

Landschaftsökologie

Regeneration der Fjellbirke (*Betula pubescens* ssp.  
*czerepanovii*) und Wurzelsysteme ihres Jungwuchses im  
Waldgrenzökoton, Finnische Subarktis

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors  
der Naturwissenschaften durch den Fachbereich Geowissenschaften  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von  
Kerstin Anschlag  
aus Münster

- 2006 -

---

Dekan:	Prof. Dr. Hans Kerp
Erster Gutachter:	Prof. Dr. Friedrich-Karl Holtmeier
Zweite Gutachterin:	Prof. Dr. Gabriele Broll
Tag der Promotion:	11.12.2006

# Inhalt

Abbildungsverzeichnis	III
Fotoverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Forschungsstand	1
1.2 Zielsetzung	3
<b>2 Untersuchungsgebiet</b>	<b>4</b>
2.1 Lage	4
2.2 Klima	4
2.3 Geologie und Geomorphologie	5
2.4 Böden	6
2.5 Vegetation	6
2.6 Anthropo-zoogener Einfluss	8
2.7 Untersuchungsflächen	9
2.7.1 Rodjanoaivi	9
2.7.2 Koahppeloaivi	10
2.7.3 Staloskaidi	11
<b>3 Methoden</b>	<b>13</b>
3.1 Gelände	13
3.1.1 Auswahl und Anlage der Untersuchungsflächen	13
3.1.2 Kartierung der Untersuchungsflächen	14
3.1.3 Probennahme	15
3.1.4 Vegetation	15
3.1.5 Böden	15
3.1.5.1 Bodenprofile	15
3.1.5.2 Bodentemperaturen	16
3.1.5.3 Bodenfeuchte	16
3.2 Labor	17
3.2.1 Birkenjungwuchs	17
3.2.1.1 Vermessung der Wurzelsysteme	17
3.2.1.2 Berechnung weiterer Wurzelparameter	17
3.2.1.3 Pflanzenalter und mittlere jährliche Zuwächse	18
3.2.2 Böden	18
3.2.2.1 Bodenacidität	18
3.2.2.2 Gesamt-Kohlenstoffgehalte und Gesamt-Stickstoffgehalte	19
3.2.2.3 Sonstige Auswertungen	19
3.3 Statistik	19

<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>22</b>
4.1	Vegetation	22
4.2	Böden	24
4.2.1	Bodenprofile	24
4.2.2	Bodenfeuchte	28
4.2.3	Bodentemperaturen	31
4.3	Bestandesstruktur und Bestandesdynamik	32
4.3.1	Jungwuchsdichten	32
4.3.2	Größe des Jungwuchses	37
4.3.3	Altersstruktur	38
4.3.4	Mittlerer jährlicher Größenzuwachs	39
4.3.5	Mittlerer Durchmesserzuwachs	41
4.3.6	Schäden	43
4.4	Wurzelsysteme	45
4.4.1	Trockengewichte	45
4.4.2	Wurzel-Spross-Verhältnis	47
4.4.3	Wurzellängen	47
4.4.4	Spezifische Wurzellängen	48
4.4.5	Wurzelverzweigungen	49
4.4.6	Mykorrhizierung	50
4.4.7	Maximale Erstreckung der Wurzelsysteme	50
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>52</b>
5.1	Auswirkungen des Standortmosaiks auf die Birkenverjüngung	52
5.1.1	Deflation	52
5.1.2	Flechtenheide	57
5.1.3	Zwergstrauchheide	58
5.1.4	Bult-Schlenken-Komplex	60
5.1.5	Weidengebüsch	61
5.1.6	Grasmoor	62
5.1.7	Ufer	63
5.2	Zukünftige Entwicklung des Waldgrenzökotons	64
5.3	Schlussfolgerungen	65
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
	<b>Summary</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>70</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>90</b>
	<b>Anhang</b>	<b>91</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage des Untersuchungsgebietes	4
Abb. 2:	Klimadiagramm der Station Kevo	5
Abb. 3:	Schematische Darstellung der Standorttypen	13
Abb. 4:	Alterstrendbereinigung der SRL-Werte	20
Abb. 5:	Bodenkenndaten Profil 4 (Deflation)	26
Abb. 6:	Bodenkenndaten Profil 2 (Flechtenheide)	26
Abb. 7:	Bodenkenndaten Profil 1 (Zwergstrauchheide)	26
Abb. 8:	Bodenkenndaten Profil 6 (Ufer)	26
Abb. 9:	Bodenkenndaten Profil 18 (Bult)	27
Abb. 10:	Bodenkenndaten Profil 19 (Weidengebüsch)	27
Abb. 11:	Bodenkenndaten Profil 17 (Grasmoor)	27
Abb. 12:	Vergleich der Niederschlagssummen Juni-August 2003 mit dem Mittel der Jahre 1962-2002	28
Abb. 13:	Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Staloskaidi (Messzeitraum 26.06.-28.08.2003)	29
Abb. 14:	Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Koahpeloarvi (Messzeitraum 24.06.-26.08.2003)	29
Abb. 15:	Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Rodjanoarvi (Messzeitraum 25.06.-27.08.2003)	30
Abb. 16:	Mittlere Jungwuchsdichte in Abhängigkeit vom Standorttyp	32
Abb. 17:	Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 1	34
Abb. 18:	Standorttypen und Birkenverbreitung in den Transekten 7 und 2	35
Abb. 19:	Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 5	36
Abb. 20:	Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 6	37
Abb. 21:	Haupttrieblänge und Stammdurchmesser in Abhängigkeit vom Standorttyp	38
Abb. 22:	Alter in Abhängigkeit vom Standorttyp	38
Abb. 23:	Mittlerer jährlicher Größenzuwachs in Abhängigkeit vom Standorttyp	39
Abb. 24:	Mittlerer jährlicher Größenzuwachs in Abhängigkeit von Alter und Standorttyp	40
Abb. 25:	Mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit vom Standorttyp	41
Abb. 26:	Mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von Alter und Standorttyp	42
Abb. 27:	Anteil des Jungwuchses mit Laubschäden (Befall durch Invertebraten bzw. <i>Melampsorium betulinum</i> ) in Abhängigkeit vom Standorttyp	43

Abb. 28: Anteil des Jungwuchses mit Stammdeformationen bzw. mit Pilzbefall im Stammquerschnitt in Abhängigkeit vom Standorttyp	43
Abb. 29: Mittlere jährliche Anzahl von Sprossschäden je Pflanze in Abhängigkeit vom Standorttyp	44
Abb. 30: Pflanzen-, Wurzel- und Sprosstrockengewicht in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse	46
Abb. 31: Wurzel-Spross-Verhältnis in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse	47
Abb. 32: Wurzellänge in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse	48
Abb. 33: Indexierte spezifische Wurzellänge in Abhängigkeit vom Standorttyp	48
Abb. 34: Verzweigungskoeffizient R in Abhängigkeit von Standorttyp und Wurzellängenklasse	49
Abb. 35: Anteil des Jungwuchses mit erkennbarer Mykorrhizierung in Abhängigkeit vom Standorttyp	50
Abb. 36: Maximale Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse	50
Abb. 37: Maximale Durchwurzelungsweite in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse	51

## Abbildungen im Anhang

Abb. 38: Lage der Untersuchungsflächen am Staloskaidi	93
Abb. 39: Lage der Untersuchungsflächen am Koahppeloavi	94
Abb. 40: Lage der Untersuchungsflächen am Rodjanoavi	95
Abb. 41: Ostexponierte Kuppe (Standorttyp Deflation), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 18.09.2002-31.08.2003 in a) 2,5 cm und b) 50 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'19,0"; E 26°52'13,0")	106
Abb. 42: Westexponierter Hang (Standorttyp Flechtenheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 22.09.2002-25.08.2003 in a) 2,5 cm und b) 50 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'24,3"; E 26°50'27,7")	107
Abb. 43: Ostexponierte Mulde (Standorttyp Zwergstrauchheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 18.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'21,2"; E 26°52'16,7")	108
Abb. 44: Nordexponierte Mulde (Standorttyp Zwergstrauchheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 22.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'33,5"; E 26°50'34,5")	108
Abb. 45: Ufer, Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 19.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°54'54,6"; E 26°51'18,7")	109

Abb. 46: Bodenfeuchtegänge der oberen 5 cm des Bodens an den verschiedenen Standorttypen am Rodjanoaivi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003	110
Abb. 47: Bodenfeuchtegänge der oberen 5 cm des Bodens an den verschiedenen Standorttypen am Koahppeloaiivi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003	111
Abb. 48: Bodenfeuchtegänge der oberen 5 cm des Bodens an den verschiedenen Standorttypen am Stalorskaidi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003. a) trockene Standorttypen an der ostexponierten Bergflanke, b) trockene Standorttypen an der nordexponierten Bergflanke	112

## Fotoverzeichnis

Foto 1: Tal des Tsierromjohka am Nordwesthang des Rodjanoaivi. Blickrichtung Nord. Aufnahme vom 25.07.2001	9
Foto 2: Bergsporn und die ihn abtrennende Rinne am Nordosthang des Koahppeloaiivi. Blickrichtung Nordost. Aufnahme vom 22.08.2003	10
Foto 3: Geländerücken mit Deflationsfläche am Nordosthang des Stalorskaidi. Blickrichtung Nordwest. Aufnahme vom 31.08.2003	11
Foto 4: Luftaufnahme des Nordwesthanges des Stalorskaidi (helle Bereiche = Deflationsflächen). Blickrichtung Nordost. Aufnahme: F.-K. Holtmeier vom 05.08.1998	12

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Hult-Sernander-Du Rietz-Skala zur Schätzung der Deckungsgrade (nach DANIELS 1982)	15
Tab. 2:	Altersklassen für Mittelwertvergleiche und jeweiliger Probenumfang je Standorttyp	20
Tab. 3:	Wurzellängenklassen für Mittelwertvergleiche und jeweiliger Probenumfang je Standorttyp	21
Tab. 4:	Vegetationsdeckung der Untersuchungsflächen in Abhängigkeit von Wuchsform und Standorttyp	22
Tab. 5:	Höhe der Vegetationsschichten in Abhängigkeit vom Standorttyp	22
Tab. 6:	Prozentualer Anteil von Auflagemächtigkeiten im Bereich des Wurzelhalses von Birkenjungwuchs in Abhängigkeit vom Standorttyp	25
Tab. 7:	Variationskoeffizienten der Bodenfeuchte vom 24.06.-28.08.2003 in Abhängigkeit von Standorttyp und Fläche	30
Tab. 8:	Bodentemperaturen einiger Flächen am Staloskaidi	31

## Tabellen im Anhang

Tab. 9:	Übersicht über die Lage der Untersuchungsflächen	92
Tab. 10:	Vegetationstabelle der Heidestandorte	96
Tab. 11:	Vegetationstabelle der Moorstandorte	97
Tab. 12:	Aufnahmebögen der Bodenprofile am Staloskaidi	98
Tab. 13:	pH-Werte, Gesamtstickstoff-, Kohlenstoffgehalte, organische Substanz und C/N-Verhältnisse der beprobten Bodenhorizonte	103
Tab. 14:	Kationenaustausch- und Feldkapazitäten der Mineralböden	105
Tab. 15:	Mittlere Jungwuchsdichten je Berg und Gesamtmittel	114
Tab. 16:	Kennwerte von Bestandesstruktur und -dynamik in Abhängigkeit vom Standort	114
Tab. 17:	Anteil des geschädigten bzw. mykorrhizierten Jungwuchses in Abhängigkeit vom Standorttyp	114
Tab. 18:	Kennwerte des Jungwuchses in Altersklasse 1 in Abhängigkeit vom Standorttyp	115
Tab. 19:	Kennwerte des Jungwuchses in Altersklasse 2 in Abhängigkeit vom Standorttyp	115
Tab. 20:	Indexierte spezifische Wurzellänge in Abhängigkeit vom Standorttyp	115
Tab. 21:	Verzweigungskoeffizient R in Abhängigkeit von Standorttyp und Wurzellängenklasse	116
Tab. 22:	Daten der untersuchten Birken	117
Tab. 23:	Daten der untersuchten Wurzelsysteme	130

# 1 Einleitung

## 1.1 Forschungsstand

Die polare oder nördliche Waldgrenze in Fennoskandien ist bereits seit langem Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten (z. B. NORLIND 1920; HEIKINHEIMO 1921; ENQUIST 1933; KALLIOLA 1939; BLÜTHGEN 1942; für weitere Literatur vgl. HOLTMEIER 2003). In erster Linie handelt es sich um eine Wärmemangelgrenze (HOLTMEIER 1985b, 1994, 1995; WIELGOLASKI 1997; KÖRNER 1998a; TUHKANEN 1999). Modifiziert wird sie durch edaphische, topographische, anthropogene und biologische Faktoren (z. B. TIKHOMIROV 1970; HOLTMEIER 1974, 1994, 2002; KALLIO & LEHTONEN 1975; SEPPÄLÄ & RASTAS 1980; WALTER & BRECKLE 1994; HEIKKINEN et al. 1995; OKSANEN et al. 1995; KANKAANPÄÄ 1999; SVEINBJÖRNSSON 2000; CAIRNS & MOEN 2004). Sie kann sowohl relativ scharf als auch – wie im Untersuchungsgebiet – saumartig als Waldgrenzökoton ausgeprägt sein. Dieser auch als Waldtundra, Baumgrenzökoton oder Kampfzone bezeichnete Bereich erstreckt sich von der Obergrenze des geschlossenen Waldes bis zur Artgrenze genannten oberen Verbreitungsgrenze der waldbildenden Baumart (HUSTICH 1966; HOLTMEIER 1974, 2003). Im Vergleich zum geschlossenen Wald finden sich hier in Abhängigkeit von Mikrorelief, Insolation und Windexposition bereits über sehr geringe Distanzen deutliche lokalklimatische, hydrologische und pedologische Gegensätze (DAHL 1975; TURNER 1980; LARCHER 1985; HOLTMEIER 1995; HOLTMEIER & BROLL 2005). So entsteht ein Mosaik teilweise stark verschiedener und damit auch für das Baumwachstum unterschiedlich gut geeigneter Standorttypen (BLÜTHGEN 1960; HOLTMEIER 1971, 1985a, 2003).

Der Waldgrenzökoton kann einen wichtigen Indikator für Umweltveränderungen darstellen. Dies wird verstärkt im Hinblick auf die sich seit geraumer Zeit abzeichnende globale Erwärmung diskutiert (z. B. HUSTICH 1961; KALLIO & LEHTONEN 1975; SONESON & HOOGESTEGE 1983; HOLTMEIER 1985a; SEPPÄ 1996; LUCKMAN & KAVANAGH 1998; TASANEN 1999; AUTIO & HEIKKINEN 2002; KULLMAN 2002). Speziell die Birke als „Opportunist“ ist immer bereit, auch kurzfristige Klimaoszillationen zu nutzen, wie beispielsweise die Erwärmung im 20. Jahrhundert (KULLMAN 1984a, 2004a; AAS & FAARLUND 1996, 2001; INNES 1998). In zunehmendem Maße deuten Beobachtungen auf eine aktuelle Nordwärtsverlagerung bzw. einen Anstieg der Waldgrenze als Folge des schon eingetretenen Temperaturanstiegs hin (JUNTILA & NILSEN 1993; SERREZE et al. 2000; CALLAGHAN et al. 2002). Steigen die Temperaturen wie vorausgesagt weiter an, so könnte sich dieser Trend fortsetzen. Bei Prognosen ist allerdings grundsätzlich Vorsicht geboten, da die Auswirkungen früherer Klimaänderungen regional variabel waren. Neben dem Makroklima sind weitere Faktoren für die Reaktion der Waldgrenze von entscheidender Bedeutung, so z. B. lokale Standortunterschiede, anthropogene Einflüsse

## 1 Einleitung

und katastrophale Ereignisse (SCOTT et al. 1997; HOLTMEIER 2003; LÖFFLER et al. 2006).

Teils wird die Lage der Waldgrenze auf eine zu niedrige Photosyntheseleistung (vgl. STEVENS & FOX 1991; VEIJOLA 1998) bzw. auf eine zu geringe meristematische Aktivität (SKRE 1993; KÖRNER 1998a, 1998b, 2003) in hochgewachsenen und somit den Klimaeinflüssen voll ausgesetzten Bäumen zurückgeführt. Häufig wird jedoch die kritischste Phase im Reproduktionszyklus, nämlich Keimung und Etablierung des Jungwuchses, als ausschlaggebend für die Höhe der Waldgrenze und damit als geeigneter Indikator für deren Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel angesehen (BLÜTHGEN 1942; TRANQUILLINI 1979; KULLMAN 1981, 1986, 2002; HOLTMEIER 1985b, 1994, 1995; KARLSSON & NORDELL 1996; VEIJOLA 1998; HOLTMEIER & BROLL 2005; KARLSSON et al. 2005). Ein Vorrücken der Birkenwaldgrenze kann demnach nur bei einer anhaltend erfolgreichen Regeneration erfolgen.

Über die Verjüngung der Birke an den fennoskandischen Waldgrenzen existieren zahlreiche Publikationen (u. a. KULLMAN 1981, 1986, 2002, 2003; SONESSON & HOOGESTEGGER 1983; HOLM 1993; SVEINBJÖRNSSON et al. 1996; VEIJOLA 1998; HOLTMEIER 2003; HOLTMEIER et al. 2003; KARLSSON et al. 2005). Oft wird dabei die Bedeutung speziell des Mosaiks unterschiedlicher Standorttypen für die Birkenregeneration betont (z. B. HOLTMEIER 1974; KULLMAN 1984a; HAAPASAARI 1988; LEEGE & TRIPEPI 1993; HOLTMEIER et al. 2003; HOLTMEIER & BROLL 2005). Neben Erhebungen zur Bestandesstruktur und -dynamik können besonders auch Untersuchungen der Wurzelsysteme viel zum Verständnis solch kleinräumig variierender Standortbedingungen beitragen (vgl. z. B. LAITAKARI 1935; HERMANN 1977; MATSUOKA et al. 1998). So kann beispielsweise das Wurzel-Spross-Verhältnis als Indikator für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanze dienen (WERGER 1983; BLOOM et al. 1985; KÖRNER & RENHARDT 1987; ATKINSON 2000; DAVIES & BACON 2003; HUTCHINGS & JOHN 2003). Auch die Gesamtwurzellänge und insbesondere die spezifische Wurzellänge (Wurzellänge / Wurzelrockgewicht) weisen auf Wasser- und Nährstoffverhältnisse hin (INGESTAD & LUND 1979; BAKKER 1999; ATKINSON 2000; BOUMA et al. 2001; HUTCHINGS & JOHN 2003; LAURENROTH & GILL 2003). Rückschlüsse auf die Wasserversorgung der Pflanze erlaubt darüber hinaus z. B. die vertikale Erstreckung der Wurzelsysteme (LYR & HOFFMANN 1967; FITTER 1991; DAVIES & BACON 2003). Ein weiteres Indiz für die Nährstoffverfügbarkeit am Standort stellt der Mykorrhizierungsgrad der Wurzeln dar (KÖSTLER et al. 1968; PERALA & ALM 1990; MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002). Generell zeigen hohe Investitionen in die Wurzelsysteme Standorte geringer Produktivität an (WIELGOLASKI et al. 1981; RASMUSSEN 1995; CAIRNS et al. 1997).

Obwohl die Bedingungen im Wurzelbereich gerade im Waldgrenzökoton von großer Wichtigkeit für das Baumwachstum sind, liegen bisher allerdings nur wenige

diesbezügliche Studien für Nordfennoskandien vor (SVEINBJÖRNSSON 1987; vgl. SVEINBJÖRNSSON et al. 2002). Nur bedingt auf das Gelände übertragen lassen sich unter manipulierten Bedingungen durchgeführte Experimente an *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*-Jungwuchs (KARLSSON & NORDELL 1996; WEIH & KARLSSON 1997, 1999; WEIH 1998; KARLSSON et al. 2000).

## 1.2 Zielsetzung

Vor dem Hintergrund der Klimawandeldiskussion soll mit der vorliegenden Arbeit untersucht werden, wie sich die gegenwärtigen Umweltbedingungen an zum Teil stark voneinander verschiedenen Standorttypen im aktuellen Waldgrenzökoton des Untersuchungsgebietes auf die Birkenregeneration auswirken. Von den Ergebnissen ausgehend soll abgeschätzt werden, ob und gegebenenfalls wie sich ein prognostizierter Klimawandel an den unterschiedlichen Standorttypen auf die Regeneration und schließlich auch auf die Höhe der Waldgrenze auswirken könnte. Konkrete Fragestellungen sind:

- Welcher Regenerationsschritt (Keimung, Etablierung, Heranwachsen von Bäumen) ist an den verschiedenen Standorttypen jeweils am meisten beeinträchtigt?
- Welche Faktoren behindern die Regeneration an den unterschiedlichen Standorttypen am stärksten?
- Welche Auswirkungen könnte der Klimawandel an den verschiedenen Standorttypen auf die Birkenregeneration haben, und welche Konsequenzen ergeben sich für den Waldgrenzökoton?

## 2 Untersuchungsgebiet

### 2.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet liegt im finnischen Teil Lapplands auf dem Gebiet der Gemeinde Utsjoki. Die Untersuchungen wurden durchgeführt am nordwestexponierten Hang des Inselberges Rodjanoaivi (509 m ü. NN), am nordostexponierten Hang des Koahppeloaivi (419 m ü. NN) sowie an den Hängen des südöstlich des Koahppeloaivi gelegenen Staloskaidi (340 m ü. NN) (Abb. 1 und Abb. 38-40 im Anhang).

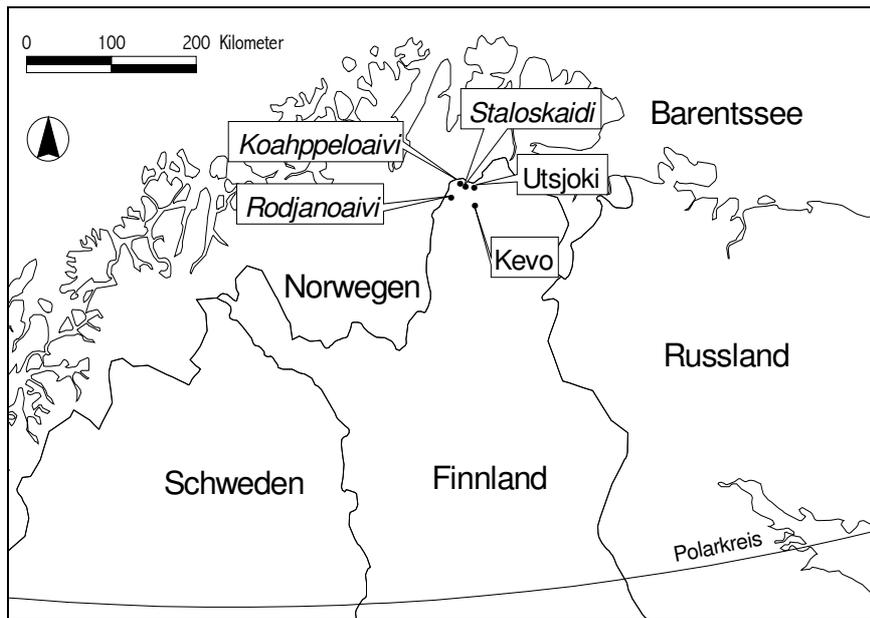


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

### 2.2 Klima

Das Klima Lapplands ist durch eine extreme Wechselhaftigkeit gekennzeichnet, die auf den schnell wechselnden Einfluss von Luftmassen vom Nordatlantik, von der Barentssee und vom kontinentalen Eurasien zurückzuführen ist (BLÜTHGEN 1952; HOLTMEIER 1974; WEISCHET & ENDLICHER 2000).

Die den Untersuchungsflächen nächstgelegene meteorologische Station befindet sich in Kevo (107 m ü. NN), 15 km südlich von Utsjoki (vgl. Abb. 1). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt dort  $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , die mittlere Niederschlagsmenge 417 mm/a, die Amplitude der mittleren Temperaturen von wärmstem und kältestem Monat  $27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1962 bis 2002, Daten der Meteorologischen Station Kevo; vgl. Abb. 2). Aufgrund niedriger Evapotranspirationswerte ist das Klima trotz der geringen Niederschläge humid (JOHANNESSEN 1970; SEPPÄLÄ 1976). Der Jahresgang der Temperatur sowie der hohe Anteil des Sommerniederschlags am Gesamtniederschlag (1962-2002: 42 %) kennzeichnen das Gebiet als kontinental (KÄRENLAMPI 1972); alternativ wird es auch als schwach kontinental (WIELGOLASKI 2001) bzw. als subkontinental (OKSANEN & VIRTANEN 1995)

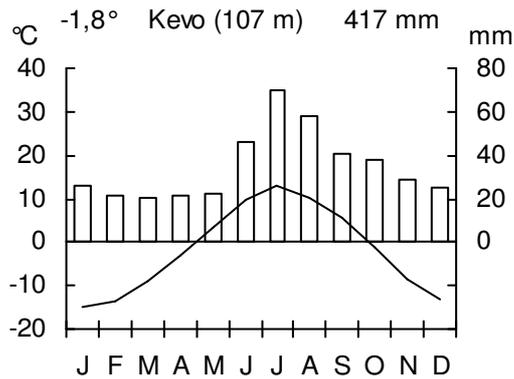


Abb. 2: Klimadiagramm der Station Kevo. Monatliche Mittelwerte der Temperatur und der Niederschlagssumme für den Zeitraum 1962-2002 (Daten der Meteorologischen Station Kevo).

eingestuft. Die Vegetationsperiode beträgt im relativ geschützt liegenden Kevo ca. 115 Tage und ist oberhalb der Waldgrenze etwa 15 Tage kürzer. Auch zeigt der Lufttemperaturverlauf auf dem Fjell über das Jahr betrachtet eine etwas geringere Amplitude sowie ein geringfügig höheres Jahresmittel. Die Amplitude der Bodentemperaturen ist hingegen oberhalb der Waldgrenze stärker ausgeprägt als unterhalb. Die Windgeschwindigkeiten liegen höher als an Waldstandorten (KÄRENLAMPI 1972) und sind generell im Winter am höchsten (AUTIO &

HEIKKINEN 2002). So bedingen sie unter anderem eine in Abhängigkeit vom Kleinrelief sehr variable Schneedeckenmächtigkeit (KÄRENLAMPI 1972; SEPPÄLÄ 1976; HOLTMEIER et al. 2004).

## 2.3 Geologie und Geomorphologie

Geologisch gehört das betrachtete Gebiet zum Baltischen Schild. Gebildet wird das präkambrische Grundgebirge vorwiegend aus hochgradig metamorphisierten Gesteinen. Das Untersuchungsgebiet am Rodjanoaivi ist dem so genannten Granulit-Komplex zugehörig, in dem vor allem granatreiche Granitgneise anstehen. Koahppeloaivi und Staloskaidi liegen am westlichen Rand des Granit-Gneis-Komplexes. Hier finden sich neben granitischen auch granodioritische Gneise (PLATT 1955; MERILÄINEN 1976; KARTE 1980; RAITH et al. 1982).

Das Makrorelief zeigt eine weite, wellige Rumpfflächenlandschaft in Höhen um 350 m ü. NN, aus der vereinzelt Inselberge bis um 500 m ü. NN herausragen (SYRILÄ 1964; KARTE 1980). Der Großteil der Fläche ist von oft nur wenige Meter mächtiger Grundmoräne überlagert (SYRILÄ 1964; GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS 1981). Kleinformen des Reliefs wie Esker und Toteislöcher sowie in die Grundmoräne eingeschnittene Bachtäler sind von großer Bedeutung für die klimatische Standortdifferenzierung (HOLTMEIER 1974).

Seit etwa 9.800-9.500 Jahren ist das Gebiet eisfrei (MANSIKKANIEMI 1970; KARTE 1980). Zu dieser Zeit haben periglaziale Prozesse eingesetzt, so etwa Solifluktion und Strukturbodenbildung. Zudem sind zum Teil mächtige Torfablagerungen entstanden (BIRD 1974; SEPPÄLÄ 1984). Frostbedingte Bodenwasser- und Feinmaterialbewegungen sowie lateraler kryostatischer Druck haben vielfach zur Aufwölbung von Bulten von 10 bis 100 cm Höhe geführt (EUROLA & RUUHJÄRVI 1961; POLLARD 1988; SCHUNKE &

ZOLTAI 1988). Das Vorkommen von Palsenmooren zeigt an, dass sich das Untersuchungsgebiet in der Zone des diskontinuierlichen Permafrostes befindet (SEPPÄLÄ 1988). Die Bedeutung des Windes als geomorphologischer Faktor spiegelt sich in den zahlreichen Deflationsflächen (HOLTMEIER 1971, 1974, 2005; HOLTMEIER et al. 2003, 2004; SEPPÄLÄ 2004).

### 2.4 Böden

Ein relativ kontinentales Klima mit verhältnismäßig warmen Sommern sowie saures und gut drainiertes Ausgangsmaterial ermöglichen in weiten subarktischen Gebieten Nord-Fennoskandiens die Bildung von Podsol (AALTONEN 1952; JAUHAINEN 1969; HINNERI 1974; PEREVERZEV 2001; MEIER et al. 2005). Während sich unterhalb der Waldgrenze vor allem gut entwickelte Eisenhumuspodsole und gelegentlich Eisenpodsole finden, liegen oberhalb der Waldgrenze aufgrund geringerer Produktion von organischen Säuren sowie erhöhter Evaporation und geringerer Perkolation schwächer entwickelte Eisenhumuspodsole und Humuspodsole vor (MOSIMANN 1981a, b; BORGHOFF 1988; MÜLLER 1994; SCHULTE 1994; WALD 2004).

Auf exponierten Kuppen und Solifluktionsterrassen, wo die Bodenbewegung eine Bodenentwicklung hemmt, können Podsol-Regosole und Syroseme dominieren (MOSIMANN 1981a; HOLTMEIER et al. 2004; WALD 2004; MEIER et al. 2005). Die oftmals gekappten Bodenprofile der Kuppenstandorte sind außer auf Deflation und Kryoturbation auf Überbeweidung durch dort im Sommer Schutz vor der Insektenplage suchende Rentiere zurückzuführen (LUOTO & SEPPÄLÄ 2000; HOLTMEIER 2002, 2005; HOLTMEIER et al. 2003). Auf schlecht drainierten Standorten entlang von Bachläufen, an feuchten Hängen und in Hangmulden bilden sich Gley-Hangmoore, hangmoorähnliche Überdeckungen und Hanggley-Ranker, letztere oft strangartig durch Bulten überdeckt (MOSIMANN 1981a; BORGHOFF 1988).

### 2.5 Vegetation

Das Gemeindegebiet von Utsjoki liegt in der subarktischen Birkenwaldzone, nördlich der zusammenhängenden borealen Kiefernwaldzone. Nur in geschützten Lagen finden sich einzelne Kiefernwaldexklaven, die Relikte eines früher ausgedehnteren, vorwiegend durch anthropogene Einflüsse zurückgedrängten Areal darstellen (KALLIOLA 1961; HUSTICH 1966; HOLTMEIER 1971; SEPPÄLÄ & RASTAS 1980). Aufgrund der Basenarmut des Ausgangsgesteins ist das Untersuchungsgebiet floristisch als eher monoton einzustufen (KALLIOLA 1961; KALLIO et al. 1969).

Die taxonomische Einordnung der waldgrenzbildenden Birkenart ist seit langem Gegenstand der Diskussion (HUSTICH 1966; VAARAMA & VALANNE 1973; KALLIO & MÄKINEN 1978). Aktuell wird sie meist als *Betula pubescens* Ehrh. ssp. *czerepanovii* (N. I.

Orlova) Hämet-Ahti var. *czerepanovii* (N. I. Orlova) Hämet-Ahti bezeichnet (HÄMET-AHTI 1987; JONSELL 2000; VÄRE 2001); in der vorliegenden Arbeit wird sie der Kürze halber *B. czerepanovii* genannt. Die früher lange Zeit als eigene Art *Betula tortuosa* bzw. als Unterart *B. pubescens* ssp. *tortuosa* angesprochene Art befindet sich aufgrund der kurzen Siedlungsgeschichte seit Ende der letzten Vereisung noch in der Artbildung (KALLIO et al. 1983). Durch introgressive Hybridisation werden fortwährend *Betula nana*-Gene eingekreuzt (ELKINGTON 1968; WAGNER et al. 2000; THÓRSSON et al. 2001; VÄRE 2001; ANAMTHAWAT-JÓNSSON & THÓRSSON 2003). Es resultiert eine hohe Variabilität zwischen den Individuen, die das Überleben der Art unter den herrschenden schwierigen Umweltbedingungen erleichtert (ANAMTHAWAT-JÓNSSON & THÓRSSON 2003). So werden der Fjellbirke eine relativ große ökologische Amplitude und hohe Anpassungsfähigkeit auf kleinstem Raum über eine weite Spanne von Feuchte- und Bodenbedingungen attestiert (TRETER 1984; HEIKKINEN & KALLIOLA 1989; BYLUND & NORDELL 2001).

Während die geschlossenen Birkenwälder von einigen Autoren als eigenständige Zone gegen den Nadelwald abgegrenzt werden (BLÜTHGEN 1960; KALELA 1961; KALLIO et al. 1969), rechnen andere Autoren sie der nördlichen borealen Zone zu (HÄMET-AHTI 1963; AHTI et al. 1968; vgl. HAAPASAARI 1988; WIELGOLASKI 2001). Weiter nach Norden bzw. gegen größere Höhen schließt sich die (oro-) hemiarktische Zone (HÄMET-AHTI 1981; AUTIO 1995) bzw. der Waldgrenzökoton als „eigentliche subarktische Zone“ an (HUSTICH 1966). Hier wechseln sich Baumgruppen und Einzelbäume mit offenen Bereichen ab (KALLIOLA 1939; AHTI et al. 1968; HOLTMEIER 2003). Das Mikrorelief nimmt über Windwirkung, winterliche Schneeverteilung, Frostwechsel, Länge der Vegetationszeit, Bodenfeuchte, Strahlung, Temperatur und Nährstoffverteilung starken Einfluss auf die Vegetationsverteilung (HOLTMEIER 1985a, 2006; MOSIMANN 1985; MEIER et al. 2005). Es entsteht ein charakteristisches Mosaik von den lückigen, chionophoben Windheiden und Deflationsstellen der Kuppenstandorte über dichtere, chionophile Vegetation an geschützteren Lagen bis hin zu Moorvegetation in vernässten Mulden (NORDHAGEN 1928; KALLIOLA 1939; DAHL 1987; HAAPASAARI 1988; HEIKKINEN & KALLIOLA 1989; DIERBEN 1996; WIELGOLASKI 1997). Die unteren Regionen der baumlosen Fjellflächen mit ihren gut entwickelten Zwergstrauchheiden und Weidengebüschen werden noch zur orohemiarktischen Zone gerechnet, die höhergelegenen Gebiete bereits zur oroarktischen Zone (AHTI et al. 1968).

Die Birkenbestände im Waldgrenzbereich des Untersuchungsgebietes mit seinen oligotrophen und relativ kontinentalen Bedingungen gehören dem „subalpine Empetrum-Lichenes Type (sELiT)“ an (HÄMET-AHTI 1963; HEIKKINEN & KALLIOLA 1989). Die Biomasseproduktion ist generell gering. Die Birken werden bis zu 2 - 3 m groß. Besonders an ärmeren und trockeneren Standorten bzw. unter starkem Druck durch Herbivoren sind sie oft polykorm (KALELA 1961; OKSANEN et al. 1995; WIELGOLASKI &

NILSEN 2001). Die Höhe der Waldgrenze wird für das betrachtete Gebiet mit 300 bis 400 m ü. NN angegeben (KALLIO 1961; WIELGOLASKI 1997).

### 2.6 Anthro-po-zoogener Einfluss

Landnutzung und Herbivorie haben den Wald im Untersuchungsgebiet unter seine klimatisch mögliche Grenze zurückgedrängt (SEPPÄLÄ & RASTAS 1980; HAAPASAARI 1988; HEIKKINEN et al. 1995; MATTSSON 1995). Frühere Rückzüge der Waldgrenze durch Holzeinschlag sind wahrscheinlich (HUSTICH 1961; MÜLLER-WILLE et al. 2001). In erster Linie hat der Mensch jedoch durch die Rentierwirtschaft (*Rangifer t. tarandus* L.) Einfluss genommen (HOLTMEIER 1971, 1974, 2003, 2005; KALLIO & LEHTONEN 1975; OKSANEN et al. 1995; SUOMINEN & OLOFSSON 2000; HOLTMEIER et al. 2003, 2004; HOLTMEIER & BROLL 2005). Die Unterbrechung der jahrhundertealten Wander-routen der Sami und ihrer Herden durch die Grenzschießungen der Jahre 1852 und 1889 zwischen Finnland und den Nachbarländern führte zu einer stärkeren Konzentrierung der Herden auf kleinere Gebiete (BLÜTHGEN 1960; HELLE 2001; LEMPA et al. 2005b). Winterfütterungen ab Mitte der 1970er Jahre, die tiermedizinische Versorgung und die Dezimierung von Prädatoren sowie die Umstellung von der traditionellen Selbstversorgung auf eine verkaufsorientierte Wirtschaftsweise führten zu einem sehr starken Anstieg der Rentierzahlen und in der Folge zu Vegetations- und Bodenschädigungen (KASHULINA et al. 1997; BURGESS 1999). Maximale Dichten wurden in den 1980er und frühen 1990er Jahren erreicht, danach folgte ein leichter Rückgang (KUMPULA et al. 1998; SUOMINEN & OLOFSSON 2000; KUMPULA 2001). Die aktuellen Sommerdichten werden für das Untersuchungsgebiet mit 3,5 bis 4,5 Rentieren je km<sup>2</sup> angegeben (SOLBERG et al. 2005). Der hohe Besatz hat vermutlich zu einer Überschreitung der Tragfähigkeit der Weiden geführt (KUMPULA et al. 1998, 2002) und wird von vielen Autoren als einer der Hauptgründe für die Probleme der Birkenregeneration im Ökoton genannt (NIKULA 1993; MATTSSON 1995; SUOMINEN & OLOFSSON 2000; HOLTMEIER 2003). Dies gilt vor allem im Zusammenhang mit Massenvermehrungen des Grünen Spanners (*Epirrita autumnata*, Lep. Geometridae), die im Schnitt alle neun bis zehn Jahre erfolgen und in deren Verlauf ganze Wälder kahlgefressen werden (TENOW et al. 2001; HOLTMEIER 2002). In solchermaßen geschädigten Beständen können Rentiere durch Verbiss und Vertritt das Aufkommen von Birkenjungwuchs und Stockausschlägen verhindern und so letztlich eine Umwandlung von Waldflächen in baumloses Gebiet bewirken (KALLIO & LEHTONEN 1973, 1975; HAUKIOJA & HEINO 1974; LEHTONEN & HEIKKINEN 1995; HELLE 2001).

## 2.7 Untersuchungsflächen

### 2.7.1 Rodjanoaivi

Die Untersuchungsfläche (vgl. Abb. 40 im Anhang) liegt zwischen etwa 370 und 390 m ü. NN am Nordwesthang, der relativ einheitlich von skelettreicher, bis zu drei Meter mächtiger Grundmoräne bedeckt ist (mündl. Mitteilung M.-L. Räisänen). Diese wird von mehreren kleinen Zuflüssen des Baches Tsierromjohka zerschnitten, in dessen Tal der offene Birkenwald bis ca. 330 m ü. NN und der Waldgrenzökoton bis ca. 380 m ü. NN reicht. Das Bachtal selbst ist insgesamt 20 bis 50 m breit und geprägt durch den kleinräumigen Wechsel von Kuppen und Rinnen mit Höhenunterschieden von ca. 2 bis 3 m (Foto 1). Auf den Kuppen finden sich vergleichsweise kleine Deflationsflächen von etwa 15 bis 100 m<sup>2</sup>. Auch die sich entlang der Wasserläufe abwechselnd hinziehenden Weidengebüsche und Grasmoores nehmen nur kleine Flächen ein. Südwestlich an das Tsierromjohka-Tal anschließend erstreckt sich ein Bultenfeld, dessen Schlenken in nassen Sommern ebenfalls von kleinen Wasserläufen durchflossen werden, in niederschlagsärmeren Jahren jedoch trockenfallen.



Foto 1: Tal des Tsierromjohka am Nordwesthang des Rodjanoaivi. Blickrichtung Nord. Aufnahme vom 25.07.2001.

Auf den umgebenden, weniger reliefierten Hangabschnitten liegen sowohl Wald- als auch Baumgrenze deutlich niedriger als im Bachtal; jedoch weisen die Überreste von Wurzelstöcken auch hier auf eine einstmals größere Ausdehnung des Birkenwaldes bis mindestens 380 m ü. NN hin (HOLTMEIER et al. 2003; HOLTMEIER & BROLL 2006). Massenausbrüche von *Epirrita autumnata* werden aus diesem Gebiet aus den Jahren 1905-09, 1927 und 1955 berichtet (KALLIO & LEHTONEN 1973, 1975). Das Alter der

häufig monokormen Bäume in den offenen Beständen beträgt im Mittel etwa 80-90 Jahre, kann aber im Extremfall auch bei über 225 Jahren liegen (HOLTMEIER et al. 2003).

### 2.7.2 Koahppeloivi

Die Untersuchungsfläche (vgl. Abb. 39 im Anhang) erstreckt sich zwischen 310 und 330 m ü. NN an der Nordostflanke. Die Grundmoräne ist am Koahppeloivi generell etwas weniger steinig als am Rodjanoaivi (mündl. Mitteilung M.-L. Räisänen). Parallel zum Hangstreichen verläuft eine ca. 20 m breite und 8 m tiefe Rinne, die einen nach Nordosten gerichteten Bergsporn abtrennt (Foto 2). Dieser trägt große Deflationsflächen, die sich insgesamt über rund zwei Hektar erstrecken. Sie sind nach Auswehung des Feinmaterials durch eine relative Anreicherung von Grobmaterial an der Geländeoberfläche gekennzeichnet. Am Südosthang des Spornes finden sich dichte Zwergstrauchheiden, unterbrochen von im Lee von Geländekanten wachsenden Gruppen polykormer Birken (vgl. HOLTMEIER 1974, 2005; HOLTMEIER et al. 2003).

Die den Bergsporn abtrennende Rinne öffnet sich nordwestwärts zu einer Hangverebnung mit einer Niedermoorfläche. Nach Südosten fällt die Rinne stufenweise ab und ist durch flächenhaften Wasserabfluss gekennzeichnet. Hier finden sich Weidengebüsche und Bultenfelder, in deren Schlenken es auch in trockenen Sommern recht feucht bleibt.



Foto 2: Bergsporn und die ihn abtrennende Rinne am Nordosthang des Koahppeloivi. Blickrichtung Nordost. Aufnahme vom 22.08.2003.

Auch am Koahppeloivi zeugen Überreste alter Birkenstümpfe von einer ehemals größeren Erstreckung des offenen Birkenwaldes bis mindestens 340 m ü. NN (HOLTMEIER et al. 2003). Die Fläche liegt am Rand des stark vom *Epirrita*-Ausbruch von 1965/66 betroffenen Gebietes (KALLIO & LEHTONEN 1973, 1975), radiokarbondatierte Holzreste

deuten allerdings darauf hin, dass es schon Mitte der 1950er Jahre zu einem Zerfall der Birkenbestände gekommen ist (HOLTMEIER et al. 2004; HOLTMEIER & BROLL 2006).

### 2.7.3 Stalokaidi

Das Substrat dieses wenige Kilometer südöstlich des Koahppeloarvi gelegenen, nach Nordost gerichteten Bergsporns (vgl. Abb. 38 im Anhang) ist sandiger als das der übrigen Untersuchungsberge (HOLTMEIER et al. 2004). Neben Grundmoräne findet sich verstärkt auch glaziofluviales und äolisches Material (mündl. Mitteilung M.-L. Räisänen). Die Geschichte des *Epirrita*-Befalls gleicht der am Koahppeloarvi. Um den Sporn herum liegen mehrere Untersuchungsflächen.

Die Fläche am nordostexponierten Hang liegt zwischen 260 und 270 m ü. NN und ist durch mehrere Eskerzüge geprägt. Engräumig wechseln kleine Deflationsflächen auf den Rippen und geschützte Hangverflachungen mit Zwergstrauchheide (Foto 3). An den leewärts gelegenen Kanten der Rippen finden sich einzelne polykorme Bäume und Baumgruppen.



Foto 3: Geländerrücken mit Deflationsfläche am Nordosthang des Stalokaidi. Blickrichtung Nordwest. Aufnahme vom 31.08.2003.

Am nordwestexponierten Hang des Stalokaidi erstreckt sich die Untersuchungsfläche von ca. 280 bis 300 m ü. NN, wo der Sporn sich zu einem relativ ebenen Plateau abflacht (Foto 4). Die im Schnitt rund 100 m<sup>2</sup> großen Deflationsflächen befinden sich vor allem an und knapp unterhalb der Plateaukante, ziehen sich aber auch auf flachen Geländewellen hangabwärts. Die Untersuchungsfläche gliedert sich in einen nord- und einen westexponierten Teil. Die nach Norden gerichtete Fläche ist wiederum durch Eskerzüge charakterisiert und etwas stärker reliefiert. Zwischen den Rippen finden sich eine zum Teil recht dichte Zwergstrauchheide sowie verstreute Bäume und kleine

## 2 Untersuchungsgebiet

Baumgruppen. Das Substrat im westexponierten, vergleichsweise wenig reliefierten Teil weist relativ hohe Anteile an äolischem Material auf.



Foto 4: Luftaufnahme des Nordwesthanges des Stalokaidi (helle Bereiche = Deflationsflächen). Blickrichtung Nordost. Aufnahme: F.-K. Holtmeier vom 05.08.1998.

Im Süden des Stalokaidi liegt das nach Osten abfallende Tal des Baches Stalokajka. Hier finden sich zwischen ca. 305 und 330 m ü. NN Grasmoores, Weidenbüsche und ein Bultenfeld mit dauerhaft vernässten Schlenken.

## 3 Methoden

### 3.1 Gelände

#### 3.1.1 Auswahl und Anlage der Untersuchungsflächen

Die Untersuchungsflächen befinden sich jeweils im Bereich der lokal höchstgelegenen Einzelbäume oder Baumgruppen. Sie können als repräsentativ für den Waldgrenzökoton des nördlichen Finnisch-Lappland angesehen werden (HOLTMEIER et al. 2003). Für die Flächen wurden vor allem Stellen mit bewegtem Mikrorelief wie Bachtäler und Eskerzüge gewählt, um möglichst starke lokalklimatische und edaphische Standortgegensätze auf kleinem Raum zu erfassen (HOLTMEIER 1974, 1979). Die Vegetation wurde als Indikator für die Abgrenzung leicht unterscheidbarer Standorttypen herangezogen (HOLTMEIER 1971; DREES 2004; MEIER et al. 2005). Diese lassen sich jeweils entlang des lokalen topographischen Feuchtegradienten anordnen (Abb. 3). Die Exposition war kein Kriterium für die Auswahl der Untersuchungsflächen, da aufgrund der Mitternachtssonne nordexponierte Standorte nicht notwendigerweise hinsichtlich Lichtverfügbarkeit und Bodentemperaturen benachteiligt sind (MOSIMANN 1985; KIRCHHEFER 1996).

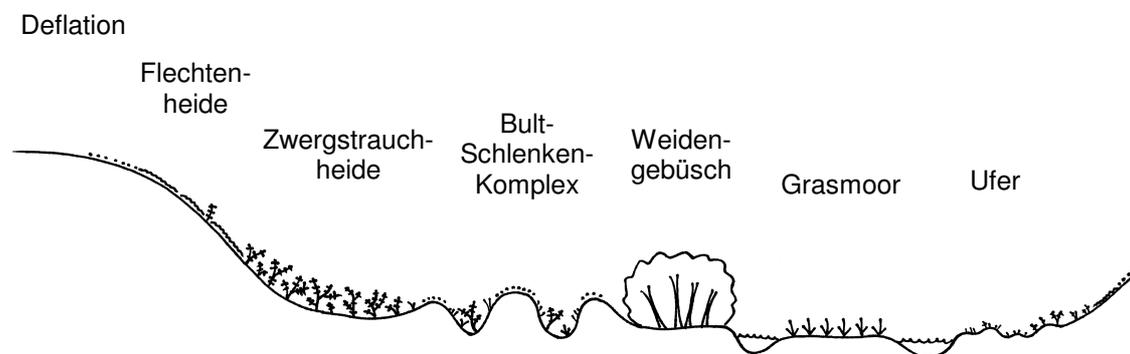


Abb. 3: Schematische Darstellung der Standorttypen.

Der Schwerpunkt vorliegender Untersuchung liegt auf den Heidestandorten (Deflation, Flechtenheide, Zwergstrauchheide). Der Standorttyp Ufer wurde in dieser Ausprägung nur auf einem Berg vorgefunden und aufgrund der auffälligen lokalen Akkumulation von Jungwuchs zusätzlich in die Untersuchung einbezogen.

Pflanzensoziologisch sind die verschiedenen Untersuchungsflächen eines Standorttyps grundsätzlich vergleichbar. Unterschiede ergeben sich lediglich für die Schlenken (DREES 2004), in denen allerdings fast kein Birkenjungwuchs zu finden war. Daher wird im Zusammenhang mit Birkendaten der Standorttyp „Bult-Schlenken-Komplex“ nur als „Bulten“ bezeichnet. Bei übereinstimmender Vegetationsstruktur können leichte

pflanzensoziologische Abweichungen innerhalb der Weidengebüsche (DREES 2004) vernachlässigt werden.

Die Größe der einzelnen Untersuchungsflächen ist abhängig von der jeweiligen Ausprägung des Standorttyps, der Vegetationsstruktur – und damit der Absuchbarkeit der Fläche (BURSCHEL et al. 1977; KULLMAN 1991) – sowie der Jungwuchshäufigkeit. Bei den Deflationsflächen, auf denen sich der Jungwuchs nur in sehr geringen Dichten findet, wurden jeweils mehrere Teilflächen aggregiert, um einen hinreichenden Probenumfang zu gewährleisten. Dort, wo sich bei stärker bewegtem Mikrorelief verschiedene Standorttypen eng miteinander verzahnen, wurden Transekte über die Grenzen der Standorttypen hinweg angelegt.

#### 3.1.2 Kartierung der Untersuchungsflächen

Die Koordinaten der Eckpunkte der Untersuchungsflächen sowie ihre Meereshöhe wurden mittels GPS bestimmt. Exposition und Inklination wurden mit einem Geologenkompass ermittelt (vgl. Tab. 9 im Anhang). Für die Transekte erfolgte eine Rasterkartierung des Mikroreliefs und der Standorttypgrenzen (Rasterweite 1 m). Die Grenze zwischen den Standorttypen Flechtenheide und Zwergstrauchheide wurde bei einer Mindestdeckung der Zwergsträucher von 50 % gezogen.

Als Jungwuchs betrachtet wurden alle aus Samen gekeimten Birken bis zu einer maximalen Größe von 50 cm (HOLM 1993; HOLTMEIER et al. 2003). Die Flächen wurden in Streifen von 2 m Breite abgesucht. Es wurde kein Jungwuchs erfasst, dessen Blattcharakteristika auf starke Hybridisierung mit *Betula nana* hindeuteten. Die Blätter sind in diesem Fall runder, mit schwächer ausgeprägter Blattspitze, einfach gekerbt statt mehrfach gesägt, dicker und fester sowie weniger bzw. gar nicht behaart (ELKINGTON 1968; JONSELL 2000; ANAMTHAWAT-JÓNSSON & THÓRSSON 2003). Aufgenommen wurden die Länge des Haupttriebes (aufgrund häufigen Schiefwuchses, vgl. ARADOTTIR et al. 2001), Wurzelhalsdurchmesser (im Folgenden auch als Stammdurchmesser bezeichnet), Exposition, Inklination, Mächtigkeit der organischen Auflage im Bereich des Wurzelhalses, Entfernung zur nächsten baumförmigen Birke sowie eventuelle Besonderheiten. Schäden am Laub wurden differenziert nach Pilzbefall mit *Melampsorium betulinum* (Birkenrost) (KALLIO & MÄKINEN 1978; JALKANEN 1993; ELAMO et al. 2000) sowie Invertebratenbefall (Individuen, Fraßspuren, Gallen, Mienen) (COULIANOS & HOLMASEN 1991; TENOW 1996). Die diesbezüglich verwendeten Daten stammen nur von Kartierungen aus der zweiten Julihälfte 2003, um vergleichbare Bedingungen zu gewährleisten (n = 716). Weiterhin erfasst wurden Stammdeformationen (wie etwa Kallusbildungen), durch Erosion freigelegte Wurzelansätze sowie die Summe der Schäden der verholzten Sprosssteile, die wegen ihres zum Teil bereits höheren Alters oft nicht mehr näher zu bestimmen waren (mechanische, Fraß- und Frostschäden). Insgesamt wurden so 839 Pflanzen erfasst (vgl. Tab. 22 im Anhang).

### 3.1.3 Probennahme

Das komplette Wurzelsystem wurde vom Wurzelhals ausgehend mit einem Spatel bzw. bei dichtem umgebenden Wurzelwerk mit einem Messer freigelegt (BENGOUGH et al. 2000; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Wegen des großen Zeitaufwandes für diese Arbeit wurde nur ein Teil des kartierten Jungwuchses beprobt ( $n = 230$ , vgl. Tab. 23 im Anhang). In Transekt 1 (vgl. Tab. 9 und Abb. 38 im Anhang) wurden alle jungen Birken ausgegraben, für die übrigen Flächen (gegebenenfalls bei Transekten je Standorttyp) wurden jeweils fünf Pflanzen zufällig gewählt. Dabei wurden Sonderstandorte, wie etwa durch die Fläche verlaufende Rentierpfade, durch Blockschutt erhöhte Stellen im Grasmoor oder anderweitig nicht eindeutig einem Standorttyp zuzuordnende Stellen, von der Beprobung ausgeschlossen. Neun Proben stammen aus Vorversuchen in unmittelbarer Nähe der Untersuchungsflächen und wurden mit in die Auswertungen einbezogen. Aufgenommen wurden des Weiteren Daten zu maximaler vertikaler und horizontaler Erstreckung der Wurzelsysteme (SCHUURMAN & GOEDEWAAGEN 1971; ATKINSON 2000; BENGOUGH et al. 2000) sowie Auffälligkeiten ihrer Anordnung.

### 3.1.4 Vegetation

Umfassende pflanzensoziologische Untersuchungen der Flächen an Koahppeloivi und Rodjanoaivi erfolgten im Rahmen einer Diplomarbeit (DREES 2004). Am Staloskaidi wurden eigene Aufnahmen zu Vergleichszwecken vorgenommen. Die Methodik richtet sich im Wesentlichen nach BRAUN-BLANQUET (1964). Die Größe der Aufnahmeflächen

Tab. 1: Hult-Sernander-Du Rietz-Skala zur Schätzung der Deckungsgrade (nach DANIELS 1982).

r	sehr gering, deutlich < 1 %
+	< 1 %
1	1 - < 6 %
2	6 - < 12,5 %
3	12,5 - < 25 %
4	25 - < 50 %
5	50 - < 75 %
6	75 - 100 %

betrug jeweils 4 m<sup>2</sup> (KALLIOLA 1939; DANIELS 1982) bzw. bei den Standorttypen Deflation, Weidengebüsch und Grasmoor 9 m<sup>2</sup>. Für Bulten und Schlenken wurden kleinere Teilflächen zu Gesamtflächen von 4 m<sup>2</sup> zusammengefasst. Die Deckungen der Arten wurden anhand einer abgewandelten Hult-Sernander-Du Rietz-Skala abgeschätzt (Tab. 1, nach DANIELS 1982). Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach HÄMET-AHTI et al. (1998), die der Moose nach NYHOLM (1964), die der Flechten nach KROG et al. (1994). Die Benennung der Vegetationseinheiten folgt DIERBEN (1996).

