einem Fichten-Kleinkahlschlag. Forstarchiv 84/3. 93-101.
- Petritan I. C., v. Lüpke, B. , & Petritan, A. M. (2010): Einfluss unterschiedlicher Hiebsformen auf das Wachstum junger Buchen und Douglasien aus Pflanzung. Forstarchiv 81. 40-52.
- v. Lübke, B., Spellmann, H. (2010) Jugendwachstum gepflanzter Buchen und Douglasien nach Kahlschlag, Saumschlag und Zielstärkennutzung im Fichtenvorbestand, Abschluss-bericht für die DFG im Projekt AZ. LU452/9-1