### 3.1.5 Böden

#### 3.1.5.1 Bodenprofile

Die Böden der Untersuchungsflächen an Rodjanoaivi und Koahppeloivi wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (WALD 2004) intensiv untersucht. Am Staloskaidi wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit weitere 19 Bodenprofile direkt auf den Untersuchungsflächen oder in ihrer unmittelbaren Nähe aufgeschlossen und jeweils

Horizontmischproben entnommen (vgl. Tab. 12 Anhang). Die Ansprache und Klassifikation wurde nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994) vorgenommen. Bezüglich der allgemeinen Aufnahmesituation wurden Meereshöhe, Koordinaten, Exposition, Inklination und Relieflage erfasst. Die Beschreibung der Bodenhorizonte umfasst Horizontmächtigkeit und -begrenzung, Bodenart, Substrat, Skelettanteil, Gefüge und Durchwurzelung. Die Lagerungsdichte wurde durch Einstichprobe abgeschätzt (SCHLICHTING et al. 1995). Für die organischen Böden erfolgte die Bestimmung des Zersetzungsgrades nach VON POST (AG BODEN 1994).

#### 3.1.5.2 Bodentemperaturen

Auf mehreren Untersuchungsflächen am Staloskaidi erfolgte von September 2002 bis August 2003 eine kontinuierliche Messung der Bodentemperaturen mit Temperaturloggern (HOTDOG DT1 bzw. DT3, Firma Elpro). Erfasst wurden die Temperaturen in 2,5 cm Tiefe in Abständen von 35 min (DT1) bzw. in 2,5 cm und 50 cm Tiefe in Abständen von 1 h 10 min (DT3). Die so erfassten Flächen gehören den Standorttypen Deflation, Flechtenheide, Zwergstrauchheide und Ufer an (vgl. Abb. 41-45 im Anhang). Aus den Daten erfolgte u. a. die Berechnung der Temperatursumme in Gradtagen [°d] nach der Formel

$$T_{+5^{\circ}\text{C}} \sum_{m=1}^n (t_m - 5)$$

wobei  $T_{+5^{\circ}\text{C}}$  die Temperatursumme mit dem Schwellenwert 5 °C darstellt,  $n$  die Gesamtzahl der Tage mit einer mittleren Temperatur > 5 °C und  $t_m$  die mittlere Temperatur dieser Tage (SARVAS 1970; JUNTUNEN et al. 2002). Aus den Temperaturverläufen wurde jeweils die Schneedeckendauer abgeschätzt.

#### 3.1.5.3 Bodenfeuchte

Die Messung der Bodenfeuchte in Volumenprozent erfolgte in den obersten 5 cm des Bodens mittels Time-Domain-Reflektometrie (TDR) (Delta-T Devices Ltd., Cambridge) (TOPP 1980; TOPP et al. 1984; WHALLEY 1993). Im Bult-Schlenken-Komplex wurden Bulten und Schlenken jeweils separat behandelt, gleiches gilt für das sehr schwach bultige Ufer. In der Regel wurde die Bodenfeuchte je Berg und Standorttyp auf einer Untersuchungsfläche ermittelt, am Staloskaidi wurde für die Standorttypen Deflation, Flechtenheide und Zwergstrauchheide jeweils noch eine zweite Fläche untersucht. Die Messungen erfolgten wöchentlich vom 24.06.-28.08.2003 und je Untersuchungsberg um einen Tag versetzt. Je Fläche und Messtag wurden zehn TDR-Werte an zufällig platzierten Stellen erhoben.

## 3.2 Labor

### 3.2.1 Birkenjungwuchs

#### 3.2.1.1 Vermessung der Wurzelsysteme

Die ausgegrabenen Birken wurden innerhalb weniger Stunden nach ihrer Entnahme ins Labor transportiert und ihre Wurzelsysteme dort sorgfältig gewaschen. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte eine visuelle Kontrolle auf Vorhandensein von Kurzwurzeln mit Ekto-mykorrhiza, die im Vergleich mit nichtmykorrhizierten Wurzeln dicker und korallenartig verzweigt erscheinen (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; SMITH et al. 2003). Anschließend wurden die Proben mindestens eine Woche bei 60 °C getrocknet (SCHUURMAN & GOEDEWAAGEN 1971; BÖHM 1979; DO ROSÁRIO G. OLIVEIRA et al. 2000).

Zur Wiedererlangung ihrer Flexibilität und ihres normalen Habitus wurden die Proben zum Aufquellen vor den Messungen für 24 h in ein mit Spülmittel versetztes, warmes Wasserbad (60 °C) gegeben (SCHUURMAN & GOEDEWAAGEN 1971; BÖHM 1979; DO ROSÁRIO G. OLIVEIRA et al. 2000). Daraufhin wurden die Wurzelsysteme für eine anschließende Bildanalyse gescannt (HP Scanjet 5300 C, 800 dpi; vgl. BOUMA et al. 2000). Besonders große Wurzelsysteme wurden auf mehrere Scans aufgeteilt, um nicht durch eine zu hohe Dichte die spätere Bildanalyse zu beeinträchtigen (BAUHUS & MESSIER 1999b; RICHNER et al. 2000). Die Sperrigkeit der Proben ließ den Einsatz eines Scanners mit Gegenlichtquelle nicht zu. Da der infolgedessen entstandene Schattenwurf durch das benutzte Bildanalyseprogramm zum Teil nicht vollständig herausgerechnet werden konnte, wurden die Bilddateien gegebenenfalls von Hand nachbearbeitet. Die Bildanalyse erfolgte mit dem Programm WinRHIZO Basic 2002c (Régent Instruments) (ARSENAULT et al. 1995; BAUHUS & MESSIER 1999b; DANJON et al. 2000), welches u. a. die Gesamtwurzellänge und die Anzahl der Wurzelspitzen bestimmt.

Nach dem Scannen wurden die Proben bei 75 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend nach Spross und Wurzelsystem getrennt gewogen. Bei Proben mit Adventivwurzeln wurde der Ansatz der obersten Wurzel als Grenze zwischen ober- und unterirdischer Phytomasse gewertet (WIELGOLASKI et al. 1981; DESROCHERS & GAGNON 1997).

#### 3.2.1.2 Berechnung weiterer Wurzelparameter

R/S (root/shoot ratio = Wurzel-Spross-Verhältnis) gibt die Biomasseverteilung zwischen unter- und oberirdischen Pflanzenteilen [g/g] wieder und reflektiert die relative Verfügbarkeit verschiedener Umweltressourcen für die Pflanze (ATKINSON 2000; FARRAR & JONES 2003). Der Parameter ist geeignet zur Kennzeichnung von Strategietypen und wird üblicherweise als Durchschnittswert für Populationen bestimmt (WERGER 1983).

### 3 Methoden

SRL (specific root length = spezifische Wurzellänge) bezeichnet den Quotienten aus Wurzellänge und Wurzeltrockengewicht [cm/g] und stellt ein Maß der Biomasseverteilungsstrategie innerhalb des Wurzelsystems dar. Sie gilt als eine Schlüsselkomponente der Wurzelraumerschließung (POLOMSKI & KUHN 1998; BAUHUS & MESSIER 1999a; ATKINSON 2000).

R (rooting quotient = Verzweigungskoeffizient) drückt das Verhältnis von Gesamtwurzellänge zur Anzahl der Wurzelspitzen [cm/n] aus (LYR & HOFFMANN 1967; BÖHM 1979).

#### 3.2.1.3 Pflanzenalter und mittlere jährliche Zuwächse

Die Altersbestimmung der beprobten Birken erfolgte unter dem Binokular anhand von Schnitten aus dem Bereich des Wurzelkragens. Diese wurden zunächst mit Safraninlösung eingefärbt und anschließend mit Kreide eingerieben (KEARNEY 1982; ISELI & SCHWEINGRUBER 1989; SCHWEINGRUBER 2001). Pilzbefall im Schnitt wurde vermerkt. Die Altersbestimmung der Proben war oftmals wegen undeutlicher, enger oder fehlender Jahrringe bzw. wegen Schädigungen ungenau. Solche Schwierigkeiten lassen sich bei der Untersuchung von *Betula czerepanovii* nicht vermeiden (SONESSON & HOOGESTEGGER 1983; WEHBERG et al. 2005). War der Wurzelkragen wegen der Bildung von Adventivwurzeln nicht eindeutig zu bestimmen, erfolgten Messungen an Schnitten aus mehreren Stammbereichen.

Der Quotient aus Haupttrieblänge und Alter [cm/a] dient zur Abschätzung des mittleren jährlichen Größenzuwachses des Jungwuchses. Der mittlere jährliche Durchmesserzuwachs wird berechnet als Quotient aus Stammdurchmesser und Alter [mm/a].

#### 3.2.2 Böden

Die bodenchemischen Laboranalysen erfolgten nach Standardmethoden (vgl. u. a. SCHLICHTING et al. 1995). Alle Analysen wurden an luftgetrockneten, auf 2 mm gesiebten Feinbodenproben durchgeführt. Der Carbonatgehalt muss nicht näher berücksichtigt werden, da die Proben nach einer Vorprobe mit 10%iger Salzsäure keine Reaktion zeigten.

##### 3.2.2.1 Bodenacidität

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 molarer  $\text{CaCl}_2$ -Lösung über eine WTW Elektrode Sentix 21 mit einem pH-Meter (WTW pH 91). Das Verhältnis von Probenmaterial zu Lösung betrug bei mineralischen Proben 1:2,5. Bei organischen Proben wurde ein definiertes Volumen untersucht (20 ml Probenmaterial, 50 ml Lösung). Die Einstufung der Bodenreaktion erfolgt nach AD-HOC-AG BODEN (2005).

### 3.2.2.2 Gesamt-Kohlenstoffgehalte und Gesamt-Stickstoffgehalte

Die Gesamt-Kohlenstoffgehalte und Gesamt-Stickstoffgehalte wurden in einem Elementaranalysator (EuroVector EA 3000) bestimmt, nachdem das Probenmaterial zuvor in einer Zentrifugalmühle gemahlen worden war. Der Gehalt an organischer Substanz wurde berechnet durch Multiplikation der  $C_{\text{org}}$ -Werte mit dem Faktor 1,724 bzw. bei Auflagehorizonten und Torfen mit dem Faktor 2 (AD-HOC-AG BODEN 2005). Außerdem wurde das C/N-Verhältnis errechnet.

### 3.2.2.3 Sonstige Auswertungen

Zu Vergleichszwecken (vgl. WALD 2004) und als Orientierungswerte wurden Feldkapazität (FK) [Vol.-%] und nutzbare Feldkapazität (nFK) [Vol.-%] anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) aus den Geländedaten und Laborergebnissen abgeleitet und eingestuft. In die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Durchwurzelungsraum (nFKWe) [mm] wurden alle Horizonte einbezogen, in denen im Gelände Wurzeln vorgefunden wurden. Gegebenenfalls wurde für Profile an Deflationsstandorten, an denen gar keine Wurzeln festgestellt wurden, der Median der Durchwurzelungstiefe des Birkenjungwuchses am Standorttyp Deflation (20 cm) als Richtwert genommen.

Die potentielle Kationenaustauschkapazität  $KAK_{\text{pot}}$  und die effektive Kationenaustauschkapazität  $KAK_{\text{eff}}$  wurden nach AD-HOC-AG BODEN (2005) abgeleitet und nach AK STANDORTSKARTIERUNG (1996) bewertet. Dabei bietet die  $KAK_{\text{eff}}$  unter den vorliegenden sauren Bodenbedingungen die bessere Abschätzung.

## 3.3 Statistik

Vor der Zusammenfassung der Daten mehrerer Flächen desselben Standorttyps wurde ihre Aggregierbarkeit überprüft. Anschließend wurden die verschiedenen Standorttypen miteinander verglichen. Mittelwertvergleiche erfolgten bei (gegebenenfalls durch Logarithmierung) normalverteilten Variablen und homogenen Varianzen über eine one-way ANOVA und Student-Newman-Keuls-Test (bei Betrachtung von mindestens sechs Gruppen) bzw. Tukey-Test (bei Vorliegen von fünf Gruppen oder weniger). Bei fehlender Normalverteilung bzw. bei Inhomogenität der Varianzen wurde der H-Test von Kruskal & Wallis mit angeschlossenem Nemenyi-Test für ungleich besetzte Stichproben durchgeführt (LOZÁN & KAUSCH 1998; DYTHAM 1999). Das Signifikanzniveau liegt jeweils bei 0,05.

Aufgrund der Altersabhängigkeit vieler Parameter (Trockengewichte, R/S, absolute Wurzellänge, maximale Durchwurzelungstiefe und -weite) wurden vor Durchführung der Mittelwertvergleiche für diese Variablen Altersklassen auf der Basis der logarithmierten Alterswerte gebildet (vgl. Tab. 2). Sowohl sehr junge als auch besonders alte

### 3 Methoden

Pflanzen werden in den Klassen nicht erfasst. In Altersklasse 1 lassen sich alle untersuchten Standorttypen statistisch miteinander vergleichen. In Klasse 2 müssen die Standorttypen Grasmoor, Ufer und Weidengebüsch wegen ungenügenden Stichprobenumfangs bzw. wegen innerhalb der Altersklasse signifikant jüngeren Alters von den Analysen ausgeschlossen werden.

Tab. 2: Altersklassen für Mittelwertvergleiche und jeweiliger Probenumfang [n] je Standorttyp.

Standorttyp	Altersklasse 1	Altersklasse 2	übrige	gesamt
	Alter [a] (log) = 1,5 bis 2,5	Alter [a] (log) = >2,5 bis 3,5	Alter [a] (log) = <1,5 oder >3,5	
Deflation	5	25	3	33
Flechtenheide	24	43	5	72
Zwergstrauchheide	25	48	2	75
Bulten	5	8	2	15
Weidengebüsch	10	3	2	15
Grasmoor	12	1	2	15
Ufer	4	1	-	5
gesamt	85	129	16	230

Die spezifische Wurzellänge SRL reagiert auch auf nichtsignifikante Altersunterschiede innerhalb einer Altersklasse noch sehr empfindlich. Daher wurde zur Alterstrendbereinigung eine signifikante Regressionsgleichung an die logarithmierten Werte angepasst (Abb. 4). Anschließend wurde je Probe ein Indexwert ermittelt als prozentualer Anteil des tatsächlich beobachteten Wertes am durch die Regression berechneten Wert (vgl. INNES 1991; DANIELS & VEBLEN 2004):

$$\text{Indexwert} = \frac{\text{beobachtete SRL}(\log)}{\text{berechnete SRL}(\log)} * 100 [\%]$$

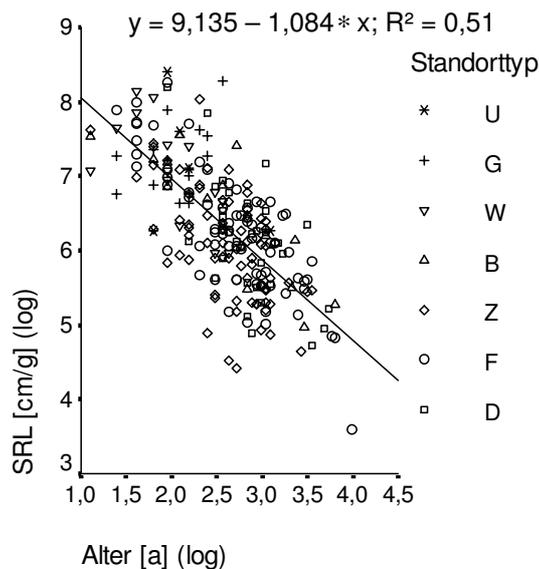


Abb. 4: Alterstrendbereinigung der SRL-Werte (D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer).

Der Vergleich des Verzweigungskoeffizienten R zwischen den Standorttypen erfolgt bezogen auf die jeweiligen logarithmierten Wurzellängen, klassifiziert in drei Kategorien (Tab. 3). In Wurzellängenklasse 2 lassen sich alle Standorttypen statistisch miteinander vergleichen. In den Wurzellängenklassen 1 und 3 wird der Standorttyp Bulten wegen zu geringen Stichprobenumfangs von den Mittelwertvergleichen ausgeschlossen.

Tab. 3: Wurzellängenklassen für Mittelwertvergleiche und jeweiliger Probenumfang [n] je Standorttyp.

Standorttyp	Wurzellängenklasse 1	Wurzellängenklasse 2	Wurzellängenklasse 3	gesamt
	Länge [cm] (log) = 2 bis < 4	Länge [cm] (log) = 4 bis < 6	Länge [cm] (log) = 6 bis 8	
Deflation	-	7	26	33
Flechtenheide	3	43	26	72
Zwergstrauchheide	16	55	4	75
Bulten	1	13	1	15
Weidengebüsch	2	7	6	15
Grasmoor	2	9	4	15
Ufer	3	2	-	5
gesamt	27	136	67	230

Die Mittelwertvergleiche der Bodenfeuchtedaten erfolgten wegen des Zeitversatzes nach Bergen getrennt und aus allen erhobenen Einzelmessungen. Aus den jeweiligen Mess-tags-Mittelwerten (berechnet aus je zehn Einzelmessungen je Messfläche und -tag) wurde der Variationskoeffizient (CV) bestimmt, um die Variabilität der Bodenfeuchte an Standorten mit Mittelwerten verschiedener Größenordnungen vergleichen zu können:

$$CV = \frac{100 * s}{\bar{x}} [\%]$$

mit  $s$  = Standardabweichung und  $\bar{x}$  = Mittelwert (DYTHAM 1999).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Vegetation

Die Deflationsstandorte sind gekennzeichnet durch eine sehr spärliche Vegetationsbedeckung von nur 1 bis 7 %, hauptsächlich bestehend aus spalierwüchsigen Zwergsträuchern bis 10 cm Höhe sowie windharten Flechten (Tab. 4 und 5). Typische, relativ trockenheitsresistente Phanerogamen sind *Diapensia lapponica*, *Loiseleuria procumbens* und *Juncus trifidus*. Vorkommende Flechten sind u. a. *Alectoria nigricans*, *A. ochroleuca* und *Thamnolia vermicularis*, an Bryophyten finden sich vor allem *Gymnomitrium coralloides*, *Polytrichum juniperinum* und *P. piliferum*. Stete Begleiter sind *Empetrum hermaphroditum* und *Betula nana* (vgl. Tab. 10 im Anhang; DREES 2004). Die Größe der einzelnen Deflationsflächen variiert von etwa zehn Quadratmetern (Rodjanoaivi) bis hin zu einem halben Hektar (Koahppeloaiivi), pflanzensoziologisch lassen sich aber alle Flächen einheitlich dem Loiseleurio-Diapensietum (Fries 1913) Nordh. 1943 zuordnen.

Tab. 4: Vegetationsdeckung der Untersuchungsflächen [%] in Abhängigkeit von Wuchsform und Standorttyp.

Standorttyp	Vegetation	Zwergsträucher	Grasartige	Moose	Flechten	Steine
Deflation	1 - 7	2 - 7	<1 - 1	<1 - 2	<1 - 2	30 - 80
Flechtenheide	30 - 60	15 - 45	1 - 2	<1 - 15	10 - 20	<1 - 3
Zwergstrauchheide	80 - 97	70 - 85	1 - 2	10 - 35	2 - 5	0 - <1
Bulten	98 - 100	30 - 75	5 - 20	25 - 70	5	0
Schlenken	80 - 95	5 - 40	8 - 60	25 - 80	0 - 1	0
Weidengebüsch	98 - 100	60 - 80	25 - 50	30 - 90	0	0
Grasmoor	90 - 95	5 - 10	60 - 80	60 - 95	0	0
Ufer	80	25	30	60	1	1

Tab. 5: Höhe der Vegetationsschichten [cm] in Abhängigkeit vom Standorttyp.

Standorttyp	Zwergsträucher	Grasartige	Moose	Flechten
Deflation	4 - 10	3 - 8	<1	<1
Flechtenheide	10 - 30	8 - 15	1 - 2	1
Zwergstrauchheide	40 - 50	9 - 15	2 - 3	2 - 3
Bulten	20 - 30	12 - 20	3 - 5	1
Schlenken	20 - 25	10 - 30	2 - 4	1
Weidengebüsch	70 - 130	20 - 35	2 - 8	-
Grasmoor	20 - 30	8 - 30	3 - 4	-
Ufer	15	20	1	1

Die Untersuchungsflächen des Standorttyps Flechtenheide weisen im Vergleich zu den Deflationsarealen eine deutlich dichtere Vegetationsdecke von 30 bis 60 % Deckung und bis zu 30 cm Höhe auf (Tab. 4 und 5). Neben *Empetrum hermaphroditum*, *Betula nana* und *Loiseleuria procumbens* treten *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Arcostaphylos alpinus* und *Carex bigelowii* hinzu. An Flechten, deren Thalli zumeist stark fragmentiert sind, finden sich neben *Cetraria nivalis*, *C. ericetorum* und *Ochrolechia frigida* verschiedene becher- und strauchförmige Cladonien (vgl. Tab. 10 im Anhang; DREES 2004). Die Flächen sind im Empetro-Betuletum nanae Nordh. 1943 einzuordnen.

Am Standorttyp Zwergstrauchheide findet sich eine dichte, oft nahezu geschlossene Zwergstrauchsicht von bis zu 50 cm Höhe (Tab. 4 und Tab. 5; vgl. DREES 2004). Neben *Empetrum hermaphroditum* und *Betula nana* sind die chionophilen Arten *Vaccinium myrtillus*, *Phyllodoce coerulea* und *Salix herbacea* charakteristisch (vgl. Tab. 10 im Anhang). Auch die Moosschicht ist hier relativ stark ausgeprägt. Sie wird vor allem aus verschiedenen *Dicranum*-Arten aufgebaut. Typische Flechten sind *Cladonia stellaris* und *Stereocaulon paschale*. Die Gesellschaft dieses Standorttyps ist das Phyllodoco-Vaccinietum myrtilli Nordh. (1928) 1943, das bezüglich des Wasserhaushaltes als mesophil einzuschätzen ist (DIERßEN 1996).

Die Vegetation des immer durch einen hohen Gesamtdeckungsgrad (Tab. 4) charakterisierten Standorttyps Bulten ist einerseits gekennzeichnet durch das Vorkommen von Arten wie *Betula nana*, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*, *Pleurozium schreberi* und verschiedenen Flechtenarten, die typisch für chionophile Heidegesellschaften sind. Andererseits treten Hochmoorarten wie *Rubus chamaemorus* und *Vaccinium microcarpum* auf. Auf den Bultoberseiten finden sich zum Teil chionophobe Arten (vgl. Tab. 11 im Anhang; DREES 2004). Pflanzensoziologisch gehören die Flächen dem *Empetro hermaphroditum*-Sphagnetum fuscum Du Rietz 1921 emend. Dierß. 1980 an, das als oligotroph und hochmoorähnlich zu klassifizieren ist (DIERßEN 1996).

Vegetationskundlich unterscheiden sich die Schlenkenstandorte der verschiedenen Untersuchungsberge voneinander. Am Rodjanoaivi sind die Schlenken ebenso wie die Bulten dem *Empetro hermaphroditum*-Sphagnetum fuscum Du Rietz 1921 emend. Dierß. 1980 zuzuordnen (DREES 2004). In den feuchteren Schlenken des Koahppeloaivi (vgl. Abb. 47 b im Anhang) wachsen Arten wie *Carex aquatilis*, *Carex rotundata* und *Andromeda polifolia*. Diese Flächen gehören dem Drepanoclado-Caricetum aquatilis Nordh. 1928 emend. Dierß. 1982 an (DREES 2004), das als oligo- bis mesotrophe Gesellschaft einzustufen ist (DIERßEN 1982). Den noch feuchteren Schlenken am Stalorskaidi (vgl. Abb. 48 c im Anhang) schließlich fehlen Arten zur Einordnung auf Assoziationsniveau (vgl. Tab. 11 im Anhang). Aufgrund des relativ starken Vorkommens von *Eriophorum angustifolium* werden diese Flächen an den Verband Rhynchosporion angeschlossen und als ranglose *Eriophorum angustifolium*-Gesellschaft bezeichnet.

Der Standorttyp Weidengebüsch lässt sich allein schon aus strukturellen Gründen von den übrigen Typen abgrenzen. Die Gesamtdeckung der Vegetation ist sehr hoch (Tab. 4). Zwergsträucher erreichen hohe Deckungsgrade und bilden ein 70 bis 130 cm hohes Dickicht aus (Tab. 5, vgl. Tab. 11 im Anhang). Aufgebaut wird es hauptsächlich aus *Salix lapponum x glauca*, *Betula nana*, *Salix lapponum* und *Salix glauca*. Vorkommende chionophile Arten sind z. B. *Trientalis europaea* und *Vaccinium myrtillus*. An Rodjanoaivi und Stalorskaidi finden sich des Weiteren Arten wie *Vahlodea atropurpurea*, *Carex magellanica*, *Juncus filiformis* und *Carex bigelowii*. Diese Flächen

## 4 Ergebnisse

sind etwas trockener als die untersuchten Bereiche am Koahppeloarvi, die stärker durch *Carex aquatilis* und zahlreiche Bryophyten geprägt sind (vgl. Tab. 11 Anhang; DREES 2004). Eine Zuordnung zu Assoziationen ist nicht möglich, die Flächen lassen sich lediglich auf Verbandsebene dem Caricion nigrae Koch 1926 emend. Klika 1934 zuordnen (DREES 2004). Diese Vegetationseinheit ist als mesotroph zu klassifizieren (DIERBEN 1996).

Die Vegetation der Grasmoores ist kaum durch Zwergsträucher, sondern hauptsächlich durch Gräser und Moose geprägt (Tab. 4). Der Bestand am Rodjanoarvi wird von *Carex rostrata* dominiert, wichtige Bryophyten sind z. B. *Mnium pseudopunctatum* und *Paludella squarrosa*. Weitere Arten sind *Eriophorum angustifolium*, *Carex brunnescens*, *Calamagrostis stricta* und *Vahlodea atropurpurea* (vgl. Tab. 11 im Anhang; DREES 2004). Die entsprechende Gesellschaft ist das Caricetum rostratae Osvold 1923 emend. Dierß. 1982, das hinsichtlich der Nährstofffreisetzung etwa mit der Vegetationseinheit der Weidengebüsche verglichen werden kann (DIERBEN 1996). Dagegen überwiegt auf den Flächen an Koahppeloarvi und Staloskaidi *Carex rotundata*. Daneben finden sich u. a. *Eriophorum angustifolium*, *Trichophorum cespitosum* und *Carex bigelowii*. Sphagnen können aspektbeherrschend auftreten (vgl. Tab. 11 im Anhang). Diese Flächen sind dem Caricetum rotundatae Fries 1913 zuzuordnen (DREES 2004), welches als oligotropher, saurer und weniger produktiv einzustufen ist als das Caricetum rostratae sowie meist durch sauerstoffärmeres Bodenwasser gekennzeichnet ist (SJÖRS 1950; DIERBEN 1982).

Die durch relativ niedrigwüchsige Vegetation gekennzeichnete und durch Bryophyten dominierte Uferfläche weist eine sehr heterogene Artenzusammensetzung auf (vgl. Tab. 10 im Anhang). Arten wie *Loiseleuria procumbens*, *Vaccinium vitis-idaea* und *Vaccinium uliginosum* verweisen auf die Loiseleurio-Vaccinietea, während *Vaccinium myrtillus*, *Phyllodoce coerulea* und stark vertretene *Dicranum*-Arten dem Phyllodoco-Vaccinietum myrtilli zuzuordnen sind. Darüber hinaus finden sich hier mit *Salix herbacea*, *Cassiope hypnoides*, *Sibbaldia procumbens* und *Gnaphalium supinum* auch Arten, die eher typisch für Schneebodengesellschaften (Salicetea herbaceae) sind. Eine Reihe weiterer Arten ist charakteristisch für Hochmoor- (*Rubus chamaemorus*) bzw. Niedermoorgesellschaften (*Equisetum palustre*, *Eriophorum angustifolium*, *Juncus filiformis*, *Carex rotundata*). Damit lässt sich dieser Standort keiner klar definierten Pflanzengesellschaft zuordnen.

## 4.2 Böden

### 4.2.1 Bodenprofile

An den Deflationsstandorten finden sich stark erodierte Podsole. Frühere Humusaufgaben und A-Horizonte sind abgetragen (vgl. Tab. 6). Nahe der Bodenoberfläche ist der

zumeist schwach lehmige Sand mit Bodenskelett relativ angereichert, die Lagerungsdichte ist meist sehr gering bis mittel. In der Regel findet sich ein Einzelkorngefüge (vgl. Tab. 12 im Anhang; WALD 2004). Die pH-Werte sind in den oberen Horizonten als mäßig sauer, mit zunehmender Tiefe teils auch als schwach sauer einzustufen. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff sind sehr gering und häufig nicht nachweisbar; die Gesamtstickstoffgehalte liegen in allen beprobten Horizonten unterhalb der Nachweisgrenze (z. B. Abb. 5, vgl. Tab. 13 im Anhang).

Tab. 6: Prozentualer Anteil von Auflagemächtigkeiten im Bereich des Wurzelhalses von Birkenjungwuchs in Abhängigkeit vom Standorttyp. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Auflagemächtigkeit [cm]		Standorttyp						
		D (n=58)	F (n=139)	Z (n=99)	B (n=57)	W (n=67)	G (n=343)	U (n=51)
0	[%]	100,0	34,5	4,0	-	-	-	-
> 0 bis ≤ 2	[%]	-	63,3	76,8	-	-	3,5	64,7
>2 bis ≤ 10	[%]	-	2,2	18,2	5,3	-	8,7	27,5
> 10	[%]	-	-	1,0	94,7	100,0	87,8	7,8

Die Flechtenheiden weisen (teilweise sehr) geringmächtige Eisenhumuspodsole auf. Die organischen Auflagen haben in der Regel Mächtigkeiten von 1-2 cm, können aber in steileren Hangpartien stark lückig ausgeprägt sein (vgl. Tab. 6). Neben schwach lehmigem Sand finden sich auch schwach bis mittel schluffige Sande mit geringen bis hohen Lagerungsdichten. Es treten Einzelkorn-, Subpolyeder- und zum Teil Kittgefüge auf (vgl. Tab. 12 im Anhang; WALD 2004). Auflagen und A-Horizonte sind extrem bis sehr stark sauer, die übrigen Horizonte stark bis mäßig sauer. Die mineralischen Horizonte sind stark bis sehr schwach humos, Stickstoff ist oft nicht nachweisbar (z. B. Abb. 6, vgl. Tab. 13 im Anhang). Die Eisenhumuspodsole der Zwergstrauchheiden unterscheiden sich von denen der Flechtenheiden hauptsächlich durch größere Entwicklungstiefen und durch die mächtigeren und geschlossenen organischen Auflagen von im Mittel 2-3 cm, maximal bis zu über 10 cm (vgl. Tab. 6). Darüber hinaus sind ihre C/N-Verhältnisse zum Teil weiter (z. B. Abb. 7, vgl. Tab. 12 und 13 im Anhang; vgl. WALD 2004).

Der Boden des untersuchten Uferstandortes ist als Regosol zu klassifizieren (vgl. Tab. 12 im Anhang). Die organische Auflage ist im Schnitt 2-4 cm mächtig (vgl. Tab. 6), die übrigen Horizonte aus skelettreichem, schwach schluffigem Sand sind mittel bzw. schwach humos. Der pH-Wert steigt mit zunehmender Tiefe von sehr stark sauer auf stark sauer. Stickstoff lässt sich nur in der Auflage nachweisen (Abb. 8, vgl. Tab. 13 im Anhang).

## 4 Ergebnisse

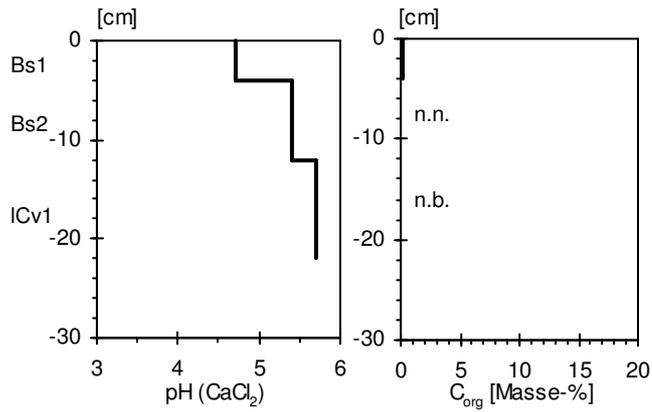


Abb. 5: Bodenkenndaten Profil 4 (Deflation). Stickstoff ist nicht nachweisbar.

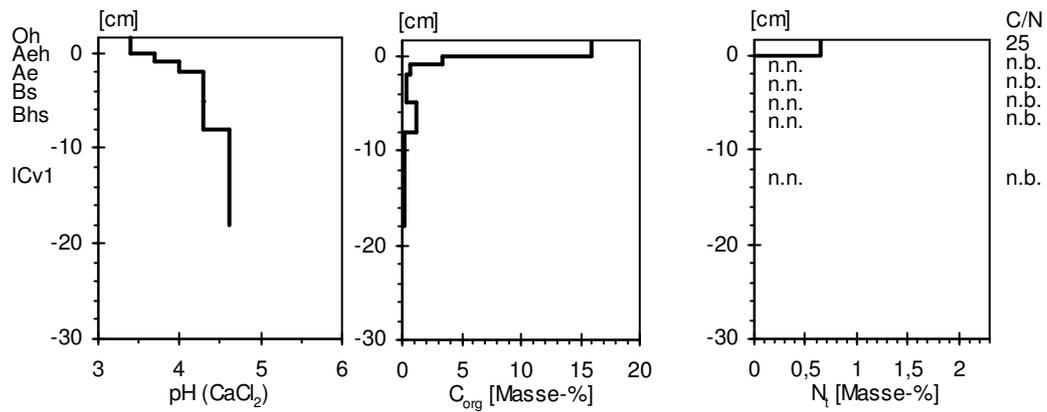


Abb. 6: Bodenkenndaten Profil 2 (Flechtenheide).

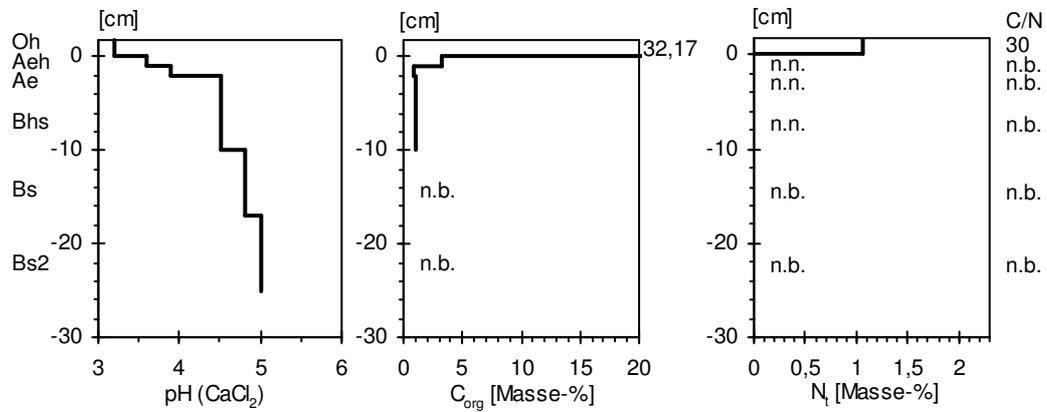


Abb. 7: Bodenkenndaten Profil 1 (Zwergstrauchheide).

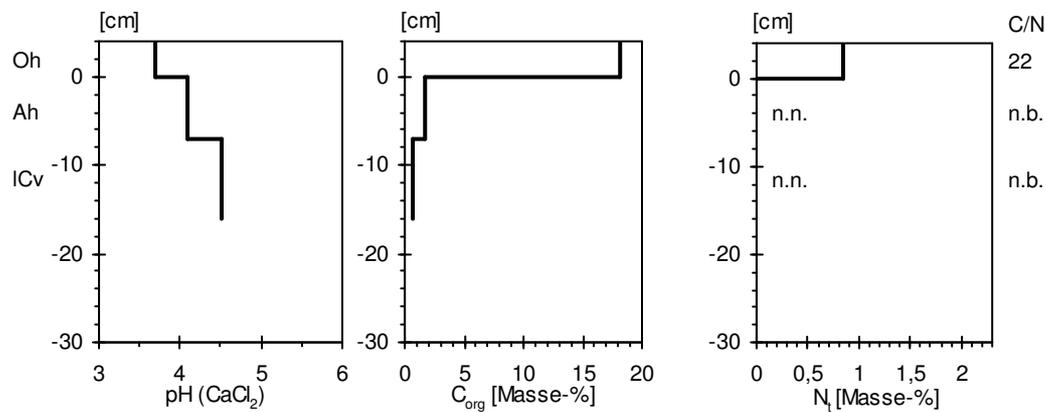


Abb. 8: Bodenkenndaten Profil 6 (Ufer).

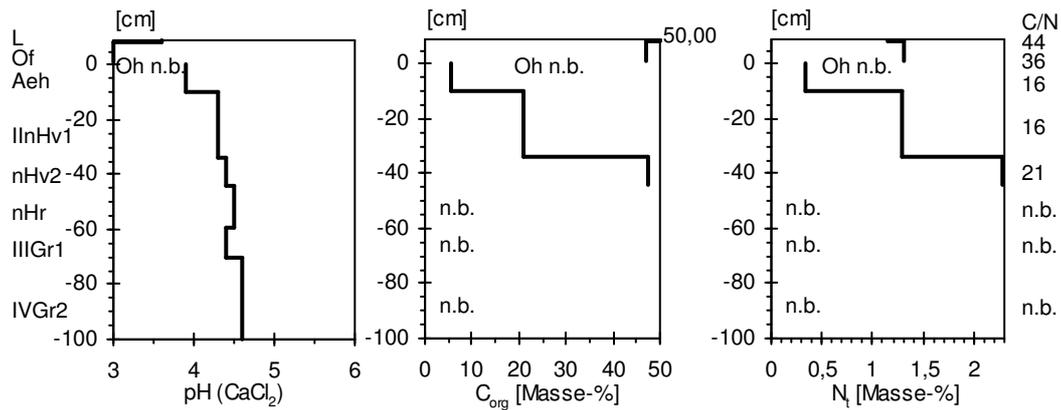


Abb. 9: Bodenkenndaten Profil 18 (Bult).

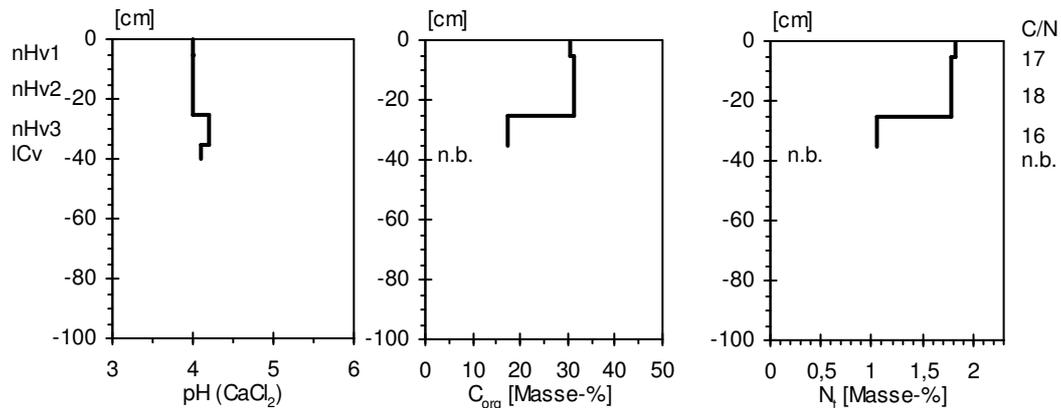


Abb. 10: Bodenkenndaten Profil 19 (Weidengebüsch).

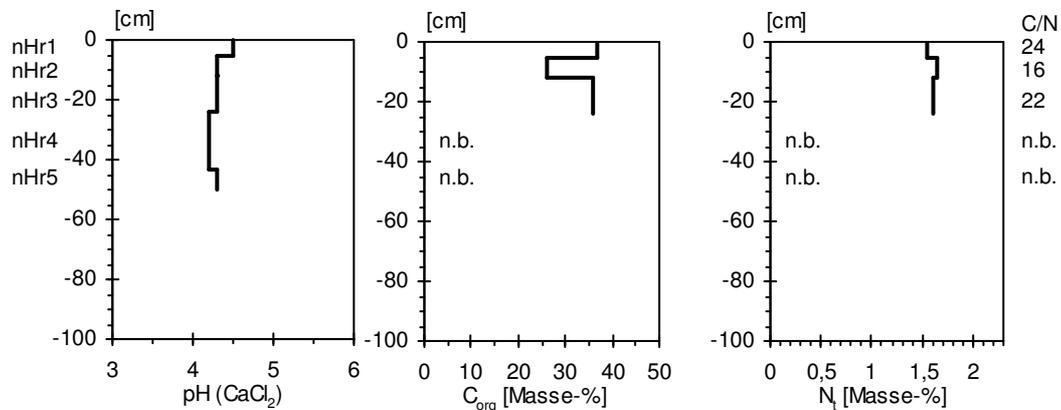


Abb. 11: Bodenkenndaten Profil 17 (Grasmoor).

Bei den Böden der Bultstandorte handelt es sich in der Regel um Podsole bzw. Podsolgleye mit einer reliktschen Torfauflage. Im Zuge der kryoturpaten Aufwölbung kann eine intensive Durchmischung mineralischer und organischer Horizonte erfolgen. Die Auflagen mit Mächtigkeiten von ca. 10 bis zu 30 cm (vgl. Tab. 6) sind extrem bis sehr stark sauer und weisen C/N-Verhältnisse von zumeist weit über 30 auf (vgl. Tab. 12 und 13 im Anhang; WALD 2004). In den kryoturpaten verwürgten organischen Horizonten am Staloskaidi (Abb. 9) sind die C/N-Verhältnisse dagegen mit 16 bis 21 relativ eng.

Die Weidengebüsche sind als stark saure Niedermoorstandorte anzusprechen (Abb. 10, Tab. 12 und 13 im Anhang; vgl. WALD 2004). Im Fall von Rodjanoaivi und Stalokaidi sind die Oberbodenhorizonte mäßig entwässert, am Koahppeloaivi dagegen sind alle Horizonte meist grundwassergefüllt (vgl. Tab. 12 im Anhang; WALD 2004). Die pH-Werte sämtlicher Horizonte sind stark sauer, die C/N-Verhältnisse zumeist recht eng (Abb. 10). Die Niedermoorböden der Grasmoores ähneln hinsichtlich pH und C/N-Verhältnissen denen der Weidengebüsche, sind in der Regel aber stärker vernässt (Abb. 11, vgl. Tab. 13 im Anhang; WALD 2004).

Nahezu allen beprobten mineralischen Horizonten ist eine geringe bis mittlere effektive Kationenaustauschkapazität gemein. Auch die nutzbare Feldkapazität im effektiven Durchwurzelungsraum ist bei den Mineralböden besonders der Deflationsbereiche und der Flechtenheiden fast immer sehr gering oder gering und erreicht nur gelegentlich unter Zwergstrauchheide und Bulten mittlere Werte (vgl. Tab. 14 im Anhang; WALD 2004).

### 4.2.2 Bodenfeuchte

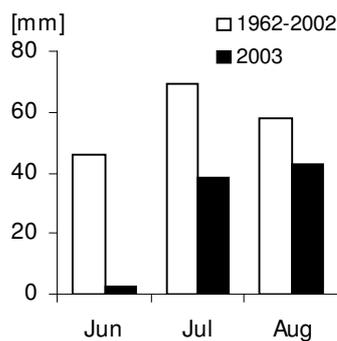


Abb. 12: Vergleich der Niederschlagssummen Juni - August 2003 mit dem Mittel der Jahre 1962 - 2002 (Daten der meteorologischen Station Kevo).

Die im insgesamt recht trockenen (Abb. 12) Sommer 2003 am Standorttyp Deflation gemessenen Bodenfeuchtwerte liegen im Schnitt bei rund 5 bis 11 Vol.-% und reichen ca. von einem bis zu 20 % (Abb. 13-15). Der Variationskoeffizient der Bodenfeuchte liegt für diesen Standorttyp mit im Mittel etwa 40 % sehr hoch (Tab. 7, vgl. Abb. 46 a, 47 a und 48 a und b im Anhang).

Am Standorttyp Flechtenheide liegen die Mediane der Bodenfeuchtwerte bei etwa 7 bis 11 Vol.-%, die Spanne reicht von „nicht nachweisbar“ bis rund 30 Vol.-%. Es bestehen jeweils keine signifikanten Unterschiede zu den Deflationsstandorten (Abb. 13-15). Die Schwankungen der Werte sind mit einem Variationskoeffizienten von 45 % an diesem Standorttyp höher als an jedem anderen (Tab. 7, vgl. Abb. 46 a, 47 a und 48 a und b im Anhang).

Die medianen Bodenfeuchtwerte unter Zwergstrauchheide betragen zwischen 12 und 22 Vol.-%, die Werte reichen von einem bis zu über 40 Vol.-% (Abb. 13-15). An Stalokaidi und Rodjanoaivi ist die Bodenfeuchte signifikant höher als an den zuvor beschriebenen Standorttypen. Der Variationskoeffizient der Bodenfeuchte beträgt im Schnitt rund 24 % und liegt damit deutlich niedriger als an Deflationsstandorten und Flechtenheide (Tab. 7, vgl. Abb. 46 a, 47 a und 48 a und b im Anhang).

Die Bodenfeuchte der Bulten, jeweils in ihrem oberen Bereich gemessen, liegt im Mittel bei rund 25 Vol.-%. Die Werte reichen von 5 bis ca. 60 Vol.-%, im Extremfall bis

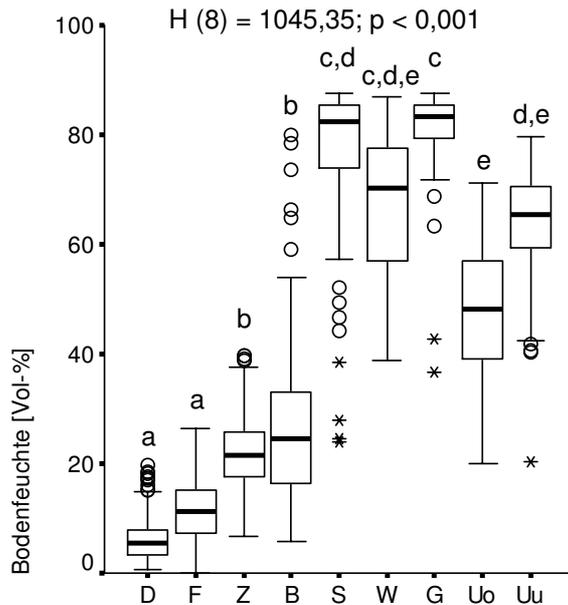


Abb. 13: Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Staloskaidi (n = 1200, Messzeitraum 26.06.-28.08.2003). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, S = Schlenken, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer (hier weiter differenziert nach niedrigen Erhebungen „Uo“ und flachen Mulden „Uu“). Die Boxen bezeichnen 25 %-, 50 % und 75 %-Quantile. ○ = Ausreißer, \* = Extremwert (Werte liegen 1,5 bis 3 bzw. mehr als 3 Interquartilsabstände unter- bzw. oberhalb des 25 %- bzw. 75 %-Quantils).

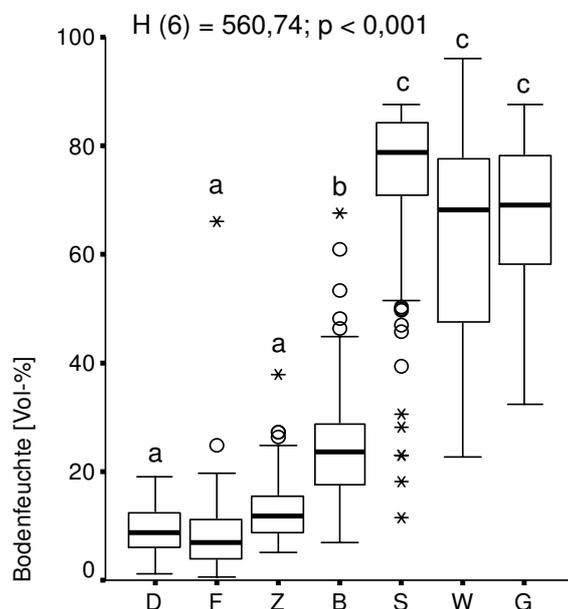


Abb. 14: Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Koahppeloivi (n = 700, Messzeitraum 24.06.-26.08.2003). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, S = Schlenken, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor. Zur Darstellung s. Abb. 13.

80 Vol.-% (Abb. 13-15). Ein signifikanter Unterschied zur Zwergstrauchheide findet sich nur am Koahppeloivi. Hinsichtlich der Variabilität der Bodenfeuchte lassen sich die Bulten mit der Zwergstrauchheide vergleichen (Tab. 7, vgl. Abb. 46 b, 47 b und 48 c im Anhang).

Mit im Schnitt rund 60 bis 80 Vol.-% Bodenfeuchte finden sich am Standorttyp Schlenke durchgehend signifikant höhere Werte als auf den Bulten. Die Spanne der Werte reicht ca. von 30 bis 90 Vol.-%, im Extremfall werden nur 10 Vol.-% erreicht (Abb. 13-15). Die Schlenken des Rodjanoaivi sind etwas trockener als die der übrigen Flächen. Die Schwankungen der Bodenfeuchte sind an diesem Standorttyp mit einem mittleren Variationskoeffizienten von unter 10 % gering (Tab. 7, vgl. Abb. 46 b, 47 b und 48 c im Anhang).

In den Weidengebüschen liegt der Median der Bodenfeuchte – trotz eines am Koahppeloivi deutlich höheren Grundwasserspiegels als auf den übrigen Flächen – recht einheitlich bei etwa 70 Vol.-% (Abb. 13-15). Die Werte schwanken zwischen ca. 30 und 90 Vol.-%. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zu den untersuchten Schlenken. Die Weidengebüsche zeigen mit einem mittleren Variationskoeffizienten von gut 6 % den niedrigsten Wert aller Standorttypen (Tab. 7, vgl. Abb. 46 b, 47 b und 48 c im Anhang).

#### 4 Ergebnisse

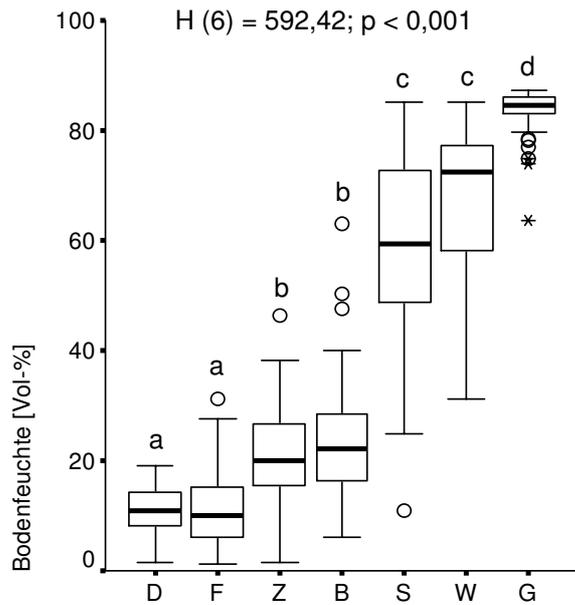


Abb. 15: Mittlere Bodenfeuchte (oberste 5 cm) in Abhängigkeit vom Standorttyp am Rodjanoaivi (n = 700, Messzeitraum 25.06.-27.08.2003). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, S = Schlenken, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor. Zur Darstellung s. Abb. 13.

Tab. 7: Variationskoeffizienten (CV) der Bodenfeuchte vom 24.06.-28.08.2003 in Abhängigkeit von Standorttyp und Fläche. K = Koahppeloaivi, R = Rodjanoaivi, S = Staloskaidi.

Standorttyp	Fläche	CV [%]	mittlerer CV je Standorttyp [%]
Deflation	K	37,00	40,44
	R	29,35	
	S	61,15	
		46,33	
Flechtenheide	K	48,50	45,13
	R	49,77	
	S	47,45	
		42,26	
Zwergstrauchheide	K	35,70	23,86
	R	15,75	
	S	20,68	
		19,35	
Bult	K	21,14	19,52
	R	17,05	
	S	20,36	
Schlenke	K	9,87	9,57
	R	8,76	
	S	10,08	
Weidengebüsch	K	8,15	6,13
	R	4,07	
	S	6,18	
Grasmoor	K	13,03	6,50
	R	1,90	
	S	4,57	
Ufer, Erhebungen			12,74
Ufer, Mulden			7,89

Der Median der Bodenfeuchtwerte in den Grasmooren liegt zwischen 70 und gut 80 Vol.-%, die Messwerte reichen im Extremfall (Sphagnumpolster) bis ca. 35 Vol.-% (Abb. 13-15). Mit Ausnahme der besonders stark vernässten Grasmoorfläche am Rodjanoaivi bestehen keine signifikanten Unterschiede zu den Standorttypen Schlenke und Weidengebüsch. Die Variabilität der Werte ähnelt jener am Standorttyp Weidengebüsch (Tab. 7, vgl. Abb. 46 b, 47 b und 48 c im Anhang).

Die im Schnitt nur rund 10 cm großen Höhenunterschiede innerhalb des am Staloskaidi untersuchten Uferstandortes schlagen sich lediglich in einem nicht signifikanten Trend zu etwas feuchteren Mulden nieder (Abb. 13). Beide Standorte zeigen keine signifikanten Feuchteunterschiede zum Weidengebüsch, die Ufermulden lassen sich darüber hinaus auch von den Schlenken nicht signifikant abgrenzen. Die Variationskoeffizienten der Bodenfeuchte ähneln jenen der Schlenken, der Weidengebüsche und der Grasmoore (Tab. 7, vgl. Abb. 48 d im Anhang).

Zusammenfassend lassen sich drei in der Regel voneinander signifikant verschiedene Gruppen unterscheiden. Deflationen und Flechtenheide sind im Untersuchungszeitraum extrem trocken. Zwergstrauchheide und Bulten sind bereits deutlich feuchter, und Schlenken,

Weidengebüsche und Grasmoores sind stark vernässt. Der zusätzlich untersuchte Uferstandort nimmt eine Übergangsstellung zwischen den mäßig trockenen und den stark vernässen Standorttypen ein. Die zeitliche Variabilität der Bodenfeuchte ist an trockeneren Standorten generell höher.

### 4.2.3 Bodentemperaturen

Die an der Deflationsfläche vom 22.09.02 bis 25.08.03 gemessenen Bodentemperaturen (Tab. 8, vgl. Abb. 41 a und b im Anhang) weisen in 2,5 cm Tiefe mit einer Spanne von -30 bis 30 °C die extremsten Werte sowie die niedrigste Mitteltemperatur aller untersuchten Standorte auf. Eine Schneedecke findet sich nur an wenigen Tagen, die Fläche ist sehr früh aper. Im Zeitraum vom 01.06. bis 25.08.03, der hier als Näherung für die Vegetationsperiode betrachtet wird, liegen dagegen bei einer großen Tagesamplitude sowohl die Mitteltemperatur mit fast 15 °C als auch das absolute Minimum mit über 2 °C höher als an den übrigen Standorten. Die Temperatursumme des Gesamtuntersuchungszeitraumes liegt mit 928 °d deutlich höher als auf den übrigen Flächen. In 50 cm Bodentiefe sind die Jahres- und besonders die Tagesamplitude gedämpft, die Temperatursumme ist mit knapp 600 °d immer noch höher als die der restlichen Standorte.

Tab. 8: Bodentemperaturen einiger Flächen am Staloskaidi.

Messtiefe [cm]	Deflation		Flechtenheide		Zwergstrauchheide		Ufer
	2,5	50	2,5	50	ostexp. 2,5	nordexp. 2,5	
<b>22.09.02-25.08.03</b>							
absolutes Minimum [°C]	-30,06	-18,30	-18,60	-11,76	-4,76	-2,06	-3,26
absolutes Maximum [°C]	30,20	16,80	19,20	12,14	19,50	23,44	21,84
Mitteltemperatur [°C]	-0,42	-0,13	-0,41	-0,29	1,91	2,94	2,75
Tage mit Mitteltemp. < 0 °C [n]	190	191	194	200	202	116	179
Tage mit Mitteltemp. > 5 °C [n]	107	97	89	65	67	75	83
Temperatursumme T <sub>+5°C</sub> [°d]	928	598	514	274	412	589	596
Frostwechsel [n]	66	6	44	2	30	56	196
Tage mit Schneedecke [n]	19		44		248	233	236
aper ab	22.02.03		10.05.03		12.06.03	28.05.03	26.05.03
<b>01.06.-25.08.03</b>							
absolutes Minimum [°C]	2,10	4,20	1,54	1,60	0,14	0,30	0,40
Mitteltemperatur [°C]	14,85	11,75	10,83	7,68	9,35	11,91	12,28
mittlere Tagesamplitude [°C]	8,08	0,72	4,67	0,30	4,02	7,38	6,45

Auf der Flechtenheide schwanken die Bodentemperaturen in 2,5 cm Tiefe zwischen rund -19 und 19 °C, die Mitteltemperatur und die Dauer der Gefronnis ähneln der des Deflationsstandortes (Tab. 8, vgl. Abb. 42 a im Anhang). Die geschätzte Anzahl der Tage mit Schneebedeckung liegt mit 44 immer noch relativ niedrig, und die Fläche apert früh aus. Die Minimumtemperatur in der Vegetationsperiode ist der der Deflationsfläche vergleichbar, während Mittel- und Maximalwert niedriger sind und etwa denen der übrigen Standorte entsprechen. Die Temperaturen in 50 cm Tiefe zeigen wie auch bei der

Deflationsfläche kleinere Amplituden, die Erwärmung ist jedoch langsamer und weniger tiefreichend als dort (Tab. 8, vgl. Abb. 42 b im Anhang).

Unter den beiden untersuchten Zwergstrauchheiden sowie am Ufer liegen die Maximalwerte mit ca. 20 bis 23 °C im selben Bereich wie unter der Flechtenheide, und auch die Temperatursummen weisen dieselbe Größenordnung auf (Tab. 8, vgl. Abb. 43-45 im Anhang). Die absoluten Minima sind jedoch mit ca. -5 bis -2 °C ebenso wie die Mitteltemperaturen mit ca. 2 bis 3 °C deutlich höher als bei Deflations- und Flechtenstandort. Rund zwei Drittel des Untersuchungszeitraumes sind die Flächen von Schnee bedeckt, sie apert erst Ende Mai bzw. Mitte Juni aus. Die Anzahl der Tage mit einer Mitteltemperatur über 5 °C reicht von 67 bis 83 Tagen. Die Minimumtemperaturen während der Vegetationsperiode liegen nur knapp über dem Gefrierpunkt. Der Uferstandort weist, über das Jahr betrachtet, im Gegensatz zu den übrigen Flächen eine deutlich größere Frostwechselhäufigkeit auf.

### 4.3 Bestandesstruktur und Bestandesdynamik

Bezüglich Bestandesstruktur und -dynamik werden die Daten verschiedener Untersuchungsflächen desselben Standorttyps vorwiegend zusammengefasst dargestellt. Unterschiede zwischen den Flächen sind oft entweder unbedeutend oder auf den geringen Stichprobenumfang auf einzelnen Flächen zurückzuführen.

#### 4.3.1 Jungwuchsdichten

Die Deflationsflächen weisen mit rund 1,1 Birken je 100 m<sup>2</sup> die niedrigsten mittleren Jungwuchsdichten von allen Standorttypen auf (Abb. 16). Dabei liegen die Werte für die sehr großen Deflationsbereiche des Koahppeloavi mit 0,5 Pflanzen je 100 m<sup>2</sup> deutlich

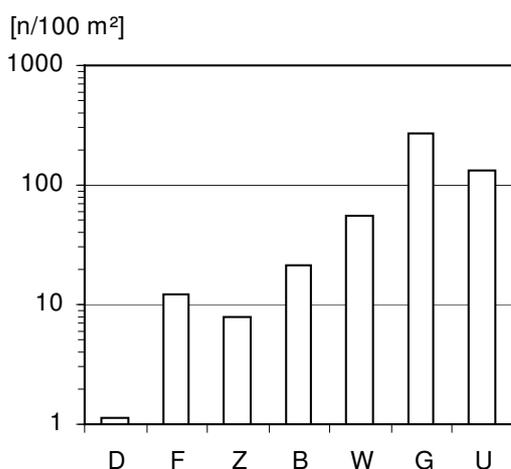


Abb. 16: Mittlere Jungwuchsdichte in Abhängigkeit vom Standorttyp. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

niedriger als für die kleinflächigeren Deflationen des Rodjanoavi und des Stalokaidi mit 1,6 bzw. 2 Birken je 100 m<sup>2</sup> (vgl. Tab. 15 im Anhang). Während sich an den beiden letztgenannten Bergen der Birkenjungwuchs oft in der Nähe des Randes der Deflationsflächen befindet (vgl. Abb. 17), wachsen die Pflanzen am Koahppeloavi häufig an größeren Steinblöcken, in inselhaften Vegetationsflecken oder in leichten Muldenlagen. Hier finden sich auch gelegentlich spalierrwüchsige Stockaus schläge älterer Birken.

Auf der Flechtenheide liegen die Jungwuchsdichten im Schnitt mit 11,9 Birken je 100 m<sup>2</sup> rund zehnmal höher als auf den Deflationsflächen (Abb. 16). Oft wachsen die Pflanzen in kleinen Bodenrissen, die in den zumeist recht steilen Flechtenbereichen häufig vorkommen (Abb. 17 und 18 a). Flechtenheide, die wie im südexponierten Transekt am Stalorskaidi und im ostexponierten Transekt am Koahppeloarvi arm an offenen Bodenstellen ist, weist dagegen weniger Jungwuchs auf (Abb. 18 b und 20). Eine ebenfalls relativ niedrige Jungwuchsdichte findet sich auf der sehr steilen und durch extrem starke Abrutschungen gekennzeichneten Flechtenheide des südexponierten Transekts am Koahppeloarvi. Diese Fläche ist hingegen geprägt durch stärkeres Vorkommen von niedrigwüchsigem (< 1 m) Stockausschlag älterer Birken, der oberflächlich teilweise schwer von echtem Jungwuchs zu unterscheiden ist (Abb. 19).

Die Jungwuchsdichte auf der Zwergstrauchheide beträgt im Mittel aller Flächen 7,9 Birken je 100 m<sup>2</sup> und ist damit deutlich geringer als bei der Flechtenheide (Abb. 16). Die Variabilität zwischen den Untersuchungsflächen der einzelnen Berge ist deutlich geringer als bei den übrigen Standorttypen (Tab. 15 im Anhang). Im Bereich von Baumgruppen (> 2 m Höhe) mit sehr dichtem Krähenbeerenunterwuchs findet sich gar kein Jungwuchs (Abb. 17 und 20). Die Zwergstrauchheide des südexponierten Transekts am Koahppeloarvi weist keinen echten Jungwuchs, sondern nur zum Teil gebüschartige Stockausschläge (< 1 m) älterer Exemplare auf (Abb. 19). Im ostexponierten Transekt am Stalorskaidi wachsen viele der Jungpflanzen geclustert in Bereichen mit kleinflächig lückiger Bodenbedeckung (Abb. 17).

Die Bultenflächen zeigen eine mittlere Jungwuchsdichte von 21,3 Birken je 100 m<sup>2</sup> (Abb. 16). Die meisten Pflanzen wachsen auf den Bultseiten, während sich in den zumeist vernässten oder zumindest zeitweise Wasser führenden Schlenken fast kein Jungwuchs findet. Besonders an Stalorskaidi und Koahppeloarvi wachsen die Birken auf nur wenige Bulten konzentriert.

Im Weidengebüsch liegt die mittlere Jungwuchsdichte mit 55,8 Pflanzen je 100 m<sup>2</sup> relativ hoch (Abb. 16). Die geringsten Werte stammen dabei mit 20 Birken je 100 m<sup>2</sup> von der Fläche am Koahppeloarvi (Tab. 15 im Anhang). Oft wachsen die Birken sehr dicht an den häufig mit Moospolstern umgebenen Weidenstöcken. Am Rodjanoarvi sind einige besonders dichte Weidensträucher außerdem mit buschförmigen Stockausschlägen älterer Birken durchsetzt. Am Stalorskaidi wachsen einige besonders große Exemplare direkt aus dem steil überhängenden und somit schwer zugänglichen Bachufer heraus.

Die mit 268 Pflanzen je 100 m<sup>2</sup> höchste mittlere Dichte, aber auch die höchste Variabilität zwischen den einzelnen Untersuchungsflächen findet sich im Grasmoor (Abb. 16, Tab. 15 im Anhang). Die vergleichsweise kleine Untersuchungsfläche am Rodjanoarvi ist mit 1628,6 Birken je 100 m<sup>2</sup> die mit Abstand am dichtesten besiedelte Fläche überhaupt. Auf den im Untersuchungszeitraum konstant etwas feuchteren

#### 4 Ergebnisse

Flächen an Rodjanoaivi und Koahppeloavi (vgl. Abb. 46 b und 47 b im Anhang) wachsen die Pflanzen häufig in geringfügig erhöhten Bereichen wie auf Sphagnumpolstern oder in kleinen Seggenhorsten.

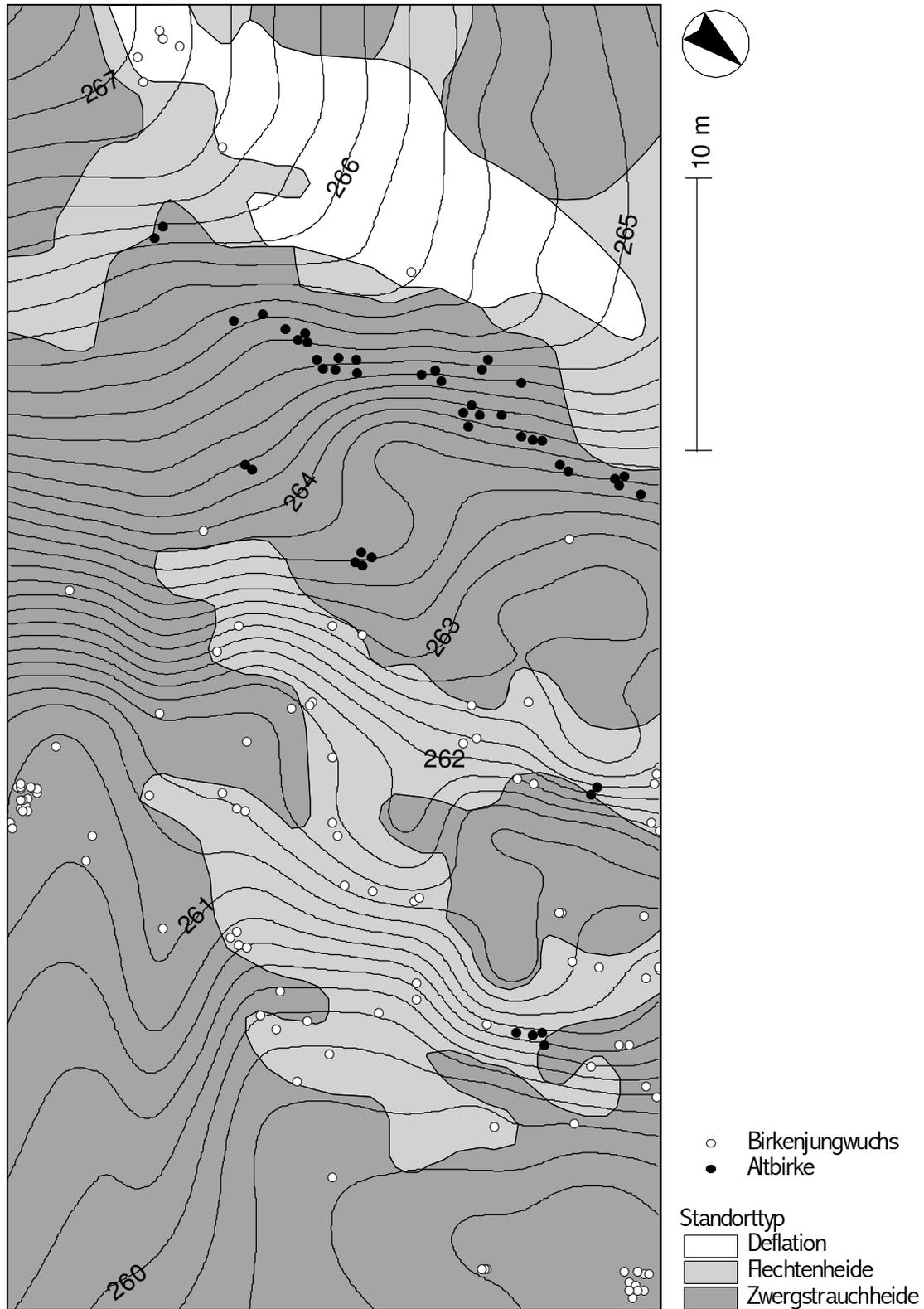


Abb. 17: Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 1.

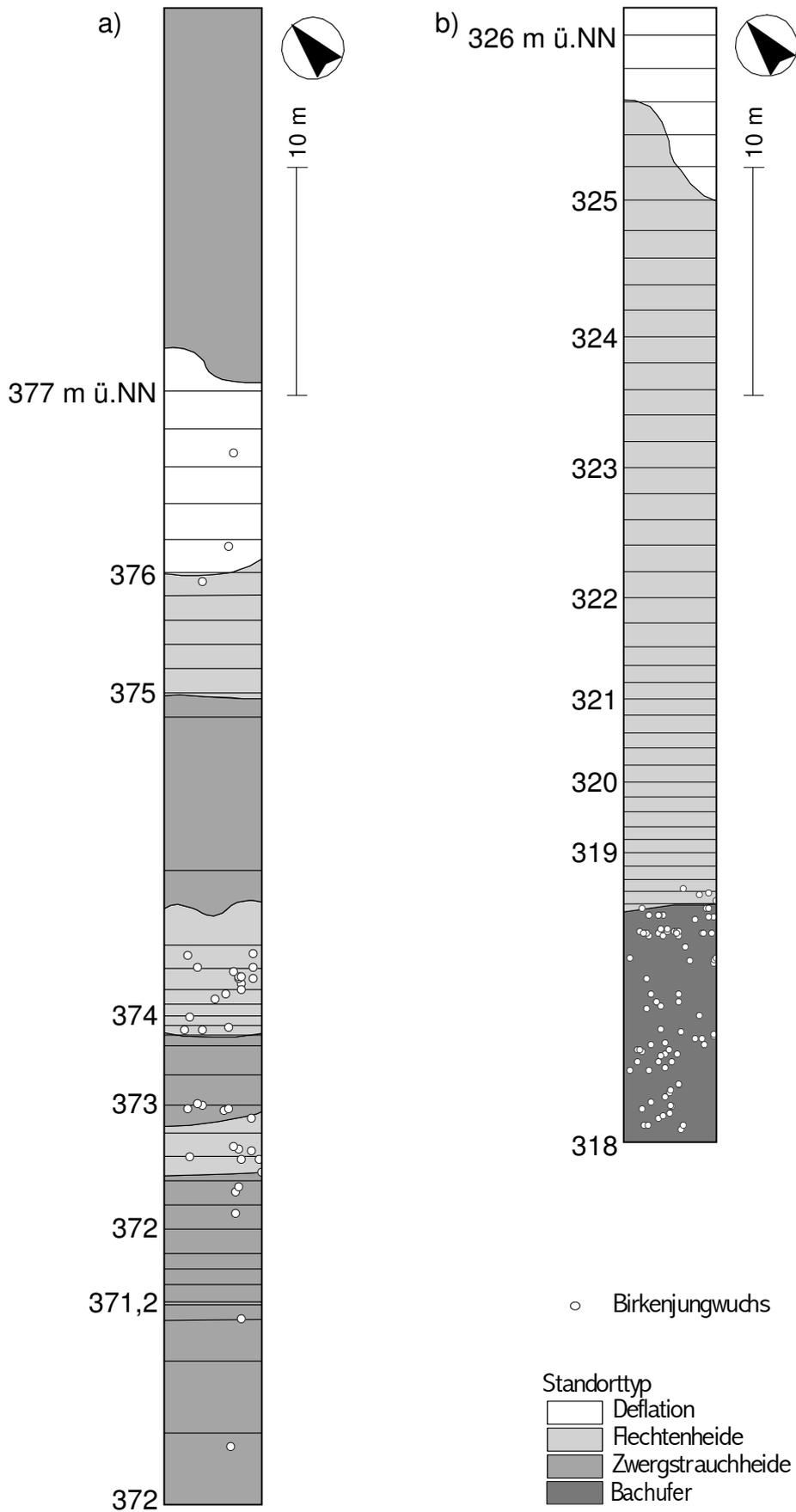


Abb. 18: Standorttypen und Birkenverbreitung in den Transekten 7 (a) und 2 (b).

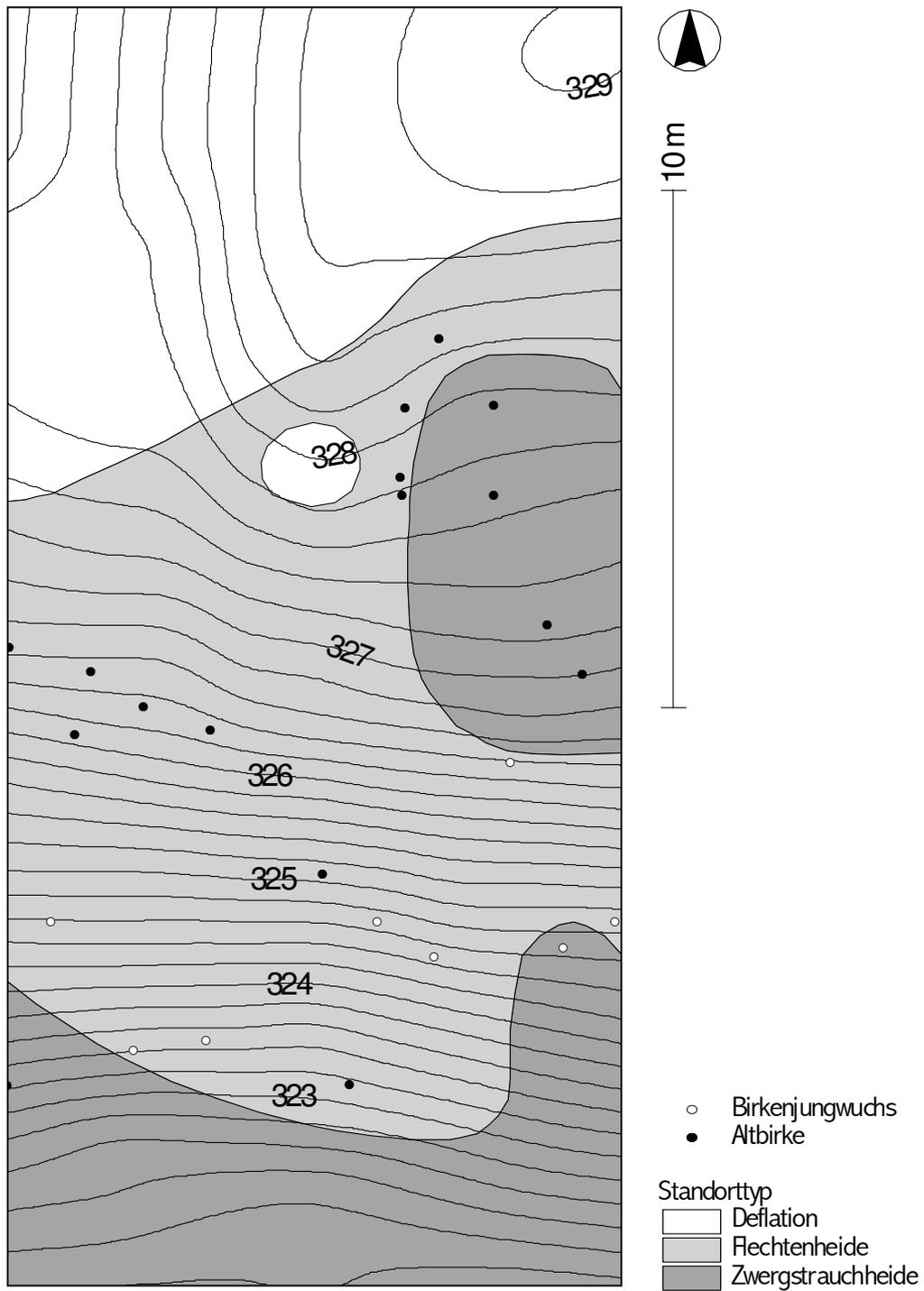


Abb. 19: Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 5.

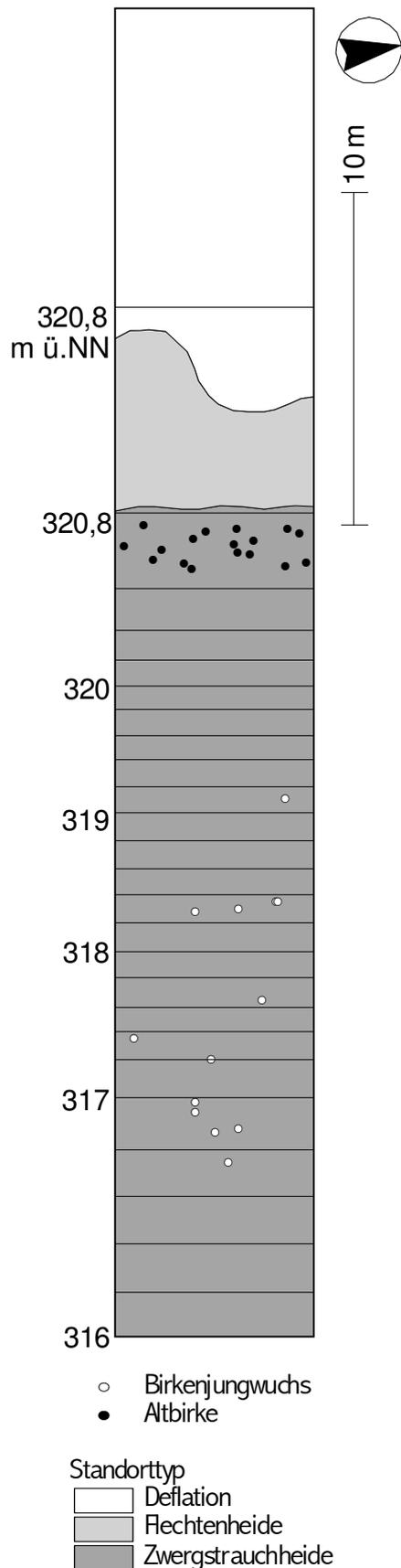


Abb. 20: Standorttypen und Birkenverbreitung in Transekt 6.

Eine ebenfalls recht hohe Jungwuchsdichte von 134,2 Birken je 100 m<sup>2</sup> liegt am Ufer vor (Abb. 16). Der durch eine besonders hohe Dichte auffallende Übergangsbereich zur angrenzenden Flechtenheide wurde dabei von dieser Berechnung wie auch von weiteren Auswertungen ausgeschlossen, da hier ein Rentierpfad verläuft (Abb. 18 b).

#### 4.3.2 Größe des Jungwuchses

Die meisten Standorttypen weisen hinsichtlich der Haupttrieblänge Mediane von ca. 6 cm auf (Abb. 21, vgl. Tab. 16 im Anhang). Mit einem Median von 10 cm liegt die Jungwuchsgröße im Weidengebüsch signifikant höher als an allen übrigen Standorttypen mit Ausnahme der Deflationsflächen. Die mit Abstand geringsten Haupttrieblängen finden sich mit einem Median von 3 cm am Uferstandort. Der kleinste gemessene Wert stammt mit 0,5 cm aus dem Grasmoor. Einzelne besonders große Exemplare wachsen in Flechten- und Zwergstrauchheide sowie im Weidengebüsch, wo auch an einer an relativ unzugänglicher Stelle wachsenden Birke der Maximalwert von 45 cm gemessen wurde.

Diese Befunde werden ergänzt durch Beobachtungen in außerhalb der Untersuchungsflächen gelegenen, besonders dichten Weidenbeständen. Hier wurden vereinzelte, aus generativer Verjüngung stammende Jungbirken von über einem Meter Größe vorgefunden. Ihre Höhe übersteigt allerdings nicht die Verbissspuren aufweisende Oberkante des jeweiligen Weidengebüsches.

## 4 Ergebnisse

Die durchschnittlichen Stammdurchmesser in Höhe des Wurzelhalses sind an den Deflationsstandorten mit einem Median von rund 5 mm am größten (Abb. 21, vgl. Tab. 16 im Anhang). Sie nehmen schrittweise zum Uferstandort hin ab, wo der Median bei 2 mm liegt. Die Spanne der Werte reicht von 0,6 mm im Grasmoor bis zu 19,5 mm am Standorttyp Bulten.

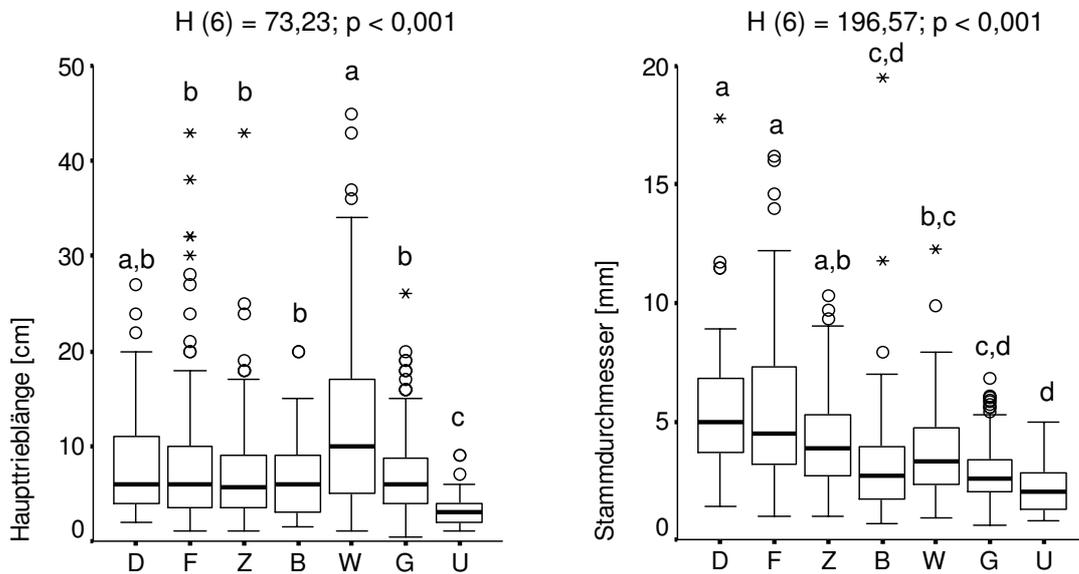


Abb. 21: Haupttrieblänge und Stammdurchmesser in Abhängigkeit vom Standorttyp (n = 814). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

### 4.3.3 Altersstruktur

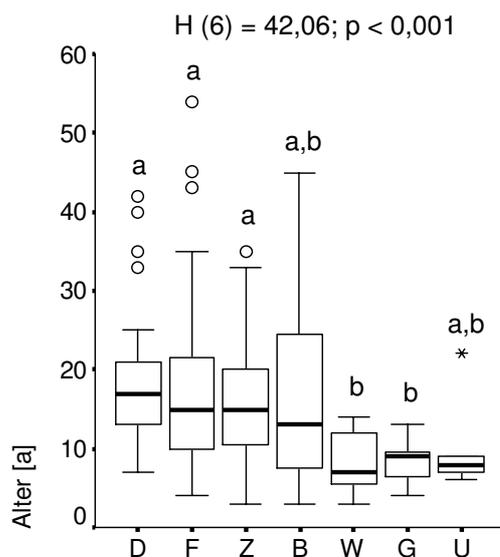


Abb. 22: Alter in Abhängigkeit vom Standorttyp (n = 230). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

Die Altersverteilung (Abb. 22, vgl. Tab. 16 im Anhang) an den Standorttypen Deflation, Flechtenheide und Zwergstrauchheide unterscheidet sich mit Medianen von 17 bzw. 15 Jahren signifikant von jener der Standorttypen Weidengebüsch und Grasmoor mit Medianen von 7 bzw. 9 Jahren. Der Jungwuchs der Bultstandorte nimmt mit einem Median von 13 Jahren eine Übergangsstellung zwischen diesen Gruppen ein. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs am Uferstandort liegen hier trotz des niedrigen Medians von 8 Jahren keine Signifikanzen vor. Während auf den Deflationsflächen

besonders junge Pflanzen fehlen, finden sich in Weidengebüsch, Grasmoor und am Uferstandort keine älteren Exemplare. Die jüngsten Birken stammen mit 3 Jahren von den Standorttypen Zwergstrauchheide, Bulten und Weidengebüsch, das älteste Exemplar findet sich mit 54 Jahren in der Flechtenheide.

#### 4.3.4 Mittlerer jährlicher Größenzuwachs

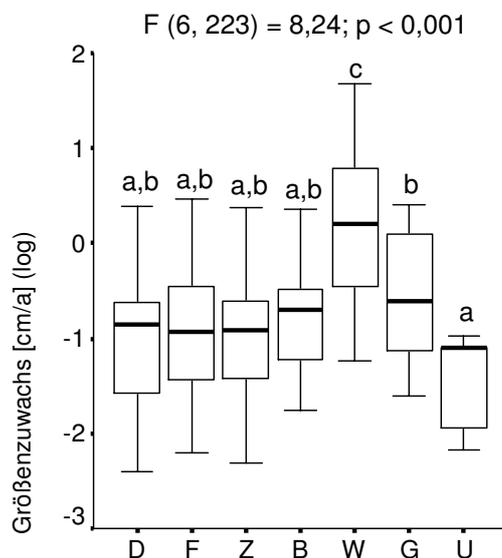


Abb. 23: Mittlerer jährlicher Größenzuwachs in Abhängigkeit vom Standorttyp ( $n = 230$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

Der mittlere jährliche Größenzuwachs des Birkenjungwuchses (Abb. 23, vgl. Tab. 16 im Anhang) ist im Weidengebüsch mit einem Median von 1,22 cm/a rund dreimal so hoch wie an den übrigen Standorttypen, welche Mediane zwischen 0,33 und 0,55 cm/a aufweisen. Entsprechend findet sich der Maximalwert mit 5,38 cm mittlerem jährlichen Größenzuwachs im Weidengebüsch. Das Minimum wird am Standorttyp Deflation mit 0,09 cm/a erreicht.

An allen Standorttypen mit Ausnahme des Weidengebüsches lässt sich ein abnehmender Trend des mittleren jährlichen Größenzuwachses mit zunehmendem Alter erkennen (Abb. 24).

Während an den Standorttypen Deflation, Flechtenheide, Zwergstrauchheide und Bulten jüngere Pflanzen (um ca. 10 bis 20 Jahre) durchschnittliche Zuwächse von 1,5 cm pro Jahr erreichen können, liegen die Werte bei älteren Individuen meist deutlich unter 1 cm/a (Flechten- und Zwergstrauchheide) bzw. unter 0,5 cm/a (Deflationsflächen und Bulten). Bei den übrigen Standorttypen fehlen zwar Vergleichswerte älterer Proben, aber auch im Grasmoor ist ein entsprechender Trend angedeutet. Am Uferstandort sind die Zuwachsraten generell sehr gering.

#### 4 Ergebnisse

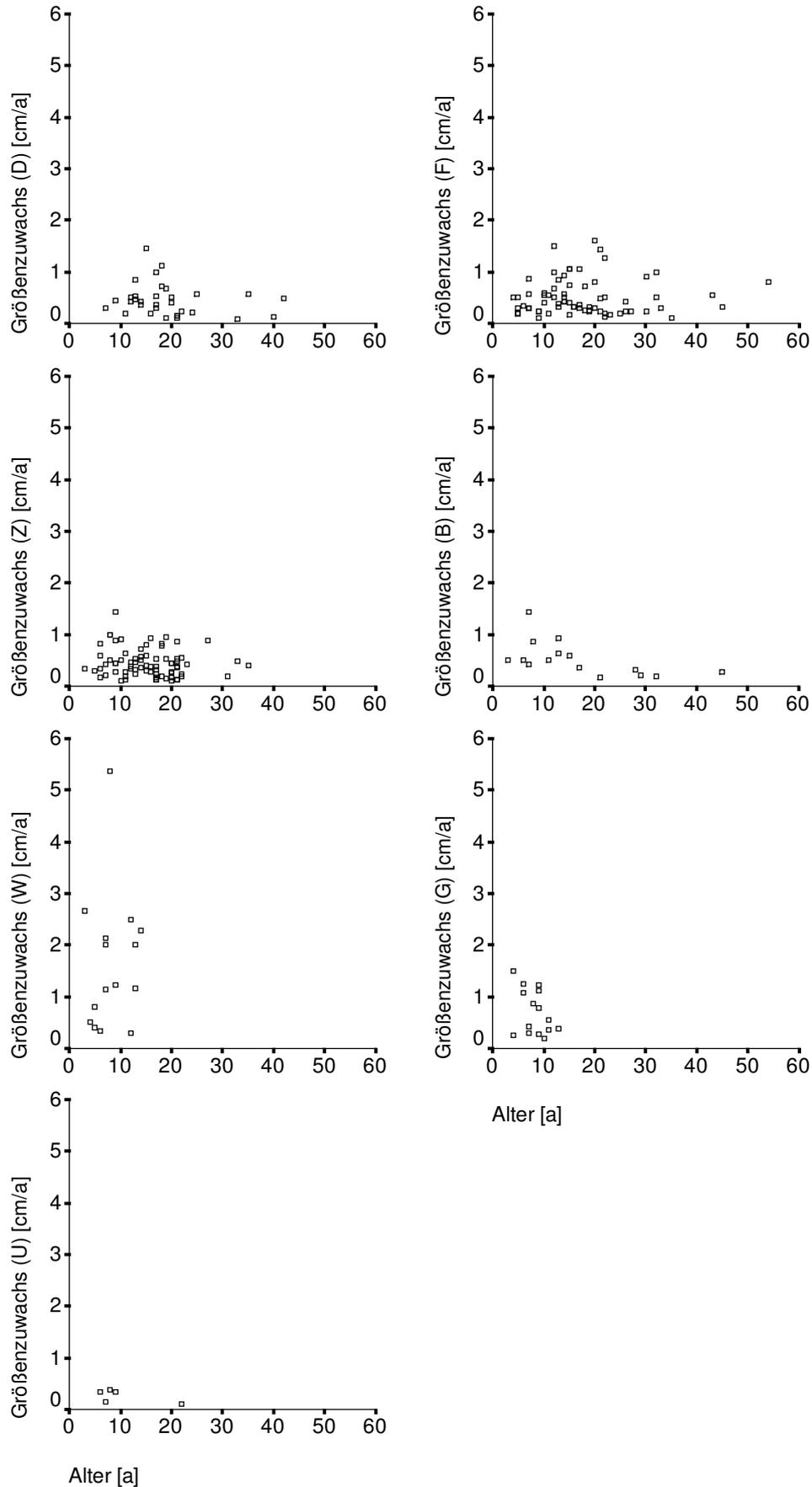


Abb. 24: Mittlerer jährlicher Größenzuwachs in Abhängigkeit von Alter und Standorttyp (n = 230). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

### 4.3.5 Mittlerer Durchmesserzuwachs

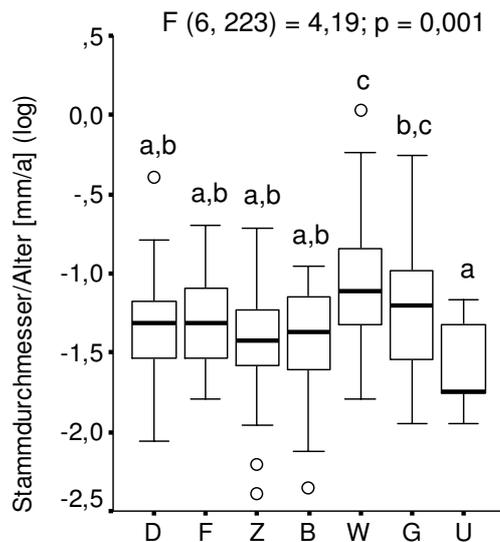


Abb. 25: Mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit vom Standorttyp ( $n = 230$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

Der mittlere jährliche Durchmesserzuwachs der Birkenstämme (Abb. 25, vgl. Tab. 16 im Anhang) ist im Weidengebüsch mit einem Median von 0,33 mm/a signifikant höher als an den übrigen Standorttypen mit Ausnahme des Grasmoores mit einem Median von 0,30 mm/a. Der Unterschied zu den restlichen Standorttypen ist allerdings nicht so stark ausgeprägt wie beim mittleren jährlichen Größenzuwachs (vgl. Abb. 23). Am Uferstandort ist der jährliche Durchmesserzuwachs mit im Schnitt 0,18 mm/a besonders gering, an den verbleibenden Standorttypen liegt der Median zwischen 0,24 und 0,27 mm/a. Der Trend zu geringeren

mittleren Zuwächsen mit zunehmendem Alter ist an den meisten Standorttypen für den Durchmesser weniger stark ausgeprägt als für die Größe des Haupttriebes (Abb. 26; vgl. Abb. 24).

## 4 Ergebnisse

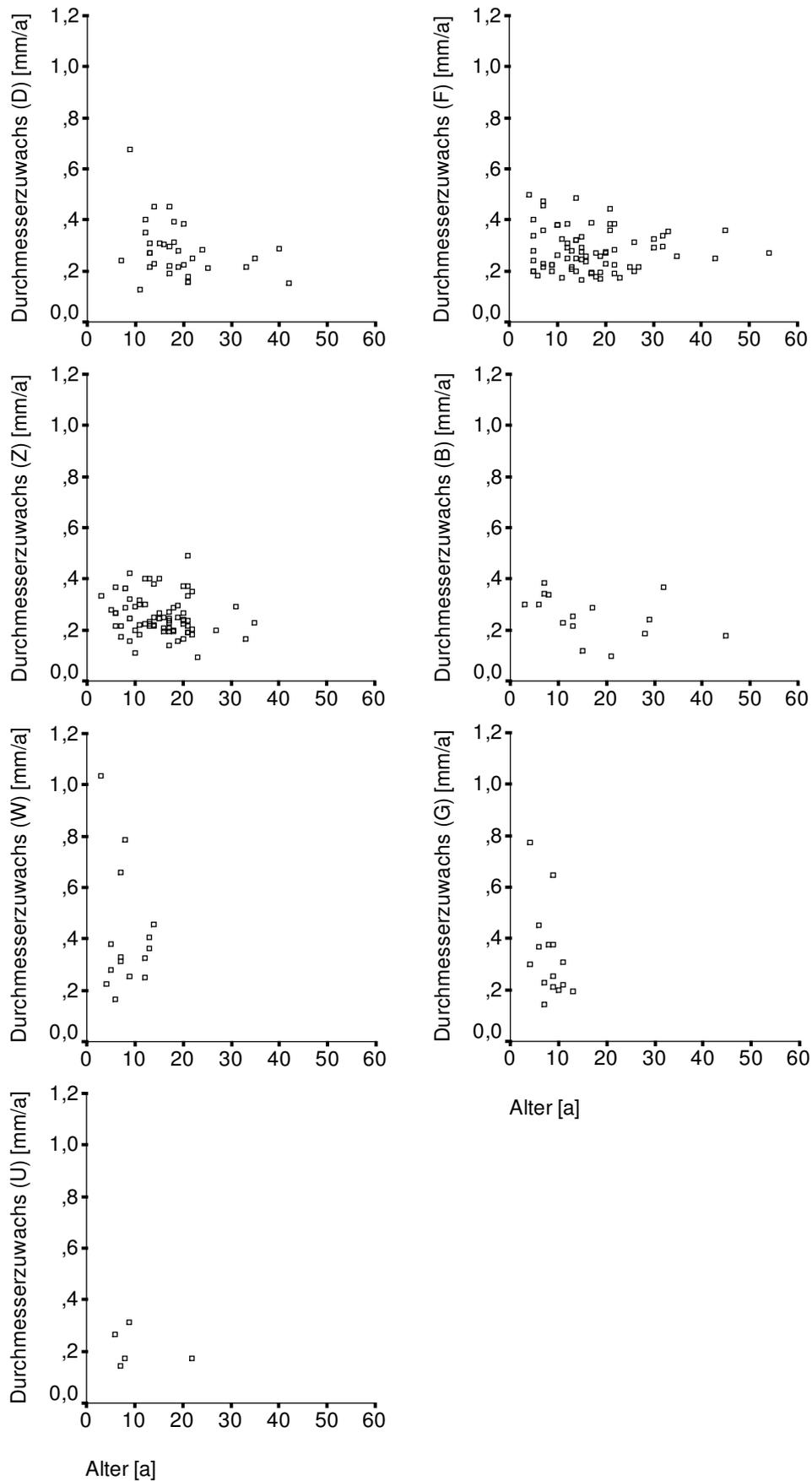


Abb. 26: Mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von Alter und Standortstyp ( $n = 230$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

### 4.3.6 Schäden

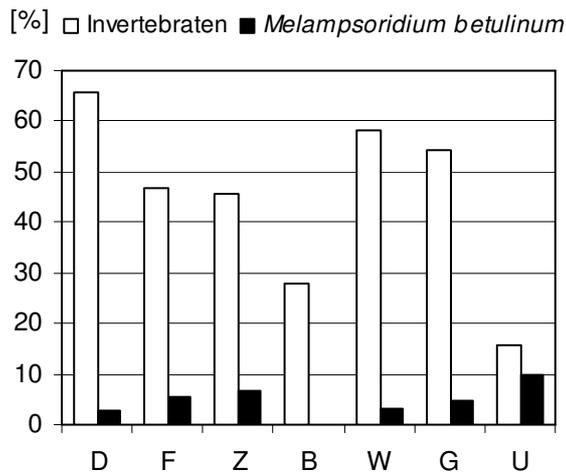


Abb. 27: Anteil des Jungwuchses mit Laubschäden (Befall durch Invertebraten bzw. *Melampsorium betulinum*) in Abhängigkeit vom Standorttyp (n = 689). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Der Anteil des Birkenjungwuchses, der Schäden am Laub durch Invertebraten aufweist, ist mit 65,7 % an den Deflationsstandorten am höchsten (Abb. 27, vgl. Tab. 17 im Anhang). Besonders schwach befallen sind die Birken der Bultenflächen mit 28,1 % und vor allem des Uferstandortes mit 15,7 %. Die Werte der übrigen Standorttypen liegen zwischen 45,5 % in der Zwergstrauchheide und 58,2 % im selbst zum Teil stark geschädigten Weidengebüsch.

Der Befall des Laubes durch *Melampsorium betulinum* (Abb. 27, vgl. Tab. 17 im Anhang) ist insgesamt deutlich geringer als der durch Invertebraten. Zumeist liegt der Anteil betroffener Pflanzen zwischen 2,9 % auf den Deflationsflächen und 6,8 % in der Zwergstrauchheide. Stärkere Schäden finden sich am Uferstandort (9,8 %), während der Jungwuchs der Bultenflächen keinen Befall zeigt.

Der Befall des Laubes durch *Melampsorium betulinum* (Abb. 27,

Von Stammdeformationen am stärksten betroffen ist mit einem Anteil von 36,2 % der Jungwuchs der Deflationsflächen (Abb. 28, vgl. Tab. 17 im Anhang). Dagegen finden sich am Uferstandort keine derart geschädigten Pflanzen, und auch an den Standorttypen

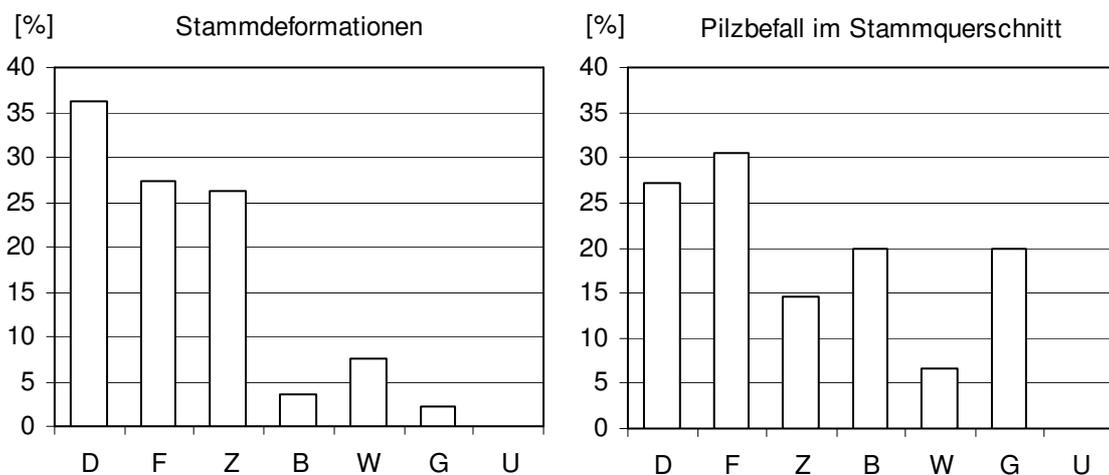


Abb. 28: Anteil des Jungwuchses mit Stammdeformationen (n = 814) bzw. mit Pilzbefall im Stammquerschnitt (n = 230) in Abhängigkeit vom Standorttyp. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

## 4 Ergebnisse

Grasmoor, Bulten und Weidengebüsch liegen die Anteile mit 2,3 bis 7,5 % sehr niedrig. Eine niederliegende Wuchsform ist ebenfalls besonders auf den Deflationen stark ausgeprägt.

Der Anteil des Jungwuchses mit Pilzbefall im Stammquerschnitt (Abb. 28, vgl. Tab. 17 im Anhang) ist an den Standorttypen Deflation, Flechtenheide, Zwergstrauchheide und Ufer von der Größenordnung her vergleichbar mit dem jeweiligen Anteil der durch Stammdeformationen gekennzeichneten Pflanzen. In den Weidengebüschen und Bultenflächen und besonders in den Grasmooren hingegen liegen die Anteile des Jungwuchses mit Pilzbefall im Stamminneren um ein Vielfaches höher als die der Birken mit äußerlich erkennbaren Stammverletzungen.

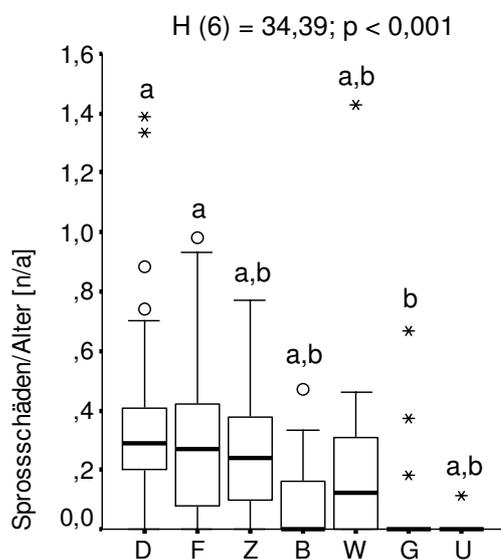


Abb. 29: Mittlere jährliche Anzahl von Sprossschäden je Pflanze in Abhängigkeit vom Standorttyp (n = 230). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

Die Summe aller an den verholzten Sprosssteilen einer Birke feststellbaren Schäden bezogen auf das jeweilige Pflanzenalter ist im Schnitt an den Deflationsstellen mit einem Median von 0,29 am höchsten (Abb. 29, vgl. Tab. 17 im Anhang). Das absolute Maximum aller Werte findet sich mit 1,43 Schäden pro Jahr im Weidengebüsch. Pflanzen ohne erkennbare Sprossschäden sind an den Standorttypen Bulten und besonders Grasmoor und Ufer in der Mehrzahl. Signifikante Unterschiede liegen nur zwischen Deflationsflächen und Flechtenheide einerseits und Grasmooren andererseits vor.

Ein spezifisches Merkmal der Deflationsflächen sind durch Bodenabtrag freigelegte Wurzelansätze von bis zu 30 cm Länge. Speziell am Staloskaidi ist über die Hälfte des kartierten Jungwuchses (51,3 %) hiervon betroffen, während an Rodjanoaivi und Kohppeloaivi nur jeweils rund jede sechste Birke (16,7 % bzw. 15,4 %) dieses Merkmal zeigt. Ein Zusammenhang mit der Größe der Deflationsfläche oder dem Pflanzenalter ist nicht feststellbar.

## 4.4 Wurzelsysteme

Im Folgenden werden die Daten aller Flächen eines Standorttyps stets aggregiert dargestellt. Auffällige Unterschiede zwischen einzelnen Flächen lassen sich nicht erkennen bzw. sind auf den geringen Stichprobenumfang der jeweiligen Flächen zurückzuführen.

### 4.4.1 Trockengewichte

Die Pflanzentrockengewichte zeigen in Altersklasse 1 (vgl. Tab. 2) keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorttypen (Abb. 30, vgl. Tab. 18 im Anhang). Der Median der Deflationsflächen liegt mit 1,11 g jedoch deutlich höher als der des Uferstandortes mit 0,05 g. An den übrigen Standorttypen beträgt die Trockenmasse im Schnitt zwischen 0,15 und 0,28 g. In Altersklasse 2 besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Pflanzentrockengewichten der Deflationsstandorte und der Zwergstrauchheide. Die entsprechenden Mediane betragen 2,12 g bzw. 0,75 g (vgl. Tab. 19 im Anhang). Der kleinste insgesamt gemessene Wert stammt mit 0,0150 g vom Uferstandort, der höchste mit 8,8860 g von einer Deflationsfläche.

Bei den Wurzeltrockengewichten (Abb. 30) finden sich in Altersklasse 1 signifikante Unterschiede zwischen den Standorttypen Deflation und Weidengebüsch einerseits und dem Uferstandort andererseits (vgl. Tab. 18 im Anhang). Die Mediane reichen von 0,02 g am Uferstandort bis zu 0,92 g auf den Deflationsflächen. In Altersklasse 2 (vgl. Tab. 19 im Anhang) unterscheiden sich die Deflationen mit einem Median von 2,42 g signifikant sowohl von den Bultstandorten mit einem Median von 0,55 g als auch von der Zwergstrauchheide, deren Median bei 0,39 g liegt. Dieser Wert ist außerdem signifikant vom Median der Flechtenheide (0,96 g) verschieden. Die Spanne der Wurzeltrockengewichte reicht insgesamt von 0,0060 g am Uferstandort bis zu 6,8437 g an einer Deflationsfläche.

Hinsichtlich der Sprossmasse (Abb. 30, vgl. Tab. 18 und 19 im Anhang) bestehen in beiden Altersklassen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorttypen. Die Mediane liegen bei den jüngeren Pflanzen zwischen 0,03 g am Uferstandort und 0,19 g auf den Deflationsflächen, in der älteren Klasse zwischen 0,33 g in der Zwergstrauchheide und 0,60 g an den Deflationsstandorten. Werte von 0,0063 g vom Standorttyp Flechtenheide und 3,4817 g von der Zwergstrauchheide stellen die Extrema dar.

Insgesamt sind in beiden Altersklassen die Unterschiede zwischen den Standorttypen im Wurzeltrockengewicht größer als im Spross- oder im Gesamttrockengewicht. Der Jungwuchs der Deflationsflächen weist in der Regel die höchsten Trockengewichte auf, am Uferstandort sind die Werte sehr gering.

#### 4 Ergebnisse

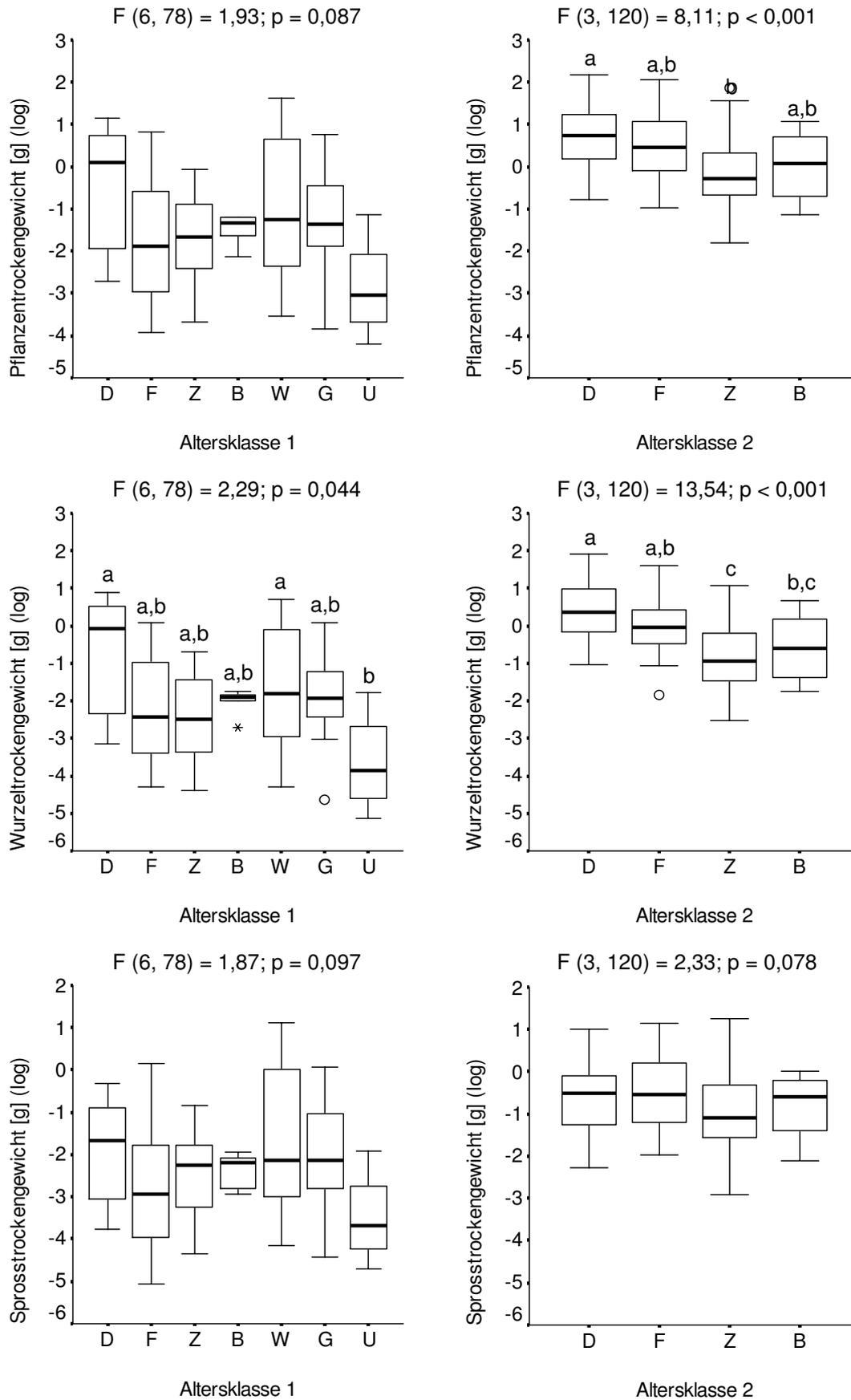


Abb. 30: Pflanzen-, Wurzel- und Sprosstrockengewicht in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse (vgl. Tab. 2) (n = 209). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

#### 4.4.2 Wurzel-Spross-Verhältnis

Hinsichtlich des Wurzel-Spross-Verhältnisses (R/S) ist zwar üblicherweise eine Abnahme mit steigendem Alter zu erwarten (LYR & HOFFMANN 1967; WERGER 1983; RASMUSSEN 1995; CAIRNS et al. 1997), doch bei der vorliegenden Untersuchung zeigen die in beiden Altersklassen vorkommenden Standorttypen kaum eine Veränderung der Werte (Abb. 31, vgl. Tab. 18 und 19 im Anhang). Die relative Investition von Biomasse in die unterirdischen Pflanzenteile ist auf den Deflationsflächen mit Medianen des R/S von rund 3,1 bis 3,3 g/g jeweils signifikant am größten. Auch die Werte der Flechtenheide liegen mit Medianen von ca. 1,6 bis 1,8 g/g noch relativ hoch und sind von den übrigen Standorttypen mit Ausnahme der Bulten signifikant abgesetzt. Die verbleibenden Standorttypen weisen mit Medianen zwischen rund 0,9 und 1,2 g/g einen nicht signifikanten Trend zu besonders geringen Wurzelinvestitionen im Weidengebüsch und am Uferstandort auf. Der absolut geringste Wert wird mit ca. 0,35 g/g in der Zwergstrauchheide erreicht, das Maximum findet sich mit rund 6,1 g/g in der Flechtenheide.

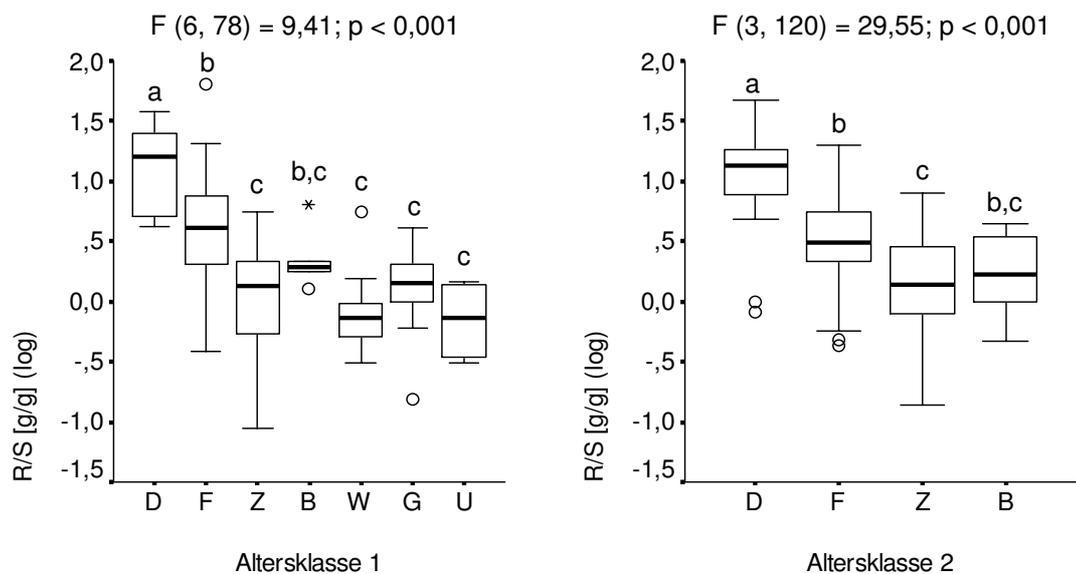


Abb. 31: Wurzel-Spross-Verhältnis (R/S) in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse (vgl. Tab. 2) (n = 209). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

#### 4.4.3 Wurzellängen

Die Wurzellänge (Abb. 32, vgl. Tab. 18 und 19 im Anhang) ist in Altersklasse 1 an den Deflationsstandorten mit einem Median von 258 cm signifikant höher als an Flechtenheide und Zwergstrauchheide mit Medianen von 105 bzw. 59 cm. Die Standorttypen Bulten, Weidengebüsch und Grasmoor nehmen mit Medianen von 128 bis 181 cm eine Übergangsstellung ein. Der Uferstandort zeigt mit einer medianen Wurzellänge von 29 cm im Schnitt die geringsten Werte. In Altersklasse 2 finden sich die längsten Wurzelsysteme mit einem Median von 710 cm ebenfalls an den Deflationsstandorten, die kürzesten mit 161 cm an der Zwergstrauchheide. Mit Ausnahme von Flechtenheide und

## 4 Ergebnisse

Bulten sind alle Standorttypen signifikant voneinander verschieden. Das kürzeste aller untersuchten Wurzelsysteme stammt mit 10,47 cm Wurzellänge aus der Zwergstrauchheide, das längste mit 1785,85 cm von einer Deflationsfläche.

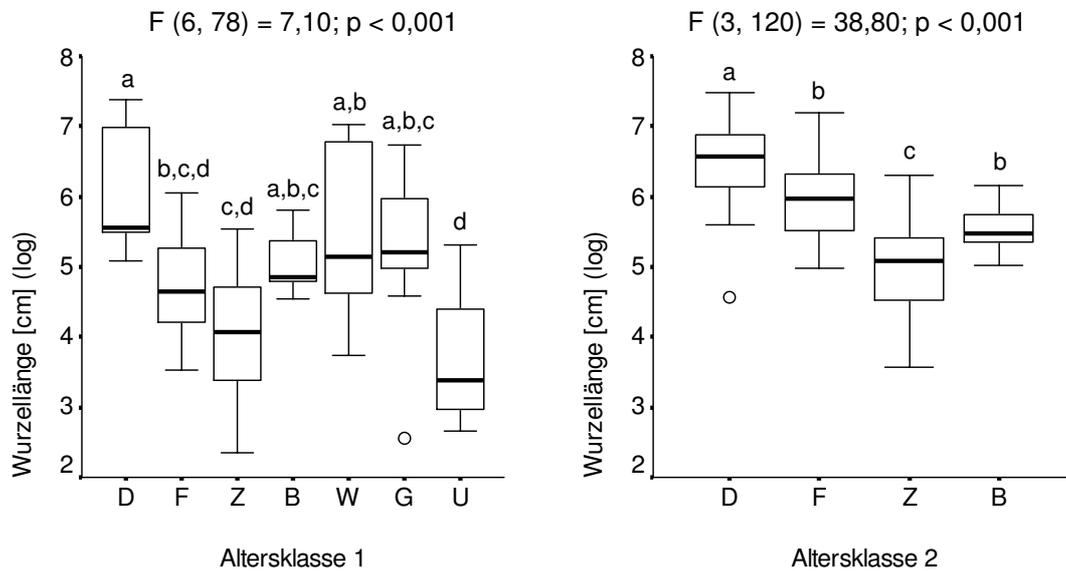


Abb. 32: Wurzellänge in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse (vgl. Tab. 2) ( $n = 209$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

### 4.4.4 Spezifische Wurzellängen

Hinsichtlich der indexierten spezifischen Wurzellänge ergeben sich zwischen den verschiedenen Standorttypen hauptsächlich nichtsignifikante Trends (Abb. 33, vgl. Tab. 20

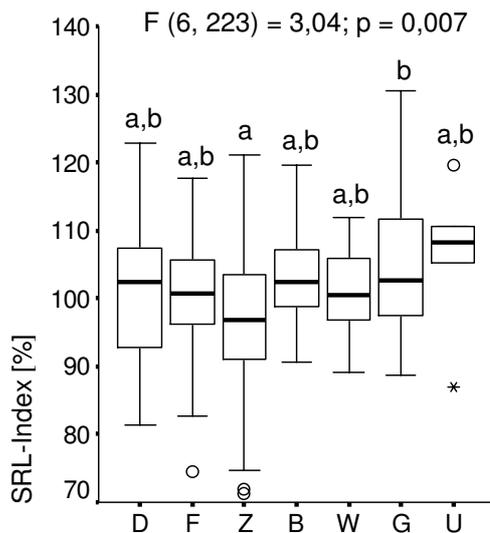


Abb. 33: Indexierte spezifische Wurzellänge in Abhängigkeit vom Standorttyp ( $n = 230$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

im Anhang). So ist der SRL-Index an den Deflationsstandorten mit einem Median von 102 % überdurchschnittlich hoch und nimmt über die Flechtenheide hin zur Zwergstrauchheide ab. Hier wird mit dem mit 97 % niedrigsten aller Mediane im Schnitt die geringste Wurzellänge, bezogen auf die investierte Biomasse, erreicht, ein signifikanter Unterschied besteht jedoch lediglich zum Grasmoor. Besonders große Wurzellängen pro Wurzeltrockengewicht finden sich am Uferstandort mit einem Median des SRL-Index von 108 %. Das Maximum aller Werte wird mit 130 % im Grasmoor erreicht, das Minimum stammt mit 71 % aus der Zwergstrauchheide.

#### 4.4.5 Wurzelverzweigungen

Hinsichtlich des Verzweigungskoeffizienten  $R$  [cm/n] ist insgesamt ein Anstieg mit zunehmendem Alter, also eine geringer werdende Verzweigungsintensität wahrnehmbar. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Standorttypen lassen sich allerdings weder für Altersklasse 1 ( $F(6, 78) = 0,83$ ;  $p = 0,549$ ) noch für Altersklasse 2 ( $F(3, 120) = 1,67$ ;  $p = 0,176$ ) feststellen. Bezogen auf Klassen vergleichbarer Gesamtwurzellänge (vgl. Tab. 3) sind jedoch deutliche Trends erkennbar (Abb. 34, vgl. Tab. 21 im Anhang). Zum einen nimmt innerhalb der Standorttypen die Verzweigungsintensität mit steigender Wurzellänge ab. Zum anderen lassen sich auch Unterschiede zwischen den Standorttypen ausmachen. Die Proben der Zwergstrauchheide weisen in allen Wurzellängenklassen relativ geringe Verzweigungsintensitäten auf. Die Pflanzen der Bulten, die sich fast ausschließlich auf Klasse 2 konzentrieren, sind hier ebenfalls recht schwach verzweigt. Stets verhältnismäßig stark verzweigt sind dagegen die Wurzelsysteme des Jungwuchses im Grasmoor. Signifikante Unterschiede zwischen den Standorttypen ergeben sich allerdings lediglich in Wurzellängenklasse 2 zwischen Grasmoor und Ufer ( $F(6, 128) = 2,58$ ;  $p = 0,021$ ) sowie in Klasse 3 zwischen Grasmoor und Zwergstrauchheide ( $F(4, 61) = 3,08$ ;  $p = 0,022$ ). In Klasse 1 fehlen signifikante Unterschiede ganz ( $F(4, 21) = 0,77$ ;  $p = 0,556$ ). Speziell bei den Proben der Deflationsflächen und gelegentlich auch der Flechtenheide fallen lokale Konzentrationen von Verzweigungen an der Unterseite von Steinblöcken und entlang von Bahnen abgestorbener Wurzeln auf.

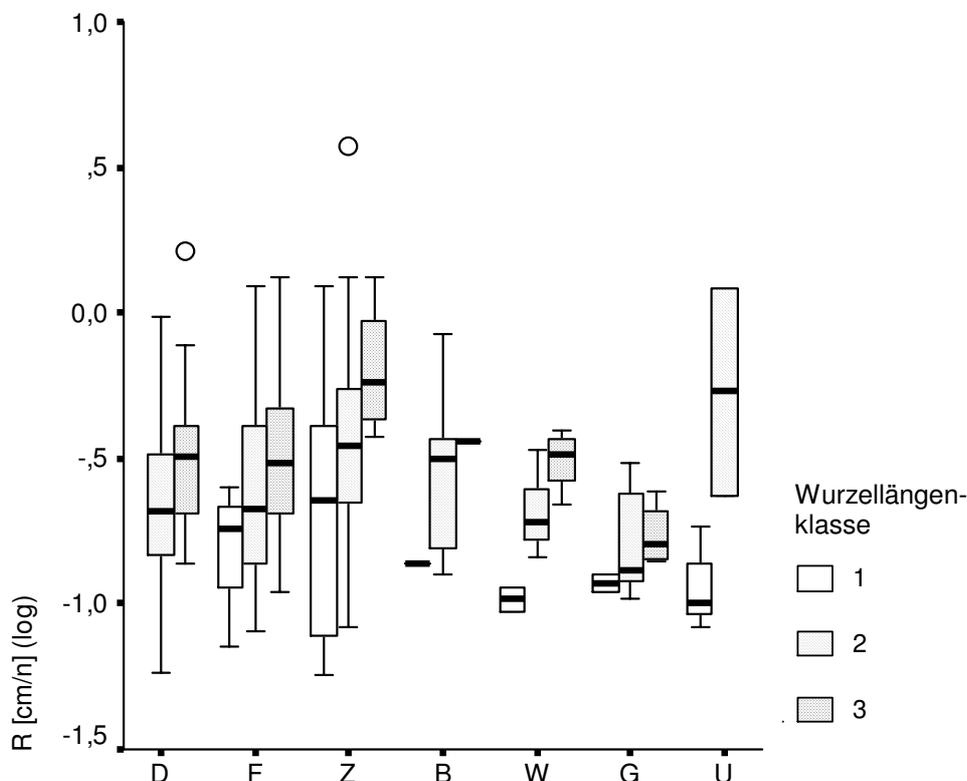


Abb. 34: Verzweigungskoeffizient  $R$  in Abhängigkeit von Standorttyp und Wurzellängenklasse (vgl. Tab. 3) ( $n = 230$ ). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

### 4.4.6 Mykorrhizierung

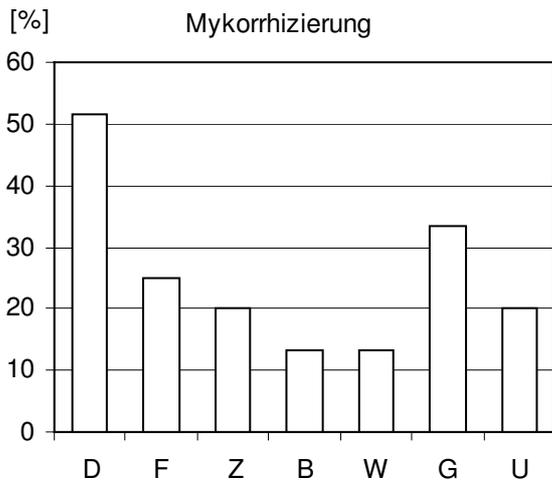


Abb. 35: Anteil des Jungwuchses mit erkennbarer Mykorrhizierung in Abhängigkeit vom Standorttyp (n = 230). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Der Anteil an Wurzelsystemen, die eine visuell erkennbare Mykorrhizierung aufweisen, ist auf den Deflationsflächen mit rund 52 % mit Abstand am höchsten, gefolgt vom Grasmoor mit ca. 33 % (Abb. 35; vgl. Tab. 17 im Anhang). Besonders niedrige Infektionsraten finden sich an den Standorttypen Bulten und Weidengebüsch mit jeweils etwa 13 %. Zusammenhänge zwischen Mykorrhizierung einerseits und Wurzel-Spross-Verhältnis, Verzweigungskoeffizient des Wurzelsystems oder Entfernung des Jungwuchses zur nächstgelegenen Altbirke andererseits sind nicht feststellbar.

### 4.4.7 Maximale Erstreckung der Wurzelsysteme

Die maximalen Durchwurzelungstiefen (Abb. 36, vgl. Tab. 18 und 19 im Anhang) sind im Schnitt an den Deflationsstandorten am größten. Der Median beträgt in Altersklasse 1 bereits 18 cm. Ausschließlich sehr flach wurzelnder Birkenjungwuchs findet sich hier gar nicht. Es bestehen signifikante Unterschiede zur Zwergstrauchheide, zum Grasmoor und zum Uferstandort. Die Maximaltiefen an den Standorttypen Flechtenheide und Zwergstrauchheide liegen bei den jüngeren Pflanzen mit Medianen von 6 bzw. 5 cm

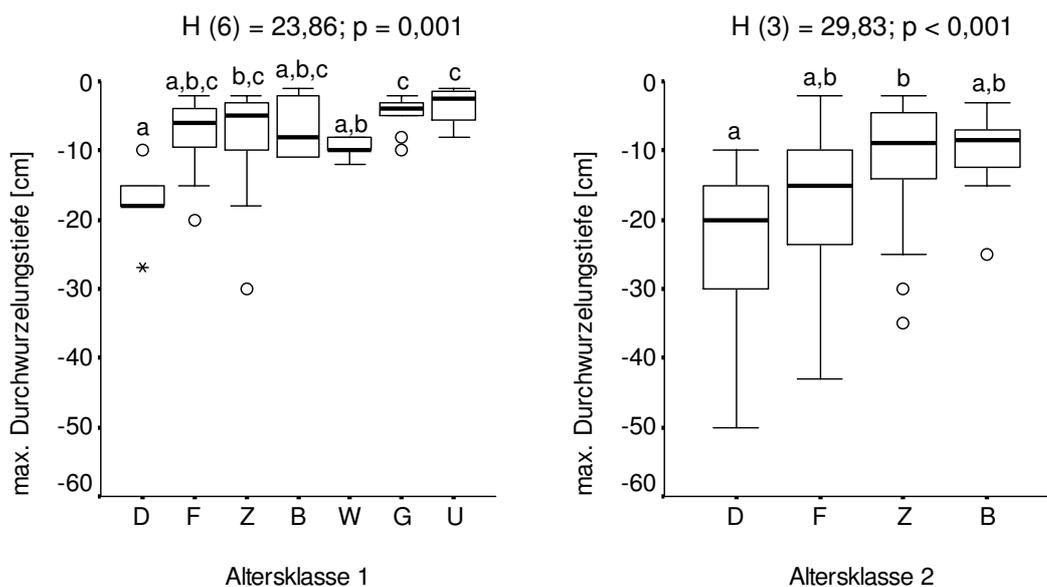


Abb. 36: Maximale Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse (vgl. Tab. 2) (n = 209). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

recht nah beieinander. Am Standorttyp Weidengebüsch gibt es keine ausschließlich flach wurzelnden Exemplare, allerdings ähnelt der Median von 10 cm dem der Bultenstandorte von 8 cm. Die flachsten Wurzelsysteme finden sich im Grasmoor und am Uferstandort mit Medianen von 4 bzw. 2,5 cm maximaler Wurzeltiefe. Ebenfalls im Grasmoor, aber auch bei auf Moospolstern im Weidengebüsch wachsenden Pflanzen finden sich häufig sprossbürtige und in der Regel nahe der Bodenoberfläche verlaufende Adventivwurzeln. Zwischen den Altersklassen unterscheiden sich die Mediane der maximalen Wurzeltiefen an den Standorttypen Deflation und Bulten nur unwesentlich. Der Jungwuchs in der Zwergstrauchheide und besonders der Flechtenheide wurzelt dagegen mit Medianen von 9 bzw. 15 cm in Altersklasse 2 deutlich tiefer. Die extremsten Durchwurzelungstiefen liegen in Altersklasse 2 bei allen Standorttypen außer der Zwergstrauchheide deutlich tiefer als bei den jüngeren Birken. Die geringste maximalen Wurzeltiefe von nur 1 cm wird sowohl bei den Bulten als auch am Uferstandort verzeichnet. Die größte gemessene Tiefe beträgt 50 cm auf einer Deflationsfläche.

Hinsichtlich der maximalen horizontalen Erstreckung der Wurzelsysteme sind die Unterschiede zwischen den Standorttypen geringer (Abb. 37, vgl. Tab. 18 und 19 im Anhang). In Altersklasse 1 lassen sich bei Medianen zwischen 10 und 30 cm keine signifikanten Unterschiede feststellen. In Altersklasse 2 dagegen ist die Durchwurzelungstiefe mit einem Median von 70 cm auf den Deflationsstandorten signifikant größer als in der Zwergstrauchheide und den Bultenflächen mit Medianen von je 27,5 cm. Die Spanne aller Werte reicht von 2 cm in der Flechtenheide bis zu 280 cm auf einer Deflationsfläche. Generell ist der Trend zu erkennen, dass Standorttypen mit tiefreichenden Wurzelsystemen auch eher eine große Durchwurzelungstiefe aufweisen. Eine Ausnahme bilden die Proben aus dem Grasmoor, deren Wurzelsysteme zwar extrem flach sind, sich horizontal aber sogar leicht überdurchschnittlich ausbreiten.

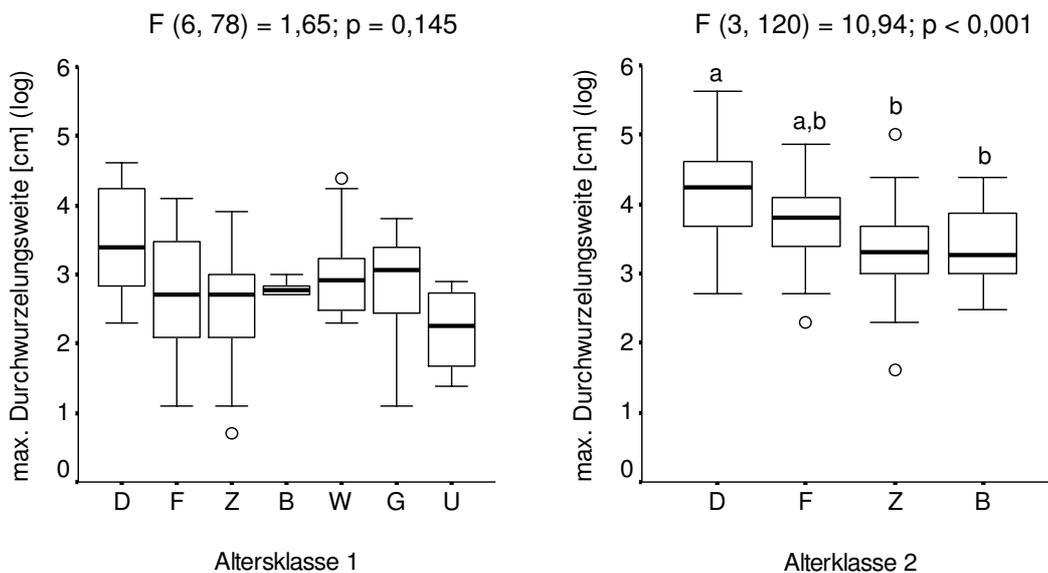


Abb. 37: Maximale Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit von Standorttyp und Altersklasse (vgl. Tab. 2) (n = 209). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Zur Darstellung s. Abb. 13.

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Birkenregeneration im oberen Waldgrenzökoton in Abhängigkeit vom Standortmosaik sehr unterschiedlich verläuft. Im Folgenden sollen für die einzelnen Standorttypen die Faktoren und Prozesse diskutiert werden, die die Birkenverjüngung beeinflussen.

### 5.1 Auswirkungen des Standortmosaiks auf die Birkenverjüngung

#### 5.1.1 Deflation

Auf den Deflationsflächen sind die derzeitig vorherrschenden Bedingungen für die Keimung von Birkenjungwuchs sehr schlecht, was sich in extrem geringen Dichten und dem Fehlen besonders junger Exemplare widerspiegelt (Abb. 16, Abb. 22). Ähnliche Beobachtungen von relativ älterem Jungwuchs auf exponierten Standorten und jüngerem in Schneeakkumulationsbereichen wurden in den südschwedischen Skanden gemacht (KJÄLLGREN & KULLMAN 1998).

Bereits der Sameneintrag gestaltet sich an diesem extrem windexponierten und vegetationsarmen Standorttyp schwierig. So können die leichten Birkensamen entlang der Gelände- bzw. im Winter entlang der Schneeoberfläche verblasen werden und sich dann in windgeschützteren Lagen sammeln (KULLMAN 1984b; PERALA & ALM 1990; HOLTMEIER 1993; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002; SEPPÄLÄ 2004).

Die ausgeprägte Trockenheit auf den Deflationsflächen stellt ein weiteres Hindernis für die Birkenkeimung dar (HOLTMEIER et al. 2003; HOLTMEIER 2005; HOLTMEIER & BROLL 2005). Den vorliegenden Bodenfeuchtedaten (Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang) ähnliche niedrige Werte finden sich an vergleichbaren, teilweise als „arid“ bezeichneten Standorten der Finnmarksvidda (MOSIMANN 1985; HAAPASAARI 1988). Selbst die in einem überdurchschnittlich regenreichen Vergleichszeitraum in der Vegetationsperiode 2001 auf den Untersuchungsflächen am Rodjanoaivi erhobenen Werte liegen im Schnitt bei lediglich 15 Vol.-%, und damit kaum höher als im sehr trockenen Sommer 2003 (ANSCHLAG 2002). Die Gründe hierfür sind neben dem durchlässigen Substrat der gut drainierten Moränen (LAINE & NURMI 1971) das Fehlen einer Wasser speichernden organischen Auflage (Tab. 6, Tab. 12 im Anhang; zu ihrer Bedeutung für die Feldkapazität vgl. MOSIMANN 1983; BROLL 2000; HOLTMEIER et al. 2004) und die Relieflage. So erhalten die Flächen kein Zuschusswasser von umliegenden Hängen, und Wind- und Strahlungsexponiertheit sowie der Mangel an Schatten durch Vegetation bedingen eine hohe potentielle Evaporation (z. B. KALLIO 1975; WIELGOLASKI 1975; MANSIKKANIEMI & LAITINEN 1990; HOLTMEIER et al. 2004). Ein weiterer Grund für die Trockenheit ist die geringe oder fehlende winterliche Schneedecke und damit das

Ausbleiben von Schmelzwasser zu Beginn der Vegetationsperiode (HOLTMEIER 2006). Die an den Deflationsstellen auch schon bei relativ jungen Pflanzen sehr tief reichenden Wurzelsysteme weisen auf die Schwierigkeiten der Wasserversorgung hin (Abb. 36; vgl. LAITAKARI 1935; DAVIES & BACON 2003). Junge Keimlinge mit noch sehr schwach entwickelten Wurzelsystemen können der Trockenheit leicht zum Opfer fallen.

Auch extreme Temperaturen, wie sie an den Deflationsstandorten vorkommen (Tab. 8, Abb. 41 im Anhang; vgl. KÄRENLAMPI 1972; MOSIMANN 1985; HOLTMEIER et al. 2003), können die Pflanzen schädigen. Große Hitze stellt besonders für Keimlinge ein Problem dar (PERALA & ALM 1990; INNES 1998) und behindert Wurzelwachstum und Enzymaktivität (MCMICHAEL & BURKE 2002). Es wurden allerdings im Untersuchungszeitraum keine Temperaturen von über 40°C erreicht, bei denen Proteine zerstört werden können (vgl. JALKANEN 1993). Ein vermutlich weit größeres Problem sind starke Temperaturschwankungen mit zahlreichen Frostwechseln, wie sie an so exponierten Standorten ohne schützende Schnee- bzw. Vegetationsdecke üblicherweise zu finden sind (Tab. 8, Abb. 41 im Anhang; vgl. HOLTMEIER 1979, 2006; UKKOLA 1995; HOLTMEIER et al. 2003, 2004). Infolge von Frosthebung kann es zum Zerreißen der Wurzelsysteme bis hin zur Entwurzelung der Keimlinge kommen (vgl. KARLSSON 1996; FORBES et al. 2005; KARLSSON et al. 2005). Wegen der gegenüber oberirdischen Pflanzenteilen geringeren Frosthärte von Wurzeln können diese unter Umständen auch direkt durch niedrige Temperaturen geschädigt werden. Diese Gefahr ist für flach verlaufende Wurzeln, wie sie sich bei noch sehr jungen Pflanzen vorwiegend finden, besonders hoch (JALKANEN 1993; WEIH & KARLSSON 2002; KARLSSON et al. 2005).

Außerdem kann sich an im Winter schneefreien Standorten mit tief in den Boden eindringendem Frost, wie sie hier vorliegen, auch bei Laub werfenden Pflanzen aufgrund peridermaler Transpiration eine chronische Frosttrocknis entwickeln (LARCHER 1985; HOLTMEIER 2003). Auch diese Gefahr betrifft vor allem jüngere Pflanzen mit noch schwächer entwickelten Wurzelsystemen.

Die Bodenprofile der Deflationsflächen zeigen eindeutig gekappte reliktsche Podsole, deren Oberbodenhorizonte im Laufe der Zeit abgetragen wurden (WALD 2004). Die besonders auf den sehr sandigen und skelettarmen Deflationsflächen des Staloskaidi häufig zu beobachtenden, teilweise bis zu 30 cm weit freigelegten Wurzelanfänge (Kapitel 4.3.6) veranschaulichen die Geschwindigkeit dieses Bodenabtrags.

Die Bildung der Podsole muss unter einer Vegetationsdecke stattgefunden haben. Wenngleich auch bereits unter dichter Zwergstrauchheide eine Podsolierung erfolgen kann (BROWN & TEDROW 1964), spricht doch vieles für eine Bodenentwicklung unter Waldbedeckung. So lag die Waldgrenze der Birke in Nordfinnland während der postglazialen Wärmeperiode mindestens 150 bis 200 m höher als heute. Vor rund 3000 Jahren erreichte sie etwa ihre heutige Ausdehnung, jedoch kam es zwischenzeitlich zu mehreren

Schwankungen (HAVAS 1984; SEPPÄ 1996; AAS & FAARLUND 2001). Jüngste Kartierungen (HOLTMEIER et al. 2003, 2004) zeigen, dass der offene Birkenwald im Untersuchungsgebiet bis zu einer Höhe von 380 bis 400 m ü.NN gereicht hat. Für eine Radiokarbondatierung zu junge Holzreste lassen darauf schließen, dass noch nach 1950 viele Birken abgestorben sind (HOLTMEIER & BROLL 2006). Vermutlich steht dieser Rückgang in Zusammenhang mit einem Massenausbruch des Grünen Spanners (*Epirrita autumnata*, Lep. Geometridae) im Jahr 1955 und anschließender Verhinderung der Wiederbewaldung der kahlgefressenen Flächen sowie Bodendegradierung durch intensive Rentierbeweidung (HOLTMEIER et al. 2003; vgl. KALLIO & LEHTONEN 1973, 1975; LEHTONEN & HEIKKINEN 1995).

Möglicherweise keimte der derzeit auf den Deflationsflächen vorzufindende Birkenjungwuchs also noch unter ganz anderen Bedingungen. Dafür spricht z. B., dass sich die Pflanzen häufig in Randbereichen von Deflationsflächen oder in inselhaften Vegetations- und Auflageresten finden. Auch sind die Jungwuchsdichten auf den kleineren Deflationsflächen von Staloskaidi und Rodjanoaivi höher als auf den größeren und an Randzonen ärmeren Flächen am Koahppeloaivi (Kapitel 4.3.1). Möglicherweise haben sich die Deflationsflächen also oftmals um bereits vorhandenen Jungwuchs herum ausgebreitet.

Ist der Jungwuchs erst einmal etabliert, so kann er auf den Deflationsflächen lange Zeit überdauern (KULLMAN 1984a; HOLMGREN & TJUS 1996). Der Entwicklung von hochstämmigen Bäumen steht jedoch eine große Zahl von Stressfaktoren entgegen.

Bei den Deflationsflächen handelt es sich um Standorte geringer Produktivität. Neben der oft herrschenden Trockenheit ist auch die Nährstoffversorgung ein großes Problem für die Pflanzen. Stickstoff ist in den Profilen nicht und organische Substanz höchstens in geringen Mengen nachweisbar, und die Kationenaustauschkapazität der mineralischen Horizonte ist sehr gering (Tab. 13 und 14 im Anhang; WALD 2004; zur geringen Nährstoffverfügbarkeit vgl. z. B. HINNERI et al. 1975; EVERETT et al. 1981; MOSIMANN 1985; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002; MEIER et al. 2005). Dies schlägt sich in sehr hohen Investitionen des Birkenjungwuchses in seine Wurzelsysteme nieder (vgl. LYR & HOFFMANN 1967; WIELGOLASKI et al. 1981; RASMUSSEN 1995; CAIRNS et al. 1997; OVASKA et al. 2005).

So werden z. B. hohe Wurzel-Spross-Verhältnisse, wie sie bei den Proben der Deflationsstandorte vorliegen (Abb. 31), durch ungünstige Standortfaktoren wie Oligotrophie und Trockenstress hervorgerufen (LYR & HOFFMANN 1967; WERGER 1983; BLOOM et al. 1985; KÖRNER & RENHARDT 1987; ATKINSON 2000). Auf nährstoffarmen Sandböden sind Wurzel-Spross-Verhältnisse generell größer als auf humusreichen Böden (POLOMSKI & KUHN 1998), und speziell für Birken wurden darüber hinaus auf trockenen Sandböden größere Werte als auf feuchten festgestellt (LAIKAKARI 1935).

Besonders Mangel an Stickstoff, aber auch an Phosphor und Schwefel, löst ein solches Erscheinungsbild aus (HERMANN 1977; McDONALD et al. 1986; MARSCHNER 1993; ERICSSON 1995). Die Pflanzen steigern so ihre Kapazität, die am stärksten limitierende Ressource aufzunehmen (BLOOM et al. 1985; ATKINSON 2000; FARRAR & JONES 2003). Für Nordschweden wird es aufgrund hoher Wurzel-Spross-Verhältnisse von *Betula cze-repanovii* und geringer Mengen extrahierbaren Stickstoffs für möglich gehalten, dass die Limitierung des Baumwachstums oberhalb der Waldgrenze auf Nährstoffmangel zurückzuführen ist (SVEINBJÖRNSSON 1987, 2001). Hohe Bodentemperaturen, wie sie auf den Deflationsflächen während der Vegetationsperiode vorkommen (Tab. 8, Abb. 41 im Anhang), würden normalerweise geringe Wurzel-Spross-Verhältnisse bedingen. Dies ist jedoch auf in der Regel bessere Mineralisationsbedingungen und eine höhere Wurzelaktivität in wärmeren Böden sowie gegebenenfalls auf gleichzeitige Limitierung der Photosynthese durch zu hohe Lufttemperaturen zurückzuführen (z. B. WERGER 1983; WILSON 1988; SKRE 1991, 1993, 2001; FRIEND et al. 1994). Bei Böden mit geringer Nährstoffverfügbarkeit, wie sie sich hier finden, sind allerdings auch bei hohen Bodentemperaturen hohe Werte zu erwarten (SKRE 1992).

Weitere Auslöser für hohe Wurzel-Spross-Verhältnisse können Windexponiertheit (RASMUSSEN 1995) und Frostrocknis (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002) sein. Auch eine lange Wurzellebensdauer infolge der geringen mikrobiellen Aktivität oligotropher Standorte führt zu einer Erhöhung des Wurzel-Spross-Verhältnisses (WIELGOLASKI et al. 1981). Alle diese Gründe können zu den hohen Werten auf den Deflationsflächen beitragen. Herbivorie dagegen hat keinen Einfluss auf das Verhältnis, da die Pflanze auf Reduktion eines Pflanzenteils mit Nachwachsen reagiert und rasch zum alten Gleichgewicht zurückfindet (HUCK 1977; FARRAR & JONES 2003).

Auch hohe Gesamtwurzellängen (Abb. 32), große horizontale Durchwurzelungsweiten (Abb. 37) und speziell hohe spezifische Wurzellängen (Abb. 33) sind ein Indikator für die Wasser- und Nährstoffarmut der Deflationsflächen, da längere und dünnere Wurzeln, bezogen auf die investierte Biomasse, eine höhere Effizienz für die Aufnahme von Ressourcen zeigen (BAKKER 1999; LAURENROTH & GILL 2003). Direkt lassen sich die Ergebnisse allerdings nur mit jenen der Flechten- und der Zwergstrauchheide vergleichen, da die Wurzeln an den übrigen Standorttypen hauptsächlich bzw. ausschließlich durch organische Horizonte mit geringerem mechanischen Widerstand verlaufen und daher prinzipiell weniger im Längenwachstum gehemmt werden (POLOMSKI & KUHN 1998; ATKINSON 2000; HUTCHINGS & JOHN 2003).

Stellt man also nur erstere drei Standorttypen nebeneinander, so finden sich in den Deflationsbereichen die längsten Wurzelsysteme und die dünnsten Wurzeln. Zum einen kann zunehmende Trockenheit des Standortes, wie sie hier gegeben ist (Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang), die Ausbildung längerer Wurzelsysteme fördern. Zum anderen werden längere und dünnere Wurzeln durch abnehmende Nährstoffverfügbarkeit

hervorgerufen (LAITAKARI 1935; LYR & HOFFMANN 1967; INGESTAD & LUND 1979). Speziell für die Aufnahme immobiler Ionen kann so mehr Wurzelraum erschlossen und über eine größere Wurzeloberfläche können mehr Nährstoffe aufgenommen werden (MARSCHNER 1993; POLOMSKI & KUHN 1998; HUTCHINGS & JOHN 2003).

Die Böden der Deflationsflächen weisen vor allem in den oberen Horizonten zum Teil geringere Lagerungsdichten auf als jene unter Flechten- und Zwergstrauchheide (Tab. 12 im Anhang). Auch dies kann zu einer höheren spezifischen Wurzellänge beitragen, da der geringere bodenmechanische Widerstand eine geringere Stauchung der Wurzeln bedeutet (PLAUT et al. 1997; BENGOUGH 2003; DAVIES & BACON 2003). Darüber hinaus kann die Ausbildung dünnerer Wurzeln auch durch höhere Bodentemperaturen gefördert werden (CALLAGHAN et al. 1991; FRIEND et al. 1994), wie sie sich während der Vegetationsperiode an den Deflationsstellen finden (Tab. 8).

Dicht verzweigte Wurzelsysteme sind für die Aufnahme mobiler Ressourcen wie z. B. Phosphat gut geeignet. Hinsichtlich der Aufnahme mobiler Ressourcen wie Stickstoff und Wasser sind sie jedoch generell weniger effizient, da es zur Überlappung der Depletionszonen kommen kann (BAUHUS & MESSIER 1999a; CAMPBELL et al. 2002; HO et al. 2004). Kommen diese mobilen Ressourcen allerdings nur in kleinen, räumlich konstanten Bereichen vor, so ist ihre präzise Ausnutzung durch lokal begrenzten Verzweigungsreichtum wirtschaftlicher (HARPER et al. 1991; DUNBABIN et al. 2004). Beschreibungen solcher Wurzelsysteme mit einem eher gering verzweigten Verlauf in ressourcenarmen Bodenbereichen und starken Verzweigungen in ressourcenreicheren Zonen finden sich in der Literatur häufig (BLOOM et al. 1985; RASMUSSEN 1995; POLOMSKI & KUHN 1998; STONE & KALISZ 1999; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; BENGOUGH 2003). Die zum Teil starke Verästelung von Birkenwurzeln unter größeren Steinen (Kapitel 4.4.5) erklärt sich mit einer lokalen Wasseransammlung nach Niederschlagsereignissen (vgl. BROLL 1994). Alte, mit organischer Substanz gefüllte Wurzelröhren bedeuten für die in ihnen wachsenden Wurzeln sowohl eine relativ gute Versorgung mit Wasser und Nährstoffen als auch gegebenenfalls eine Infizierung mit Mykorrhiza (PERALA & ALM 1990; VOGT et al. 1995). Gerade unter den extrem stressigen und nährstoffarmen Bedingungen zur Trockenheit neigender Böden mit geringen Gehalten organischer Substanz ist diese Mykorrhizierung besonders wichtig (KÖSTLER et al. 1968; MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002). Entsprechend findet sich an den Deflationsflächen die höchste Mykorrhizierungsrate aller untersuchten Standorttypen (Abb. 35). Dies kann aber u. a. auch zurückzuführen sein auf eine mögliche längere Wurzellebensdauer (WIELGOLASKI et al. 1981) oder auf den gegenüber den übrigen Standorttypen höheren Altersdurchschnitt der Pflanzen (Abb. 22). Bei jüngeren Wurzeln ist die Wahrscheinlichkeit einer bereits erfolgten Kolonialisierung durch Mykorrhiza geringer (SVEINBJÖRNSSON et al. 2002).

Die oberirdischen Pflanzenteile weisen auf den Deflationsflächen starke Schäden auf (Abb. 28, Abb. 29). Diese können u. a. auf die winterliche Schneearmut des Standortes zurückgeführt werden (Tab. 8; vgl. WALTER & BRECKLE 1994; HOLMGREN & TJUS 1996; HOLTMEIER 2006). Die ungeschützt den Witterungsverhältnissen ausgesetzten Sprosse können durch Schneegebläse und durch direkte Frosteinwirkung, besonders durch Früh- und Spätfröste, verletzt werden und letztlich Krüppelwuchs zeigen (MOSIMANN 1985; PERALA & ALM 1990; HOLTMEIER 2003). Ganzjährig kann Sandgebläse zu Schäden führen (HOLTMEIER 2005).

Eine weitere Ursache für die starken Sprossschäden ist in der Einwirkung durch Herbivoren zu suchen. So flüchten sich etwa Rentiere vor der sommerlichen Insektenplage auf die windigen Deflationsflächen und verursachen dabei starke Vertritt- und auch Verbisschäden an den leicht auffindbaren Birkenexemplaren (LUOTO & SEPPÄLÄ 2000; HELLE 2001; HOLTMEIER 2002). Dass eine intensive Beweidung durch Rentiere geringe Jungwuchsdichten und Größenzuwächse zur Folge hat, wie sie unter anderem auch auf den hier untersuchten Deflationsflächen zu finden sind (Abb. 16, Abb. 23), wurde in vielen Studien nachgewiesen (z. B. HEIKKINEN & KALLIOLA 1989; EILERTSEN et al. 2002; DEN HERDER & NIEMELÄ 2003; LEMPA et al. 2005a). Darüber hinaus stellen im Winter über die Schneedecke herausragende Birkentriebe eine wichtige Nahrungsquelle für Schneehasen (*Lepus timidus*) dar (HOLTMEIER 1974; SUOMELA et al. 1997; DEN HERDER & NIEMELÄ 2003). Im Gegensatz dazu sind Rindenschäden durch Wühlmäuse (Arten der Gattungen *Microtus* und *Clethrionomys*) eher unter einer mächtigeren Schneedecke zu erwarten (OKSANEN & VIRTANEN 1995; TENOW et al. 2005). Die zahlreichen Sprossverletzungen können über eine leichtere Infizierung zu dem intensiven Pilzbefall der Stämme beitragen (Abb. 28). Der hohe Befall durch Invertebraten an den Deflationsstellen (Abb. 27) mag eine Folge der leichten Auffindbarkeit des Birkenjungwuchses oder der hohen Sommertemperaturen sein.

### 5.1.2 Flechtenheide

Die Keimungsbedingungen für Birken sind in der Flechtenheide deutlich besser als auf den Deflationsflächen, was an der zehnfach erhöhten Jungwuchsdichte und dem Vorkommen auch jüngerer Exemplare abzulesen ist (Abb. 16, Abb. 22). Infolge der gegenüber den exponierteren Kuppenlagen geringeren Windgeschwindigkeit ist hier die Ablagerung von Samen wahrscheinlicher (KULLMAN 1984b; PERALA & ALM 1990; HOLTMEIER 1993; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002). Wegen der Steilheit der meisten Flächen und häufiger Rutschungen gibt es eine Vielzahl gestörter Bodenstellen. Diese sind wegen geringer Konkurrenz und relativ hoher Bodentemperaturen während der Vegetationszeit für die Keimung gut geeignet (PERALA & ALM 1990; HOBBIÉ & CHAPIN 1998; FORBES et al. 2005). Andererseits sind die Temperaturen weniger extrem als an den Deflationsflächen (Tab. 8, Abb. 42 im Anhang). Auch die Bodentrockenheit ist weniger stark ausgeprägt (Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang). Darüber hinaus liegt unter

Flechtenheide – im Gegensatz zu den Deflationsbereichen – die Bodenfeuchte in niederschlagsreicheren Vegetationsperioden deutlich höher als im sehr trockenen Sommer 2003. So beträgt der durchschnittliche Wert für den Vergleichszeitraum 2001 27 Vol.-% im Gegensatz zu nur rund 10 Vol.-% 2003 (ANSCHLAG 2002). Dies liegt außer an der geringeren Windexposition vor allem daran, dass der Großteil der Fläche eine zumindest geringmächtige organische Auflage aufweist (Tab. 6, Tab. 12 im Anhang), die die Wasserhaltefähigkeit der Böden deutlich verbessert (vgl. MOSIMANN 1983; BROLL 2000; HOLTMEIER et al. 2004). So wird das gelegentliche Vorkommen von Birkenjungwuchs mit ausschließlich sehr flach verlaufenden Wurzeln ermöglicht (Abb. 36). Diese sind hier auch weniger stark durch Frost gefährdet als auf den Deflationsflächen (vgl. Tab. 8). Während des Winters findet sich an solchen Standorten häufig eine zumindest geringmächtige Schneedecke, und gegen Früh- und Spätfröste kann bereits Flechtenvegetation allein einen gewissen Schutz bieten (KASHULINA et al. 1997; SUTINEN et al. 1997).

Dennoch sind auch hier die Stressfaktoren zahlreich. Die unter Flechtenheide geringeren Wurzel-Spross-Verhältnisse und die Neigung zu geringeren spezifischen Wurzellängen (Abb. 32, Abb. 33) zeigen an, dass die Versorgung mit Bodenressourcen zwar weniger kritisch als in den Deflationsbereichen, aber immer noch relativ problematisch ist (vgl. LYR & HOFFMANN 1967; WERGER 1983; BLOOM et al. 1985; KÖRNER & RENHARDT 1987; ATKINSON 2000). Die Halbierung der Mykorrhizierungsrate gegenüber den Deflationsflächen (Abb. 35) muss nicht notgedrungen nur auf geringeren Stress zurückzuführen sein. Möglicherweise behindern auch allelopathische Substanzen aus den Flechten die Kolonialisierung der Wurzeln der Birken (z. B. KALLIO et al. 1983; LEHTONEN 1987; HELLE 2001), so wie es für Kiefern nachgewiesen wurde (SUOMINEN & OLOFSSON 2000).

Die Intensität der Sprossschädigung (Abb. 28, Abb. 29) entspricht annähernd der auf den Deflationsflächen. Die Gefahr klimatisch bedingter Schäden ist immerhin nur solange geringer, wie die Pflanzenteile noch nicht über die geringmächtige winterliche Schneedecke herausragen (BLÜTHGEN 1942, 1952; MOSIMANN 1985; HOLTMEIER 2003). Zusätzlich sind vor allem bei steileren Flächen Verletzungen durch Hangrutschungen möglich. Da die untersuchten Flächen direkt an Deflationsbereiche angrenzen, sind auch sie sehr stark von Rentieren frequentiert.

### 5.1.3 Zwergstrauchheide

In der Zwergstrauchheide sind die Keimungsbedingungen schlechter als in der Flechtenheide, wie die geringere Jungwuchsdichte zeigt (Abb. 16). Die Ansammlung vergleichsweise großer Samenmengen ist zwar an diesen windberuhigten Standorten wahrscheinlich (KULLMAN 1984b; PERALA & ALM 1990; HOLTMEIER 1993; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002), jedoch ist das Keimbett weniger gut geeignet. Es findet sich eine mächtigere

organische Auflage als unter Flechtenheide (Tab. 6, Tab. 12 im Anhang). Die Gründe hierfür sind in der ligninreichen Streu der Zwergsträucher mit ihrem weiten C/N-Verhältnis und folglich in einer langsameren Mineralisation zu suchen (Tab. 13 im Anhang; vgl. BROLL 1994). Außerdem kann es zu Streueintrag von umliegenden exponierteren Bereichen kommen (FAHNESTOCK et al. 2000). Die Auflage (in der Regel Moder, vgl. WALD 2004) sowie die Konkurrenz durch die dichte Vegetation behindern das Aufkommen von Birkenjungwuchs (SKARTVEIT et al. 1975; MOSIMANN 1985; KARLSSON et al. 2005). Dafür spricht auch sein gelegentlich geclustertes Vorkommen an gestörten Bodenstellen (Kapitel 4.3.1).

Die Ausprägung der Wurzelsysteme unter Zwergstrauchheide kann für im Vergleich zu Deflationsflächen und Flechtenheide geringen Stress hinsichtlich der Ressourcenverfügbarkeit sprechen. Die höheren Bodenfeuchtwerte (Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang) beruhen auf der Wasserspeicherfähigkeit der organischen Auflage und auf dem Zustrom von Hangzuschusswasser (z. B. MOSIMANN 1985). Sie erklären die oftmals recht flachen Wurzelsysteme (Abb. 36). Die niedrigen Wurzel-Spross-Verhältnisse (Abb. 31), die tendenziell geringen spezifischen Wurzellängen (Abb. 33) sowie die geringe Verzweigungsintensität (Abb. 34) und Mykorrhizierungsrate (Abb. 35) können ebenfalls als Indikator einer besseren Wasser- wie auch Nährstoffversorgung interpretiert werden (PERALA & ALM 1990; BAUHUS & MESSIER 1999a; ATKINSON 2000; KARLSSON et al. 2000; BOUMA et al. 2001; MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001; CAMPBELL et al. 2002; DAVIES & BACON 2003; HUTCHINGS & JOHN 2003).

Allerdings können diese niedrigen Werte eventuell auch auf allelopathische Hemmung zurückgeführt werden. Birken reagieren generell empfindlich auf allelopathische Substanzen (PERALA & ALM 1990). In den Untersuchungsflächen der Zwergstrauchheide erreicht *Empetrum hermaphroditum* meist sehr hohe Deckungen (Tab. 10 im Anhang; DREES 2004). Diese Art ist bekannt für die Ausscheidung von Substanzen, die die Wurzelsystementwicklung von Birken hemmen (WEIH & KARLSSON 1999). Für *Pinus sylvestris* wurden konkret Einschränkungen des Wurzellängenwachstums, der Bildung von Wurzelspitzen, der Mykorrhizierung sowie der Keimung nachgewiesen (NILSSON et al. 1993). Eine Hemmung der Mykorrhizierung von Birkenwurzeln durch allelopathische Substanzen wurde ebenfalls beobachtet für *Deschampsia flexuosa* (KÖSTLER et al. 1968) bzw. vermutet für viele Flechten, speziell *Cladonia stellaris* (HELLE 2001). Die genannten Arten haben unter den untersuchten Standorttypen ihren Verbreitungsschwerpunkt in der Zwergstrauchheide (Tab. 10 im Anhang; DREES 2004).

Die Zahl der Stammverletzungen wie auch der Sprossschäden insgesamt ist nicht wesentlich geringer als beim Jungwuchs der Deflationsstandorte und der Flechtenheide (Abb. 28, Abb. 29). Auch ist die Gesamthöhe der Birken nicht größer (Abb. 21). Da Schäden durch Frost und Schneeschur an diesen durch eine mächtigere Schneedecke gekennzeichneten Standorten nicht zu erwarten sind, handelt es sich hierbei vermutlich

vorwiegend um Schäden durch Herbivoren. In Abhängigkeit von der Schneedeckendauer kann der Jungwuchs darüber hinaus durch eine Verkürzung der Vegetationszeit beeinträchtigt werden (z. B. HOLTMEIER 2003).

### 5.1.4 Bult-Schlenken-Komplex

Die Voraussetzungen für die Birkenkeimung sind auf den Bultenflächen besser als in der Flechten- oder Zwergstrauchheide (Abb. 16), wenngleich das Vorkommen von Jungwuchs sich im Wesentlichen auf die Bultseiten beschränkt. Vergleichbare Beobachtungen liegen aus dem Gebiet Kilpisjärvi vor (HOLTMEIER et al. 2003). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass einerseits die Oberfläche der Bultapizes während der Vegetationsperiode sehr heiß und trocken werden kann. Andererseits sind diese Bereiche im Winter oft schneefrei (vgl. das Vorkommen chionophober Arten, Kapitel 4.1), und es kann zu Frostschäden kommen (WIELGOLASKI 1975; WALTER & BRECKLE 1994). Die Schlenken andererseits sind stark vernässt oder führen episodisch Wasser (Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang; vgl. SCHUNKE 1981; SCHUNKE & ZOLTAI 1988; EUROLA & VIRTANEN 1991). Unter diesen Bedingungen ist die Keimung gehemmt. Fernerhin finden sich an den steilen Bultflanken gelegentlich Bodenabrisse, die ein prinzipiell günstigeres Keimbett für die Birke darstellen (PERALA & ALM 1990; HOBBIÉ & CHAPIN 1998; FORBES et al. 2005). Dies kann auch gelegentliche räumliche Konzentrationen des Jungwuchses (Kapitel 4.3.1) erklären.

Die Sprossschäden sind nicht so extrem wie bei den zuvor behandelten Standorttypen (Abb. 28, Abb. 29). So sind z. B. an den steilen Bultseiten Vertrittschäden nicht zu erwarten, und in den unteren Bultbereichen ist aufgrund einer ausreichend mächtigen Schneedecke nicht mit Frostschäden zu rechnen. Auf die Jungwuchsgrößen wirkt sich dies jedoch nicht positiv aus (Abb. 21), was auch hier Fraßschäden durch Herbivoren vermuten lässt.

Gemessen an der relativ geringen Intensität von Sprossverletzungen ist der Pilzbefall der Stämme relativ hoch (Abb. 28). Dies spricht für eine verstärkte Infizierung über die Wurzelsysteme. Schäden an den Wurzeln und damit potentielle Infektionsstellen können eventuell durch kryoturbate Spannungen im Bultinneren ausgelöst werden (ARNO 1984; WEIH & KARLSSON 2002; KARLSSON et al. 2005). Darüber hinaus konservieren die während des Sommers oft trockenen Torfauflagen gut die Kälte im Bultinneren (RUUHJÄRVI 1960; WALTER & BRECKLE 1994; SEPPÄLÄ 1998). Dies hat eine Verkürzung der Vegetationszeit sowie eine geringere Mineralisierung und Wurzelaktivität zur Folge, die sich ungünstig auf das Baumwachstum auswirken (WALTER & BRECKLE 1994; KARLSSON & NORDELL 1996; WEIH & KARLSSON 1999). Für diese Hinderungsgründe spricht die Seltenheit größerer Wurzeltiefen auch bei bereits länger etablierten Pflanzen (Abb. 36).

### 5.1.5 Weidengebüsch

Die relativ hohen Jungwuchsdichten am Standorttyp Weidengebüsch (Abb. 16) sprechen für gute Keimungsbedingungen. Zum einen finden sich häufig gestörte offene Bodenstellen, zum anderen können Birken in der Regel auch auf Sphagnumpolstern, wie sie hier häufig vorkommen (DREES 2004), recht gut keimen (KINNAIRD 1974; PERALA & ALM 1990). Ältere Exemplare fehlen in den Untersuchungsflächen selbst (Abb. 22), wurden aber in vergleichbaren Bereichen festgestellt (Kapitel 4.3.2).

Die Bodenressourcen scheinen an diesem Standorttyp das Birkenwachstum weniger als an den übrigen Standorttypen zu limitieren. Die Wasserversorgung ist gut und konstant (Abb. 13-15, Tab. 7, Abb. 46-48 im Anhang). Überstauung tritt vermutlich nicht auf, da keine extremen Flachwurzler vorkommen (Abb. 36). Enge C/N-Verhältnisse und vergleichsweise hohe Gesamtstickstoffgehalte deuten auf gute Abbaubedingungen hin (Abb. 10; WALD 2004). Eine erhöhte Produktivität und Nährstoffmineralisierung entlang von Wasserläufen sind in Tundragebieten üblich (HOBBIE & CHAPIN 1998). Dies erklärt die geringen Investitionen der Birken in ihre Wurzelsysteme. Niedrige Wurzel-Spross-Verhältnisse (Abb. 31) und die im Vergleich mit den übrigen hauptsächlich durch organische Horizonte gekennzeichneten Standorttypen (zur Vergleichbarkeit s. POLOMSKI & KUHN 1998; ATKINSON 2000; HUTCHINGS & JOHN 2003) etwas geringere spezifische Wurzellänge (Abb. 33) sowie die geringe Mykorrhizierungsintensität (Abb. 35) deuten auf geringen Stress hinsichtlich der Nährstoff- und Wasserversorgung hin (PERALA & ALM 1990; ATKINSON 2000; KARLSSON et al. 2000; BOUMA et al. 2001; MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001; DAVIES & BACON 2003; HUTCHINGS & JOHN 2003). Allerdings können die niedrigeren Wurzel-Spross-Verhältnisse u. a. auch zurückzuführen sein auf eine geringere Lichtintensität im dichten Gebüsch (LYR & HOFFMANN 1967; BLOOM et al. 1985; WILSON 1988; PERALA & ALM 1990; FARRAR & JONES 2003) bzw. auf einen hohen Anteil photosynthetisch inaktiven Gewebes in den größeren Stämmen (Abb. 21; vgl. WIELGOLASKI et al. 1981; SVEINBJÖRNSSON 1987; STEVENS & FOX 1991). Die niedrige Mykorrhizierungsrate kann eventuell auch an schnellerer Mineralisierung und einer geringeren Lebenserwartung der Wurzeln liegen (vgl. SVEINBJÖRNSSON et al. 2002). Die Feststellung geringer Mykorrhizierung des Jungwuchses der Weidengebüsche läuft Untersuchungen aus Island entgegen, nach denen die räumliche Nähe zu Weiden die Infektion von Birkenjungwuchs mit Mykorrhiza beschleunigt (MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001). Allerdings sind Weiden oftmals mit VA-Mykorrhiza kolonialisiert, und eine Beeinflussung der Birkenmykorrhizierung ist dadurch ausgeschlossen (mündl. Mitteilung J. Wöllecke).

Für eine höhere Produktivität des Standortes sprechen auch die hohen Zuwachsraten (Abb. 23, Abb. 25) und hohe Spross- und Gesamttrockengewichte (Abb. 30; vgl. HOBBIE & CHAPIN 1998). Dies kann aber auch an eingeschränktem Verbiss aufgrund der dichteren Vegetationsstruktur liegen. Ein solcher Schutzeffekt von Weidengebüschen

auf Birkenjungwuchs wird z. B. auch von intensiv durch Schafe beweideten Flächen an der norwegischen Waldgrenze berichtet (LÖFFLER et al. 2004). In der vorliegenden Untersuchung spricht hierfür, dass die Haupttrieblängen des Jungwuchses im Mittel bei fast allen Standorttypen etwa gleich und nur bei den Birken des Weidengebüsches deutlich größer sind (Abb. 21). Dennoch sind die Sprossschäden noch immer beträchtlich (Abb. 28, Abb. 29). So sind die Untersuchungsflächen von Rentierpfaden durchzogen, und auch Weiden selbst stellen für Rentiere eine attraktive Futterquelle dar (DEN HERDER et al. 2004). Abseits der Untersuchungsflächen beobachtete Jungbirken reichten auch in dichtestem Gebüsch nicht höher als die Oberkante der Weiden (Kapitel 4.3.2). Dies kann außer auf die intensive Beweidung der Flächen durch Rene eventuell auch auf winterlichen Verbiss der über die Schneedecke herausragenden Birkentriebe durch Schneehasen (*Lepus timidus*) zurückzuführen sein (HOLTMEIER 1974; SUOMELA et al. 1997; OECD ENVIRONMENT HEALTH AND SAFETY PUBLICATIONS 2003).

### 5.1.6 Grasmoor

Die Keimungsbedingungen auf den untersuchten Grasmoorflächen sind sehr gut, wie die hohe Jungwuchsdichte belegt (Abb. 16). Besonders hohe Keimlingszahlen finden sich auf der Fläche am Rodjanoaivi (Tab. 15 im Anhang), auf der die Vegetationseinheit eine den Weidengebüschen entsprechende Nährstofffreisetzung und einen höheren Sauerstoffgehalt des Bodenwassers vermuten lässt als auf den übrigen Flächen (vgl. Kapitel 4.1). Die Eignung von Sphagnen, wie sie auf einigen Untersuchungsflächen aspektbeherrschend auftreten (Tab. 11 im Anhang; DREES 2004), als Keimbett für Birken ist bekannt (KINNAIRD 1974; PERALA & ALM 1990).

Der Jungwuchs kann sich jedoch nicht etablieren. Die beprobten Pflanzen sind im Schnitt nur rund 9 Jahre alt, keine ist älter als 13 Jahre (Abb. 22; Tab. 16 im Anhang). Auch weisen die absoluten Größen und die Größenzuwächse des Birkenjungwuchses der Grasmoores keine nennenswerten Unterschiede zu dem der meisten übrigen Standorttypen auf (Abb. 21, Abb. 23, Abb. 24). Dabei deutet das geringe Ausmaß der Sprossschäden auf wenig Verbiss und Vertritt durch Herbivoren hin. Immerhin stellen nasse Senken im Sommer an Mücken und anderen Insekten reiche und daher von Renen eher gemiedene Orte dar (HOLTMEIER 2003; HOLTMEIER et al. 2003). Die in Relation zu der geringen Zahl an Sprossverletzungen relativ hohe Pilzbefallrate (Abb. 28) lässt allerdings eine Infektion über die Wurzelsysteme vermuten. So können die Wurzeln, bedingt durch die hohe Bodenfeuchte (vgl. Abb. 13-15, Abb. 46-48 im Anhang), Schaden erleiden durch Sauerstoffmangel und durch Krankheiten, die durch Pilze oder Bakterien ausgelöst werden (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; JACKSON & RICARD 2003). Die Vernässung erklärt auch die sehr flachen Wurzelsysteme der Birken (Abb. 36) und die häufige Adventivwurzelbildung (Kapitel 4.4.7) (LAIKARI 1935; LYR & HOFFMANN 1967; FITTER 1991).

Die vergleichsweise starke Verzweigung der Wurzelsysteme (Abb. 34) kann auf eine Hemmung des Wurzellängenwachstums unter anoxischen Bedingungen zurückzuführen sein. Dies erleichtert die Sauerstoffversorgung durch die Wurzeln selbst hindurch (MARSCHNER 1993; BOUMA et al. 2001; ARMSTRONG & DREW 2002; JACKSON & RICARD 2003). Auch die leichte Tendenz zu gegenüber dem Jungwuchs der Weidengebüsche erhöhten Wurzel-Spross-Verhältnissen (Abb. 31) mag mit der Kompensierung der anaeroben Bedingungen erklärbar sein. So werden unter Sauerstoffmangel weniger Wurzelhaare gebildet, was die Pflanze durch verstärkte Wurzelbildung insgesamt ausgleicht (WIELGOLASKI 1975). Ein weiterer möglicher Grund ist die unter Umständen etwas geringere Nährstoffverfügbarkeit an den Flächen des Caricetum rotundatae (s. Kapitel 4.1). Die schwierigen Wuchsbedingungen im Grasmoor spiegeln sich des Weiteren in einer relativ hohen Mykorrhizierungsrate wider (PERALA & ALM 1990; MAGNÚSSON & MAGNÚSSON 2001). Dies wie auch die leichte Erhöhung der Wurzel-Spross-Verhältnisse hängen eventuell auch mit der geringeren Mineralisierungsrate der dauernassen Standorte und der damit verbundenen höheren Wurzelebenserwartung zusammen (vgl. WIELGOLASKI et al. 1981; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002).

Die zum Teil recht hohen spezifischen Wurzellängen im Grasmoor (Abb. 31) sind nicht eindeutig zu erklären. Einerseits werden dünnere Birkenwurzeln als empfindlicher gegenüber Sauerstoffmangel als dickere beschrieben (KÖSTLER et al. 1968), und dickere Wurzeln sollen Sauerstoff besser intern transportieren können (HUTCHINGS & JOHN 2003). Andererseits wird argumentiert, dass dünnere Wurzeln seltener unter Sauerstoffmangel leiden (ARMSTRONG & DREW 2002).

### 5.1.7 Ufer

Die sehr hohe Jungwuchsdichte am Standorttyp Ufer spricht für das Vorliegen eines guten Keimbettes (Abb. 16). Es finden sich gelegentlich kleine Bodenrisse, und die organische Auflage (Abb. 8) und die Lage im Relief bedingen eine gute und konstante Wasserversorgung (Abb. 13, Tab. 7, Abb. 48 im Anhang) sowie einen verhältnismäßig großen Nährstoffspeicher (vgl. z. B. MOSIMANN 1983; MEIER et al. 2005). Frostschäden sind aufgrund der langen Schneebedeckung nicht zu erwarten (Tab. 8).

Dennoch finden sich nur relativ junge Exemplare (Abb. 22), die zumeist sehr klein sind und nur minimale jährliche Zuwächse verzeichnen (Abb. 21, Abb. 23-26). Die Intensität der Sprossschäden sowie der Invertebratenbefall sind allerdings gering (Abb. 27, Abb. 28, Abb. 29). Auch der vergleichsweise etwas stärkere Befall mit *Melampsorium betulinum* (Abb. 27), der bevorzugt an Standorten mit stärkerer winterlicher Schneebedeckung und ausreichender sommerlicher Feuchte vorkommt (TENOW 1996; ELAMO et al. 2000), kann dieses Phänomen nicht erklären. Die Bodentemperaturdaten ähneln hinsichtlich Temperatursumme und abgeschätzter Aperzeiten den Werten der Zwergstrauchstandorte (Tab. 8). Auffällig sind jedoch die extrem zahlreichen Frostwechsel am

Ufer. Dies und das leicht kuppige Relief, möglicherweise initiale Bulten, lassen vermuten, dass die Pflanzen starkem mechanischen Stress ausgesetzt sind, unter dem die Wurzeln reißen können (ARNO 1984; WEIH & KARLSSON 2002; KARLSSON et al. 2005). Hierfür sprechen auch die im Schnitt extrem flachen Wurzelsysteme (Abb. 36).

### 5.2 Zukünftige Entwicklung des Waldgrenzökotons

Im Zuge einer für Nordeuropa als besonders stark prognostizierten Klimaerwärmung (ALBRITTON & MEIRA FILHO 2001; KUNDZEWICZ & PARRY 2001; WIELGOLASKI et al. 2005) ist auf die Dauer prinzipiell mit einem Anstieg der Waldgrenze zu rechnen (CALLAGHAN et al. 2002; HOLTMEIER & BROLL 2005). So ließ sich auch in jüngerer Vergangenheit im Zusammenhang mit den warmen Sommern zwischen etwa 1930 und 1955 vielerorts eine Anhebung beobachten (SONESSON & HOOGESTEGGER 1983; RAPP 1996; AAS & FAARLUND 2001; AUTIO & HEIKKINEN 2002).

Allerdings sind die Reaktionen auf eine Erwärmung nicht einheitlich, denn edaphische, hydrologische und kryologische Faktoren modifizieren die Wirkung des Klimawandels (GUISAN et al. 1995; HOLTMEIER 1995; HOLTMEIER & BROLL 2005). So liegen aus den Skanden Beobachtungen vor, nach denen die Waldgrenze im 20. Jahrhundert nur in Bereichen mit ausreichender Bodenfeuchte und Schneeschutz angestiegen ist, nicht aber in exponierten Lagen (KJÄLLGREN & KULLMAN 1998; KULLMAN 2004b, 2005).

Ähnliches ist für die Zukunft zu erwarten, sollten sich die Prognosen geringerer Schneeniederschläge und einer möglicherweise durch die Erwärmung steigenden potentiellen Evaporation bewahrheiten (ARNELL & LIU 2001; SKRE et al. 2002). In diesem Fall käme es an exponierten Standorten wie den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Deflationsflächen und Flechtenheiden zu einer weiteren Verschärfung der mikroklimatischen Bedingungen (Trockenstress, Frostschäden) und eventuell zum Absterben des heute noch vorhandenen Birkenjungwuchses. Senkenstandorte wie die hier betrachteten Weidengebüsche und besonders die Grasmoores dagegen könnten unter diesen Voraussetzungen eine Verlängerung der Vegetationsperiode und gegebenenfalls eine Abschwächung des Sauerstoffmangels und somit eine Verbesserung der Wuchsbedingungen erfahren (KULLMAN 1986; SVEINBJÖRNSSON et al. 2002).

Andererseits könnte es auch zu einer Erhöhung der Schneemengen besonders im Frühjahr und zur Ausbildung insgesamt feuchterer Bedingungen kommen (SERREZE et al. 2000; WIELGOLASKI 2005). In der Folge würden die Wachstumsbedingungen für Birken an exponierten Standorten verbessert. An Senkenstandorten dagegen kann es unter diesen Vorzeichen zu einer Verschlechterung der Bedingungen in Form einer Verkürzung der Aperaturzeit und speziell in den Grasmoores durch stärkere Vernässung zu einer noch weiter gehenden Einschränkung des Wurzelraumes kommen (SKRE et al. 2002; CRAWFORD et al. 2003; HOLTMEIER & BROLL 2005).

An den vorliegend behandelten Zwergstrauchheidestandorten werden sich die Voraussetzungen für Birkenjungwuchs in Abhängigkeit vom Klimawandel vermutlich nicht drastisch ändern, falls sich keine großen Verkürzungen der Vegetationsperiode durch stärkere Schneeakkumulation ergeben sollten. Zudem ist weiterhin mit Allelopathie durch die umgebende Vegetation zu rechnen. An den Bultstandorten mag sich langfristig eine Erwärmung des Wurzelbodens positiv für den Birkenjungwuchs auswirken.

Einen wichtigen Aspekt hinsichtlich der Entwicklung nicht nur des Waldgrenzökotons, sondern des ganzen Birkenwaldes im Zusammenhang mit dem Klimawandel stellt die mögliche Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von *Epirrita autumnata*-Massenausbrüchen dar. In wärmeren Wintern überleben mehr Eier, was nicht nur die Regeneration, sondern auch die vorhandenen Bestände gefährdet (NEUVONEN et al. 1996, 1999, 2005; VIRTANEN et al. 1998; SKRE 2001).

Unabhängig von möglichen langfristigen Veränderungen der Regenerationsbedingungen an einzelnen Standorttypen durch den Klimawandel wird ein Vorrücken der Wald- und Baumgrenze durch die intensive Rentierbeweidung in Frage gestellt (LEHTONEN & HEIKKINEN 1995; NEUVONEN et al. 1996, 2001, 2005; HOLTMEIER 2003, 2005; HOLTMEIER et al. 2003; TØMMERVIK et al. 2004, 2005; HOLTMEIER & BROLL 2005). Auch in der vorliegenden Untersuchung deuten die letzten Endes weniger von den Boden- und Schneedeckenbedingungen als von der Vegetationsstruktur beeinflussten Sprossgrößen und -schäden (Abb. 21, Abb. 29) eher auf eine Verhinderung der Birkenregeneration und eines möglichen Waldgrenzanstiegs durch Rentiere als durch klimatische Ursachen. Letztlich wird das Weidemanagement über die Entwicklung des Waldgrenzökotons im Untersuchungsgebiet entscheiden.

### 5.3 Schlussfolgerungen

Die Auswirkungen der Umweltbedingungen auf die einzelnen Regenerationsschritte der Birke sind an den verschiedenen Standorttypen unterschiedlich. Während die Keimung von Birkensamen unter aktuellen Bedingungen hauptsächlich an Deflationsstandorten stark eingeschränkt ist, unterbleibt eine dauerhafte Etablierung gekeimter Sämlinge vor allem im Grasmoor. Das Heranwachsen von Bäumen aus etabliertem Jungwuchs erfolgt an keinem der untersuchten Standorttypen.

Die an den einzelnen Standorttypen wirkenden Stressfaktoren sind zum Teil sehr unterschiedlich. Wasser- und Nährstoffmangel beeinträchtigen vor allem den Jungwuchs der Deflationsflächen und in weniger starkem Ausmaß den Jungwuchs der Flechtenheidestandorte. In dichter Zwergstrauchheide wird das Birkenwachstum vermutlich durch Allelopathie und an Bultstandorten durch kalte Böden gehemmt. Auch häufige Frostwechsel, wie sie in der vorliegenden Untersuchung am Uferstandort festgestellt wurden, scheinen sich negativ auf die Ansiedlung der Birke auszuwirken. Im Grasmoor führen

hohe Grundwasserstände zu einem frühen Absterben des Jungwuchses. Eine Gemeinsamkeit aller Standorttypen mit etabliertem Jungwuchs stellen starke Sprossschäden der Birken dar. Diese Verletzungen können zwar an exponierten Standorten auch klimatische Ursachen haben, in geschützten Senkenlagen wie z. B. Weidengebüschen sind sie jedoch hauptsächlich auf Herbivorie durch Rentiere zurückzuführen.

Infolge eines Klimawandels könnten sich die Keimungs- und Etablierungsbedingungen für Birken an einzelnen Standorttypen im Waldgrenzökoton verändern. So würde vermutlich im Falle geringerer Schneeniederschläge der Jungwuchs der Senkenstandorte bzw. im Falle steigender Schneemengen und generell feuchterer Bedingungen der Jungwuchs der exponierteren Standorte profitieren. Ob sich aber tatsächlich Birkenjungwuchs zu Bäumen entwickelt und es zu einem Anstieg der Waldgrenze kommt, hängt zunächst vom Weidemanagement ab.

## 6 Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Regeneration der Fjellbirke (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) im Waldgrenzökoton des nördlichen Finnisch-Lappland. Ziel ist die Erfassung des Einflusses kleinräumig wechselnder Standortbedingungen auf Verbreitung und Wachstum des Birkenjungwuchses. Darüber hinaus soll aus den Ergebnissen die zukünftige Entwicklung des Waldgrenzökotons im Zusammenhang mit dem erwarteten Klimawandel abgeschätzt werden.

In Abhängigkeit vom Relief ändern sich die Umweltbedingungen im Waldgrenzökoton innerhalb weniger Meter. Konvexe Deflationsbereiche wechseln sich ab mit weniger stark exponierter Flechten- und Zwergstrauchheide. In Senkenlagen alternieren Bultenflächen mit bachnahen Weidengebüschen und Grasmoores. Es ergeben sich große Unterschiede hinsichtlich der Bodenfeuchte, der Nährstoffverfügbarkeit, des Mikroklimas und der Konkurrenzverhältnisse. Entsprechend hoch ist die Variabilität u. a. der Jungwuchsdichte, der Altersstruktur, der Zuwachsraten und der Ausprägung der Wurzelsysteme des Birkenjungwuchses.

Auf Deflationsflächen hemmen Wasser- und Nährstoffmangel das Birkenwachstum. Dies ist abzulesen an großen Wurzeltiefen und insgesamt hohen Investitionen der sehr wenigen Exemplare in ihre Wurzelsysteme. Die geringe Zahl vor allem sehr junger Birken verdeutlicht, wie ungünstig die derzeitigen Standortbedingungen für die Birkenkeimung sind. Ähnliches, wenn auch in nicht so extremem Ausmaß, gilt für Birkenjungwuchs in weniger stark exponierten Flechtenheidebeständen. In dichter Zwergstrauchheide wirken sich Konkurrenz und Allelopathie negativ auf das Aufkommen und das Wachstum der Birken aus. Durch während der Vegetationsperiode kalte Böden wie in Bultenfeldern oder durch häufige Frostwechsel scheint die Entwicklung der Wurzelsysteme behindert zu werden. In Grasmoores sind die Keimungsbedingungen oftmals gut, starke Vernässung schränkt jedoch den Wurzelraum sehr ein und bewirkt ein frühes Absterben der zahlreichen Keimlinge. Vergleichsweise günstige Bedingungen für die Birkenregeneration finden sich in Weidengebüschen. Hier zeigt der Jungwuchs sowohl relativ hohe Dichten und Zuwachsraten als auch geringe Investitionen in die Wurzelsysteme.

Ein Großteil der Birken weist starke Sprossschäden auf. In exponierten Lagen können diese Schäden auch auf klimatische Ursachen zurückzuführen sein. An Senkenstandorten mit einer mächtigen winterlichen Schneedecke ist der Grund allerdings vor allem in der intensiven Beweidung der Flächen durch Rentiere (*Rangifer t. tarandus*) zu suchen. Auch die absoluten Sprossgrößen scheinen eher von der Beweidung als von Mikroklima und Bodenbedingungen abzuhängen. Ein Heranwachsen von Birkenjungwuchs zu Bäumen wird somit auch an relativen Gunststandorten verhindert.

Im Zuge prognostizierter Klimaänderungen werden Keimung und Etablierung der Birke an einzelnen Standorttypen in Zukunft möglicherweise erleichtert. Sollte die Klimaerwärmung im Untersuchungsgebiet mit geringeren Schneeniederschlägen einhergehen, so ist z. B. mit einer Verbesserung der Regenerationsbedingungen an den Senkenstandorten zu rechnen. Im Gegensatz dazu würde von steigenden Schneemengen eher der Birkenjungwuchs exponierterer Standorte profitieren. Entscheidend dafür, ob sich aus dem Birkenjungwuchs tatsächlich Bäume entwickeln und ob damit langfristig die Waldgrenze ansteigt, ist allerdings zunächst das zukünftige Weidemanagement.

## Summary

### **Mountain birch regeneration and seedling root systems in the treeline ecotone, Finnish Subarctic**

Subject of the present study is the regeneration of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) in the treeline ecotone of northern Finnish Lapland. The aim is to examine the influence of locally varying site conditions on distribution and development of birch young growth and to assess the possible effect of a changing climate on the treeline ecotone.

Depending on relief, site conditions change within a distance of a few meters. Exposed deflation areas alternate with more sheltered sites covered by lichen-heath and dwarf shrub-heath. In moist valleys, hummock fields, sedge mires, and willow shrub occur. Variability of soil moisture, nutrient availability, microclimate, and competition results in different density, age classes, growth rate and root system characteristics of birch young growth.

On deflation sites, lack of moisture and nutrients impedes birch growth, as is reflected in deep rooting and high overall investment into root systems of the very few established individuals. Absence of very young seedlings mirrors adverse site conditions for germination. The situation is somewhat similar, but less severe, in slightly more protected lichen-heath areas. In dense dwarf-shrub heath, very likely competition and allelopathy impede germination of birch seeds and growth of birch seedlings. Cold soils like on hummocks and frequent freeze-thaw cycles seem to hinder the development of root systems. In sedge mires, birch seedlings can be found at very high densities but die off at an early stage. Extremely shallow root systems point to anoxia as main reason. In willow shrub sites, conditions are comparatively suitable for birch regeneration. This is obvious from relatively high densities and growth rates as well as from low investment into root systems.

Severe shoot damage is common to most saplings. In exposed sites, this can also be attributed to climatic causes. In depressions with a protective winter snow cover, however, damage is due to intensive grazing by reindeer (*Rangifer t. tarandus*). Also, birch height seems to be dependent mainly on reindeer grazing rather than on microclimate and soil conditions. Consequently, tree growth from saplings is prevented even at relatively suitable sites.

In future, effects of climate change might locally improve conditions for germination of birch seeds and establishment of birch young growth. A rise in temperature combined with a lesser amount of snow might result, for instance, in better growing conditions in sheltered depressions. Alternatively, birch regeneration on more exposed topography could profit from increasing snow pack. The decisive factor, however, for tree growth from seeds and for the development of the birch treeline ecotone will be future pasture management.

## 7 Literatur

- AALTONEN, V.T. (1952): Soil formation and soil types, *Fennia* 72: 65-73.
- AAS, B. & FAARLUND, T. (1996): The present and the holocene subalpine birch belt in Norway, in FRENZEL, B. (ed.): *Holocene treeline oscillations, dendrochronology and paleoclimate*, *Paläoklimaforschung* 20: 19-42, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm.
- AAS, B. & FAARLUND, T. (2001): The holocene history of the nordic mountain birch belt, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27*: 5-22, New York, London.
- AD-HOC-AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Hannover.
- AG BODEN (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Hannover.
- AHTI, T., HÄMET-AHTI, L. & JALAS, J. (1968): Vegetation zones and their sections in northwestern Europe, *Annales Botanici Fennici* 5: 169-211.
- AK STANDORTSKARTIERUNG (1996): *Forstliche Standortsaufnahme*, Eching.
- ALBRITTON, D.L. & MEIRA FILHO, L.G. (2001): Technical Summary of the Working Group I Report, in HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J., DAI, X., MASKELL, K. & JOHNSON, C.A. (eds.): *Climate change 2001: The scientific basis*: 21-83, Cambridge.
- ANAMTHAWAT-JÓNSSON, K. & THÓRSSON, A.T. (2003): Natural hybridisation in birch: triploid hybrids between *Betula nana* and *B. pubescens*, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 75: 99-107.
- ANSCHLAG, K. (2002): *Bodenfeuchteverteilung in Abhängigkeit von Vegetationstypen im Waldgrenzökoton am Rodjanoaivi (Finnisch-Lappland)*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Landschaftsökologie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- ARADOTTIR, A.L., THORSTEINSSON, I. & SIGURDSSON, S. (2001): Distribution and characteristics of birch woodlands in north Iceland, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27*: 51-61, New York, London.
- ARMSTRONG, W. & DREW, M.C. (2002): Root growth and metabolism under oxygen deficiency, in WAISEL, Y., ESHEL, A. & KAFKAFI, M. (eds.): *Plant roots. The hidden half*: 729-761, New York, Basel.
- ARNELL, N. & LIU, C. (2001): Hydrology and water resources, in MCCARTHY, J.J., CANZIANI, O.F., LEARY, N.A., DOKKEN, D.J. & WHITE, K.S. (eds.): *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability 2*: 191-233, Cambridge.
- ARNO, S.F. (1984): *Timberline: Mountain and arctic forest frontiers*, Seattle.
- ARSENAULT, J.-L., PULCUR, S., MESSIER, C. & GUAY, R. (1995): WinRhizo, a root-measuring system with a unique overlap correction method, *HortScience* 30: 906.
- ATKINSON, D. (2000): Root characteristics: Why and what to measure, in SMIT, A.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C., VAN NOORDWIJK, M., PELLERIN, S. & VAN DE GEIJN, S.C. (eds.): *Root methods. A handbook*: 1-32, Heidelberg, Berlin.
- AUTIO, J. (1995): Altitudinal zonation of heath vegetation in Finnish Lapland: An example from the Pyhätunturi Fjell, in HEIKKINEN, O., OBREBSKA-STARKEL, B. &

- TUHKANEN, S. (eds.): Environmental aspects of the timberline in Finland and in the Polish Carpathians, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego* 1156: 17-39, Kraków.
- AUTIO, J. & HEIKKINEN, O. (2002): The climate of northern Finland, *Fennia* 180: 61-66.
- BAKKER, M.R. (1999): Fine-root parameters as indicators of sustainability of forest ecosystems, *Forest Ecology and Management* 122: 7-16.
- BAUHUS, J. & MESSIER, C. (1999a): Soil exploitation strategies of fine roots in different tree species of the southern boreal forest of eastern Canada, *Canadian Journal of Forest Research* 29: 260-273.
- BAUHUS, J. & MESSIER, C. (1999b): Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis, *Agronomy Journal* 91: 142-147.
- BENGOUGH, A.G. (2003): Root growth and function in relation to soil structure, composition, and strength, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): *Root ecology, Ecological Studies* 168: 151-171, Berlin, Heidelberg.
- BENGOUGH, A.G., CASTRIGNANO, A., PAGÈS, L. & VAN NOORDWIJK, M. (2000): Sampling strategies, scaling and statistics, in SMIT, A.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C., VAN NOORDWIJK, M., PELLERIN, S. & VAN DE GEIJN, S.C. (eds.): *Root methods. A handbook*: 147-173, Heidelberg, Berlin.
- BIRD, J.B. (1974): Geomorphic processes in the arctic, in IVES, J.D. & BARRY, R.G. (eds.): *Arctic and alpine environments*: 703-720, London.
- BLOOM, A.J., CHAPIN, F.S., III & MOONEY, H.A. (1985): Resource limitation in plants - an economic analogy, *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 363-392.
- BLÜTHGEN, J. (1942): Die polare Baumgrenze in Lappland, *Veröffentlichungen des Deutschen Wissenschaftlichen Instituts zu Kopenhagen Reihe I: Arktis* 10.
- BLÜTHGEN, J. (1952): Baumgrenze und Klimacharakter in Lappland, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone* 42: 362-371.
- BLÜTHGEN, J. (1960): Der skandinavische Fjällbirkenwald als Landschaftsformation, *Petermanns Geographische Mitteilungen* 104: 119-144.
- BÖHM, W. (1979): *Methods of studying root systems*, *Ecological Studies* 33, Berlin, Heidelberg, New York.
- BORGHOFF, S. (1988): *Öko-Pedologische Untersuchungen an der polaren Waldgrenze in Lappland*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- BOUMA, T.J., NIELSEN, K.L. & KOUTSTAAL, B. (2000): Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter, *Plant and Soil* 218: 185-196.
- BOUMA, T.J., NIELSEN, K.L., VAN HAL, J. & KOUTSTAAL, B. (2001): Root system topology and diameter distribution of species from habitats differing in inundation frequency, *Functional Ecology* 15: 360-369.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): *Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde*, Wien, New York.
- BROLL, G. (1994): Influence of the soil mosaic on biodiversity at heath sites in the European subarctic, in INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE (ed.): *15th World*

- Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, July 1994. Transactions Vol. 4a: Commission III: Symposia: 220-231.
- BROLL, G. (2000): Influence of overgrazing by reindeer on soil organic matter and soil microclimate of well-drained soils in the Finnish subarctic, in LAL, R. (ed.): Global climate change and cold regions ecosystems. Advances in soil science: 163-172, Boca Raton.
- BROWN, J. & TEDROW, J.C.F. (1964): Soils of the Northern Brooks Range, Alaska: 4. Well-drained soils of the glaciated valleys, *Soil Science* 97: 187-195.
- BURGESS, P. (1999): Human Environmental Interactions in Upper Lapland, Finland, Arctic Centre Reports 27.
- BURSCHEL, LÖW & METTIN (1977): Die frühen Entwicklungsstadien der Naturverjüngung in den Hochlagen, Forschungsberichte der forstlichen Forschungsanstalt München 37.
- BYLUND, H. & NORDELL, K.O. (2001): Biomass proportion, production and leaf nitrogen distribution in a polycormic mountain birch stand (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) in northern Sweden, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27: 115-126, New York, London.
- CAIRNS, D.M. & MOEN, J. (2004): Herbivory influences tree lines, *Journal of Ecology* 92: 1019-1024.
- CAIRNS, M.A., BROWN, S., HELMER, E.H. & BAUMGARDNER, G.A. (1997): Root biomass allocation in the world's upland forests, *Oecologia* 111: 1-11.
- CALLAGHAN, T.V., HEADLEY, A.D. & LEE, J.A. (1991): Root function related to the morphology, life history and ecology of tundra plants, in ATKINSON, D. (ed.): Plant root growth: An ecological perspective: 311-340, London.
- CALLAGHAN, T.V., WERKMAN, B.R. & CRAWFORD, R.M.M. (2002): The tundra-taiga interface and its dynamics: Concepts and applications, *Ambio Special Report* 12: 6-14.
- CAMPBELL, J.J., MESSIER, C. & BAUHUS, J. (2002): Does soil heterogeneity and compaction in ingrowth-cores affect growth and morphology of black spruce fine-roots?, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1027-1037.
- COULIANOS, C.-C. & HOLMASEN, I. (1991): Galler. En fälthandbok om gallbildningar på vilda och odlade växter, Stockholm.
- CRAWFORD, R.M.M., JEFFREE, C.E. & REES, W.G. (2003): Paludification and forest retreat in northern oceanic environments, *Annals of Botany* 91: 213-226.
- DAHL, E. (1975): Stability of tundra ecosystems in Fennoscandia, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Fennoscandian tundra ecosystems. Part 2: Animals and system analysis, *Ecological Studies* 17: 231-236, Berlin, Heidelberg, New York.
- DAHL, E. (1987): Alpine-subalpine plant communities of south Scandinavia, *Phytocoenologia* 15: 455-484.
- DANIËLS, F.J.A. (1982): Vegetation of the Angmagssalik District, Southeast Greenland, IV. Shrub, dwarf shrub and terricolous lichens. *Meddelelser om Grønland Bioscience* 10: 1-78.
- DANIELS, L.D. & VEULEN, T.T. (2004): Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia, *Ecology* 85: 1284-1296.

- DANJON, F., POT, D., RAFFIN, A. & COURDIER, F. (2000): Genetics of root architecture in 1-year-old *Pinus pinaster* measured with the WinRHIZO image analysis system: preliminary results, in STOKES, A. (ed.): The supporting roots of trees and woody plants: Form, function, and physiology: 77-81, Dordrecht.
- DAVIES, W.J. & BACON, M.A. (2003): Adaptation of roots to drought, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): Root ecology, Ecological Studies 168: 173-192, Berlin, Heidelberg.
- DEN HERDER, M. & NIEMELÄ, P. (2003): Effects of reindeer on the re-establishment of *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii* and *Salix phylicifolia* in a subarctic meadow, *Rangifer* 23: 3-12.
- DEN HERDER, M., VIRTANEN, R. & ROININEN, H. (2004): Effects of reindeer browsing on tundra willow and its associated insect herbivores, *Journal of Applied Ecology* 41: 870-879.
- DESROCHERS, A. & GAGNON, R. (1997): Dating black spruce (*Picea mariana*) with the awareness of its adventitious root system, in ALTMAN, A. & WAISEL, Y. (eds.): Biology of root formation and development, Basic Life Sciences 65: 280-281, New York, London.
- DIERBEN, K. (1982): Die wichtigsten Pflanzengesellschaften der Moore NW-Europas, Conservatoire et Jardin botaniques, Genève.
- DIERBEN, K. (1996): Vegetation Nordeuropas, Stuttgart.
- DO ROSÁRIO G. OLIVEIRA, M., VAN NOORDWIJK, M., GAZE, S.R., BROUWER, G., BONA, S., MOSCA, G. & HAIRIAH, K. (2000): Auger sampling, ingrowth cores and pin-board methods, in SMIT, A.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C., VAN NOORDWIJK, M., PELLERIN, S. & VAN DE GEIJN, S.C. (eds.): Root methods. A handbook: 175-210, Heidelberg, Berlin.
- DREES, B. (2004): Vegetationskundliche Charakterisierung von Standorttypen im Waldgrenzökoton im nördlichen Finnisch-Lappland, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Landschaftsökologie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- DUNBABIN, V., RENGEL, Z. & DIGGLE, A.J. (2004): Simulating form and function of root systems: Efficiency of nitrate uptake is dependent on root system architecture and the spatial and temporal variability of nitrate supply, *Functional Ecology* 18: 204-211.
- DYTHAM, C. (1999): Choosing and using statistics: A Biologists Guide, Oxford.
- EILERTSEN, S.M., SCHJELDERUP, U. & MATHIESEN, S.D. (2002): Early season grazing effects on birch, grass, herbs and plant litter in coastal meadows used by reindeer: a short-term case study, *Rangifer* 22: 123-131.
- ELAMO, P., SALONIEMI, I., HELANDER, M.L. & NEUVONEN, S. (2000): Genetic and environmental variation in rust frequency on mature mountain birch trees, *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 510-522.
- ELKINGTON, T.T. (1968): Introgressive hybridization between *Betula nana* L. and *B. pubescens* Ehrh. in north-west Iceland, *New Phytologist* 67: 109-118.
- ENQUIST, F. (1933): Trädgränsundersökningar - Baumgrenzuntersuchungen, Särtryck ur Svenska Skogsvarvsföreningens Tidskrift.

- ERICSSON, T. (1995): Growth and shoot:root ratio of seedlings in relation to nutrient availability, *Plant and Soil* 168/169: 205-214.
- EUROLA, S. & RUUHJÄRVI, R. (1961): Über die regionale Einteilung der finnischen Moore, *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 16: suppl.: 49-63.
- EUROLA, S. & VIRTANEN, R. (1991): Key to the vegetation of the northern Fennoscandian fjelds, *Kilpisjärvi Notes* 12: 1-28.
- EVERETT, K.R., VASSILJEVSKAYA, V.D., BROWN, J. & WALKER, B.D. (1981): Tundra and analogous soils, in BLISS, L.C., HEAL, O.W. & MOORE, J.J. (eds.): *Tundra ecosystems: A comparative analysis*, *The International Biological Programme* 25: 139-179, Cambridge.
- FAHNESTOCK, J.T., POVIRK, K.L. & WELKER, J.M. (2000): Ecological significance of litter redistribution by wind and snow in arctic landscapes, *Ecography* 23: 623-631.
- FARRAR, J.F. & JONES, D.L. (2003): The control of Carbon Acquisition by and growth of roots, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): *Root ecology*, *Ecological Studies* 168: 91-124, Berlin, Heidelberg.
- FITTER, A.H. (1991): The ecological significance of root system architecture: An economic approach, in ATKINSON, D. (ed.): *Plant root growth: An ecological perspective*: 229-243, London.
- FORBES, B.C., TOLVANEN, A., WIELGOLASKI, F.E. & LAINE, K. (2005): Rates and processes of natural regeneration in disturbed habitats, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests*, *Ecological Studies* 180: 193-202, Berlin, Heidelberg.
- FRIEND, A.L., COLEMAN, M.D. & ISEBRANDS, J.G. (1994): Carbon allocation to root and shoot systems of woody plants, in DAVIS, T.D. & HAISSIG, B.E. (eds.): *Biology of adventitious root formation*: 245-273, New York.
- GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS (GEOLOGICAL SURVEY) (1981): General geological map of Finland. Quaternary deposits, 1:400.000, Nr. 39+40 Utsjoki, Helsinki.
- GUISAN, A., TESSIER, L., HOLTEN, J.I., HAEBERLI, W. & BAUMGARTNER, M. (1995): Understanding the impact of climate change on mountain ecosystems: An overview, in GUIBAN, A., HOLTEN, J.I., SPICHIGER, R. & TESSIER, L. (eds.): *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains*: 15-37, Genf.
- HAAPASAARI, M. (1988): The oligotrophic heath vegetation of northern Fennoscandia and its zonation, *Acta Botanica Fennica* 135: 1-219.
- HÄMET-AHTI, L. (1963): Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia, *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 34.
- HÄMET-AHTI, L. (1981): The boreal zone and its biotic subdivision, *Fennia* 159: 69-75.
- HÄMET-AHTI, L. (1987): Mountain birch and mountain birch woodland in NW Europe, *Phytocoenologia* 15: 449-453.
- HÄMET-AHTI, L., SUOMINEN, J., ULVINEN, T. & UOTILA, P. (1998): *Retkeilykasvio*, Helsinki.

- HARPER, J.L., JONES, M. & SACKVILLE HAMILTON, N.R. (1991): The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour, in ATKINSON, D. (ed.): Plant root growth: An ecological perspective: 3-22, London.
- HAUKIOJA, E. & HEINO, J. (1974): Birch consumption by reindeer (*Rangifer tarandus*) in Finnish Lapland, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 11: 22-25.
- HAVAS, P. (1984): Some features of the forests in Northern Finland, Oulanka Reports 5: 9-16.
- HEIKINHEIMO, O. (1921): Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre zukünftige Nutzung, Communicationes ex instituto quaestionum forestalium Finlandiae editae 4.
- HEIKKINEN, O., OBREBSKA-STARKEL, B. & TUHKANEN, S. (1995): Introduction: The timberline - a changing battlefront, in HEIKKINEN, O., OBREBSKA-STARKEL, B. & TUHKANEN, S. (eds.): Environmental aspects of the timberline in Finland and in the Polish Carpathians, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego 1156: 7-16, Kraków.
- HEIKKINEN, R.K. & KALLIOLA, R.J. (1989): Vegetation types and map of the Kevo Nature Reserve, northernmost Finland, Kevo Notes 8: 1-39.
- HELLE, T. (2001): Mountain birch forests and reindeer husbandry, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27: 279-291, New York, London.
- HERMANN, R.K. (1977): Growth and production of tree roots: A review, in MARSHALL, J.K. (ed.): The belowground ecosystem: A synthesis of plant-associated processes, Range Science Department Science Series 26: 7-28, Fort Collins, Colorado.
- HINNERI, S. (1974): Podzolic processes and bioelement pools in subarctic forest soils at the Kevo Station, Finnish Lapland, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 11: 26-34.
- HINNERI, S., SONESSON, M. & VEUM, A.K. (1975): Soils of Fennoscandian IBP tundra ecosystems, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1: Plants and microorganisms, Ecological Studies 16: 31-40, Berlin, Heidelberg, New York.
- HO, M.D., MCCANNON, B.C. & LYNCH, J.P. (2004): Optimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition, Journal of Theoretical Biology 226: 331-340.
- HOBBIE, S.E. & CHAPIN, F.S., III (1998): An experimental test of limits to tree establishment in arctic tundra, Journal of Ecology 86: 449-461.
- HOLM, S.O. (1993): Regeneration of *Betula pendula* and *B. pubescens* coll. above and below the natural altitudinal distribution limit of *B. pendula* in south-east Norway, Oecologia Montana 2: 1-6.
- HOLMGREN, B. & TJUS, M. (1996): Summer air temperatures and tree line dynamics at Abisko, in KARLSSON, P.S. & CALLAGHAN, T.V. (eds.): Plant ecology in the subarctic Swedish Lapland, Ecological Bulletins 45: 159-169.
- HOLTMEIER, F.-K. (1971): Waldgrenzstudien im nördlichen Finnisch-Lapland und angrenzenden Nordnorwegen, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 8: 53-62.

- HOLTMEIER, F.-K. (1974): Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenze in vergleichender Sicht (nördliches Fennoskandien / Zentralalpen), *Erdwissenschaftliche Forschung* 8, Wiesbaden.
- HOLTMEIER, F.-K. (1979): Die polare Waldgrenze (forest-tundra-ecotone) in geoökologischer Sicht, in MÜLLER-WILLE, L. & SCHROEDER-LANZ, H. (eds.): Kanada und das Nordpolargebiet, *Trierer Geographische Studien, Sonderheft 2*: 230-246.
- HOLTMEIER, F.-K. (1985a): Ökologische Studien in Lappland und Südfinnland, *Gesellschaft zur Förderung der Westfälischen Wilhelms-Universität 1984/1985*.
- HOLTMEIER, F.-K. (1985b): Die klimatische Waldgrenze - Linie oder Übergangssaum (Ökoton)?, *Erdkunde* 39: 271-285.
- HOLTMEIER, F.-K. (1993): Der Einfluss der generativen und vegetativen Verjüngung auf das Verbreitungsmuster der Bäume und die ökologische Dynamik im Waldgrenzbereich. Beobachtungen und Untersuchungen in Hochgebirgen Nordamerikas und den Alpen, *Geoökodynamik* 14: 153-182.
- HOLTMEIER, F.-K. (1994): Ecological aspects of climatically-caused timberline fluctuations. Review and outlook, in BENISTON, M. (ed.): *Mountain Environments in Changing Climates*: 220-233, London, New York.
- HOLTMEIER, F.-K. (1995): Waldgrenzen und Klimaschwankungen. Ökologische Aspekte einen vieldiskutierten Phänomens, *Geoökodynamik* 16: 1-24.
- HOLTMEIER, F.-K. (2002): *Tiere in der Landschaft. Einfluss und ökologische Bedeutung*, Stuttgart.
- HOLTMEIER, F.-K. (2003): Mountain timberlines. Ecology, patchiness, and dynamics, *Advances in Global Change Research* 14, Dordrecht, Boston, London.
- HOLTMEIER, F.-K. (2005): Change in the timberline ecotone in northern Finnish Lapland during the last thirty years, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 23: 97-113.
- HOLTMEIER, F.-K. (2006): Relocation of snow and its effects in the treeline ecotone, *Die Erde* 136: 343-373.
- HOLTMEIER, F.-K. & BROLL, G. (2005): Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales, *Global Ecology and Biogeography* 14: 395-410.
- HOLTMEIER, F.-K. & BROLL, G. (2006): Radiocarbon-dated peat and wood remains from the Finnish Subarctic: evidence of treeline and landscape history, *The Holocene* 16: 743-751.
- HOLTMEIER, F.-K., BROLL, G. & ANSCHLAG, K. (2004): Winderosion und ihre Folgen im Waldgrenzbereich und in der alpinen Stufe einiger nordfinnischer Fjelle, *Geo-öko* 25: 203-224.
- HOLTMEIER, F.-K., BROLL, G., MÜTERTHIES, A. & ANSCHLAG, K. (2003): Regeneration of trees in the treeline ecotone: Northern Finnish Lapland, *Fennia* 181: 103-128.
- HUCK, M.G. (1977): Root distribution and water uptake patterns, in MARSHALL, J.K. (ed.): *The belowground ecosystem: A synthesis of plant-associated processes*, Range Science Department Science Series 26: 215-226, Fort Collins, Colorado.
- HUSTICH, I. (1961): Forest and Tree Lines in Northernmost Fennoscandia, *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 16: suppl.: 111-113.

- HUSTICH, I. (1966): On the forest-tundra and the northern tree-lines, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 3: 7-47.
- HUTCHINGS, M.J. & JOHN, E.A. (2003): Distribution of roots in soil, and root foraging activity, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): Root ecology, Ecological Studies 168: 33-60, Berlin, Heidelberg.
- INGESTAD, T. & LUND, A.-B. (1979): Nitrogen stress in birch seedlings. I. Growth technique and growth, *Physiol. Plant.* 45: 137-148.
- INNES, J.L. (1991): High-altitude and high-latitude tree growth in relation to past, present and future global climate change, *The Holocene* 1: 168-173.
- INNES, J.L. (1998): The impact of climatic extremes on forests: An introduction, in BENISTON, M. & INNES, J.L. (eds.): The impacts of climate variability on forests: 1-18, Berlin.
- ISELI, M. & SCHWEINGRUBER, F.H. (1989): Sichtbarmachen von Jahrringen für dendrochronologische Untersuchungen, *Dendrochronologia* 7: 145-157.
- JACKSON, M.B. & RICARD, B. (2003): Physiology, biochemistry and molecular biology of plant root systems subjected to flooding of the soil, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): Root ecology, Ecological Studies 168: 193-213, Berlin, Heidelberg.
- JALKANEN, J. (1993): Abiotic and biotic diseases of the northern boreal forests in Finland, in JALKANEN, R., AALTO, T. & LAHTI, M.-L. (eds.): Forest pathological research in northern forests with a special reference to abiotic stress factors. Extended SNS meeting in forest pathology in Lapland, Finland, 3-7 august 1992, Finnish Forest Research Institute Research Papers 451: 7-21, Rovaniemi.
- JAUHIAINEN, E. (1969): On soils in the boreal coniferous region, *Fennia* 98: 1-123.
- JOHANNESSEN, T.W. (1970): The climate of Scandinavia, in WALLEN, C.C. (ed.): Climates of northern and western Europe, *World Survey of Climatology* 5: 23-79, Amsterdam.
- JONSELL, B. (ed.) (2000): *Flora Nordica* Vol. 1, Stockholm.
- JUNTTILA, O. & NILSEN, J. (1993): Growth and development on northern forest trees as affected by temperature and light, in ALDEN, J., MASTRANTONIO, J.L. & ODUM, S. (eds.): Forest Development in Cold Climates, NATO ASI SERIES A, Life Sciences 244: 43-57, New York, London.
- JUNTUNEN, V., NEUVONEN, S., NOROKORPI, Y. & TASANEN, T. (2002): Potential for timberline advance in northern Finland, as revealed by monitoring during 1983-99, *Arctic* 55: 348-361.
- KALELA, A. (1961): Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatischen Paralleltypen, *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 16: suppl.: 65-83.
- KALLIO, P. (1961): Zur floristisch-ökologischen Charakteristik des östlichen Teils von Finnisch-Fjeldlapland, *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 16: suppl.: 98-111.
- KALLIO, P. (1975): Kevo, Finland, in ROSWALL, T. & HEAL, O.W. (eds.): Structure and function of tundra ecosystems, *Ecological Bulletins* 20: 193-223, Stockholm.

- KALLIO, P. & LEHTONEN, J. (1973): Birch forest damage caused by *Oporinia autumnata* (Bkh.) in 1965-66 in Utsjoki, N Finland, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 10: 55-69.
- KALLIO, P. & LEHTONEN, J. (1975): On the ecocatastrophy of birch forests caused by *Oporinia autumnata* (Bkh.) and the problem of reforestation, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Fennoscandian tundra ecosystems. Part 2: Animals and system analysis, Ecological Studies 17: 174-180, Berlin.
- KALLIO, P. & MÄKINEN, Y. (1978): Vascular Flora of Inari Lapland. 4. Betulacea, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 14: 38-63.
- KALLIO, P., LAINE, U. & MÄKINEN, Y. (1969): Vascular Flora of Inari Lapland. 1. Introduction and Lycopodiaceae - Polypodiaceae, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 5: 1-108.
- KALLIO, P., NIEMI, S., SULKINOJA, M. & VALANNE, T. (1983): The Fennoscandian birch and its evolution in the marginal forest zone, Nordicana 47: 101-110.
- KALLIOLA, R. (1939): Pflanzensoziologische Untersuchungen in der alpinen Stufe Finnisch-Lapplands, Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo" 13.
- KALLIOLA, R. (1961): Über die Fjeldvegetation, Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo" 16: suppl.: 113-120.
- KANKAANPÄÄ, S. (1999): Northern timberline forests - a review, in KANKAANPÄÄ, S., TASANEN, T. & SUTINEN, M.-L. (eds.): Sustainable development in northern timberline forests. Proceedings of the timberline workshop, May 10-11, 1998 in Whitehorse, Canada, Finnish Forest Research Institute Research Papers 734: 101-116.
- KÄRENLAMPI, L. (1972): Comparisons between the microclimates of the Kevo ecosystem study sites and the Kevo Meteorological Station, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 9: 50-65.
- KARLSSON, A. (1996): Site preparation of abandoned fields and early establishment of naturally and direct-seeded birch in Sweden, Studia Forestalia Suecica 199.
- KARLSSON, P.S. & NORDELL, K.O. (1996): Effects of soil temperature on the nitrogen economy and growth of mountain birch seedlings near its presumed low temperature distribution limit, Ecoscience 3: 183-189.
- KARLSSON, P.S., SCHLEICHER, L.F. & WEIH, M. (2000): Seedling growth characteristics in three birches originating from different environments, Ecoscience 7: 80-85.
- KARLSSON, P.S., WEIH, M. & BORG, C. (2005): Mountain birch growth in relation to climate and herbivores, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, Ecological Studies 180: 71-86, Berlin, Heidelberg.
- KARTE, J. (1980): Rezente, subrezente und fossile Periglaziärserscheinungen im nördlichen Fennoskandien, Zeitschrift für Geomorphologie 24: 448-467.
- KASHULINA, G., REIMANN, C., FINNE, T.E., HALLERAKER, J.H., ÄYRÄS, M. & CHEKUSHIN, V.A. (1997): The state of the ecosystems in the central Barents region: scale, factors and mechanism of disturbance, The Science of the Total Environment 205: 203-225.

- KEARNEY, M.S. (1982): Recent seedling establishment at timberline in Jasper National Park, Alta, Canadian Journal of Botany 60: 2283-2287.
- KINNAIRD, J.W. (1974): Effect of site conditions on the regeneration of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.), Journal of Ecology 62: 467-472.
- KIRCHHEFER, A.J. (1996): A dendrochronological study on the effect of climate, site, and insect outbreaks on the growth of *Betula pubescens* coll. in northern Norway, in FRENZEL, B. (ed.): Holocene treeline oscillations, dendrochronology and paleoclimate, Paläoklimaforschung 20: 93-106, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm.
- KJÄLLGREN, L. & KULLMAN, L. (1998): Spatial patterns and structure of the mountain birch tree-limit in the southern Swedish scandes - a regional perspective, Geografiska Annaler 80 A: 1-16.
- KÖRNER, C. (1998a): Worldwide positions of alpine treelines and their causes, in BENISTON, M. & INNES, J.L. (eds.): The impacts of climate variability on forests: 221-229, Berlin.
- KÖRNER, C. (1998b): A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanations, Oecologia 115: 445-459.
- KÖRNER, C. (2003): Ein morphologiebedingter Wärmemangel bestimmt die Waldgrenze, in WININGER, M. (ed.): Carl Troll: Zeitumstände und Forschungsperspektiven. Kolloquium im Gedenken an den 100. Geburtstag von Carl Troll, Colloquium Geographicum 26: 114-118.
- KÖRNER, C. & RENHARDT, U. (1987): Dry matter partitioning and root length/leaf area ratios in herbaceous perennial plants with diverse altitudinal distribution, Oecologia 74: 411-418.
- KÖSTLER, J.N., BRÜCKNER, E. & BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa, Hamburg, Berlin.
- KROG, H., ØSTHAGEN, H. & TØNSBERG, T. (1994): Lavflora. Norske busk- og bladlav, 2. Auflage, Oslo.
- KULLMAN, L. (1981): Some aspects of the ecology of the Scandinavian subalpine birch forest belt, Wahlenbergia 7: 99-112.
- KULLMAN, L. (1984a): Transplantation experiments with saplings of *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* near the tree-limit in Central Sweden, Holarctic Ecology 7: 289-293.
- KULLMAN, L. (1984b): Germinability of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) along two altitudinal transects downslope from the tree-limit, in Sweden, Reports from the Kevo Subarctic Research Station 19: 11-18.
- KULLMAN, L. (1986): Demography of *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* sown in contrasting habitats close to the birch tree-limit in Central Sweden, Vegetatio 65: 13-20.
- KULLMAN, L. (1991): Structural change in a subalpine birch woodland in North Sweden during the past century, Journal of Biogeography 18: 53-62.
- KULLMAN, L. (2002): Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes, Journal of Ecology 90: 68-77.

- KULLMAN, L. (2003): Recent reversal of neoglacial climate cooling trend in the Swedish Scandes as evidenced by mountain birch tree-limit rise, *Global and Planetary Change* 36: 77-88.
- KULLMAN, L. (2004a): A face of global warming - "ice birches" and a changing alpine plant cover, *Geoöko* 25: 181-202.
- KULLMAN, L. (2004b): Tree-limit landscape evolution at the southern fringe of the Swedish Scandes (Dalarna province) - Holocene and 20th century, *Fennia* 182: 73-94.
- KULLMAN, L. (2005): Wind-conditioned 20th century decline of birch treeline vegetation in the Swedish Scandes, *Arctic* 58: 286-294.
- KUMPULA, J. (2001): Productivity of the semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus* L.) stock and carrying capacity of pastures in Finland during 1960-1990's, *Acta Universitatis Ouluensis A* 375, Oulu.
- KUMPULA, J., COLPAERT, A. & NIEMINEN, M. (1998): Reproduction and productivity of semidomesticated reindeer in northern Finland, *Canadian Journal of Zoology* 76: 269-277.
- KUMPULA, J., COLPAERT, A. & NIEMINEN, M. (2002): Productivity factors of the Finnish semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus*) stock during the 1990s, *Rangifer* 22: 3-12.
- KUNDZEWICZ, Z.W. & PARRY, M.L. (2001): Europe, in MCCARTHY, J.J., CANZIANI, O.F., LEARY, N.A., DOKKEN, D.J. & WHITE, K.S. (eds.): *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability* 2: 641-692, Cambridge.
- KUTSCHERA, L. & LICHTENEGGER, E. (2002): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, Graz.
- LAINEN, U. & NURMI, J. (1971): Factors affecting vegetation and flora of anorthosite and granulite areas in western Inari, Finnish Lapland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 8: 104-115.
- LAITAKARI, E. (1935): The root system of birch (*Betula verrucosa* and *odorata*), *Acta Forestalia Fennica* 41: 1-216.
- LARCHER, W. (1985): Winter stress in high mountains, in TURNER, H. & TRANQUILLINI, W. (eds.): *Establishment and tending of subalpine forest: Research and management. Proceedings 3rd IUFRO Workshop P 1.07-00, 1984*, Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, *Berichte* 270: 11-19.
- LAURENROTH, W.K. & GILL, R. (2003): Turnover of root systems, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): *Root ecology*, *Ecological Studies* 168: 61-89, Berlin, Heidelberg.
- LEEGE, A.D. & TRIPEPI, R.R. (1993): Rapid adventitious shoot regeneration from leaf explants of European birch, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 32: 123-129.
- LEHTONEN, J. (1987): Recovery and development of birch forests damaged by *Epirrita autumnata* in Utsjoki area, North Finland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 20: 35-39.
- LEHTONEN, J. & HEIKKINEN, R.K. (1995): On the recovery of mountain birch after *Epirrita* damage in Finnish Lapland, with a particular emphasis on reindeer grazing, *Ecoscience* 2: 349-356.

- LEMPA, K., NEUVONEN, S. & TØMMERVIK, H. (2005a): Effects of reindeer grazing on pastures in a mountain birch ecosystem, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, *Ecological Studies* 180: 157-164, Berlin, Heidelberg.
- LEMPA, K., NEUVONEN, S. & TØMMERVIK, H. (2005b): Sustainable reindeer herding in the mountain birch ecosystem, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, *Ecological Studies* 180: 269-273, Berlin, Heidelberg.
- LÖFFLER, J., PAPE, R. & WUNDRAM, D. (2006): The climatologic significance of topography, altitude and region in high mountains - A survey of oceanic-continental differentiations of the Scandes, *Erdkunde* 60: 15-24.
- LÖFFLER, J., LUNDBERG, A., RÖSSLER, O., BRÄUNING, A., JUNG, G., PAPE, R. & WUNDRAM, D. (2004): The alpine treeline under changing land use and changing climate: Approach and preliminary results from continental Norway, *Norsk Geografisk Tidsskrift* 58: 183-193.
- LOZÁN, J.L. & KAUSCH, H. (1998): *Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler*, Pareys Studentexte 74, Berlin.
- LUCKMAN, B.H. & KAVANAGH, T.A. (1998): Documenting the effects of recent climate change at treeline in the Canadian Rockies, in BENISTON, M. & INNES, J.L. (eds.): *The impacts of climate variability on forests*: 121-144, Berlin.
- LUOTO, M. & SEPPÄLÄ, M. (2000): Summit peats ("Peat cakes") on the fells of Finnish Lapland: continental fragments of blanket mires?, *The Holocene* 10: 229-241.
- LYR, H. & HOFFMANN, G. (1967): Growth rates and growth periodicity of tree roots, in ROMBERGER, J.A. & MIKOLA, P. (eds.): *International Review of Forestry Research* 2: 181-236, New York, London.
- MAGNÚSSON, S.H. & MAGNÚSSON, B. (2001): Effect of enhancement of willow (*Salix* spp.) on establishment of birch (*Betula pubescens*) on eroded soils in Iceland, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series* 27: 317-329, New York, London.
- MANSIKKANIEMI, H. (1970): Deposits of sorted material in the Inarijoki-Tana river valley in Lapland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 6: 1-63.
- MANSIKKANIEMI, H. & LAITINEN, T. (1990): Pattern of local wind changes in a fell region, northern Finland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 21: 11-20.
- MARSCHNER, H. (1993): *Mineral nutrition of higher plants*, London.
- MATSUOKA, H., SUGISAKI, T., ISHIZAKA, H., SAITO, M. & OH, K.-B. (1998): Sensitive and real time measurement of root growth by a computer-aided image analyzing system, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 1341-1348.
- MATTSSON, J. (1995): Human impact on the timberline in the far north of Europe, in HEIKKINEN, O., OBREBSKA-STARKEL, B. & TUHKANEN, S. (eds.): *Environmental aspects of the timberline in Finland and in the Polish Carpathians*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego* 1156: 41-55, Kraków.
- MCDONALD, A.J.S., LOHAMMAR, T. & ERICSSON, A. (1986): Uptake of carbon and nitrogen at decreased nutrient availability in small birch (*Betula pendula* Roth.) plants, *Tree Physiology* 2: 61-71.

- MCMICHAEL, B.L. & BURKE, J.J. (2002): Temperature effects on root growth, in WASEL, Y., ESHEL, A. & KAFKAFI, M. (eds.): Plant roots. The hidden half: 717-728, New York, Basel.
- MEIER, K.-D., THANNHEISER, D., WEHBERG, J. & EISENMANN, V. (2005): Soils and nutrients in northern birch forests: A case study from Finnmarksvidda, northern Norway, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, Ecological Studies 180: 19-33, Berlin, Heidelberg.
- MERILÄINEN, K. (1976): The granulit complex and adjacent rocks in Lapland, Northern Finland, Geological Survey of Finland, Bulletin 281.
- MOSIMANN, T. (1981a): Bodentypen und ihre Verbreitung im Bereich der Waldgrenze am NW-rand der Finnmarksvidda, Norwegen, Norsk Geografisk Tidsskrift 4: 209-226.
- MOSIMANN, T. (1981b): Die Relieflage als Steuerfaktor der Bodenverbreitung und Nährstoffversorgung im subarktischen Waldgrenzgebiet der Finnmarksvidda, in: 43. Deutscher Geographentag: 107-110, Mannheim.
- MOSIMANN, T. (1983): Geoökologische Studien in der Subarktis und den Zentralalpen, Geographische Rundschau 35: 222-228.
- MOSIMANN, T. (1985): Untersuchungen zur Funktion subarktischer und alpiner Geoökosysteme: Finnmark (Norwegen) und Schweizer Alpen, Basler Beiträge zur Physiogeographie / Physiogeographica 7.
- MÜLLER, G. (1994): Bodenökologische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze in Finnisch-Lappland, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- MÜLLER-WILLE, L., EIKJOK, J. & THANNHEISER, D. (2001): People and birch: The Sami perception of the environment and its sustainability, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27: 369-376, New York, London.
- NEUVONEN, S., NIEMELÄ, P. & VIRTANEN, T. (1999): Climatic change and insect outbreaks in boreal forests: the role of winter temperatures, Ecological Bulletins 47: 63-67.
- NEUVONEN, S., BYLUND, H. & TØMMERVIK, H. (2005): Forest defoliation risks in birch forests by insects under different climate and land use scenarios in northern Europe, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, Ecological Studies 180: 125-138, Berlin, Heidelberg.
- NEUVONEN, S., VIRTANEN, T., NIKULA, A. & VARAMA, M. (1996): Climate change and the risks of insect outbreaks, in ROOS, J. (ed.): The Finnish Research Programme on Climate Change, Publications of the Academy of Finland 4/96: 275-280, Helsinki.
- NEUVONEN, S., RUOHOMÄKI, K., BYLUND, H. & KAITANIEMI, P. (2001): Insect herbivores and herbivory effects on mountain birch dynamics, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27: 207-222, New York, London.

- NIKULA, A. (1993): Animals as pests in Finnish Lapland, in JALKANEN, R., AALTO, T. & LAHTI, M.-L. (eds.): Forest pathological research in northern forests with a special reference to abiotic stress factors. Extended SNS meeting in forest pathology in Lapland, Finland, 3-7 august 1992, Finnish Forest Research Institute Research Papers 451: 22-29, Rovaniemi.
- NILSSON, M.-C., HÖGBERG, P., ZACKRISSON, O. & FENGYOU, W. (1993): Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on development and nitrogen uptake by roots and mycorrhizae of *Pinus silvestris*, *Canadian Journal of Botany* 71: 620-628.
- NORDHAGEN, R. (1928): Die Vegetation und Flora des Sylenegebietes, Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. 1. Matematisk-Naturvidenskapelig Klasse 1927 (1).
- NORLIND, V. (1920): Die obere Waldgrenze im schwedischen Lapland, *Petermanns Mitteilungen* 66: 267-268.
- NYHOLM, E. (1964): Illustrated flora of nordic mosses, Oslo.
- OECD ENVIRONMENT HEALTH AND SAFETY PUBLICATIONS (2003): Consensus document on the biology of European white birch (*Betula pendula* Roth), Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology 28, Paris.
- OKSANEN, L. & VIRTANEN, R. (1995): Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia, *Acta Botanica Fennica* 153: 1-80.
- OKSANEN, L., MOEN, J. & HELLE, T. (1995): Timberline patterns in northernmost Fennoscandia. Relative importance of climate and grazing, *Acta Botanica Fennica* 153: 93-105.
- OVASKA, J., NILSEN, J., WIELGOLASKI, F.E., KAUKANEN, H., PARTANEN, R., NEUVONEN, S., KAPARI, L., SKRE, O. & LAINE, K. (2005): Phenology and performance of mountain birch provenances in transplant gardens: Latitudinal, altitudinal and oceanicity-continentiality gradients, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, *Ecological Studies* 180: 99-115, Berlin, Heidelberg.
- PERALA, D.A. & ALM, A.A. (1990): Reproductive ecology of birch: A review, *Forest Ecology and Management* 32: 1-38.
- PEREVERZEV, V.N. (2001): Tundra soils on different soil-forming rocks in northern Fennoscandia, *Eurasian Soil Science* 34: 710-716.
- PLATT, R.R. (1955): Finland and its geography, New York.
- PLAUT, Z., NEWMAN, M., FEDERMAN, E. & GRAVA, A. (1997): Response of root growth to a combination of three environmental factors, in ALTMAN, A. & WAISEL, Y. (eds.): Biology of root formation and development, *Basic Life Sciences* 65: 243-247, New York, London.
- POLLARD, W.H. (1988): Seasonal frost mounds, in CLARK, M.J. (ed.): Advances in periglacial geomorphology: 201-229, Chichester.
- POLOMSKI, J. & KUHN, N. (1998): Wurzelsysteme, Bern, Stuttgart, Wien.
- RAITH, M., RAASE, P. & HÖRMANN, K. (1982): The Precambrian of Finnish Lapland: Evolution and regime of metamorphism, *Geologische Rundschau* 71: 230-244.

- RAPP, A. (1996): Photo documentation of landscape change in northern Swedish mountains, in KARLSSON, P.S. & CALLAGHAN, T.V. (eds.): Plant ecology in the subarctic Swedish Lapland, *Ecological Bulletins* 45: 170-179.
- RASMUSSEN, H.N. (1995): Restriction of the root system, a survey of non-chemical methods, *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society* 45: 207-210.
- RICHNER, W., LIEDGENS, M., BÜRGI, H., SOLDATI, A. & STAMP, P. (2000): Root image analysis and interpretation, in SMIT, A.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C., VAN NOORDWIJK, M., PELLERIN, S. & VAN DE GEIJN, S.C. (eds.): *Root methods. A handbook*: 305-342, Heidelberg, Berlin.
- RUUHJÄRVI, R. (1960): Über die regionale Einteilung der nordfinnischen Moore, *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo"* 31.
- SARVAS, R. (1970): Temperature sum as a restricting factor in the development of forest in the subarctic, in UNESCO (ed.): *Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki symposium, Ecology and Conservation* 1: 79-82.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. & STAHR, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum*, Berlin.
- SCHULTE, M. (1994): *Bodenökologische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze in Finnisch-Lappland unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffnachlieferung, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.*
- SCHUNKE, E. (1981): Zur kryogenen Bodendynamik der arktischen Tundren Nordamerikas und Nordeuropas, in HAGEDORN, H. & GIESSNER, K. (eds.): 43. *Deutscher Geographentag*: 87-89, Wiesbaden.
- SCHUNKE, E. & ZOLTAI, S.C. (1988): Earth hummocks (thufur), in CLARK, M.J. (ed.): *Advances in periglacial geomorphology*: 231-245, Chichester.
- SCHURMAN, J.J. & GOEDEWAAGEN, M.A.J. (1971): *Methods for the examination of root systems and roots*, Wageningen.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (2001): *Dendroökologische Holzanatomie: anatomische Grundlagen der Dendrochronologie*, Bern, Stuttgart, Wien.
- SCOTT, P.A., LAVOIE, C., MACDONALD, G.M., SVEINBJÖRNSSON, B. & WEIN, R.W. (1997): Climate change and future position of arctic tree line, in OECHEL, W.C., CALLAGHAN, T., GILMANOV, T., HOLTEN, J., MAXWELL, B., MOLAU, U. & SVEINBJÖRNSSON, B. (eds.): *Global change and terrestrial ecosystems, Ecological Studies* 124: 245-264, New York.
- SEPPÄ, H. (1996): Post-glacial dynamics of vegetation and tree-lines in the far north of Fennoscandia, *Fennia* 174: 1-96.
- SEPPÄLÄ, M. (1976): Periglacial character of the climate of the Kevo region (Finnish Lapland) on the basis of meteorological observations 1962-71, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 13: 1-11.
- SEPPÄLÄ, M. (1984): Geomorphological development of the Finnish landscape - a general review, *Fennia* 162: 43-51.
- SEPPÄLÄ, M. (1988): Palsas and related forms, in CLARK, M.J. (ed.): *Advances in periglacial geomorphology*: 247-278, Chichester.

- SEPPÄLÄ, M. (1998): New permafrost formed in peat hummocks (Pounus), Finnish Lapland, *Permafrost and Periglacial Processes* 9: 367-373.
- SEPPÄLÄ, M. (2004): Wind as a geomorphic agent in cold climates, *Studies in Polar Research*, Cambridge.
- SEPPÄLÄ, M. & RASTAS, J. (1980): Vegetation map of northernmost Finland with special reference to subarctic forest limits and natural hazards, *Fennia* 158: 41-61.
- SERREZE, M.C., WALSH, J.F., CHAPIN, F.S., III, OSTERKAMP, T., DYORGEROV, M., ROMANOVSKY, V., OECHEL, W.C., MORISON, J., ZHANG, T. & BARRY, R.G. (2000): Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment, *Climatic Change* 46: 159-207.
- SJÖRS, H. (1950): Regional studies in North Swedish mire vegetation, *Botaniska Notiser* 103: 173-222.
- SKARTVEIT, A., RYDÉN, B.E. & KÄRENLAMPI, L. (1975): Climate and hydrology of some Fennoscandian tundra ecosystems, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1: Plants and microorganisms*, *Ecological Studies* 16: 41-53, Berlin, Heidelberg, New York.
- SKRE, O. (1991): Growth experiments with seedlings of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh.) and lowland birch (*B. pendula* Roth.), grown at varying temperature, light and daylength, *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning* 44: 1-41.
- SKRE, O. (1992): Nutrient limitation in three birch populations and the possible function of alternative respiration as a growth-regulation mechanism, *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning* 46: 1-28.
- SKRE, O. (1993): Growth of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in response to changing temperature, in ALDEN, J., MASTRANTONIO, J.L. & ODUM, S. (eds.): *Forest Development in Cold Climates*, NATO ASI SERIES A, Life Sciences 244: 65-78, New York, London.
- SKRE, O. (2001): Climate change impacts on mountain birch ecosystems, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems*, *Man and the biosphere series* 27: 343-357, New York, London.
- SKRE, O., BAXTER, R., CRAWFORD, R.M.M., CALLAGHAN, T.V. & FEDORKOV, A. (2002): How will the tundra-taiga interface respond to climate change?, *Ambio Special Report* 12: 37-46.
- SMITH, F.A., SMITH, S.E. & TIMONEN, S. (2003): Mycorrhizas, in DE KROON, H. & VISSER, J.W. (eds.): *Root ecology*, *Ecological Studies* 168: 257-295, Berlin, Heidelberg.
- SOLBERG, B., TØMMERVIK, H., THANNHEISER, D. & NEUVONEN, S. (2005): Economic limits and possibilities for sustainable utilization of northern birch forests, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests*, *Ecological Studies* 180: 219-233, Berlin, Heidelberg.
- SONESSON, M. & HOOGESTEGER, J. (1983): Recent tree-line dynamics (*Betula pubescens* Ehrh. ssp. *tortuosa* [Ledeb.] Nyman) in northern Sweden, *Collection Nordicana* 47: 47-54.
- STEVENS, G.C. & FOX, J.F. (1991): The causes of treeline, *Annual Review of Ecology and Systematics* 22: 177-191.

- STONE, E.L. & KALISZ, P.J. (1999): On the maximum extent of tree roots, *Forest Ecology and Management* 46: 59-102.
- SUOMELA, J., SUOMINEN, O. & TÖRVI, M. (1997): Variation in quality of mountain birch and tea-leaved willow for mammal and insect herbivores: differences among trees, among sites and between tree species, *Ecography* 20: 224-232.
- SUOMINEN, O. & OLOFSSON, J. (2000): Impacts of semi-domesticated reindeer on structure of tundra and forest communities in Fennoscandia: a review, *Annales Zoologici Fennici* 37: 233-249.
- SUTINEN, M.-L., RITARI, A., HOLAPPA, T. & KUJALA, K. (1997): The role of lichen cover in winter changes in soil temperature and in the frost hardiness of scots pine roots under subarctic conditions, in ARCTIC CENTRE (ed.): Abstracts. Symposium climate change effects on northern terrestrial and freshwater ecosystems, Arktikum, Rovaniemi, Finland 18th-20th september 1997: 49, Rovaniemi.
- SVEINBJÖRNSSON, B. (1987): Biomass proportioning as related to plant size in juvenile mountain birch near Abisko, Swedish Lapland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 20: 1-8.
- SVEINBJÖRNSSON, B. (2000): North American and European treelines: External forces and internal processes controlling position, *Ambio* 29: 388-395.
- SVEINBJÖRNSSON, B. (2001): Performance of mountain birch in relation to its treeline in the Torneträsk area, northern Sweden, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27*: 173-183, New York, London.
- SVEINBJÖRNSSON, B., KAUKANEN, H. & NORDELL, K.O. (1996): Treeline ecology of mountain birch in the Torneträsk area, in KARLSSON, P.S. & CALLAGHAN, T.V. (eds.): *Plant ecology in the subarctic Swedish Lapland, Ecological Bulletins 45*: 65-70.
- SVEINBJÖRNSSON, B., HOFGAARD, A. & LLOYD, A. (2002): Natural causes of the tundra-taiga boundary, *Ambio Special Report* 12: 23-29.
- SYRILÄ, S. (1964): Retreat of the continental ice and fluvio-glacial erosion features on the Tuolbanjauogaivi Fjeld in northernmost Finland, *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 1: 338-345.
- TASANEN, T. (1999): Timberline research in Finland, in KANKAANPÄÄ, S., TASANEN, T. & SUTINEN, M.-L. (eds.): *Sustainable development in northern timberline forests. Proceedings of the timberline workshop, May 10-11, 1998 in Whitehorse, Canada, Finnish Forest Research Institute Research Papers 734*: 123-141.
- TENOW, O. (1996): Hazards to a mountain birch forest - Abisko in perspective, *Ecological Bulletins 45*: 104-114.
- TENOW, O., BYLUND, H. & HOLMGREN, B. (2001): Impact on mountain birch forest in the past and the future of outbreaks of two geometrid insects, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series 27*: 223-239, New York, London.
- TENOW, O., BYLUND, H., NILSEN, A.C. & KARLSSON, P.S. (2005): Long-term influences of herbivores on northern birch forests, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, Ecological Studies 180*: 165-181, Berlin, Heidelberg.

- THÓRSSON, A.T., SALMELA, E. & ANAMTHAWAT-JÓNSSON, K. (2001): Morphological, cytogenetic, and molecular evidence for introgressive hybridization in birch, *The Journal of Heredity* 92: 404-408.
- TIKHOMIROV, B.A. (1970): Forest limits as the most important biogeographical boundary in the north, in UNESCO (ed.): *Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki symposium, Ecology and Conservation* 1: 35-40.
- TØMMERVIK, H., WIELGOLASKI, F.E., NEUVONEN, S., SOLBERG, B. & HØGDA, K.A. (2005): Biomass and production on a landscape level in the northern mountain birch forest, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, Ecological Studies* 180: 53-70, Berlin, Heidelberg.
- TØMMERVIK, H., JOHANSEN, B., TOMBRE, I., THANNHEISER, D., HØGDA, K.A., GAARE, A. & WIELGOLASKI, F.E. (2004): Vegetation changes in the nordic mountain birch forest: The influence of grazing and climate change, *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 36: 323-332.
- TOPP, G.C. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines, *Water Resources Research* 16: 574-582.
- TOPP, G.C., DAVIS, J.L., BAILEY, W.G. & ZEBCHUK, W.D. (1984): The measurement of soil water content by using a portable TDR hand probe, *Canadian Journal of Soil Science* 64: 313-321.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*, Berlin.
- TRETER, U. (1984): *Die Baumgrenzen Skandinaviens*, Wiesbaden.
- TUHKANEN, S. (1999): The northern Timberline in relation to climate, in KANKAANPÄÄ, S., TASANEN, T. & SUTINEN, M.-L. (eds.): *Sustainable development in northern timberline forests. Proceedings of the timberline workshop, May 10-11, 1998 in Whitehorse, Canada, Finnish Forest Research Institute Research Papers* 734: 29-69.
- TURNER, H. (1980): Types of microclimate at high elevations, in BENECKE, U. & DAVIS, M.R. (eds.): *Mountain environments and subalpine tree growth. Proceedings of IUFRO Workshop Nov. 1979 Christchurch, NZ, New Zealand Forest Service Technical Paper* 70: 21-26, Wellington.
- UKKOLA, R. (1995): Trampling tolerance of plants and ground cover in Finnish Lapland, with an example from the Pyhätunturi National Park, in HEIKKINEN, O., OBREBSKA-STARKEL, B. & TUHKANEN, S. (eds.): *Environmental aspects of the timberline in Finland and in the Polish Carpathians, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego* 1156: 91-110, Kraków.
- VAARAMA, A. & VALANNE, T. (1973): On the taxonomy, biology and origin of *Betula tortuosa* Ledeb., *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 10: 70-84.
- VÄRE, H. (2001): Mountain birch taxonomy and floristics of mountain birch woodlands, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems, Man and the biosphere series* 27: 35-46, New York, London.
- VEIJOLA, P. (1998): The northern timberline and timberline forests in Fennoscandia, *The Finnish Forest Research Institute Research Papers* 672, Kolari.
- VIRTANEN, T., NEUVONEN, S. & NIKULA, A. (1998): Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) with a

- geographical information system: predictions for current climate and warmer climate scenarios, *Journal of Applied Ecology* 35: 311-322.
- VOGT, C.A., VOGT, D.J., ASBJORNSEN, H. & DAHLGREN, R.A. (1995): Roots, nutrients and their relationship to spatial patterns, *Plant and Soil* 168/169: 113-123.
- WAGNER, F., NEUVONEN, S., KÜRSCHNER, W.M. & VISSCHER, H. (2000): The influence of hybridization on epidermal properties of birch species and the consequences for palaeoclimatic interpretations, *Plant Ecology* 148: 61-69.
- WALD, S. (2004): Die Böden im Standortmosaik oberhalb des Birkenwaldes auf nordfinnischen Fjellen (Utsjoki, Finnisch Lappland), unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Landschaftsökologie, Fachbereich Geowissenschaften, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1994): Spezielle Ökologie der gemäßigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens: Zonobiom VI-IX. *Ökologie der Erde III*, Stuttgart, Jena.
- WEHBERG, J., THANNHEISER, D. & MEIER, K.-D. (2005): Vegetation of the mountain birch forest in northern Fennoscandia, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests*, *Ecological Studies* 180: 35-52, Berlin, Heidelberg.
- WEIH, M. (1998): Seasonality of nutrient availability in soils of subarctic mountain birch woodlands, *Swedish Lapland, Arctic and Alpine Research* 30: 19-25.
- WEIH, M. & KARLSSON, P.S. (1997): Growth and nitrogen utilization in seedlings of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) as related to plant nitrogen status and temperature: A two-year study, *Ecoscience* 4: 365-373.
- WEIH, M. & KARLSSON, P.S. (1999): The nitrogen economy of mountain birch seedlings: implications for winter survival, *Journal of Ecology* 87: 211-219.
- WEIH, M. & KARLSSON, P.S. (2002): Low winter soil temperature affects summertime nutrient uptake capacity and growth rate of mountain birch seedlings in the subarctic, *Swedish Lapland, Arctic, Antarctic and Alpine Research* 34: 434-439.
- WEISCHET, W. & ENDLICHER, W. (2000): *Regionale Klimatologie. Teil 2. Die Alte Welt*, Stuttgart, Leipzig.
- WERGER, M.J.A. (1983): Wurzel/Spross-Verhältnis als Merkmal der Pflanzenstrategie, in BUNDESANSTALT GUMPENSTEIN (ed.): *Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung. Internationales Symposium Gumpenstein, 1982: 323-334*, Irdning.
- WHALLEY, W.R. (1993): Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content, *Journal of Soil Science* 44: 1-9.
- WIELGOLASKI, F.E. (1975): Functioning of Fennoscandian tundra ecosystems, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Fennoscandian tundra ecosystems. Part 2: Animals and system analysis*, *Ecological Studies* 17: 300-326, Berlin, Heidelberg, New York.
- WIELGOLASKI, F.E. (1997): Fennoscandian tundra, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Polar and alpine tundra*, *Ecosystems of the World* 3: 27-83, Amsterdam.
- WIELGOLASKI, F.E. (2001): Vegetation sections in northern Fennoscandian mountain birch forests, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): *Nordic mountain birch ecosystems*, *Man and the biosphere series* 27: 23-33, New York, London.

- WIELGOLASKI, F.E. (2005): History and environment of the nordic mountain birch, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, *Ecological Studies* 180: 3-18, Berlin, Heidelberg.
- WIELGOLASKI, F.E. & NILSEN, J. (2001): Coppicing and growth of various provenances of mountain birch in relation to nutrients and water, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Nordic mountain birch ecosystems, *Man and the biosphere series* 27: 77-92, New York, London.
- WIELGOLASKI, F.E., BLISS, L.C., SVOBODA, J. & DOYLE, G. (1981): Primary production of tundra, in BLISS, L.C., HEAL, O.W. & MOORE, J.J. (eds.): *Tundra ecosystems: A comparative analysis*, *The International Biological Programme* 25: 187-226, Cambridge.
- WIELGOLASKI, F.E., KARLSSON, P.S., NEUVONEN, S., THANNHEISER, D., TØMMERVIK, H. & GAUTESTAD, A.O. (2005): The nordic mountain birch ecosystem - Challenges to sustainable management, in WIELGOLASKI, F.E. (ed.): Plant ecology, herbivory, and human impact in nordic mountain birch forests, *Ecological Studies* 180: 343-356, Berlin, Heidelberg.
- WILSON, J.B. (1988): A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models, *Annals of Botany* 61: 433-449.

# Danksagung

Ohne die Hilfe anderer wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Allen Beteiligten möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Herrn Prof. Dr. Friedrich-Karl Holtmeier danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und die Betreuung der Arbeit sowie für zahlreiche Denkanstöße und die stete und freundliche Unterstützung.

Bei Frau Prof. Dr. Gabriele Broll bedanke ich mich für die Übernahme des Zweitgutachtens und für viele wertvolle Anregungen und Ratschläge.

Herr Dr. Hans-Jörg Brauckmann trug durch die tatkräftige Unterstützung bei den Geländearbeiten sowie durch zahlreiche Diskussionen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes zum Gelingen der Arbeit bei.

Frau Birgit Drees und Frau Sabine Wald danke ich für die sehr gute und konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen ihrer Diplomarbeiten.

Den Mitarbeitern des Subarktischen Forschungsinstitutes Kevo der Universität Turku, besonders ihrem ehemaligen Leiter Herrn Dr. Seppo Neuvonen, Frau Saini Heino und Herrn Lasse Iso-Iivari, danke ich nicht nur für die fachliche und logistische Unterstützung während der Geländearbeiten, sondern auch für die freundliche Aufnahme.

Für fruchtbare Diskussionen und viele nützliche Hinweise bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. Marja-Liisa Räisänen, Frau PD Dr. Monika Wulf, Frau Dr. Bettina Hiller, Herrn Dr. Andreas Mütterthies und Herrn Dr. Jens Wöllecke.

Den technischen Assistentinnen des Institutes für Landschaftsökologie der Universität Münster, Frau Ulrike Berning-Mader, Frau Madeleine Supper und Frau Melanie Tappe, danke ich für die Hilfe bei den Laborarbeiten.

Für die finanzielle Förderung bedanke ich mich bei LAPBIAT (Europäische Union).

Vor allem möchte ich mich bei meiner Familie für ihre fortwährende Unterstützung und Ermutigung bedanken.

# Anhang

## Anhang

Tab. 9: Übersicht über die Lage der Untersuchungsflächen. Abkürzungen der Standorttypen: D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Nr.	Fläche	Höhe [m ü.NN]	Exposi- tion [°]	Inklina- tion [°]	Größe [m <sup>2</sup> ]	Koordinaten NW-Ecke [n. B.; w. L.]	Standort- typen
	<b>Staloskaidi</b>						
1	Transekt 1	259-267	340-90	<0,5-22	1128	69°55'20,6"; 26°52'12,7"	D, F, Z
2	Transekt 2	318-327	140	<0,5-20	200	69°54'55,9"; 26°51'16,6"	U, F, D
3	Weiden	306	90	<0,5	40	69°54'56,4"; 26°51'41,6"	W
4	Bulten	311	90	2	80	69°54'55,7"; 26°51'30,2"	B
5	Grasmoor	322	170	2-10	80	69°54'54,7"; 26°51'11,9"	G
6	Transekt 3	289-296	250	2-12	200	69°55'24,2"; 26°50'29,8"	D, F, Z
7	Transekt 4	288-293	250	4-16	160	69°55'25,5"; 26°50'27,1"	D, F
8	Nord Z	290-292	350	<0,5-12	106	69°55'33,6"; 26°50'34,7"	Z
9	Nord F	279-284	340	8-16	150	69°55'35,5"; 26°50'39,9"	F
	zusätzliche Deflati- onsflächen:						
10	West D1	290-292	250	6	84	69°55'25,1"; 26°50'27,6"	D
11	West D2	297	250	4	90	69°55'24,8"; 26°50'29,7"	D
12	West D3	296	250	6	140	69°55'25,5"; 26°50'29,4"	D
13	West D4	295	250	6	140	69°55'25,9"; 26°50'28,6"	D
14	West D5	294	250	4	84	69°55'26,3"; 26°50'27,4"	D
15	West D6	293	250	6	88	69°55'26,8"; 26°50'27,0"	D
16	Nord D1	297	340	<0,5-6	140	69°55'32,0"; 26°50'34,6"	D
17	Nord D2	297	310	4	104	69°55'31,1"; 26°50'33,3"	D
18	Nord D3	297	350	6	95	69°55'31,8"; 26°50'35,5"	D
19	Nord D4	296	350	8	80	69°55'32,1"; 26°50'37,4"	D
20	Nord D5	289-294	330	10	125	69°55'32,3"; 26°50'41,2"	D
21	Nord D6	285	340	10	160	69°55'33,8"; 26°50'37,7"	D
22	Nord D7	283-287	300	6-10	144	69°55'34,7"; 26°50'41,0"	D
	<b>Koahppeloarvi</b>						
23	Transekt 5	322-329	180	<0,5-28	300	69°56'32,2"; 26°48'54,4"	D, F, Z
24	Weiden	318	120	4	40	69°56'29,8"; 26°48'56,1"	W
25	Bulten	318	120	2	108	69°56'29,6"; 26°48'55,4"	B
26	Grasmoor	319	290	1-5	62	69°56'33,5"; 26°48'48,6"	G
27	Transekt 6	316-321	100	<0,5-16	240	69°56'31,4"; 26°49'03,1"	D, F, Z
	zusätzliche Deflati- onsflächen:						
28	D1	328-331	50	14	176	69°56'32,7"; 26°48'54,3"	D
29	D2	320-326	10	6	420	69°56'32,0"; 26°48'55,7"	D
30	D3	323-324	0	<0,5-12	645	69°56'32,6"; 26°49'00,6"	D
31	D4	314-316	umlaufend	<0,5-4	360	69°56'33,2"; 26°49'10,3"	D
32	D5	313	umlaufend	<0,5-4	475	69°56'33,5"; 26°49'11,7"	D
33	D6	313	umlaufend	<0,5-4	350	69°56'34,9"; 26°49'16,1"	D
	<b>Rodjanoarvi</b>						
34	Transekt 7	372-377	230	<0,5-28	240	69°50'31,4"; 26°24'31,1"	D, F, Z
35	Weiden	370	310	2-3	40	69°50'30,5"; 26°24'24,8"	W
36	Bulten	368-370	300	4	40	69°50'29,1"; 26°24'18,2"	B
37	Transekt 8	379-384	200	<0,5-20	76	69°50'30,8"; 26°24'38,5"	G, F, D
	zusätzliche Deflati- onsflächen:						
38	D1	374	210	10	16	69°50'30,7"; 26°24'28,0"	D
39	D2	380	310	<0,5	20	69°50'30,3"; 26°24'33,3"	D
40	D3	387	270	6	70	69°50'30,9"; 26°24'38,7"	D
41	D4	386	310	<0,5	28	69°50'32,3"; 26°24'38,9"	D
42	D5	390	310	10	84	69°50'26,2"; 26°24'33,7"	D
43	D6	387	340	7	100	69°50'25,6"; 26°24'27,7"	D

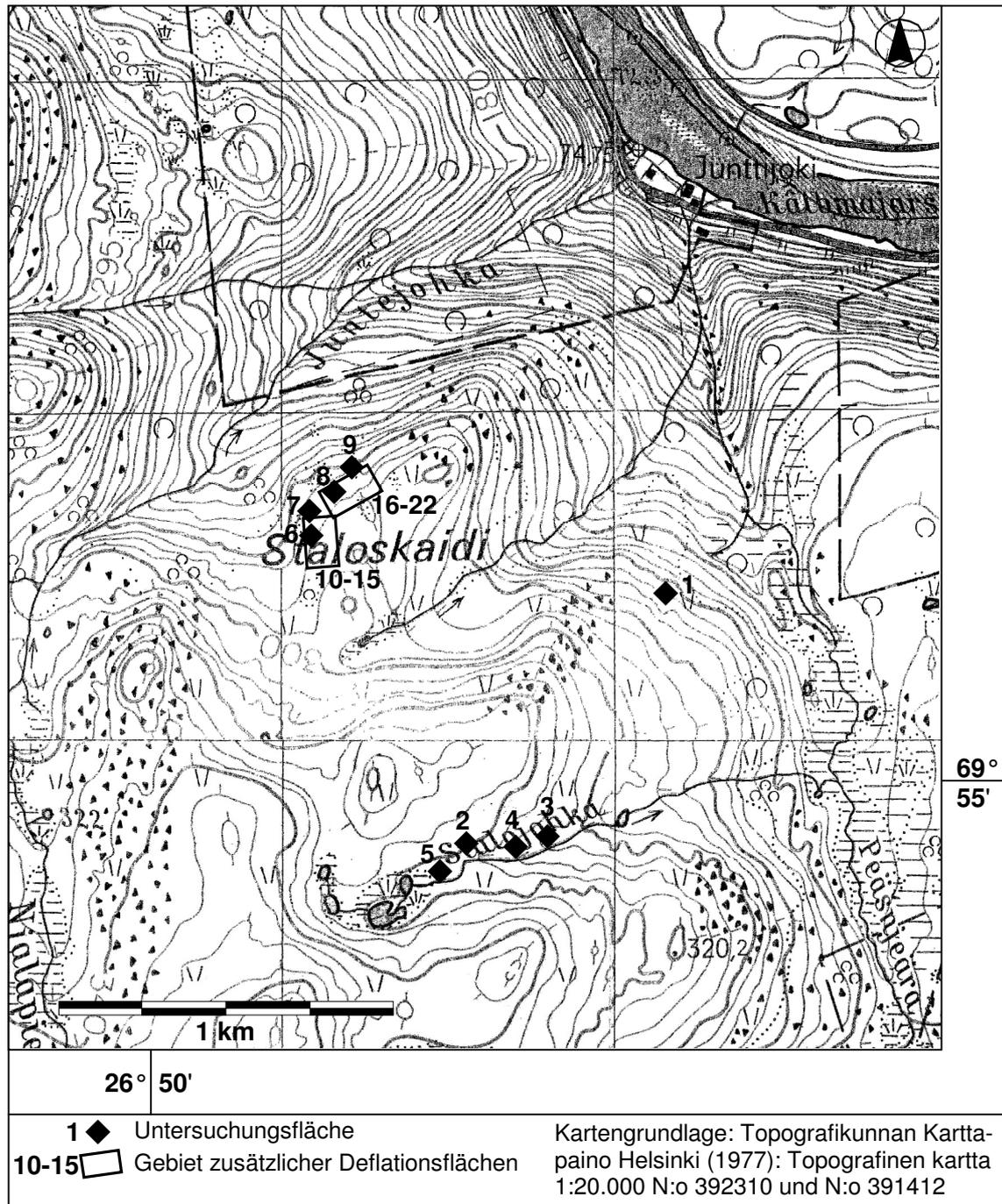


Abb. 38: Lage der Untersuchungsflächen am Staloskaidi (Flächennummern vgl. Tab. 9). Kartengrundlage reproduziert mit Genehmigung des Topographic Service der Finnish Defence Forces.

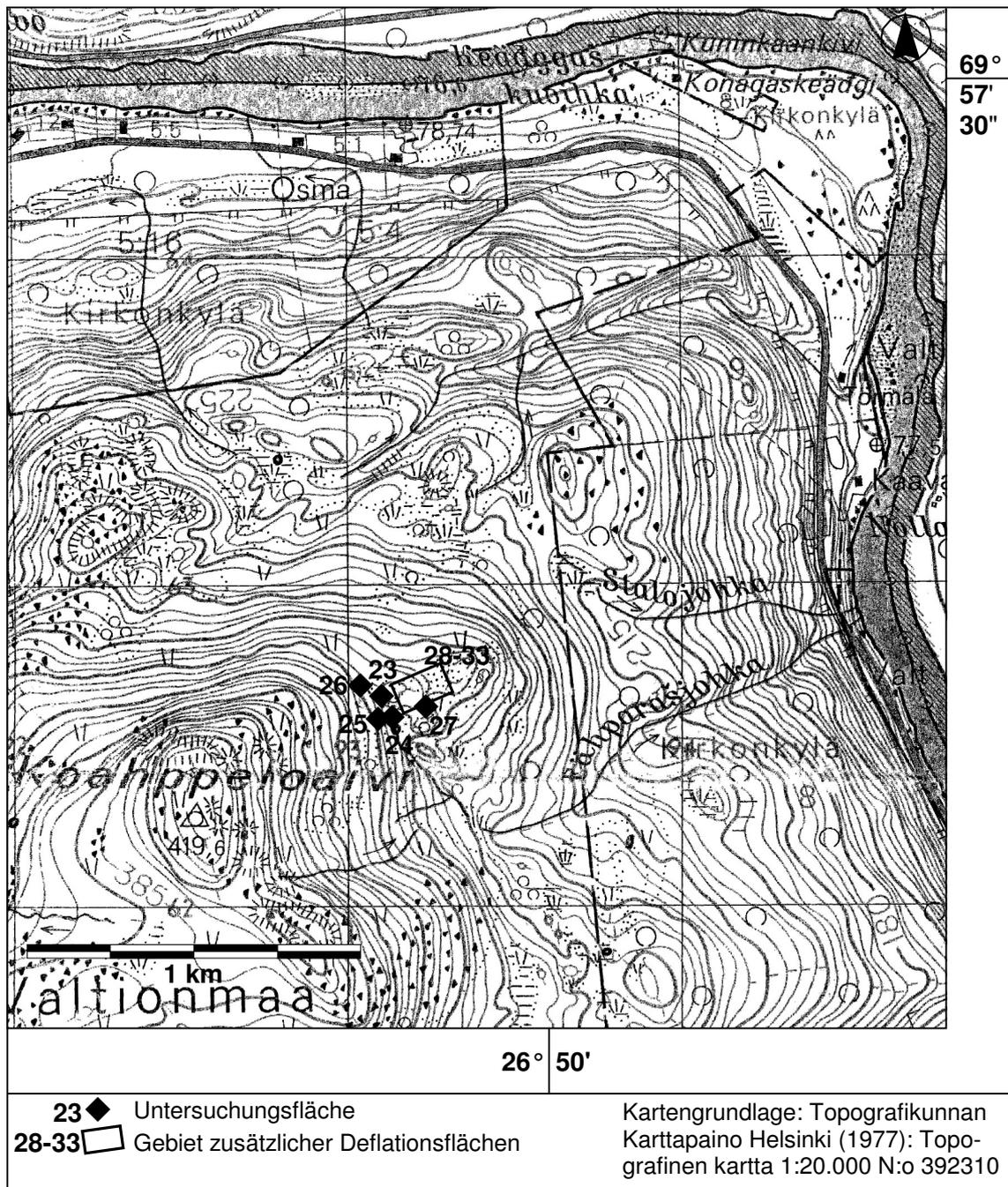


Abb. 39: Lage der Untersuchungsflächen am Koahppeloarvi (Flächennummern vgl. Tab. 9). Karten- grundlage reproduziert mit Genehmigung des Topographic Service der Finnish Defence Forces.

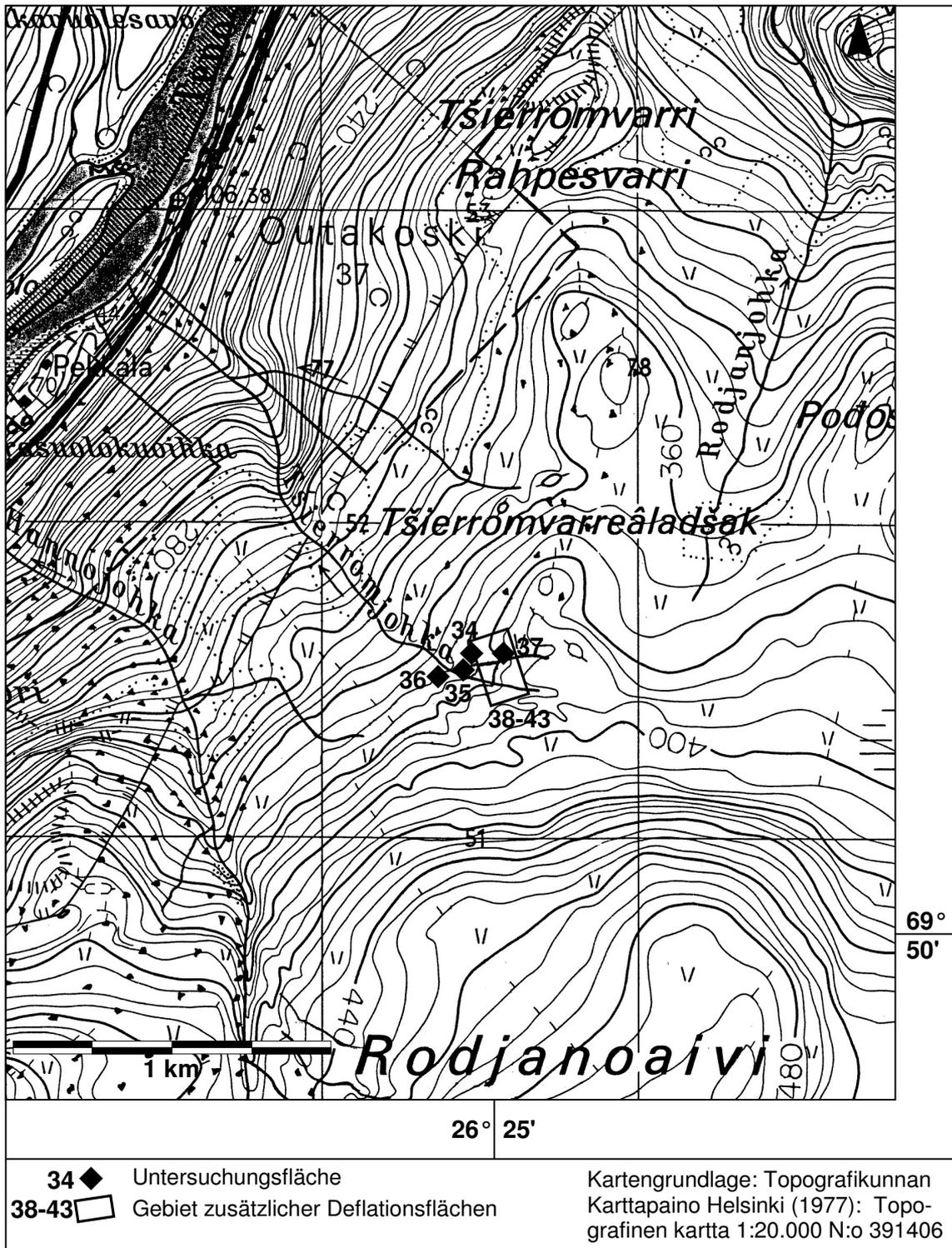


Abb. 40: Lage der Untersuchungsflächen am Rodjanoaivi (Flächennummern vgl. Tab. 9). Kartengrundlage reproduziert mit Genehmigung des Topographic Service der Finnish Defence Forces.

Tab. 10: Vegetationstabelle der Heidestandorte. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, U = Ufer.

Referenznummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Standorttyp	D	D	D	F	F	F	F	F	Z	Z	U
Flächengröße [m²]	9	9	9	4	4	4	4	4	4	4	4
Exposition	w	n	s	w	w	o	n	s	n	o	-
Inklination [°]	4	2	4	10	12	22	12	20	4	2	-
Höhe üNN [m]	294	266	327	288	292	262	279	320	290	259	318
Deckung Vegetation [%]	4	3	3	45	40	30	50	50	80	80	80
Deckung Steine [%]	60	30	50	<1	<1	2	1	2	<1	0	1
Deckung Zwergsträucher [%]	2	2	3	40	30	20	40	15	75	70	25
Deckung Grasartige [%]	<1	<1	<1	1	1	1	<1	2	1	2	30
Deckung Moose [%]	<1	<1	<1	1	1	1	1	15	10	15	60
Deckung Flechten [%]	<1	<1	2	10	20	20	10	20	5	3	1
Höhe Strauchschicht [cm]	4	2	5	30	10	25	10	30	50	40	15
Höhe Grasartige [cm]	8	6	5	10	8	12	8	15	12	10	20
Höhe Kryptogamen [cm]	<1	<1	<1	1	1	1	1	1	3	2	1
Humusmächtigkeit [cm]	0	0	0	1-2	1-2	0-2	0-2	1-2	3	2	4
Gesamtartenzahl	15	13	12	24	26	22	25	23	22	27	31
<i>Diapensia lapponica</i> L.	+	+	+	.	1	.	+	.	.	.	.
<i>Gymnomitrium coralloides</i> Nees	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carex bigelowii</i> Torr. ex. Schwein.	.	.	r	1	+	1	+	+	.	.	3
<i>Ochrolechia frigida</i> (Sw.) Lyngé	.	.	.	1	2	1	+	1	.	.	.
<i>Cetraria ericetorum</i> Opiz	.	.	.	+	.	+	+	+	.	.	.
<i>Cladonia bellidiflora</i> (Ach.) Schaer.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	+	.
<i>Salix herbacea</i> L.	.	.	.	.	.	.	1	+	2	+	1
<i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouzar & Vezda	.	.	.	+	.	.	.	+	+	+	.
<i>Stereocaulon paschale</i> (L.) Hoffm.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	+	.
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	+
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1
<i>Phyllodoce coerulea</i> (L.) Bab.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	1
<i>Diphasiastrum alpinum</i> (L.) Holub	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Festuca ovina</i> L.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.
<i>Barbilophozia hatcheri</i> (Evans) Loeske	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Cassiope hypnoides</i> (L.) D. Don	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Gnaphalium supinum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Sibbaldia procumbens</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Equisetum palustre</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Juncus filiformis</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Carex rotundata</i> Wahlenb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Nardus stricta</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<b>Kennzeichnende Arten der Loiseleurio-Vaccinietea</b>											
<i>Loiseleuria procumbens</i> (L.) Desv.	+	+	+	1	1	+	1	+	+	+	1
<i>Cetraria nivalis</i> (L.) Ach.	+	+	+	+	1	2	1	+	.	r	.
<i>Alectoria ochroleuca</i> (Hoffm.) A. Massal.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.
<i>Juncus trifidus</i> L.	+	+	+	.	+	.	.	.	+	+	.
<i>Arctostaphylos alpinus</i> (L.) Spreng.	+	.	+	1	1	.	1	.	.	.	.
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	+	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.
<i>Thamnia vermicularis</i> (Sw.) Schaer.	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Cetraria cucullata</i> (Bellardi) Ach.	.	.	.	+	+	+	+	+	.	.	.
<i>Polytrichum piliferum</i> Schreb. Ex Hedw.	+	r	.	.	+	.	+	.	.	.	.
<i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain.	.	r	.	+	.	+	.	.	.	.	.
<i>Alectoria nigricans</i> (Ach.) Nyl.	+	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.
<i>Hieracium alpinum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
<b>Weitere Arten</b>											
<i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>hermaphroditum</i> (Hagerup) Böcher	+	+	+	4	3	3	4	2	4	4	2
<i>Betula nana</i> L.	+	+	+	2	1	1	1	1	2	2	1
<i>Betula pubescens</i> Ehrh. ssp. <i>czerepanovii</i> (N. I. Orlova) Hämet-Ahti	r	r	.	+	+	+	+	.	+	+	+
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	.	+	+	1	1	.	.	.	.	+	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	.	.	.	1	+	1	1	+	1	1	+
<i>Dicranum spec.</i>	.	.	.	+	+	+	.	3	2	2	4
<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.	.	.	.	+	+	+	+	1	+	+	.
<i>Cladonia uncialis</i> (L.) F. H. Wigg.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	.
<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.	.	.	.	+	+	+	.	+	+	+	.
<i>Cladonia coccifera</i> (L.) Willd.	.	.	.	+	+	.	+	1	+	+	.
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	+	.
<i>Ptilidium ciliare</i> (L.) Hampe.	.	.	.	+	+	+	.	.	+	1	.
<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Polytrichum alpinum</i> Hedw. / <i>commune</i> Hedw.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Polytrichum spec.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Hepaticae</i> indet.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Sphagnum spec.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Cornus suecica</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Trientalis europaea</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Gray	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Pinguicula vulgaris</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Salix lapponum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+

Tab. 11: Vegetationstabelle der Moorstandorte. W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, S = Schlenke, B = Bult.

Referenznummer	1	2	3	4	5
Berg	S	R	S	S	S
Standorttyp	W	G	G	Sl	B
Flächengröße [m <sup>2</sup> ]	9	9	9	4	4
Exposition	-	-	-	-	-
Inklination [°]	-	-	-	-	-
Höhe üNN [m]	306	379	322	311	311
Deckung Vegetation [%]	100	95	95	80	98
Deckung Steine [%]	0	0	0	0	0
Deckung Zwergsträucher [%]	60	10	8	5	30
Deckung Grasartige [%]	25	70	60	40	20
Deckung Moose [%]	30	90	95	50	70
Deckung Flechten [%]	0	0	0	0	5
Höhe Strauchschicht [cm]	130	30	25	20	25
Höhe Grasartige [cm]	20	30	30	30	20
Höhe Kryptogamen [cm]	2	3	4	3	4
Gesamtartenzahl	34	26	27	15	29
<i>Trientalis europaea</i> L.	+	+	.	.	+
<i>Juncus filiformis</i> L.	+	.	1	+	.
<i>Viola epipsila</i> Ledeb.	1	+	1	.	.
<i>Vahlodea atropurpurea</i> (Wahlenb.) Fr. ex Hartm.	1	+	+	.	.
<i>Salix lapponum x glauca</i>	4	1	.	.	.
<i>Pyrola minor</i> L.	+	+	.	.	.
<i>Taraxacum spec.</i> Weber	+	+	.	.	.
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Gray	+	.	.	.	.
<i>Salix glauca</i> s.l. L.	1	.	.	.	.
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	+	.	.	.	.
<i>Agrostis mertensii</i> Trin.	+	.	.	.	.
<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin. [stand erst unter phyllodoce]	+	.	.	.	.
<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb.	2	.	2	1	2
<i>Epilobium palustre</i> L.	+	+	+	.	+
<i>Carex rostrata</i> Stokes	.	5	.	.	.
<i>Mnium pseudopunctatum</i> Bruch et Schimp.	.	2	.	.	.
<i>Paludella squarrosa</i> (Hedw.) Brid.	.	2	5	.	.
<i>Carex rotundata</i> Wahlenb.	.	.	2	1	1
<i>Trichophorum cespitosum</i> (L.) Hartm.	.	.	1	+	.
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt	.	.	.	.	1
<i>Cladonia arbuscula</i> s.l. (Wallr.) Flot.	.	.	.	.	1
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) F.H. Wigg	.	.	.	.	+
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Br. Eur.	.	.	.	.	+
<i>Cladonia uncialis</i> (L.) F.H. Wigg	.	.	.	.	+
<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd	.	.	.	.	+
<i>Cetraria nivalis</i> (L.) Ach.	.	.	.	.	+
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	.	.	.	.	+
<i>Phyllodoce coerulea</i> (L.) Bab.	.	.	.	.	+
<b>Kennzeichnende Arten der Scheuchzerio-Caricetea nigrae</b>					
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	+	1	1	2	+
<i>Potentilla palustris</i> (L.) Scop.	2	+	1	+	+
<i>Carex magellanica</i> Lam.	+	.	1	1	.
<b>Kennzeichnende Arten der Klasse, der Ordnung, des Verbandes und der Assoziation des Empetro-Sphagnetum fuscii</b>					
<i>Sphagnum spec.</i>	1	4	2	4	4
<i>Betula nana</i> L.	4	1	+	+	2
<i>Empetrum nigrum</i> ssp. hermaphroditum (Hagerup) Böcher	+	+	+	.	2
<i>Carex bigelowii</i> Torr. Ex Schwein.	+	.	+	.	1
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	+	.	.	+	1
<i>Andromeda polifolia</i> L.	.	.	+	+	+
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. Ex Rupr.) Schmalh.	+	.	.	.	.
<b>Weitere Arten</b>					
<i>Salix lapponum</i> L.	+	1	1	+	1
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	+	+	+	+	+
<i>Betula pubescens</i> ssp. czerepanovii (N. I. Orolova) Hämet-Ahti	+	1	+	.	+
<i>Dicranum spec.</i>	2	.	1	.	2
<i>Hepaticae</i> indet.	.	2	1	1	.
<i>Polytrichum alpinum</i> Hedw. / commune Hedw.	1	4	2	.	.
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	+	1	.	.	+
<i>Cornus suecica</i> L.	1	.	.	.	1
<i>Equisetum palustre</i> L.	+	.	+	.	.
<i>Phleum alpinum</i> L.	+	+	.	.	.
<i>Salix herbacea</i> L.	.	+	+	.	.
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir.	.	1	1	.	.
<i>Carex dioica</i> L.	.	+	+	.	.
<i>Calamagrostis spec.</i>	1	.	.	.	.
<i>Barbilophozia lycopodioides</i> (Wallr.) Loeske	1	.	.	.	.
<i>Luzula sudetica</i> (Willd.) DC.	+	.	.	.	.
<i>Calamagrostis stricta</i> (Timm) Koeler	.	+	.	.	.
<i>Nardus stricta</i> L.	.	.	1	.	.
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	.	.	.	1	.
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	.	.	.	.	+
<i>Ledum palustre</i> L.	.	.	.	.	+

## Anhang

Tab. 12: Aufnahmebögen der Bodenprofile am Staloskaidi.

### Zwergstrauchheide (Transekt 1): Podsol-Gley

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
16.09.02		N 69°55'21,1"				259 m			NE	
Profilnr.		E 26°52'16,8"				Reliefpos.		Hangverebnung/Mulde		Neigung
1										<0,5°
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen	
L	+1,9	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft	
Of	+1,8	-	-	-	-	-	-	W5		
Oh	+1,5	de, h	-	-	-	-	-	W6		
Aeh	1	de, h	SI2	pfl	-	Ld2	ein	W5		
Ae	2	sc, h	SI2	pfl	-	Ld2	ein	W5		
Bhs	10	de, w	SI2	pfl	-	Ld3	sub	W4		
Bs	17	-	Su2	pfl	-	Ld3	sub	W2		
Bs2	25	de, h	Su2	pfl	-	Ld3	sub	W2		
GoBhs	36	-	Su2	gm	-	Ld4	kit	W1	Eisenkonkretionen	
GoBhs2	47	de, h	Su2	gm	-	Ld4	kit	W1		
ICv	60+	-	Su3	gm	-	Ld2	sub	W1		

### Flechtenheide (Transekt 1): Sehr geringmächtiger Eisenhumuspodsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
16.09.02		N 69°55'20,6"				263 m			E	
Profilnr.		E 26°52'15,3"				Reliefpos.		Oberhang		Neigung
2										28°
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen	
Of	+1,6	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft	
Oh	+1,5	di, h	-	-	-	-	-	W4		
Aeh	1	de, h	SI2	pfl	-	Ld2	ein	W6		
Ae	2	de, h	SI2	pfl	-	Ld2	ein	W6		
Bs	5	di, w	SI2	pfl	-	Ld2	ein	W4		
Bhs	8	di, h	SI2	pfl	-	Ld3	ein	W5		
ICv1	18	-	SI2	fg	-	Ld3	ein	W5	Schichtung	
ICv2	28	-	SI2	fg	-	Ld4	ein	W1		
ICv3	38+	-	SI2	fg	-	Ld4	ein	W0		

### Übergang Deflation – Flechtenheide (Transekt 1): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
16.09.02		N 69°55'20,2"				266 m			N	
Profilnr.		E 26°52'13,6"				Reliefpos.		Kuppe		Neigung
3										7°
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen	
Oh+Bs	3	di, h	SI2	fg	-	Ld2	ein	W4		
Oh+Bs2	8	de, h	SI2	fg	2	Ld3	sub	W4		
Bs1	20	-	SI2	fg	-	Ld3	sub	W3		
Bs2	30	di, h	SI2	fg	-	Ld3	sub	W2		
ICv1	40	de, w	mS	fg	-	Ld4	ein	W0		
ICv2	50+	-	Su2	fg	-	Ld4	sub	W0		

### Deflation (Transekt 1): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
16.09.02		N 69°55'20,3"				266 m			N	
Profilnr.		E 26°52'13,7"				Reliefpos.		Kuppe		Neigung
4										7°
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen	
Bs1	4	de, h	SI2	fg	30	Ld1	ein	W4		
Bs2	12	de, h	Su2	fg	5	Ld3	sub	W2		
ICv1	22	-	SI2	fg	-	Ld4	ein	W0	Schichtung	
ICv2	32	-	SI2	fg	-	Ld4	ein	W0		
ICv3	42+	-	SI2	fg	-	Ld5	ein	W0		

Tab. 12 (Fortsetzung)

## Uferkante (Transekt 2): Skeletthumusboden

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
17.09.02		N 69°54'54,6"				318 m		E	
5		E 26°51'18,5"				Uferkante		<0,5°	
L	0,1	-	-	-	-	-	-	W6	
Of	0,2	-	-	-	-	-	-	W6	
Oh1	4	-	-	-	-	-	-	W6	
Oh2	9	di	-	-	-	-	-	W6	
Oh+ICv1	14	u	Su2	gm	20	Ld3	sub	W6	
Oh+ICv2	20+	-	Su2	gm	60	Ld3	sub	W6	

## Ufer (Transekt 2): Regosol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
17.09.02		N 69°54'54,8"				318 m		E	
6		E 26°51'18,7"				Talgrund		<0,5°	
L	+4,1	-	-	-	-	-	-	W6	
Of	+4,2	-	-	-	-	-	-	W6	
Oh	+4	di, h	-	-	-	-	-	W6	
Ah	7	di, e, g	Su2	gm	65	Ld3	sub	W6	
ICv	16+	sc	Su2	gm	65	Ld3	sub	W4	

## Flechtenheide (Transekt 2): Sehr geringmächtiger Eisenhumuspodsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
17.09.02		N 69°54'55,3"				319 m		S	
7		E 26°51'18,2"				Hang		2°	
L	+3,2	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+3,1	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Oh	+3	de, e, g	-	-	-	-	-	W6	
Ae	2	de, e, g	Su2	gm/pfl	-	Ld2	ein	W4	
Bhs	9	di, w	Su3	gm/pfl	-	Ld3	sub	W4	
ICv1	19	-	Sl2	gm	30	Ld3	ein	W6	
ICv2	30+	-	Sl2	gm	30	Ld3	ein	W5	

## Deflation (Transekt 2): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
17.09.02		N 69°54'55,9"				326 m		SE	
8		E 26°51'16,6"				Kuppe		10°	
Oh+Bs	3	di, h	Sl2	gm/pfl	80	Ld2	ein	W3	
Bs1	7	di, w	Sl2	gm/pfl	75	Ld2	ein	W2	
Bs2	15	di, h	Sl2	gm/pfl	75	Ld3	ein	W3	
ICv	20+	-	Sl2	gm/pfl	75	Ld3	ein	W1	

## Deflation (Nord): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
19.09.02		N 69°55'31,3"				297 m		NW	
9		E 26°50'32,8"				Kuppe		3°	
Bs1	1	di	Sl2	fg	80	Ld1	ein	W0	Feinboden ausgeweht
Bs2	9	di	Sl2	fg	20	Ld3	ein	W0	
Bs3	19	di	Sl2	fg	40	Ld3	ein	W0	
ICv1	29	-	Sl2	fg	20	Ld3	ein	W0	
ICv2	44+	-	Sl2	fg	20	Ld3	ein	W0	

# Anhang

Tab. 12 (Fortsetzung)

Zwergstrauchheide (Nord Z): Podsol (über fossilem Podsol)

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
19.09.02		N 69°55'33,5"				290 m		NW	
Profilnr.		E 26°50'34,9"				Reliefpos.		Neigung	
10						Muldenrand		15°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
L	+3,2	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+3,1	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Oh	+3	di, h	-	-	-	-	-	W3	
Aeh	4	di, h	SI2	pfl/uar	-	Ld3	ein	W4	
Bs1	11	de, h	SI2	pfl/uar	-	Ld3	ein	W6	
Bs2	20	de, h	SI2	pfl/uar	-	Ld3	ein	W5	
M	26	de, h	SI2	pfl/uar	-	Ld3	ein	W4	Ae-Material
IIfOh	28	di, h	SI2	-	-	Ld4	ein	W2	
fAe	30	de, h	Su3	gm	-	Ld4	ein	W2	
fBhs	45+	-	Su3	gm	30	Ld6	kit	W0	

Deflation (Nord): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
19.09.02		N 69°55'35,0"				292 m		NW	
Profilnr.		E 26°50'39,8"				Reliefpos.		Neigung	
11						Mittelhang		15°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
Bs1	1	-	SI2	fg	80	Ld1	ein	W0	Feinboden ausgeweht
Bs2	14	-	SI2	fg	30	Ld2	ein	W2	
Bs3	30	di	SI2	fg	20	Ld3	ein	W2	
ICv	40+	-	SI2	fg	20	Ld3	ein	W0	Schichtung

Übergang Flechtenheide – Zwergstrauchheide (Nord Z): Podsol (über fossilem Podsol)

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
19.09.02		N 69°55'36,0"				293 m		NW	
Profilnr.		E 26°50'41,4"				Reliefpos.		Neigung	
12						Mittelhang		15°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
L	+0,2	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+0,1	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Aeh	4	di, w	SI2	pfl/uar	-	Ld2	ein	W3	
Ahe	6	di, h	SI2	pfl/uar	10	Ld2	ein	W3	
Bs1	16	-	SI2	pfl/uar	10	Ld3	ein	W3	
Bs2	26	-	SI2	pfl/uar	10	Ld3	ein	W3	
Bs3	36	de, h	SI2	pfl/uar	10	Ld3	ein	W2	
IIfAe	39	de, h	SI2	fg	20	Ld4	ein	W1	Schichtung
fBs1	49	di, h	SI2	fg	30	Ld5	ein	W1	Schichtung
fBs2	59+	-	SI2	fg	40	Ld5	ein	W0	Schichtung

Deflation (Nord): Stark erodierter Podsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
19.09.02		N 69°55'31,9"				296 m		NW	
Profilnr.		E 26°50'31,9"				Reliefpos.		Neigung	
13						Kuppe		10°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
ICv1	1	di	SI2	fg	90	Ld1	ein	W0	Feinboden ausgeweht
ICv2	11	di	SI2	fg	80	Ld1	ein	W4	
ICv3	21+	-	SI2	fg	80	Ld1	ein	W4	

Tab. 12 (Fortsetzung)

## Übergang Flechtenheide – Zwergstrauchheide (Transekt 4): Sehr geringmächtiger Eisenhumuspodsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
L	+3,2	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+3,1	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Oh	+3	di, w	-	-	-	-	-	W6	
Ae	3	di, w	Su4	a/pfl	-	Ld3	sub	W4	
Bhs	7	di, h	Su3	gm	50	Ld4	"	W4	
ICv1	22	-	Su3	gm	70	Ld5	"	W3	
ICv2	30+	-	Su3	gm	50	Ld5	"	W2	

## Flechtenheide (Transekt3): Sehr geringmächtiger Eisenhumuspodsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
L	+2,1	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+2	-	-	-	-	-	-	-	
Oh	+1	di, h	Su3	-	-	-	-	W6	
Ae	2	de, h	Su3	a/pfl	0	Ld2	sub	W3	
Bhs	7	di, h	Su3	gm/pfl	20	Ld3	kit	W4	
Bs1	11	di, h	Sl2	gm/pfl	40	Ld5	kit	W4	
Bs2	20+	-	Su3	gm/pfl	40	Ld5	kit	W1	

## Flechtenheide (Transekt 4): Geringmächtiger Eisenhumuspodsol

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen
L	+3,6	-	-	-	-	-	-	-	fleckenhaft
Of	+3,5	-	-	-	-	-	-	-	
Oh	+3	de, w	-	-	-	-	-	W6	
Ahe	3	de, z	Su4	pfl/pky	-	Ld3	sub	W4	
Bhs1	5	di, w	Su4	pfl/pky	-	Ld3	sub	W5	
Bhs2	13	di, g	Su4	pfl/pky	-	Ld4	sub	W3	
Bs1	18	di, h	Su4	pfl/pky	-	Ld3	kit	W3	
Bs2	25	di, h	Su4	pfl/pky	-	Ld3	sub	W2	
ICv	32+	-	Su4	pfl/pky	-	Ld3	kit	W2	

## Grasmoor: Niedermoor

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN		Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.		Neigung	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenskelett [%]	Durchwurzelung	Zersetzungsgrad	Charakter		Bemerkungen	
nHr1	5	di	-	W6	H2	moosig-filzig			
nHr2	12	de	-	W6	H3	filzig			
nHr3	24	di	-	W6	H4	schmierig			
nHr4	43	di	-	W4	H3	faserig			
nHr5	50+	-	50	W3	H4	faserig-schmierig			

# Anhang

Tab. 12 (Fortsetzung)

Bult: Podsoliger Niedermoorgley

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.			Neigung	
25.08.03		N 69°54'55,7"				311 m			E	
18		E 26°51'30,0"				Verebnung Bachtal			2°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Substrat	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Bemerkungen	
L	+9	-	-	-	-	-	-	W6		
Of	+8	-	-	-	-	-	-	W6		
Oh	+1	-	-	-	-	-	-	W6		
Aeh	10	di, z	Su2	pky	-	Ld3	ein	W5		
IIhV1	34	de, g	-	pky	-	-	-	W5		
nHv2	44	di	-	pky	-	-	-	W4		
nHr	59	de, h	-	-	-	-	-	W2	Bänderung	
IIIGr1	70	de, h	Su2	-	-	Ld4	ein	W0		
IVGr2	100+	-	gS	-	-	Ld3	ein	W0		

Weidengebüsch: Niedermoor

Datum		Koordinaten				Höhe ü.NN			Exposition	
Profilnr.						Reliefpos.			Neigung	
08.08.03		N 69°54'56,4"				306 m			E	
19		E 26°51'41,6"				Verebnung Bachtal			<0,5°	
Horizont	Tiefe [cm]	Horizontbegrenzung	Bodenart	Bodenskelett [%]	Lagerungsdichte	Gefüge	Durchwurzelung	Zersetzungsgrad	Charakter	Bemerkungen
nHv1	5	-	-	-	-	-	W4	H3	moosig	
nHv2	25	-	-	-	-	-	W5	H3	faserig	
nHv3	35	de, w	-	-	-	-	W4	H5	schmierig	
ICv	40+	-	SI2	30	Ld3	ein	W3	-	-	

Tab. 13: pH-Werte, Gesamtstickstoff-, Kohlenstoffgehalte, organische Substanz und C/N-Verhältnisse der beprobten Bodenhorizonte.

Profil	Horizont	pH (CaCl <sub>2</sub> )	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	org. Substanz [%]	C/N
11 Deflation	Bs2	4,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.
	Bs3	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.
9 Deflation	Bs2	4,9	n.n.	0,19	0,33	n.b.
	Bs3	4,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.
	ICv1	5,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
4 Deflation	Bs1	4,7	n.n.	0,15	0,25	n.b.
	Bs2	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.
	ICv1	5,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
13 Deflation	ICv2	5	n.n.	0,59	1,02	n.b.
	ICv3	5,2	n.n.	0,25	0,43	n.b.
8 Deflation	Oh+Bs	4,4	n.n.	1,91	3,28	n.b.
	Bs1	4,8	n.n.	0,62	1,07	n.b.
	Bs2	5	n.n.	0,28	0,48	n.b.
	ICv	4,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
3 Übergang Deflation – Flechtenheide	Oh+Bs	4,1	n.n.	0,95	1,64	n.b.
	Oh+Bs2	4,7	n.n.	0,15	0,26	n.b.
	Bs1	5,4	n.n.	0,10	0,18	n.b.
	Bs2	5,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
7 Flechtenheide	Oh	3,4	0,75	15,81	31,63	21
	Ae	3,8	n.n.	1,70	2,92	n.b.
	Bhs	4,3	n.n.	2,08	3,57	n.b.
	ICv1	4,5	n.n.	0,44	0,76	n.b.
	ICv2	4,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2 Flechtenheide	Oh	3,4	0,65	15,93	31,86	25
	Aeh	3,7	n.n.	3,31	5,69	n.b.
	Ae	4	n.n.	0,63	1,09	n.b.
	Bs	4,3	n.n.	0,42	0,72	n.b.
	Bhs	4,3	n.n.	1,15	1,97	n.b.
	ICv1	4,6	n.n.	0,11	0,19	n.b.
15 Flechtenheide	Oh	3,2	0,96	36,19	72,38	38
	Ae	3,4	0,12	3,67	6,31	31
	Bhs	4,2	0,11	2,98	5,12	26
	Bs1	4,7	n.n.	0,97	1,67	n.b.
	Bs2	5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16 Flechtenheide	Oh	3,1	1,28	43,18	86,35	34
	Ahe	3,5	0,24	7,65	13,16	32
	Bhs1	4	0,22	6,30	10,8	29
	Bhs2	4,2	n.n.	3,13	5,38	n.b.
	Bs1	4,4	n.n.	1,38	2,37	n.b.
	Bs2	4,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
14 Übergang Flechten- heide – Zwergstrauch- heide	Oh	3,3	1,03	33,66	67,31	33
	Ae	3,5	n.n.	1,98	3,40	n.b.
	Bhs	4,4	0,10	2,56	4,40	26
	ICv1	4,9	n.n.	0,57	0,97	n.b.
	ICv2	4,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
12 Übergang Flechten- heide – Zwergstrauch- heide	Aeh	3,6	0,24	8,28	14,25	35
	Ahe	3,8	n.n.	2,74	4,70	n.b.
	Bs1	4,5	n.n.	1,78	3,05	n.b.
	Bs2	4,9	n.n.	0,52	0,90	n.b.
	Bs3	4,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1 Zwergstrauchheide	Oh	3,2	1,07	32,17	64,34	30
	Aeh	3,6	n.n.	3,25	5,58	n.b.
	Ae	3,9	n.n.	0,87	1,50	n.b.
	Bhs	4,5	n.n.	1,03	1,78	n.b.
	Bs	4,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Bs2	5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
10 Zwergstrauchheide	Oh	3,4	0,53	16,18	32,35	30
	Aeh	3,7	0,27	7,37	12,67	27
	Bs1	4,3	n.n.	1,45	2,49	n.b.
	Bs2	4,5	n.n.	0,92	1,60	n.b.
	M	4,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

# Anhang

Tab. 13 (Fortsetzung)

Profil	Horizont	pH (CaCl <sub>2</sub> )	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	org. Substanz [%]	C/N
6 Ufer	Oh	3,7	0,84	18,11	36,22	22
	Ah	4,1	n.n.	1,64	2,83	n.b.
	lCv	4,5	n.n.	0,70	1,21	n.b.
5 Uferkante	Oh1	4,7	1,69	31,28	62,56	18
	Oh2	4,6	1,45	23,82	47,63	16
	Oh+lCv1	4,4	0,89	12,98	22,32	15
	Oh+lCv2	4,4	0,73	10,60	18,23	15
18 Bult	L	3,6	1,15	50,00	100,00	44
	Of	3,0	1,30	47,21	94,42	36
	Oh	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Aeh	3,9	0,33	5,45	9,37	16
	IIhHv1	4,3	1,29	20,76	41,52	16
	nHv2	4,4	2,29	47,34	94,68	21
	nHr	4,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	IIIGr1	4,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
19 Weidengebüsch	nHv1	4	1,83	30,51	61,02	17
	nHv2	4	1,78	31,29	62,58	18
	nHv3	4,2	1,05	17,19	34,38	16
	lCv	4,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
17 Grasmoor	nHr1	4,5	1,55	36,60	73,20	24
	nHr2	4,3	1,64	26,09	52,18	16
	nHr3	4,3	1,62	36,10	72,19	22
	nHr4	4,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	nHr5	4,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tab. 14: Kationenaustausch- und Feldkapazitäten der Mineralböden.

Profil	Horizont	KAK <sub>pot</sub> [cmol <sub>c</sub> /kg]	KAK <sub>eff</sub> [cmol <sub>c</sub> /kg]	FK [Vol-%]	nFK [Vol-%]	nFKWe [mm]
11 Deflation	Bs2	4	4,0	17,5	17,6	24,5
	Bs3	4	4,0	18,4	13,6	
9 Deflation	Bs2	5	4,4	18,4	13,6	21,1
	Bs3	4	4,0	13,8	10,2	
4 Deflation	Bs1	5	4,4	17,5	12,6	18,0
	Bs2	2	2,0	20,0	16,5	
	ICv1	4	4,0	23,0	17,0	
13 Deflation	ICv2	6	4,8	6,2	4,4	8,4
	ICv3	5	4,4	5,6	4,0	
8 Deflation	Oh+Bs	11	5,8	6,2	4,2	7,5
	Bs1	6	4,8	7,0	5,0	
	Bs2	5	4,4	5,8	4,3	
	ICv	4	4,0	5,8	4,3	
3 Übergang Deflation – Flechtenheide	Oh+Bs	10	4,8	28	20,0	51,7
	Oh+Bs2	4	4,2	22,5	16,7	
	Bs1	4	4,1	23,0	17,0	
	Bs2	4	4,0	23,0	17,0	
7 Flechtenheide	Ae	8	3,5	29,0	21,0	45,3
	Bhs	11	5,8	32,0	23,0	
	ICv1	6	4,5	16,1	11,9	
	ICv2	4	4,0	16,1	11,9	
2 Flechtenheide	Aeh	15	6,8	34,0	22,0	49,3
	Ae	6	4,5	28,0	20,0	
	Bs	5	4,1	25,0	18,0	
	Bhs	8	5,0	26,0	19,0	
	ICv1	4	4,0	23,0	17,0	
	ICv2	4	4,0	23,0	17,0	
15 Flechtenheide	Ae	17	6,0	37,0	24,0	29,5
	Bhs	14	6,5	29,6	19,2	
	Bs1	7	5,2	15,0	10,8	
	Bs2	4	4,0	15,6	12,0	
16 Flechtenheide	Ahe	30	10,5	39,0	25,0	72,6
	Bhs1	26	9,4	39,0	25,0	
	Bhs2	15	6,8	36,0	24,0	
	Bs1	9	5,35	32,0	23,0	
	Bs2	8	5,0	28,0	21,0	
	ICv	4	4,0	28,0	21,0	
14 Übergang Flechten- heide – Zwergstrauch- heide	Ae	11	5,8	32,0	23,0	28,5
	Bhs	13	6,3	17,0	11,5	
	ICv1	6	4,8	7,8	6,0	
	ICv2	4	4,0	13,0	10,0	
12 Übergang Flechten- heide – Zwergstrauch- heide	Aeh	32	11	38,0	24,0	78,1
	Ahe	13	6,3	30,6	19,8	
	Bs1	10	5,5	26,1	18,0	
	Bs2	6	4,8	20,7	15,3	
	Bs3	4	4	20,7	15,3	
	fAe	7	5,2	18,4	13,6	
	fBs1	7	5,2	16,1	11,9	
1 Zwergstrauchheide	Aeh	15	6,8	34,0	22,0	109,6
	Ae	7	4,8	28,0	20,0	
	Bhs	7	4,8	26,0	19,0	
	Bs	2	2,0	21,0	17,0	
	Bs2	2	2,0	21,0	17,0	
	GoBhs	2	2,0	21,0	17,0	
	GoBhs2	2	2,0	21,0	17,0	
	ICv	4	4,0	29,0	21,0	
10 Zwergstrauchheide	Aeh	29	10,2	36,0	23,0	57,9
	Bs1	9	5,2	29,0	20,0	
	Bs2	7	4,6	26,0	19,0	
	M	4	4,0	23,0	17,0	
	IIfOh	11	6,8	23,0	17,0	
	fAe	3	5,2	20,0	20,0	
6 Ufer	Ah	8	3,5	9,5	7,0	10,9
	ICv	4	2,5	8,4	6,7	

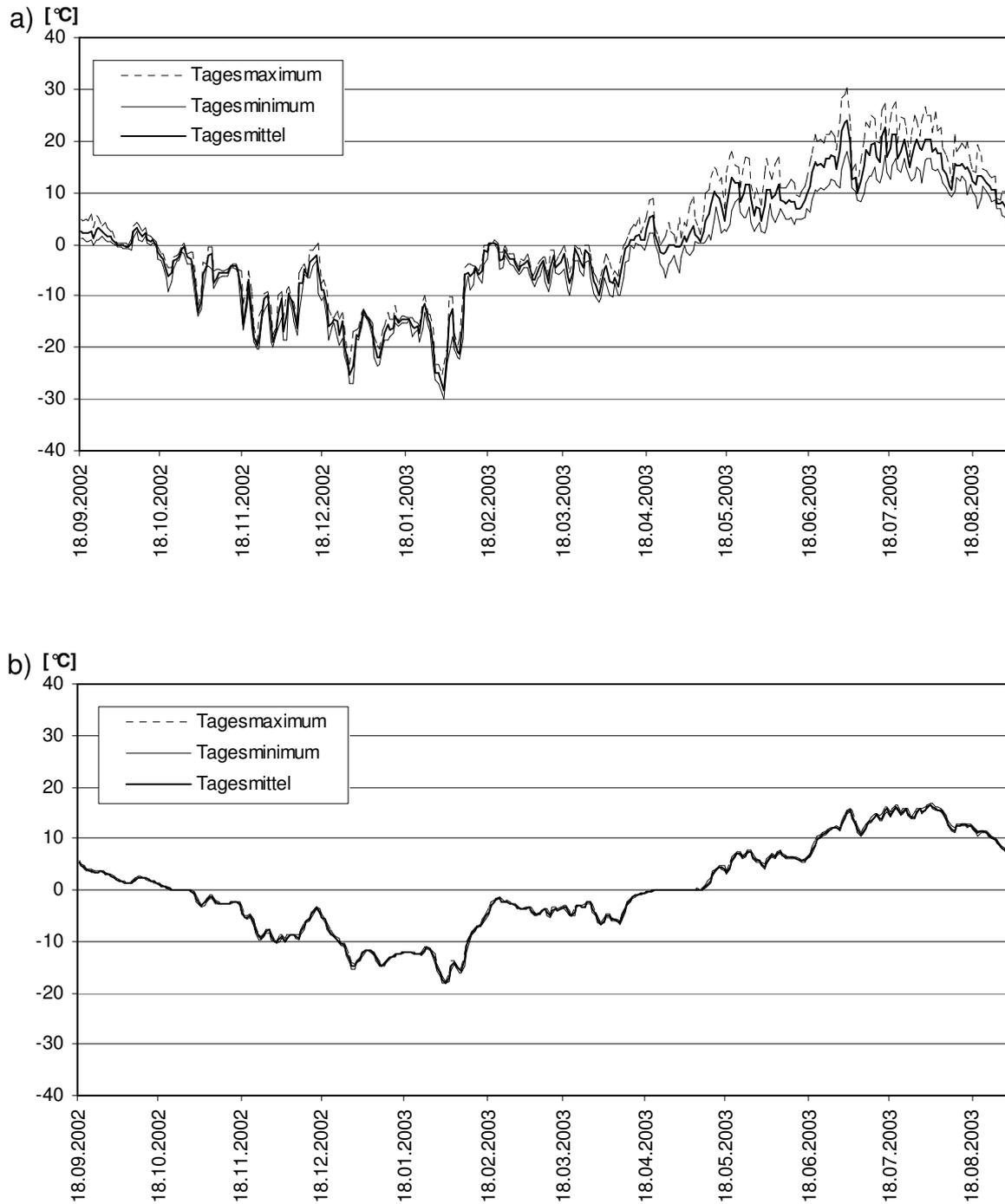


Abb. 41: Ostexponierte Kuppe (Standorttyp Deflation), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 18.09.2002-31.08.2003 in a) 2,5 cm und b) 50 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'19,0"; E 26°52'13,0").

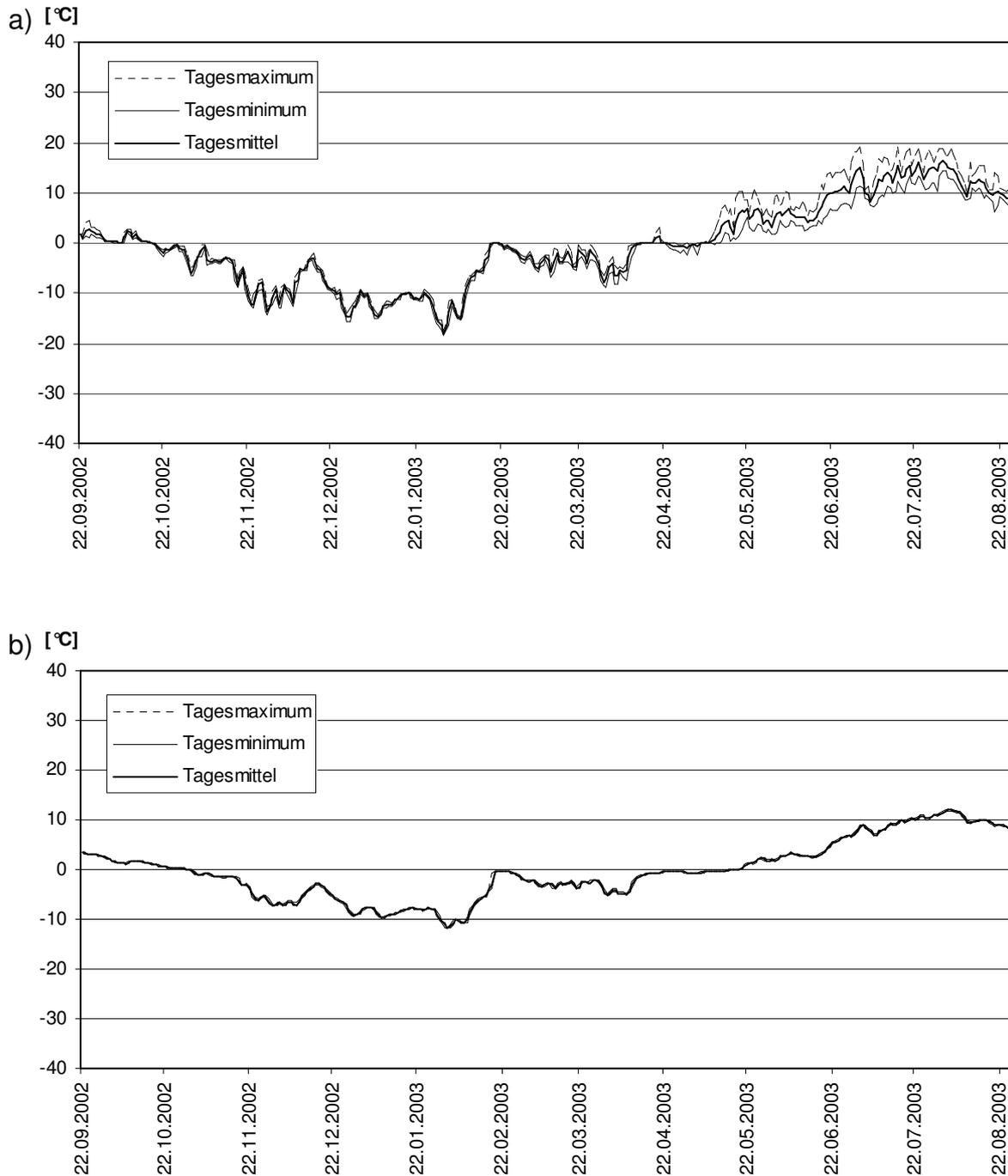


Abb. 42 : Westexponierter Hang (Standorttyp Flechtenheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 22.09.2002-25.08.2003 in a) 2,5 cm und b) 50 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'24,3"; E 26°50'27,7").

## Anhang

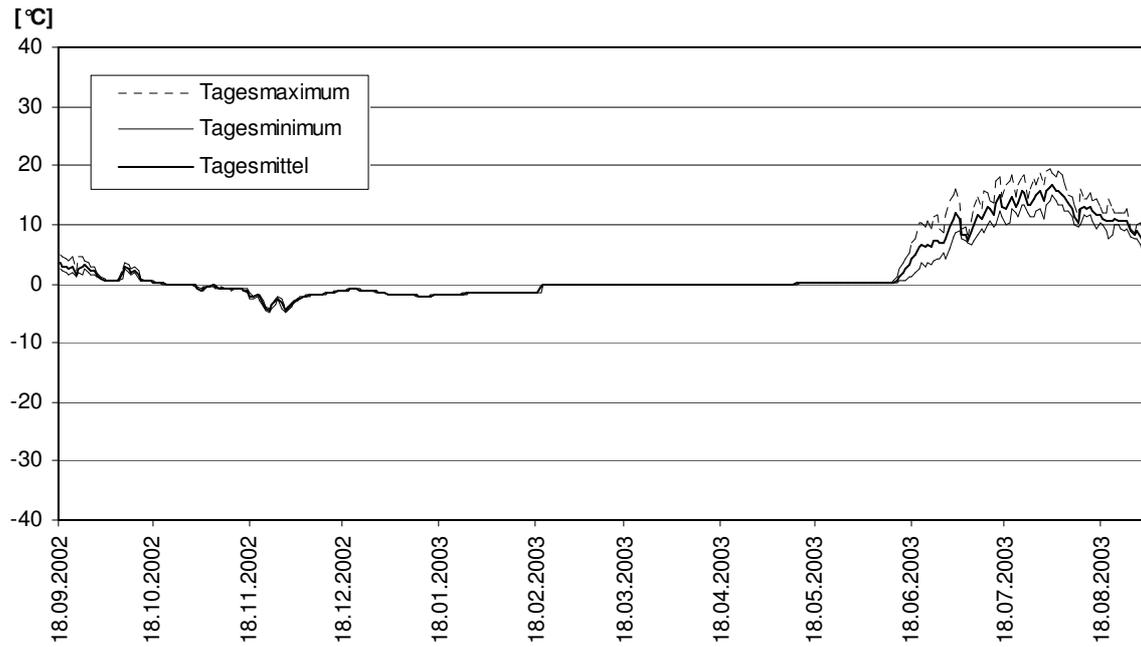


Abb. 43: Ostexponierte Mulde (Standorttyp Zwergstrauchheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 18.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'21,2"; E 26°52'16,7").

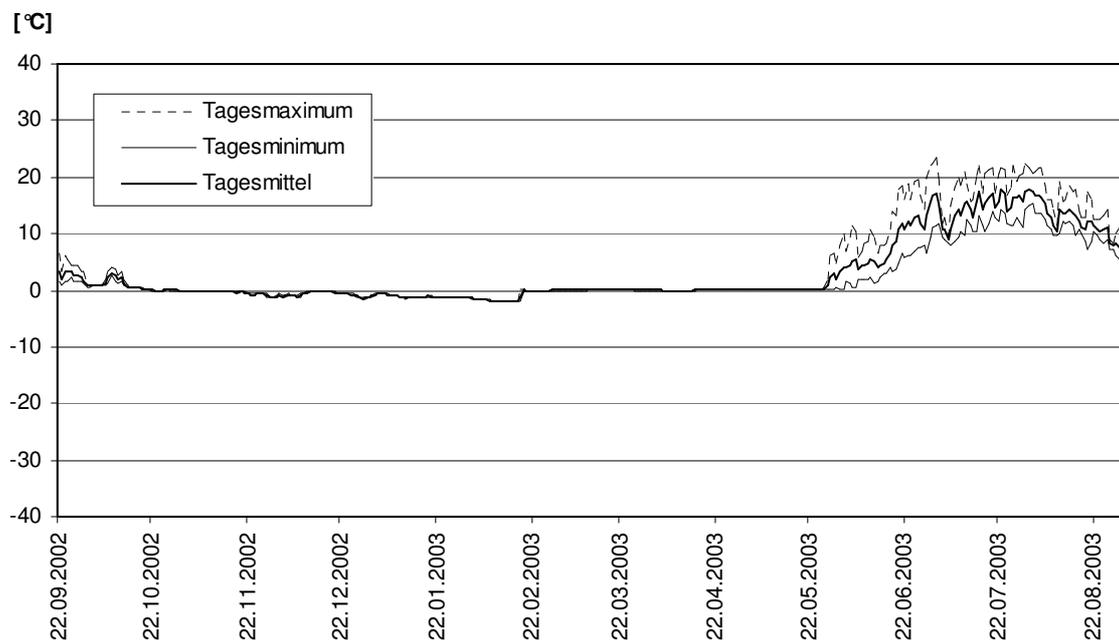


Abb. 44: Nordexponierte Mulde (Standorttyp Zwergstrauchheide), Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 22.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°55'33,5"; E 26°50'34,5").

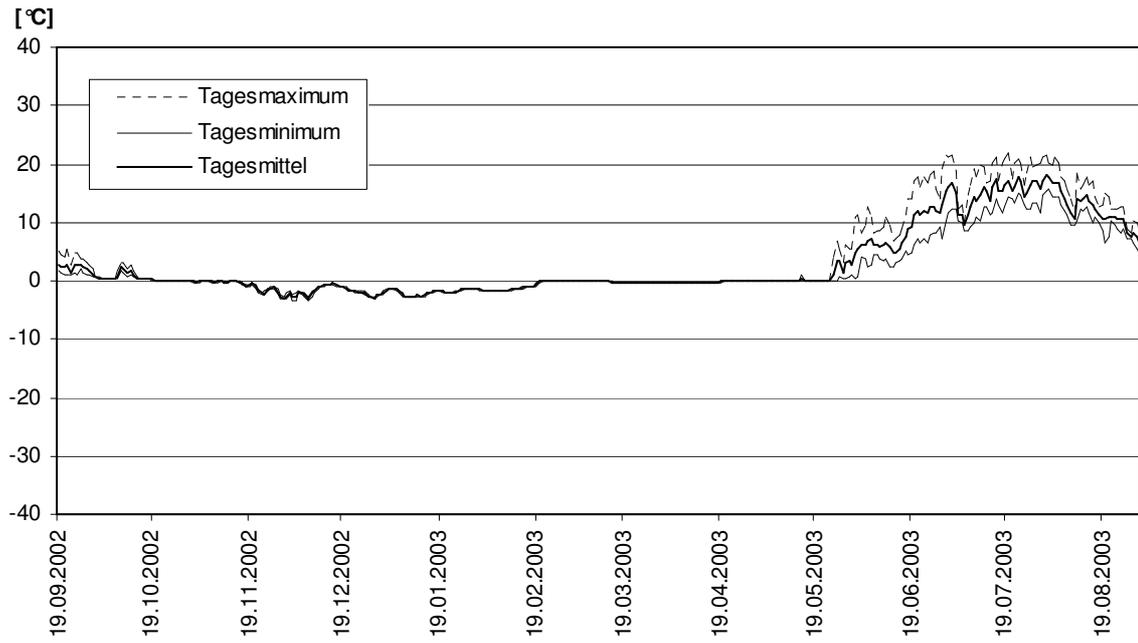


Abb. 45: Ufer, Tagesmittel, -maximum und -minimum der Bodentemperaturen vom 19.09.2002-31.08.2003 in 2,5 cm Tiefe (Koordinaten: N 69°54'54,6"; E 26°51'18,7").

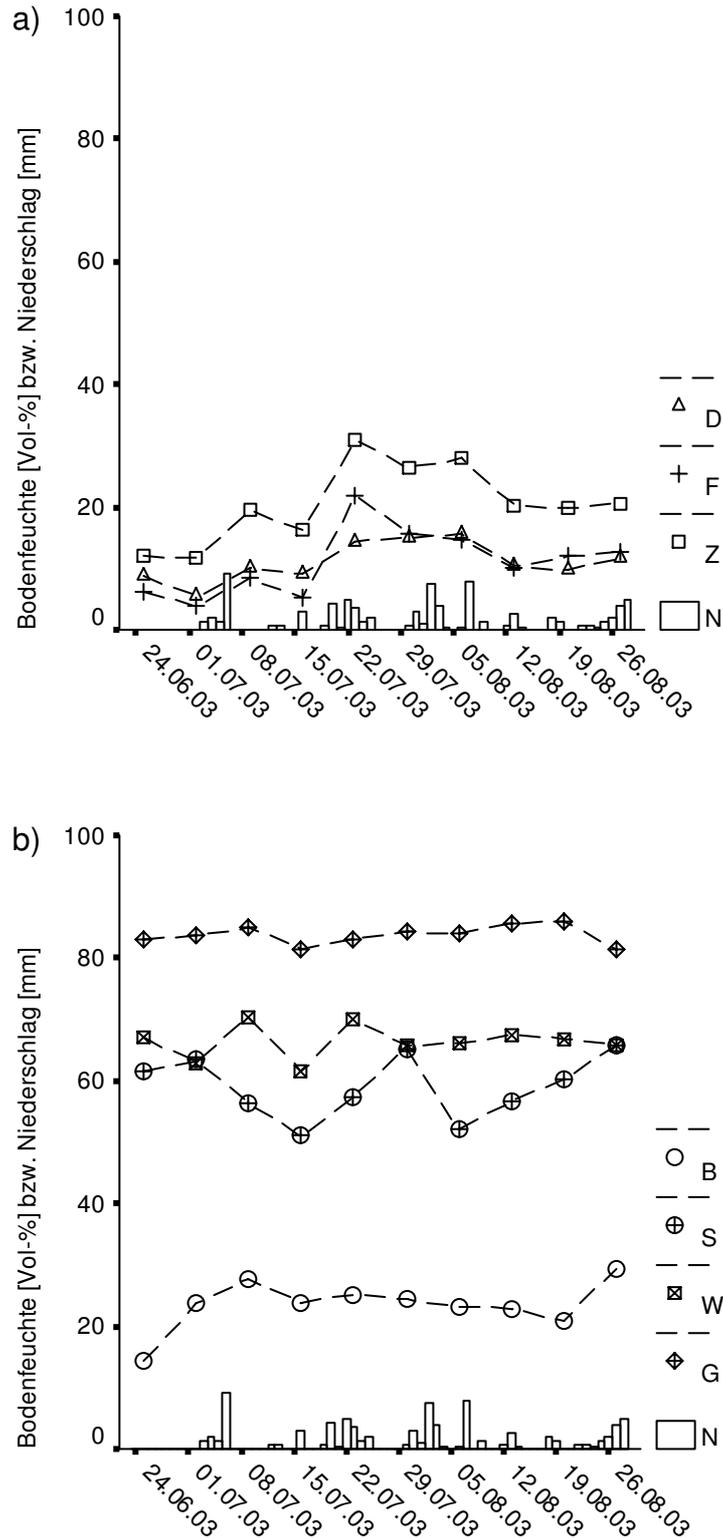


Abb. 46: Bodenfeuchtgänge der oberen 5 cm des Bodens (je Symbol Mittelwert aus 10 Messungen) an den verschiedenen Standortstypen am Rodjanoaivi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003. Zur leichteren Lesbarkeit wurden die Meßwerte durch Linien verbunden, obwohl es sich um wöchentliche und keine kontinuierlichen Messungen handelt. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bult, S = Schlenke, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, N = Niederschlag.

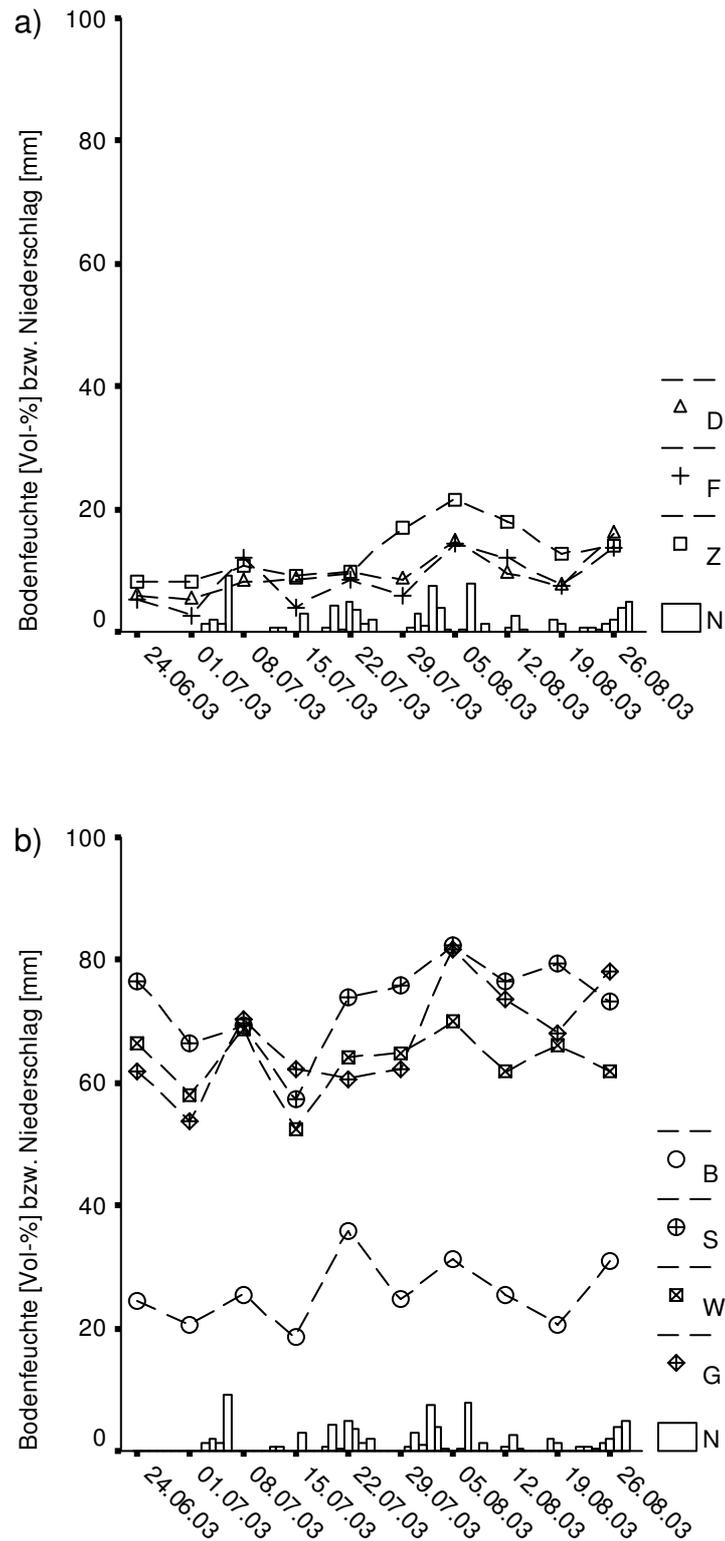


Abb. 47: Bodenfeuchtegänge der oberen 5 cm des Bodens (je Symbol Mittelwert aus 10 Messungen) an den verschiedenen Standortstypen am Koahppeloarvi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003. Zur leichteren Lesbarkeit wurden die Meßwerte durch Linien verbunden, obwohl es sich um wöchentliche und keine kontinuierlichen Messungen handelt. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bult, S = Schlenke, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, N = Niederschlag.

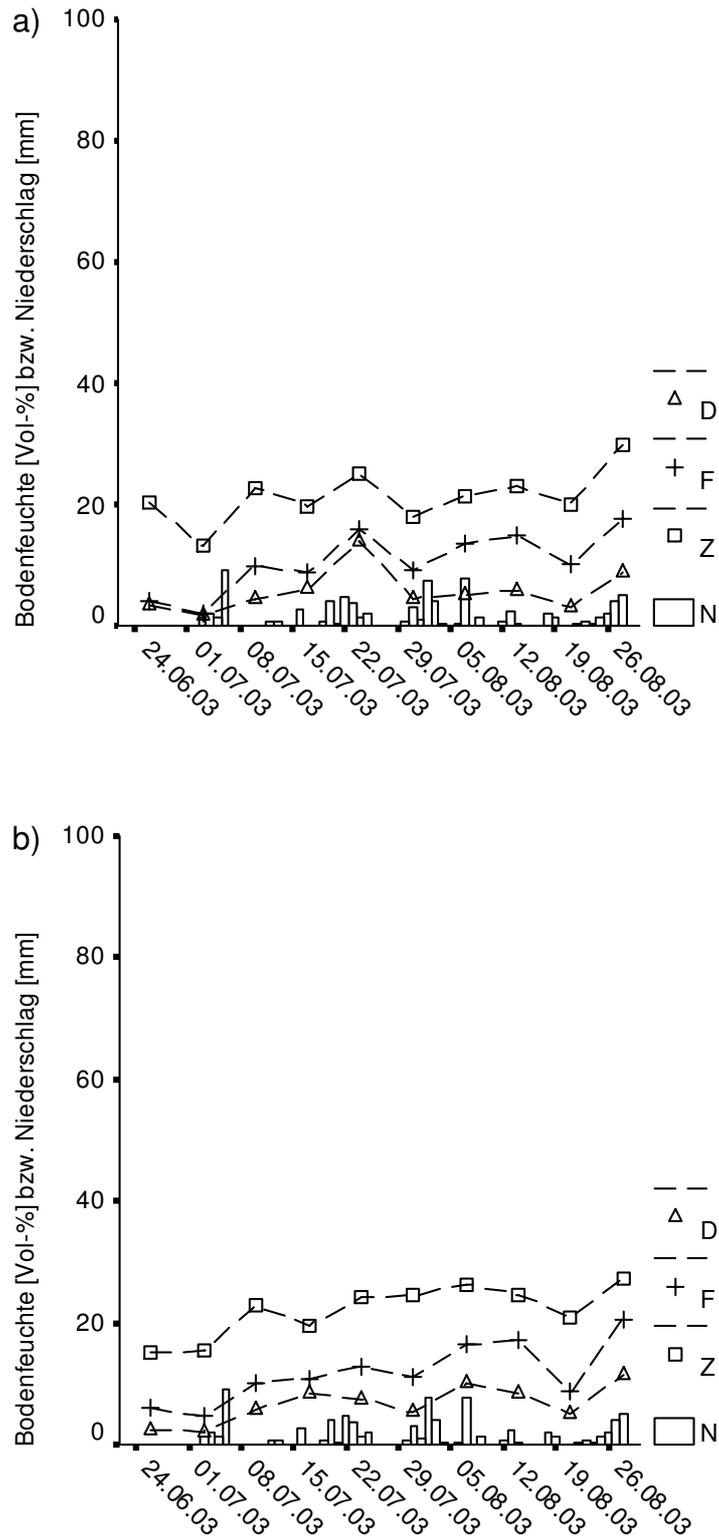


Abb. 48: Bodenfeuchtegänge der oberen 5 cm des Bodens (je Symbol Mittelwert aus 10 Messungen) an den verschiedenen Standorttypen am Staloskaidi sowie Niederschlag (Meteorologische Station Kevo) vom 24.06.-28.08.2003. a) trockene Standorttypen an der ostexponierten Bergflanke, b) trockene Standorttypen an der nordexponierten Bergflanke. Zur leichteren Lesbarkeit wurden die Meßwerte durch Linien verbunden, obwohl es sich um wöchentliche und keine kontinuierlichen Messungen handelt. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bult, S = Schlenke, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, Uo = Ufer (niedrige Erhebung), Uu = Ufer (flache Mulde), N = Niederschlag.

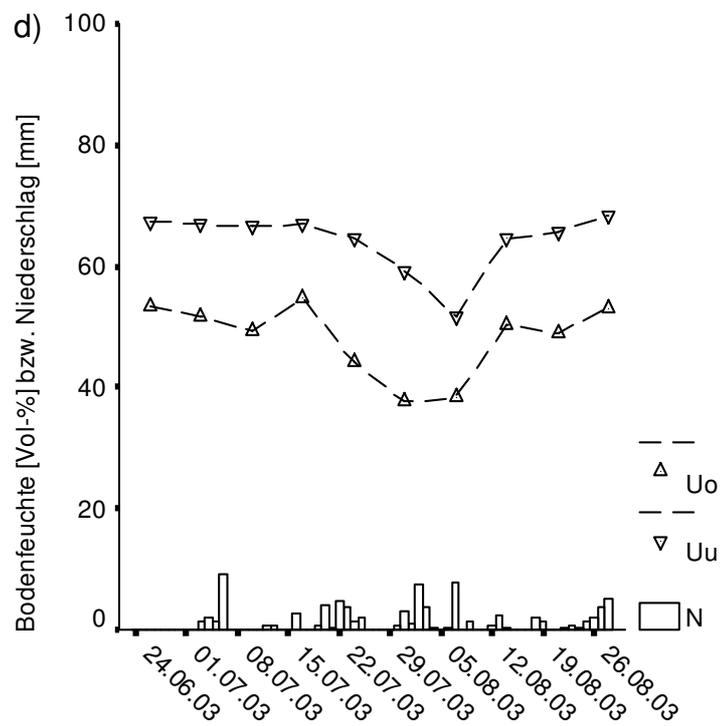
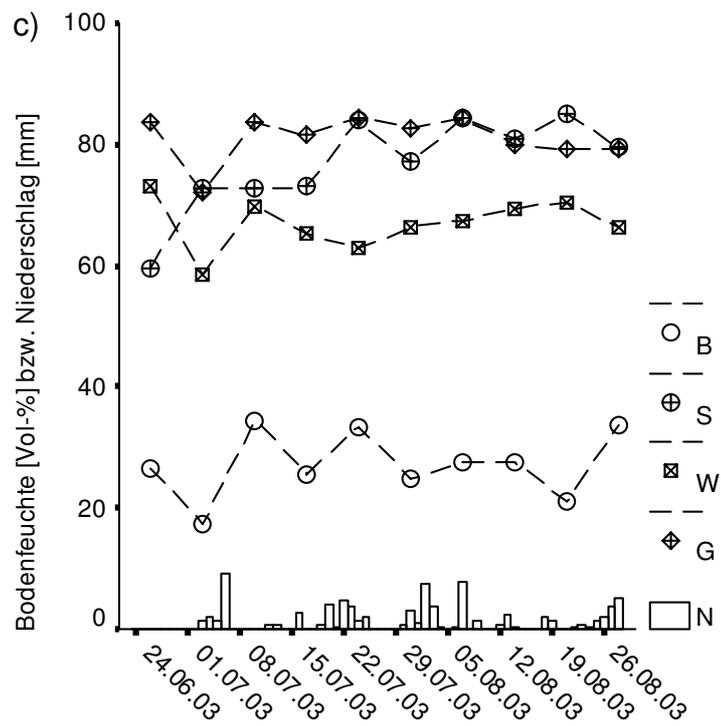


Abb. 48 (Fortsetzung)

## Anhang

Tab. 15: Mittlere Jungwuchsdichten je Berg und Gesamtmittel. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Standorttyp	Rodjanoaivi			Koahppeloavi			Staloskaidi			Mittelwert		
	[m <sup>2</sup> ]	[n]	[n/100 m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[n]	[n/100 m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[n]	[n/100 m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[n]	[n/100 m <sup>2</sup> ]
D	367	6	1,6	2511	12	0,5	1637	32	2,0	4515	50	1,1
F	102	28	27,5	213	8	3,8	840	102	12,1	1155	138	11,9
Z	94	5	5,3	257	14	5,4	896	80	8,9	1247	99	7,9
B	80	14	17,5	108	9	8,3	80	34	42,5	268	57	21,3
W	40	37	92,5	40	8	20,0	40	22	55,0	120	67	55,8
G	14	228	1628,6	58	67	115,5	56	48	85,7	128	343	268,0
U	-	-	-	-	-	-	38	51	134,2	-	-	-

Tab. 16: Kennwerte von Bestandesstruktur und -dynamik in Abhängigkeit vom Standorttyp (Abkürzungen s. Tab. 15).

Standorttyp		Haupttrieblänge [cm] (n=814)	Stammdurchmesser [mm] (n=814)	Alter [a] (n=230)	mittl. jährl. Apikalzuwachs [cm/a] (n=230)	mittl. jährl. Durchmesserzuwachs [mm/a] (n=230)	Sprossschäden/Alter [n/a] (n=230)
D	Median	6	5,0	17	0,43	0,27	0,29
	Min.	2	1,4	7	0,09	0,13	0,00
	Max.	27	17,8	42	1,47	0,68	1,39
	n	58	58	33	33	33	33
F	Median	6	4,5	15	0,39	0,27	0,27
	Min.	1	1,0	4	0,11	0,17	0,00
	Max.	43	16,2	54	1,60	0,50	0,98
	n	139	139	72	72	72	72
Z	Median	6	3,9	15	0,40	0,24	0,24
	Min.	1	1,0	3	0,10	0,09	0,00
	Max.	43	10,3	35	1,44	0,49	0,77
	n	99	99	75	75	75	75
B	Median	6	2,7	13	0,50	0,25	0,00
	Min.	2	0,7	3	0,17	0,10	0,00
	Max.	20	19,5	45	1,43	0,39	0,47
	n	57	57	15	15	15	15
W	Median	10	3,3	7	1,22	0,33	0,13
	Min.	1	0,9	3	0,29	0,17	0,00
	Max.	45	12,3	14	5,38	1,03	1,43
	n	67	67	15	15	15	15
G	Median	6	2,6	9	0,55	0,30	0,00
	Min.	1	0,6	4	0,20	0,14	0,00
	Max.	26	6,8	13	1,50	0,78	0,67
	n	343	343	15	15	15	15
U	Median	3	2,0	8	0,33	0,18	0,00
	Min.	1	0,8	6	0,11	0,14	0,00
	Max.	9	5,0	22	0,38	0,31	0,11
	n	51	51	5	5	5	5

Tab. 17: Anteil des geschädigten bzw. mykorrhizierten Jungwuchses in Abhängigkeit vom Standorttyp (Abkürzungen s. Tab. 15).

Standorttyp	Befall durch <i>Me-lampsorium betulinum</i> [%] (n=689)	Befall durch Invertebraten [%] (n= 689)	Stammdeformationen [%] (n=814)	Pilzbefall im Stammquerschnitt [%] (n=230)	Mykorrhizierung [%] (n=230)
D	2,9	65,7	36,2	27,3	51,5
F	5,4	46,7	27,3	30,6	25,0
Z	6,8	45,5	26,3	14,7	20,0
B	0,0	28,1	3,5	20,0	13,3
W	3,0	58,2	7,5	6,7	13,3
G	4,7	54,2	2,3	20,0	33,3
U	9,8	15,7	0,0	0,0	20,0

Tab. 18: Kennwerte des Jungwuchses in Altersklasse 1 (vgl. Tab. 2) in Abhängigkeit vom Standorttyp. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Standorttyp		Pflanzentrockengewicht [g]	Wurzeltrockengewicht [g]	Spross-trockengewicht [g]	R/S [g/g]	Wurzel-länge [cm]	max. Durch-wurzelungs-tiefe [cm]	max. Durch-wurzelungs-weite [cm]
D (n=5)	Median	1,1076	0,9180	0,1896	3,34	258,44	18	30
	Min.	0,0670	0,0437	0,0233	1,88	160,13	10	10
	Max.	3,1230	2,4032	0,7200	4,84	1602,11	27	100
F (n=24)	Median	0,1541	0,0894	0,0524	1,85	105,14	6	15
	Min.	0,0200	0,0136	0,0063	0,66	33,92	2	3
	Max.	2,2430	1,0783	1,1649	6,09	427,43	20	60
Z (n=25)	Median	0,1912	0,0828	0,1046	1,14	58,84	5	15
	Min.	0,0250	0,0123	0,0128	0,35	10,47	2	2
	Max.	0,9320	0,5021	0,4301	2,12	254,09	30	50
B (n=5)	Median	0,2630	0,1500	0,1130	1,33	127,84	8	16
	Min.	0,1200	0,0675	0,0523	1,11	94,22	1	15
	Max.	0,3050	0,1753	0,1440	2,24	335,23	11	20
W (n=10)	Median	0,2893	0,1739	0,1174	0,87	174,24	10	19
	Min.	0,0290	0,0135	0,0158	0,60	42,29	8	10
	Max.	5,0500	2,0220	3,0283	2,10	1127,35	12	80
G (n=12)	Median	0,2609	0,1450	0,1178	1,16	180,72	4	22
	Min.	0,0220	0,0096	0,0120	0,45	13,04	2	3
	Max.	2,1760	1,0954	1,0801	1,83	842,56	10	45
U (n=4)	Median	0,0474	0,0220	0,0254	0,90	29,80	3	10
	Min.	0,0150	0,0060	0,0090	0,60	14,41	1	4
	Max.	0,3170	0,1682	0,1483	1,18	203,74	8	18

Tab. 19: Kennwerte des Jungwuchses in Altersklasse 2 (vgl. Tab. 2) in Abhängigkeit vom Standorttyp (Abkürzungen s. Tab. 18).

Standorttyp		Pflanzentrockengewicht [g]	Wurzeltrockengewicht [g]	Spross-trockengewicht [g]	R/S [g/g]	Wurzel-länge [cm]	max. Durch-wurzelungs-tiefe [cm]	max. Durch-wurzelungs-weite [cm]
D (n=25)	Median	2,1202	1,4189	0,6045	3,08	710,29	20	70
	Min.	0,4570	0,3530	0,1037	0,91	95,87	10	15
	Max.	8,8860	6,8437	2,7193	5,31	1785,85	50	280
F (n=43)	Median	1,5877	0,9640	0,5908	1,64	395,22	15	45
	Min.	0,3740	0,1576	0,1383	0,69	143,92	2	10
	Max.	7,9640	4,9519	3,1411	3,66	1333,02	43	130
Z (n=48)	Median	0,7452	0,3935	0,3319	1,16	161,30	9	28
	Min.	0,1650	0,0805	0,0551	0,42	35,91	2	5
	Max.	6,4510	2,9694	3,4817	2,45	541,30	35	150
B (n=8)	Median	1,0932	0,5459	0,5473	1,25	239,55	9	28
	Min.	0,3200	0,1760	0,1213	0,72	151,34	3	12
	Max.	2,9520	1,9380	1,0136	1,91	470,60	25	80

Tab. 20: Indexierte spezifische Wurzellänge [%] in Abhängigkeit vom Standorttyp (Abkürzungen s. Tab. 18).

Standorttyp	Median	Minimum	Maximum	n
D	102,4875	81,44	122,91	33
F	100,6698	74,55	117,60	72
Z	96,8237	71,35	121,03	75
B	102,5046	90,58	119,68	15
W	100,5552	89,03	111,91	15
G	102,6765	88,69	130,45	15
U	108,3049	87,00	119,51	5

## Anhang

Tab. 21: Verzweigungskoeffizient R [cm/n] in Abhängigkeit von Standorttyp und Wurzellängenklasse (vgl. Tab. 2). D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Standorttyp	Wurzellängenklasse	Median	Minimum	Maximum	n
D	1	-	-	-	-
	2	0,51	0,29	0,99	7
	3	0,61	0,42	1,24	26
F	1	0,48	0,32	0,55	3
	2	0,51	0,33	1,09	43
	3	0,60	0,38	1,13	26
Z	1	0,53	0,29	1,10	16
	2	0,63	0,34	1,77	55
	3	0,79	0,65	1,13	4
B	1	0,42	0,42	0,42	1
	2	0,61	0,41	0,93	13
	3	0,65	0,65	0,65	1
W	1	0,37	0,36	0,39	2
	2	0,49	0,43	0,63	7
	3	0,62	0,52	0,67	6
G	1	0,40	0,38	0,41	2
	2	0,41	0,38	0,60	9
	3	0,45	0,43	0,54	4
U	1	0,37	0,34	0,48	3
	2	0,81	0,53	1,09	2
	3	-	-	-	-

Tab. 22: Daten der untersuchten Birken. S = Staloskaidi, K = Koahppeloaiivi, R = Rodjanoaiivi, D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer. Auflagemächtigkeitsklassen: 1 = 0 cm, 2 = > 0 bis ≤ 2 cm, 3 = >2 bis ≤ 10 cm, 4 = > 10 cm. Laubschäden: i = Invertebraten, m = *Melampsorium betulinum*. Flächennummern vgl. Tab. 9.

Birke	Wurzelsystem beprobt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflagemächtigkeitsklasse	Entfernung Altbaum [m]	Stammdurchmesser [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stammdeformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [m]	Laubschäden
1	x	S	D	1	267	350	8	1	5	7,7	10	x		4	
2	x	S	D	1	267	350	8	1	4	4,5	8			5	
3	x	S	D	1	267	350	8	1	6	7,1	20		10	25	
4	x	S	D	1	267	350	8	1	5	8,7	20			26	
5	x	S	D	1	267	350	8	1	5	5,0	17	x	28	7	
6	x	S	D	1	266	350	8	1	3	3,2	5	x		3	
7	x	S	D	1	267	350	6	1	3	4,6	22			3	
8		S	D	6	292	270	6	1	36	8,0	11			9	
9		S	D	6	292	280	6	1	70	7,0	5	x	3	9	
10		S	D	7	290	250	5	1	12	4,9	4		9	7	i
11		S	D	10	291	250	5	1	35	3,9	5		6	6	m
12		S	D	10	291	250	5	1	35	2,0	3		4	2	
13		S	D	10	291	250	5	1	35	3,1	9		1	3	i
14		S	D	10	291	250	5	1	35	2,8	4		1	0	
15		S	D	10	292	250	5	1	25	5,8	8		1	11	i
16	x	S	D	10	292	250	5	1	35	1,7	2			0	
17	x	S	D	10	290	290	3	1	25	4,9	3	x		25	
18	x	S	D	10	291	280	8	1	25	3,3	3		3	8	
19	x	S	D	10	290	260	6	1	25	1,4	2	x		1	
20	x	S	D	10	290	260	6	1	25	3,7	9	x		2	i
21	x	S	D	15	293	260	6	1	25	3,5	6			1	
22	x	S	D	15	293	260	6	1	25	5,3	13			7	
23		S	D	17	297	310	4	1	50	5,7	9	x	15	14	i
24	x	S	D	17	297	310	4	1	50	6,1	4	x	1	12	i
25		S	D	22	285	320	4	1	15	4,8	8		5	5	i
26		S	D	22	286	40	14	1	18	4,9	8		3	7	i
27		S	D	22	285	320	8	1	20	7,5	11			8	
28		S	D	22	286	320	10	1	20	8,9	27			19	i
29	x	S	D	22	287	320	18	1	20	6,3	6			5	i
30	x	S	D	22	285	320	22	1	20	4,2	6			0	i
31		S	D	22	286	320	22	1	20	5,4	9			7	
32		S	D	22	286	340	18	1	30	4,9	4	x	4	4	i
33	x	S	D	22	286	340	18	1	30	6,8	5			7	
34	x	S	D	22	285	320	6	1	25	5,6	13			6	
35		S	D	22	286	40	14	1	18	5,8	24		13	13	i
36	x	S	D	nahe1	265	0	<0,5	1	12	3,3	3		3	1	
37	x	S	D	nahe10	280	260	10	1	4	5,5	5	x	6	9	
38	x	S	D	nahe10	280	60	5	1	4	3,5	6	x	1	3	
39	x	S	D	nahe10	280	0	<0,5	1	4	2,8	11		1	4	
40	x	S	F	1	262	50	4	2	6	2,5	6			2	
41	x	S	F	1	262	60	8	2	6	4,9	13	x		5	i
42	x	S	F	1	262	80	20	2	9	3,8	6			6	
43	x	S	F	1	262	80	20	2	9	1,7	1			0	
44	x	S	F	1	262	70	20	2	8	4,1	3			7	
45	x	S	F	1	262	80	20	2	9	1,2	1			0	
46	x	S	F	1	262	0	<0,5	1	10	2,5	2			1	
47	x	S	F	1	262	0	<0,5	1	10	1,6	2			0	
48	x	S	F	1	262	0	<0,5	1	10	4,9	5	x		8	
49	x	S	F	1	262	100	4	2	12	3,7	12			6	
50	x	S	F	1	262	80	24	2	6	1,9	6	x		2	
51	x	S	F	1	262	80	20	2	5	8,1	30			14	
52	x	S	F	1	262	70	2	2	6	7,5	10	x		16	
53	x	S	F	1	262	70	4	2	6	3,3	5			2	
54	x	S	F	1	262	70	4	2	7	3,5	6			4	
55	x	S	F	1	262	0	<0,5	2	7	8,5	28	x		9	
56	x	S	F	1	262	110	4	2	6	5,0	16			11	
57	x	S	F	1	262	110	4	2	6	3,0	8	x		1	
58	x	S	F	1	262	70	14	3	3	10,8	24	x		35	
59	x	S	F	1	262	60	12	2	5	4,6	16			9	
60	x	S	F	1	262	70	14	2	4	2,6	6			1	
61	x	S	F	1	262	80	14	2	4	1,4	2			0	
62	x	S	F	1	262	70	14	2	7	16,2	14	x		21	

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tigkeits- klasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
63	x	S	F	1	262	70	14	2	7	2,8	4			1	
64	x	S	F	1	262	70	14	2	6	2,0	1			1	
65	x	S	F	1	262	70	14	2	6	1,0	3			1	
66	x	S	F	1	262	70	6	2	7	9,0	4	x		9	
67	x	S	F	1	262	70	4	2	7	3,5	6			5	
68	x	S	F	1	262	80	14	2	2	8,8	27	x		28	
69	x	S	F	1	262	60	2	2	2	4,0	4	x		3	
70	x	S	F	1	262	80	20	2	1	3,2	6			0	
71	x	S	F	1	262	80	6	2	5	14,6	43	x		53	
72	x	S	F	1	262	80	6	2	5	4,5	13			5	
73	x	S	F	1	262	60	10	2	6	2,8	7	x		4	
74	x	S	F	1	262	0	<0,5	1	4	6,2	11			7	
75	x	S	F	1	262	40	18	2	2	1,1	2			0	
76	x	S	F	1	262	0	<0,5	2	2	2,0	2			3	
77	x	S	F	1	262	0	<0,5	2	3	3,8	5			8	
78	x	S	F	1	262	60	22	2	2	4,4	16			4	
79	x	S	F	1	262	60	22	2	2	3,7	11			3	
80	x	S	F	1	262	30	8	2	5	6,6	18			10	
81	x	S	F	1	262	30	8	2	5	8,1	11	x		11	
82	x	S	F	1	262	20	14	2	5	3,6	11			4	
83	x	S	F	1	262	50	20	2	2	4,5	8			8	
84	x	S	F	1	262	50	20	2	2	4,6	18			7	
85	x	S	F	1	262	0	2	2	6	5,4	5	x		1	i
86	x	S	F	2	319	170	10	1	50	2,0	2	x		0	
87	x	S	F	2	319	170	10	1	50	3,8	4			3	i
88	x	S	F	2	319	220	15	1	50	2,0	1			0	
89	x	S	F	2	319	170	10	2	50	3,3	4			1	i
90		S	F	2	319	170	10	2	50	3,0	2			2	
91	x	S	F	2	319	170	10	1	50	1,0	1			0	
92		S	F	2	319	160	15	2	50	3,2	3			0	i
93		S	F	6	292	280	8	2	23	3,3	9			0	
94		S	F	6	292	260	6	1	35	3,2	2			2	
95		S	F	6	292	260	2	2	35	6,0	9			4	
96		S	F	6	292	260	8	1	35	4,4	6			2	
97		S	F	6	292	260	6	1	35	10,1	11	x		12	
98		S	F	6	292	260	16	1	35	3,3	7			0	
99	x	S	F	6	292	260	2	1	35	3,2	6			4	
100		S	F	6	292	260	10	2	36	12,2	6	x		6	
101		S	F	6	292	260	10	1	36	7,0	4	x		3	
102		S	F	6	292	260	10	1	38	8,0	3	x		4	
103		S	F	6	292	260	10	1	36	9,0	15			3	
104	x	S	F	6	292	270	6	1	36	4,2	3	x		1	
105		S	F	6	292	270	10	1	36	2,5	2			2	
106		S	F	6	292	270	6	1	36	14,0	11	x	3	10	m
107		S	F	7	290	0	<0,5	1	8	4,0	9			2	i
108		S	F	7	290	0	<0,5	2	8	3,7	5			1	
109		S	F	7	290	280	10	1	8	4,2	6			0	
110	x	S	F	7	290	250	4	2	8	10,8	16			16	i
111		S	F	7	290	0	<0,5	1	8	2,6	2			0	i
112		S	F	7	290	270	4	1	12	2,7	3			1	
113		S	F	7	290	0	2	1	12	6,1	4	x		7	i
114		S	F	7	290	250	4	1	12	7,1	10			1	
115		S	F	7	290	230	20	2	30	10,9	12	x		7	i
116		S	F	7	290	320	35	2	7	3,8	4			2	
117		S	F	7	290	250	10	1	7	1,3	2			0	
118		S	F	7	290	0	<0,5	2	7	6,3	5			11	i
119	x	S	F	7	290	0	<0,5	2	7	1,8	2			0	m
120		S	F	7	290	0	<0,5	2	7	5,3	6			4	i
121		S	F	7	290	250	4	2	7	2,6	4		1	0	i
122		S	F	7	290	70	10	2	7	5,6	5			4	i
123		S	F	7	293	0	<0,5	1	7	4,0	4	x	1	3	i
124		S	F	7	293	0	<0,5	2	7	2,7	2			0	
125	x	S	F	7	293	220	5	2	8	5,4	6			2	i
126		S	F	9	282	300	13	2	10	5,3	7			3	m
127		S	F	9	282	300	14	2	10	2,9	5			0	

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflegemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
128		S	F	9	282	310	10	2	11	4,2	9	x	1	0	
129		S	F	9	282	300	22	2	11	3,7	2			1	
130	x	S	F	9	282	300	10	1	11	1,5	2			0	
131		S	F	9	282	310	10	1	13	7,2	7			10	
132	x	S	F	9	282	310	10	1	13	3,2	5			2	
133	x	S	F	9	282	310	10	1	13	2,7	5			1	
134		S	F	9	282	310	10	1	13	3,8	1	x		5	
135		S	F	9	282	290	8	1	8	3,3	1			1	
136	x	S	F	9	282	290	8	1	8	3,6	2			0	
137		S	F	9	282	320	10	1	8	6,3	5		1	10	m
138	x	S	F	9	282	300	10	2	7	6,8	6	x		4	
139		S	F	9	282	300	20	2	7	4,0	5	x		0	
140		S	F	9	282	310	12	1	9	5,8	8	x		4	
141		S	F	9	282	300	14	2	10	1,4	2			0	
142	x	S	F	15	293	280	6	1	25	3,2	5	x		6	
143	x	S	Z	1	260	70	16	2	3	4,0	15	x		10	
144	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	4,7	6	x		2	
145	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	5	2,4	7	x		0	
146	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	2,2	4			3	
147	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	4	2,0	3			0	i
148	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	4	2,9	3			4	
149	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	9	2,9	8			1	
150	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	8	3,9	9	x		4	
151	x	S	Z	1	261	290	20	2	9	1,0	1			0	
152	x	S	Z	1	261	230	40	2	9	3,0	5			7	
153	x	S	Z	1	261	270	20	2	9	4,8	4			7	
154	x	S	Z	1	261	330	20	2	10	2,3	4	x		0	
155	x	S	Z	1	261	0	<0,5	2	10	4,0	5	x	4	7	
156	x	S	Z	1	261	0	<0,5	2	10	5,3	4	x		2	
157	x	S	Z	1	261	320	20	2	10	1,2	3	x		0	
158	x	S	Z	1	261	200	20	2	10	4,5	4	x	10	14	
159	x	S	Z	1	261	320	20	2	10	3,0	3	x	4	2	
160	x	S	Z	1	261	320	20	2	10	2,9	3			4	
161	x	S	Z	1	261	0	<0,5	2	10	2,2	1			3	
162	x	S	Z	1	261	80	10	2	10	2,4	2	x		3	
163	x	S	Z	1	261	80	10	2	10	3,0	6			5	
164	x	S	Z	1	261	80	10	2	10	1,4	2			1	
165	x	S	Z	1	261	80	10	2	10	2,0	5			1	
166	x	S	Z	1	261	0	<0,5	2	10	4,0	3	x		5	
167	x	S	Z	1	261	0	<0,5	2	10	4,5	10	x		4	
168	x	S	Z	1	261	70	30	2	10	1,1	1			0	
169	x	S	Z	1	260	60	10	2	12	4,0	5			11	
170	x	S	Z	1	260	100	8	2	9	3,5	4			5	
171	x	S	Z	1	260	80	24	2	6	5,2	7			9	
172	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	8	6,0	9	x		7	
173	x	S	Z	1	260	90	2	2	8	2,9	9	x		1	
174	x	S	Z	1	260	70	8	2	7	2,9	8	x		1	
175	x	S	Z	1	260	110	2	2	6	5,3	10			6	
176	x	S	Z	1	260	70	12	2	3	5,5	16	x		9	
177	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	4,8	9			14	
178	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	5,6	10			9	
179	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	2,7	5			5	
180	x	S	Z	1	260	70	28	2	4	5,4	24			10	
181	x	S	Z	1	260	70	28	2	4	3,8	13			3	
182	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	3	1,6	2	x		1	
183	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	3	4,0	8	x		4	
184	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	3	3,3	2	x		5	
185	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	3	2,1	10			1	
186	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	3	3,1	7	x	1	6	
187	x	S	Z	1	260	0	<0,5	3	4	3,5	14			5	
188	x	S	Z	1	260	30	16	2	5	8,0	14	x		27	
189	x	S	Z	1	260	30	16	2	4	3,6	6			3	
190	x	S	Z	1	260	40	18	2	3	2,8	4			0	
191	x	S	Z	1	260	30	18	2	3	3,3	6			5	
192	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	4	1,4	4			0	

Anhang

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tigkeits- klasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
193	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	4	3,3	2	x		2	
194	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	1	3,7	12			3	
195	x	S	Z	1	260	30	2	2	3	2,2	8			0	
196	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	6	1,3	5			1	
197	x	S	Z	1	260	0	<0,5	2	3	4,6	7			4	
198		S	Z	6	294	0	<0,5	2	14	5,2	8			2	
199		S	Z	6	294	260	10	2	14	4,2	4			2	
200		S	Z	6	294	260	10	3	14	6,6	9			4	i
201	x	S	Z	6	294	250	4	2	14	4,2	6			0	
202	x	S	Z	6	294	260	8	2	14	3,1	5			1	
203		S	Z	6	294	280	6	3	14	8,9	19			11	
204		S	Z	6	292	0	<0,5	2	15	7,1	6			8	
205	x	S	Z	6	292	0	<0,5	2	15	3,5	2			4	
206		S	Z	6	292	0	<0,5	2	15	2,2	1			0	
207	x	S	Z	6	292	0	<0,5	2	15	3,7	6			7	
208		S	Z	6	292	260	10	3	14	2,1	4			0	i
209	x	S	Z	6	292	250	12	3	15	9,0	6			9	
210		S	Z	6	292	280	6	3	15	2,0	2			0	i
211		S	Z	8	291	0	<0,5	2	8	6,1	4	x		6	
212		S	Z	8	291	0	<0,5	2	7	2,3	3			2	
213		S	Z	8	291	150	10	2	6	7,3	14			23	
214		S	Z	8	291	0	20	2	6	1,9	3			0	
215	x	S	Z	8	291	0	12	3	5	4,5	5			5	
216	x	S	Z	8	291	320	26	3	5	5,0	3			6	
217	x	S	Z	8	291	0	12	3	6	1,5	2			0	
218	x	S	Z	8	291	0	14	3	5	1,6	4			0	
219		S	Z	8	291	0	12	1	5	6,3	6			7	
220		S	Z	8	291	10	28	1	5	3,9	6	x		2	
221	x	S	Z	8	291	20	16	1	5	3,3	2	x		0	
222		S	Z	8	291	20	30	1	6	4,9	18			8	
223		S	B	4	311	270	50	4	2	2,2	7			1	
224		S	B	4	311	240	70	4	2	3,6	12			1	
225	x	S	B	4	311	220	90	4	2	2,7	7			0	
226		S	B	4	311	20	50	4	2	5,0	12			2	i
227		S	B	4	311	20	50	4	2	3,1	5			2	
228		S	B	4	311	20	50	4	2	4,7	6			5	
229	x	S	B	4	311	0	50	4	2	1,8	9			0	i
230		S	B	4	311	0	<0,5	4	3	19,5	20			15	i
231	x	S	B	4	311	160	90	4	3	4,9	6			8	
232		S	B	4	311	170	16	4	3	2,2	9			1	
233		S	B	4	311	170	16	4	3	1,3	6			0	i
234		S	B	4	311	170	16	4	3	3,0	9			1	
235		S	B	4	311	170	16	4	3	3,2	6			2	
236	x	S	B	4	311	170	30	4	3	3,3	12			1	
237		S	B	4	311	0	<0,5	4	4	2,8	15			0	
238		S	B	4	311	0	<0,5	4	4	6,5	20			1	i
239		S	B	4	311	180	10	4	1	1,8	6			0	
240		S	B	4	311	170	16	4	3	1,4	3			0	
241		S	B	4	311	170	16	4	3	0,8	2			0	
242	x	S	B	4	311	170	16	4	3	1,8	3			2	
243		S	B	4	311	170	90	4	3	1,3	2			0	
244		S	B	4	311	140	36	4	3	4,1	14			1	
245		S	B	4	311	180	40	4	3	4,8	12			2	
246		S	B	4	311	190	20	4	3	3,9	11			2	i
247		S	B	4	311	180	15	4	4	1,2	2			0	
248		S	B	4	311	180	15	4	4	1,0	2			0	i
249		S	B	4	311	180	15	4	4	1,0	2			0	
250		S	B	4	311	120	20	4	4	1,2	2			0	i
251		S	B	4	311	180	10	4	1	1,7	4			0	
252		S	B	4	311	180	25	4	1	1,3	5			0	
253		S	B	4	311	260	15	4	1	1,2	4			0	i
254		S	B	4	311	220	10	4	1	4,1	10			3	i
255		S	B	4	311	260	80	4	1	0,9	2			0	
256		S	B	4	311	120	20	4	4	0,7	4			0	
257		S	W	3	306	0	<0,5	4	16	1,2	2			0	

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflegemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
258		S	W	3	306	0	<0,5	4	19	1,4	3			0	
259		S	W	3	306	0	<0,5	4	19	1,7	15			0	i
260		S	W	3	306	0	<0,5	4	20	2,1	3			0	
261	x	S	W	3	306	0	<0,5	4	20	6,4	32			20	
262		S	W	3	306	0	<0,5	4	21	3,1	5			1	i
263		S	W	3	306	0	<0,5	4	22	2,0	3			0	i
264	x	S	W	3	306	0	<0,5	4	23	2,3	8			3	i
265		S	W	3	306	0	<0,5	4	23	3,6	10			2	
266		S	W	3	306	0	<0,5	4	23	3,2	14			4	i
267		S	W	3	306	0	<0,5	4	23	2,4	10			0	
268		S	W	3	306	0	<0,5	4	22	4,8	27			6	i
269		S	W	3	306	0	<0,5	4	22	5,3	36			2	m
270		S	W	3	306	0	<0,5	4	22	4,8	25			2	i
271	x	S	W	3	306	0	<0,5	4	21	6,3	43			1	
272		S	W	3	306	0	<0,5	4	21	5,3	45			4	i
273		S	W	3	306	0	<0,5	4	22	3,3	24			1	i
274	x	S	W	3	306	0	<0,5	4	21	5,3	26			3	i
275		S	W	3	306	0	<0,5	4	21	7,0	37			4	i, m
276		S	W	3	306	0	<0,5	4	19	3,0	10			1	
277	x	S	W	3	306	0	<0,5	4	19	3,1	8			1	i
278		S	W	3	306	0	<0,5	4	19	3,8	13			5	
279		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	3,2	8			1	i
280		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,1	2			1	
281		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	3,5	3			2	m
282		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,0	6			0	i, m
283	x	S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,3	7			0	
284		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,9	10			1	i
285	x	S	G	5	323	0	<0,5	4	80	3,4	6			1	i
286		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,5	16			4	
287		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	5,4	19			5	i
288		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	0,6	2			0	
289		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,1	1			0	
290		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,1	1			0	
291	x	S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,0	2			0	
292		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,1	7			0	i
293		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,8	9			2	
294		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,7	4			7	
295		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,5	5			0	
296	x	S	G	5	323	0	<0,5	4	80	5,8	11			6	i
297		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,5	6			1	i
298		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	3,8	6			3	i
299		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,3	4			2	i
300		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,1	7			2	i
301	x	S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,6	3			0	
302		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,5	4			0	
303		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,3	14			4	i
304		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,8	6			1	i
305		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,6	8			0	
306		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,6	14			0	
307		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,7	18			4	m
308		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,0	7			4	i
309		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,5	9			0	i
310		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,5	12			1	
311		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	4,0	10			2	i
312		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,0	6			1	
313		S	G	5	323	240	25	2	80	3,1	6			1	i
314		S	G	5	323	0	<0,5	2	80	2,0	3			0	
315		S	G	5	323	0	<0,5	2	80	1,3	3			0	
316		S	G	5	323	0	<0,5	2	80	4,4	12			2	i
317		S	G	5	323	0	<0,5	2	80	4,4	6			1	
318		S	G	5	323	0	<0,5	3	80	2,7	5			1	
319		S	G	5	323	0	<0,5	3	80	1,4	1			0	
320		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	1,5	3			0	
321		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,0	5			0	i
322		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,9	8			1	

# Anhang

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tigkeits- klasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
323		S	G	5	323	0	<0,5	4	80	2,3	4			1	i
324		S	G	5	323	170	6	4	80	1,7	3			0	
325		S	G	5	323	170	6	4	80	2,5	2			0	i
326		S	G	5	323	170	6	4	80	2,1	4			1	
327		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	2,8	6			0	
328		S	U	2	318	90	6	3	50	2,1	3			0	m
329		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	2,0	3			0	
330	x	S	U	2	318	0	<0,5	3	50	2,8	3			1	
331		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	3,2	7			2	i
332		S	U	2	318	90	25	2	50	2,9	3			0	
333		S	U	2	318	90	25	2	50	2,4	4			0	
334		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,0	4			2	
335		S	U	2	318	160	15	3	50	1,4	2			0	
336		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	2,8	9			0	i
337		S	U	2	318	300	10	2	50	4,7	6			2	i
338	x	S	U	2	318	300	10	2	50	1,4	3			0	
339		S	U	2	318	120	15	4	50	1,1	2			0	m
340		S	U	2	318	330	20	2	50	0,8	1			0	m
341		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,3	5			0	i
342	x	S	U	2	318	0	<0,5	3	50	3,8	3			0	
343		S	U	2	318	90	30	2	50	0,8	2			0	
344		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	1,0	1			0	
345		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	5,0	3			2	
346		S	U	2	318	70	20	2	50	4,3	3			0	
347		S	U	2	318	70	8	2	50	1,6	2			0	
348		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	2,2	5			1	
349		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	4,6	3			3	
350		S	U	2	318	120	5	2	50	1,0	1			0	
351		S	U	2	318	70	4	2	50	1,6	2			2	i
352		S	U	2	318	70	18	3	50	1,9	6			1	
353		S	U	2	318	270	5	2	50	1,8	2			3	
354		S	U	2	318	320	10	3	50	3,0	3			1	
355		S	U	2	318	320	5	2	50	2,5	3			0	
356		S	U	2	318	160	5	2	50	1,5	2			0	
357		S	U	2	318	170	15	2	50	4,0	5			3	
358		S	U	2	318	170	15	2	50	1,3	2			0	
359		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,6	9			1	
360		S	U	2	318	300	30	4	50	3,7	5			3	i
361		S	U	2	318	300	30	4	50	1,3	4			0	i
362		S	U	2	318	320	30	4	50	0,8	2			0	
363		S	U	2	318	300	4	3	50	2,1	3			2	
364		S	U	2	318	220	40	2	50	1,2	4			0	
365		S	U	2	318	0	<0,5	3	50	0,8	1			0	m
366		S	U	2	318	150	6	3	50	0,9	2			0	
367	x	S	U	2	318	0	<0,5	2	50	1,0	1			0	
368		S	U	2	318	60	20	2	50	2,8	2			1	
369		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	0,8	2			0	
370		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,6	2			0	i
371		S	U	2	318	320	20	2	50	1,4	4			0	
372		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,4	4			1	
373		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	2,1	1			0	
374		S	U	2	318	110	10	2	50	3,7	4			1	
375	x	S	U	2	318	0	<0,5	2	50	1,6	2			0	
376		S	U	2	318	0	<0,5	2	50	1,8	6			0	m
377		S	U	2	318	0	15	2	50	1,2	3			0	
378*		S	U	2	318	170	15	2	50	1,3	2			0	
379*		S	U	2	318	180	20	2	50	1,4	2			0	
380*		S	U	2	318	170	5	2	50	2,3	5			1	
381*		S	U	2	318	170	5	2	50	1,8	5			1	i
382*		S	U	2	318	180	15	2	50	4,1	10			2	
383*		S	U	2	318	170	15	2	50	5,1	5			4	
384*		S	U	2	318	170	20	2	50	7,0	2	x		5	
385*		S	U	2	318	170	15	2	50	4,7	2			7	
386*		S	U	2	318	170	15	2	50	2,5	2	x		0	i
387*		S	U	2	318	170	20	2	50	2,4	2			1	

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflegemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
388*		S	U	2	318	180	5	2	50	2,5	5			3	
389*		S	U	2	318	170	15	2	50	3,5	3			1	
390*		S	U	2	318	170	20	2	50	3,0	3			0	
391*		S	U	2	318	170	15	2	50	1,2	2			0	
392*		S	U	2	318	170	15	2	50	2,1	2			0	
393*		S	U	2	318	180	15	3	50	2,4	4			1	
394*		S	U	2	318	180	15	3	50	0,9	1			0	
395*		S	U	2	318	180	15	2	50	1,7	3			0	i
396*		S	U	2	318	180	15	2	50	5,6	4			2	i
397*		S	U	2	318	180	15	3	50	1,8	4			1	
398*		S	U	2	318	170	10	2	50	3,2	3			0	
399*		S	U	2	318	160	60	1	50	3,1	5			0	
400*		S	U	2	318	160	60	2	50	1,8	1			0	
401*		S	U	2	318	160	25	2	50	6,0	3			4	m
402*		S	U	2	318	180	15	2	50	1,3	2			0	
403	x	K	D	28	329	270	4	1	30	7,7	6	x		15	i
404		K	D	30	323	300	5	1	40	11,5	16			16	i
405		K	D	30	323	20	10	1	40	6,6	5	x		6	i
406		K	D	31	315	350	5	1	20	4,7	8	x	2	4	i
407		K	D	32	313	0	<0,5	1	20	4,5	5			6	
408		K	D	33	313	290	5	1	25	11,7	9			10	i
409		K	D	33	313	0	<0,5	1	15	8,8	13			19	i
410		K	D	33	313	80	15	1	15	6,3	5			7	i
411	x	K	D	nahe29	325	10	4	1	20	4,8	5	x		0	
412	x	K	D	nahe29	320	120	20	1	4	7,1	3	x		9	
413	x	K	D	nahe30	324	20	10	1	12	3,7	2		6	5	
414	x	K	D	nahe30	324	20	2	1	15	4,1	2	x		5	
415	x	K	D	nahe31	315	180	2	1	10	3,2	5			5	
416	x	K	F	23	324	180	24	1	1	11,7	10	x		14	i
417	x	K	F	23	324	180	14	2	2	9,7	7			11	i
418		K	F	23	324	170	16	1	2	11,1	20			17	i
419	x	K	F	23	324	190	26	1	6	9,4	32			9	i
420		K	F	23	324	180	8	1	5	9,1	10			5	i
421	x	K	F	23	324	190	10	1	3	5,5	32			10	i
422	x	K	F	23	324	180	8	1	3	4,1	5	x	2	4	
423		K	F	23	324	170	18	1	3	16,0	38	x		26	i
424		K	Z	23	324	200	8	3	7	6,4	17			5	i,m
425		K	Z	27	317	100	20	2	9	8,0	43			11	i
426	x	K	Z	27	317	100	20	2	9	10,3	11			13	
427		K	Z	27	318	100	20	2	9	9,7	17			6	i
428	x	K	Z	27	318	100	16	2	12	5,2	15			4	m
429	x	K	Z	27	318	110	5	2	6	7,7	12			6	i
430		K	Z	27	318	0	<0,5	2	17	7,5	25			11	i
431		K	Z	27	318	100	5	2	16	8,0	8			4	i
432		K	Z	27	317	0	<0,5	2	16	4,6	13			3	i
433		K	Z	27	317	100	10	2	15	9,3	6			12	i
434	x	K	Z	27	317	100	2	2	14	7,4	9			5	i
435		K	Z	27	317	90	12	2	9	2,5	3			0	i
436	x	K	Z	27	317	90	8	2	13	4,7	18			4	i,m
437		K	Z	27	317	100	5	2	15	5,7	8			5	i
438		K	B	25	318	290	30	4	15	2,2	2			0	
439	x	K	B	25	318	290	3	4	15	2,0	4	x		0	
440	x	K	B	25	318	290	30	4	15	2,8	8	x		0	
441	x	K	B	25	318	270	60	4	15	0,9	2			0	
442		K	B	25	318	200	30	4	15	2,5	5			1	
443		K	B	25	318	60	20	4	15	2,9	7			1	i
444	x	K	B	25	318	60	20	4	15	2,4	3			0	i
445		K	B	25	318	60	20	4	15	1,8	2			2	i
446	x	K	B	25	318	0	<0,5	4	14	2,7	10			0	
447		K	W	24	318	0	<0,5	4	9	1,0	5			0	
448		K	W	24	318	120	20	4	7	1,9	5			1	i
449	x	K	W	24	318	180	6	4	3	4,6	15			2	i
450	x	K	W	24	318	150	30	4	3	1,4	2			0	i
451	x	K	W	24	318	0	<0,5	4	2	2,2	14			2	i
452	x	K	W	24	318	140	6	4	2	0,9	2			0	i

# Anhang

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tigkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freiliegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
453		K	W	24	318	40	10	4	1	2,5	7			1	
454	x	K	W	24	318	0	<0,5	4	9	1,0	2			0	
455		K	G	26	319	290	1	4	30	5,6	12			0	
456		K	G	26	319	290	1	4	30	2,6	12			0	
457		K	G	26	319	290	1	4	30	3,2	7			0	
458		K	G	26	319	290	1	4	30	3,8	11			1	
459		K	G	26	319	290	1	4	30	2,8	7			0	
460		K	G	26	319	290	1	4	30	2,8	6			0	
461		K	G	26	319	290	1	4	30	1,7	4			0	
462		K	G	26	319	290	1	4	30	3,6	8			0	
463	x	K	G	26	319	290	1	4	30	3,1	6			0	
464		K	G	26	319	290	1	4	30	3,3	8			0	
465		K	G	26	319	290	1	4	30	3,8	2			1	
466		K	G	26	319	290	1	4	30	1,6	5			0	
467		K	G	26	319	290	1	4	30	4,9	8			0	
468		K	G	26	319	290	1	4	30	2,2	2			0	
469	x	K	G	26	319	290	1	4	30	2,5	5			0	
470		K	G	26	319	290	1	4	30	2,4	5			0	
471		K	G	26	319	290	1	4	30	1,9	2			0	i
472		K	G	26	319	290	1	4	30	3,0	4			0	
473		K	G	26	319	290	1	4	30	2,6	9			0	
474		K	G	26	319	290	1	4	30	2,7	8			0	
475		K	G	26	319	290	1	4	30	2,3	5			0	
476		K	G	26	319	290	1	4	30	2,1	4			0	
477		K	G	26	319	290	1	4	30	1,6	3			0	
478		K	G	26	319	290	1	4	30	2,3	2			0	
479		K	G	26	319	290	1	4	30	1,9	3			0	
480		K	G	26	319	290	1	4	30	3,2	7			0	m
481		K	G	26	319	290	1	4	30	2,3	5			0	
482		K	G	26	319	290	1	4	30	2,7	8			0	
483		K	G	26	319	290	1	4	30	1,6	1			0	
484		K	G	26	319	290	1	4	30	2,6	3			0	
485		K	G	26	319	290	1	4	30	2,4	4			0	
486		K	G	26	319	290	1	4	30	1,9	4			0	m
487		K	G	26	319	290	1	4	30	2,0	6			0	i
488		K	G	26	319	290	1	4	30	1,6	4			0	
489		K	G	26	319	290	1	4	30	2,9	10			1	
490		K	G	26	319	290	1	4	30	1,3	2			0	
491		K	G	26	319	290	1	4	30	1,6	2			0	
492	x	K	G	26	319	290	1	4	30	2,0	2			0	
493		K	G	26	319	290	1	4	30	2,4	6			0	
494		K	G	26	319	290	1	4	30	2,2	7			0	
495		K	G	26	319	290	1	4	30	1,3	2			0	
496		K	G	26	319	290	1	4	30	0,8	3			0	
497		K	G	26	319	290	1	4	30	1,4	2			0	
498		K	G	26	319	290	1	4	30	0,8	2			0	
499		K	G	26	319	290	1	4	30	2,1	2			0	i
500		K	G	26	319	290	1	4	30	1,4	2			0	
501		K	G	26	319	290	1	4	30	0,6	1			0	
502		K	G	26	319	290	2	4	30	1,8	2			0	
503		K	G	26	319	290	2	4	30	1,9	2			0	i
504		K	G	26	319	290	2	4	30	2,5	6			0	
505		K	G	26	319	290	2	4	30	1,5	3			0	m
506		K	G	26	319	290	2	4	30	0,9	2			0	i
507		K	G	26	319	290	2	4	30	2,0	2			0	
508		K	G	26	319	290	2	4	30	1,1	2			0	
509		K	G	26	319	290	2	4	30	1,7	4			0	i
510		K	G	26	319	290	2	4	30	1,5	3			0	
511		K	G	26	319	290	2	4	30	1,3	3			0	m
512	x	K	G	26	319	290	2	4	30	1,9	4			0	
513		K	G	26	319	290	2	4	30	2,5	6			0	i, m
514		K	G	26	319	290	2	4	30	3,1	10			0	
515	x	K	G	26	319	290	2	4	30	2,4	4			0	i
516		K	G	26	319	290	2	4	30	2,2	4			0	
517		K	G	26	319	290	2	4	30	3,1	9			0	i, m

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflegemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
518		K	G	26	319	290	2	4	30	1,4	3			0	i
519		K	G	26	319	290	2	4	30	3,2	6			0	m
520		K	G	26	319	290	2	4	30	6,0	9		3	0	i
521		K	G	26	319	290	2	4	30	6,1	16		1	0	m
522	x	R	D	34	377	260	5	1	50	6,3	20			29	i
523		R	D	34	377	240	10	1	50	3,4	2	x	1	1	
524	x	R	D	34	377	240	5	1	50	5,3	14			7	i
525		R	D	37	384	200	5	1	66	17,8	3	x		51	i
526	x	R	D	40	383	0	<0,5	1	60	11,5	5	x		28	i
527	x	R	D	42	388	0	<0,5	1	70	4,0	7			2	i
528		R	F	34	374	220	6	2	50	5,5	5			2	i
529		R	F	34	374	220	10	1	50	8,5	11			10	i
530		R	F	34	374	220	8	1	50	6,5	4			6	
531		R	F	34	374	220	10	1	50	9,2	6	x		4	
532	x	R	F	34	374	220	6	3	50	3,7	6			0	i
533		R	F	34	374	220	8	2	50	6,2	4			3	i
534		R	F	34	374	220	8	2	50	4,8	8			2	
535		R	F	34	374	220	8	2	50	7,9	15			3	
536	x	R	F	34	374	220	2	2	50	9,3	5			3	i
537	x	R	F	34	374	220	12	2	50	5,8	6			2	i
538		R	F	34	374	220	30	3	50	9,2	21			11	i
539		R	F	34	374	220	10	2	50	7,0	20			4	i
540		R	F	34	374	220	12	2	50	9,1	13			15	i
541		R	F	34	374	220	20	2	50	8,0	7			14	i
542		R	F	34	374	220	18	2	50	10,5	9	x		14	i
543		R	F	34	374	220	15	2	50	5,6	7			9	i
544	x	R	F	34	374	220	12	2	50	4,9	4			6	i
545		R	F	34	374	240	20	2	50	6,6	4	x		11	i
546		R	F	34	374	240	25	2	50	3,9	2			5	
547		R	F	34	374	220	15	2	50	7,4	5			16	i
548		R	F	34	374	220	20	2	50	4,4	5			9	
549		R	F	34	374	230	15	2	50	6,2	5	x		12	i
550	x	R	F	34	374	280	15	2	50	5,2	6			7	i
551		R	F	34	374	240	4	2	50	4,3	9			6	i, m
552		R	F	34	374	280	8	2	50	7,5	3			10	i
553		R	F	34	374	200	15	1	50	8,1	4			3	i
554		R	F	34	374	220	20	2	50	8,7	15			15	i
555		R	F	37	381	260	14	2	56	8,1	4			24	i
556	x	R	Z	34	372	0	<0,5	4	50	4,0	3			2	i
557	x	R	Z	34	372	40	2	3	50	3,6	4			0	i
558	x	R	Z	34	372	40	12	3	50	7,0	8			6	i
559	x	R	Z	34	372	220	4	2	50	7,8	18			6	i
560	x	R	Z	34	372	220	4	2	50	3,5	8			0	i
561		R	B	36	369	300	20	4	7	3,8	8			1	i
562		R	B	36	369	200	20	4	6	3,5	11			2	
563		R	B	36	369	240	30	4	6	2,6	5			0	i
564	x	R	B	36	369	240	40	4	6	7,9	12			11	
565	x	R	B	36	369	290	30	4	7	2,5	6			0	
566		R	B	36	369	230	10	3	3	2,5	3			0	
567		R	B	36	369	20	40	4	6	3,9	6			2	i
568		R	B	36	369	70	50	4	6	3,0	7			0	
569	x	R	B	36	369	60	20	4	7	5,2	9			3	
570		R	B	36	369	200	60	4	8	3,8	6			2	
571	x	R	B	36	369	200	60	4	8	11,8	6			7	
572	x	R	B	36	369	0	<0,5	3	8	7,0	6			2	
573		R	B	36	369	110	4	3	8	4,4	2			3	
574		R	B	36	369	300	40	4	6	1,2	2			0	
575	x	R	W	35	370	0	<0,5	4	40	4,7	15			6	i
576		R	W	35	370	200	4	4	39	4,2	9			3	i
577		R	W	35	370	90	20	4	38	3,4	9			2	i
578		R	W	35	370	0	<0,5	4	38	4,5	15			3	i
579		R	W	35	370	0	<0,5	4	37	2,9	6			2	i
580		R	W	35	370	0	<0,5	4	34	3,2	16			4	
581		R	W	35	370	0	<0,5	4	34	9,9	11			5	i
582		R	W	35	370	0	<0,5	4	35	3,2	3			0	

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tighkeits- klasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
583		R	W	35	370	0	<0,5	4	38	2,2	8			2	i
584		R	W	35	370	0	<0,5	4	38	3,7	11			2	i
585	x	R	W	35	370	0	<0,5	4	38	2,3	11	x	1	0	
586		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	2,9	3			3	
587		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	2,4	8			1	i
588		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	1,7	5			1	
589		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	1,8	3			1	
590		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	2,5	6			1	i
591		R	W	35	370	0	<0,5	4	38	6,3	21			6	i
592	x	R	W	35	370	0	<0,5	4	40	3,9	30			0	i
593		R	W	35	370	0	<0,5	4	40	2,9	6			2	i
594		R	W	35	370	0	<0,5	4	40	3,5	6			3	
595	x	R	W	35	370	0	<0,5	4	40	1,9	4			0	
596		R	W	35	370	0	<0,5	4	40	5,2	34			6	i
597		R	W	35	370	0	<0,5	4	40	3,9	12			3	
598		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	5,0	10			4	
599		R	W	35	370	0	<0,5	4	38	3,4	9			2	i
600		R	W	35	370	0	<0,5	4	37	5,6	18			4	
601		R	W	35	370	0	<0,5	4	37	3,6	19			1	i
602		R	W	35	370	0	<0,5	4	37	3,4	12			3	
603		R	W	35	370	0	<0,5	4	35	4,0	10			1	i
604		R	W	35	370	0	<0,5	4	34	7,9	19			6	i
605		R	W	35	370	0	<0,5	4	33	7,0	29	x		11	i
606		R	W	35	370	0	<0,5	4	33	2,5	3			2	i
607	x	R	W	35	370	0	<0,5	4	33	3,0	4	x		0	
608		R	W	35	370	0	<0,5	4	32	12,3	16	x		12	i
609		R	W	35	370	0	<0,5	4	33	4,5	14	x		3	i
610		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	5,0	26			3	i
611		R	W	35	370	0	<0,5	4	39	2,4	1			0	
612		R	G	37	379	0	<0,5	4	30	2,5	3			1	
613		R	G	37	379	220	30	4	30	2,9	10			1	
614		R	G	37	379	0	<0,5	4	30	2,3	7			0	i
615		R	G	37	379	270	10	4	30	2,6	5			1	i
616		R	G	37	379	270	10	4	30	2,8	5			3	i
617		R	G	37	379	270	15	2	30	5,0	9			4	i
618		R	G	37	379	260	20	3	30	3,1	3			0	i
619		R	G	37	379	90	50	4	30	3,5	13			0	i
620		R	G	37	379	70	15	4	30	4,1	20			0	i
621		R	G	37	379	70	30	4	30	3,0	8			1	
622		R	G	37	379	70	30	4	30	2,6	3			0	i
623		R	G	37	379	70	30	4	30	1,8	2			0	
624		R	G	37	379	70	30	4	30	4,0	8			1	
625		R	G	37	379	0	<0,5	4	30	3,0	8			0	i
626		R	G	37	379	0	20	3	30	2,7	10	x		0	
627		R	G	37	379	0	20	3	30	3,6	9			2	i
628		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	4,0	12			1	i
629		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	4,3	13			1	i
630		R	G	37	379	320	20	4	31	3,3	10			0	i
631		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	4,0	12			2	i
632		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	2,6	13			1	i
633		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	4,5	14			1	i
634		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	3,5	10			1	i
635		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	2,3	12	x		0	i
636		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,2	9	x		0	i
637		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,6	11			1	i
638		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,6	7			3	i
639		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,4	7			3	i
640		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,6	8			0	
641		R	G	37	379	0	<0,5	4	32	3,4	9			0	i
642		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	4,1	14			1	i
643		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,2	6			0	i
644		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,9	5			0	
645		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,7	5			0	
646		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	3,5	10			4	
647		R	G	37	379	0	<0,5	3	33	4,6	9			5	i

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Auflegemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
648		R	G	37	379	0	<0,5	3	33	3,6	4			0	i
649		R	G	37	379	0	<0,5	3	33	2,2	4			0	i
650		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	3,0	19			0	
651		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,9	7			1	i
652		R	G	37	379	0	<0,5	2	33	2,7	10			1	i
653		R	G	37	379	0	<0,5	2	33	2,6	6			1	
654		R	G	37	379	0	<0,5	2	33	2,0	5			0	
655		R	G	37	379	0	<0,5	2	33	2,9	7			2	m
656		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,5	8			0	i
657		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,5	5			0	i
658		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,5	6			1	
659		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,1	3			0	i
660		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,8	5			0	
661		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,8	6			0	i
662		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,7	8			1	
663		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,7	8			0	i
664		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,8	16			2	i
665		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,0	10			2	i
666		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,2	6			3	
667		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,6	7			7	i
668		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,2	12			0	i
669		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	3,0	4			0	
670		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,0	3			0	i
671		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	3,7	9			2	
672		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,6	10			0	i
673		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,9	7			0	i
674		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	3,0	5			1	i
675		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,4	7			1	i
676		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,5	4			1	
677		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	1,3	1			0	
678		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	1,4	4			0	
679		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,0	12			1	
680		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,4	11			4	
681		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	2,4	7			0	i
682		R	G	37	379	0	<0,5	4	34	4,9	10			2	i
683		R	G	37	379	230	10	4	34	3,2	7			1	
684		R	G	37	379	230	5	4	35	1,8	3			1	
685		R	G	37	379	230	5	3	35	2,2	5			1	
686		R	G	37	379	230	20	3	35	4,1	8	x	1	4	i
687		R	G	37	379	230	15	3	35	4,2	10			3	i
688		R	G	37	379	0	<0,5	3	35	3,0	8			3	i
689		R	G	37	379	230	10	3	35	1,9	8			0	i
690		R	G	37	379	230	10	3	35	3,0	10			0	
691		R	G	37	379	0	<0,5	3	35	2,7	9			1	i
692		R	G	37	379	230	10	3	35	2,2	7			0	
693		R	G	37	379	230	10	3	35	3,4	11			0	i
694	x	R	G	37	379	0	<0,5	3	35	3,4	10			0	i
695		R	G	37	379	230	10	3	35	4,1	8			2	i
696		R	G	37	379	0	<0,5	3	35	2,4	5			1	
697		R	G	37	379	230	5	3	35	3,2	8			1	i
698		R	G	37	379	230	5	3	35	3,0	12			0	i
699		R	G	37	379	230	5	3	35	1,4	4			0	i
700		R	G	37	379	230	30	3	35	3,1	9			0	i
701		R	G	37	379	230	30	3	35	2,2	2			0	
702		R	G	37	379	230	5	4	35	2,8	8			1	i
703		R	G	37	379	230	5	4	35	2,0	6			0	
704		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,5	5			0	
705		R	G	37	379	230	4	4	35	1,6	3			0	
706		R	G	37	379	230	4	4	35	2,3	7			1	i
707		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,4	8			0	i
708		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	3,4	9			1	i
709	x	R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,2	7			0	
710		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	1,6	5	x		0	
711		R	G	37	379	300	15	4	35	2,7	7			0	i
712		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	5,0	9			1	i

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem bepröbt	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemäch- tigkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzels [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
713		R	G	37	379	300	10	4	35	1,7	2			0	i
714		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,3	3			0	
715		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,4	6			0	i
716		R	G	37	379	300	10	4	35	3,1	6			0	
717		R	G	37	379	300	5	4	35	1,6	3			0	i
718		R	G	37	379	300	10	4	35	2,2	6			0	i
719		R	G	37	379	300	10	4	35	2,4	6			0	i
720		R	G	37	379	300	5	4	35	3,3	9			1	
721		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	3,0	5			1	i
722		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,2	6			2	i
723		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,0	4			0	
724		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	4,5	6			3	i
725		R	G	37	379	230	4	4	35	2,3	9			0	i
726		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,8	8			0	i
727		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	3,3	7			2	
728		R	G	37	379	230	10	4	35	2,2	8			0	i
729		R	G	37	379	230	4	4	35	3,3	5			1	
730		R	G	37	379	230	4	4	35	4,4	10			7	i
731		R	G	37	379	230	15	4	35	5,7	10			8	i
732		R	G	37	379	230	15	3	35	2,4	9			0	i
733		R	G	37	379	230	10	4	35	3,3	6			0	i
734		R	G	37	379	230	10	4	35	3,3	5			2	i
735	x	R	G	37	379	230	5	4	35	2,7	8			0	
736		R	G	37	379	230	5	4	35	2,1	4			0	i
737		R	G	37	379	250	10	3	35	3,0	6			1	i
738		R	G	37	379	250	10	3	35	3,3	9			1	i
739		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	1,6	5			0	
740		R	G	37	379	100	4	4	35	2,1	5			1	
741		R	G	37	379	100	4	4	35	6,0	8			2	i
742		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,7	8			2	i
743		R	G	37	379	230	10	4	35	3,5	17			1	i
744		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	3,1	4			1	
745		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,5	6			1	i
746		R	G	37	379	180	4	4	35	6,8	18			4	i
747		R	G	37	379	200	10	4	35	2,2	6			0	i
748		R	G	37	379	200	10	4	36	2,0	5			1	i
749		R	G	37	379	200	10	4	36	4,3	7		4	1	
750		R	G	37	379	220	10	4	36	4,4	12			3	i
751		R	G	37	379	180	15	4	36	1,5	6			0	i
752		R	G	37	379	200	15	4	36	4,8	12			3	i
753		R	G	37	379	230	15	4	36	1,0	6			0	i
754		R	G	37	379	230	15	4	36	3,4	6			3	i
755	x	R	G	37	379	230	10	4	36	3,0	7			3	i
756		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,4	6			0	i
757		R	G	37	379	230	4	4	36	2,3	16			0	i, m
758		R	G	37	379	230	4	4	36	5,0	15	x		4	i
759		R	G	37	379	240	10	4	36	3,9	9			2	i
760		R	G	37	379	230	20	4	36	5,6	5			5	i
761		R	G	37	379	230	4	4	36	3,3	9			2	m
762		R	G	37	379	220	10	4	36	4,4	11	x		3	i
763		R	G	37	379	220	10	4	36	3,5	10			0	i
764		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	4,0	6			1	
765		R	G	37	379	210	5	4	36	5,3	10			2	i
766		R	G	37	379	210	5	4	36	2,9	7			1	i
767		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,1	5			1	
768		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,5	6			0	i, m
769		R	G	37	379	210	10	4	36	4,1	10			2	
770		R	G	37	379	210	10	4	36	2,6	10			1	i
771		R	G	37	379	210	10	4	36	3,0	7			0	i
772		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	3,5	10			1	i
773		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,5	12			2	i
774		R	G	37	379	280	5	4	36	1,2	5			0	
775		R	G	37	379	280	5	4	36	3,3	5			1	i
776		R	G	37	379	280	5	4	36	1,9	6			1	
777		R	G	37	379	280	5	4	36	3,7	6			1	i

Tab. 22 (Fortsetzung)

Birke	Wurzelsystem beprob	Berg	Standorttyp	Fläche	Meereshöhe [m ü.NN]	Exposition [°]	Inklination [°]	Aufgemächti- gkeitsklasse	Entfernung Alt- baum [m]	Stammdurch- messer [mm]	Haupttrieblänge [cm]	Stamm- deformation	freilegender Wurzelhals [cm]	Sprossschäden [n]	Laubschäden
778		R	G	37	379	280	5	4	36	4,5	7			2	m
779		R	G	37	379	290	5	4	36	3,3	7			1	i
780		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	5,0	18			4	
781		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,7	8			0	i
782		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,9	7			1	i
783		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	2,0	4			0	
784		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	1,1	2			0	
785		R	G	37	379	190	4	4	36	3,0	14			2	i
786		R	G	37	379	0	<0,5	4	36	3,3	5			2	i
787		R	G	37	379	160	10	4	36	3,8	4			4	i
788		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	3,6	8			3	i
789		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	3,9	7			3	i
790		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	4,6	9			0	i
791		R	G	37	379	180	5	4	37	5,9	10			2	i
792		R	G	37	379	180	5	4	37	2,9	8			0	i
793		R	G	37	379	240	10	4	37	4,2	10	x		1	i
794		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	3,8	12			2	i
795		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	5,0	7			3	i
796		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	2,4	3			0	i
797		R	G	37	379	0	<0,5	4	37	1,2	3			0	i
798		R	G	37	379	220	5	4	37	2,2	3			0	i
799		R	G	37	379	170	10	4	37	1,6	3			0	
800		R	G	37	379	170	30	4	37	3,9	7			2	i
801		R	G	37	379	150	20	4	38	2,0	6			0	
802		R	G	37	379	230	5	4	35	2,3	4			3	i
803		R	G	37	379	340	20	4	35	4,5	10			3	i
804		R	G	37	379	300	10	4	35	3,0	7			0	
805		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	4,2	26			0	i
806		R	G	37	379	260	20	2	30	3,0	3			1	i
807		R	G	37	379	260	15	4	30	3,0	6			1	i
808		R	G	37	379	290	10	2	30	2,0	3			1	i
809		R	G	37	379	330	15	4	30	1,9	3			1	
810		R	G	37	379	0	<0,5	4	30	3,0	9			0	i
811		R	G	37	379	0	20	4	30	2,0	9			0	
812		R	G	37	379	0	<0,5	4	30	3,1	6			0	i
813		R	G	37	379	0	30	3	30	1,6	3			0	i
814		R	G	37	379	0	30	3	30	0,9	1			0	
815		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	2,5	5			0	i
816		R	G	37	379	0	<0,5	4	31	2,0	8			0	i
817		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,2	7			0	i
818		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,5	3			0	i
819		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	0,8	1			0	
820		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,4	3			0	
821		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,4	5			1	
822		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	2,0	6			0	
823		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	0,9	4			0	
824		R	G	37	379	0	<0,5	4	33	1,4	5			1	
825		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,4	8			0	i
826		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,7	4			2	
827		R	G	37	379	230	5	4	35	2,5	7			1	i
828		R	G	37	379	230	4	4	35	2,4	8			0	
829		R	G	37	379	230	4	4	35	2,6	7			1	i
830		R	G	37	379	230	4	4	35	3,0	5			1	i
831	x	R	G	37	379	230	2	4	35	1,2	1			0	i
832		R	G	37	379	0	<0,5	4	35	2,5	8			0	
833		R	G	37	379	180	20	4	35	2,2	8			0	i
834		R	G	37	379	180	50	4	35	2,9	5			2	i
835		R	G	37	379	230	20	4	35	1,7	5			1	
836		R	G	37	379	230	4	4	35	1,3	3			0	
837		R	G	37	379	230	4	4	35	2,8	5			1	i
838		R	G	37	379	230	4	4	35	2,4	12			2	i
839		R	G	37	379	230	5	4	35	3,1	5			0	i

\*) Daten wegen Inhomogenität der Fläche von den meisten Auswertungen ausgeschlossen

Tab. 23: Daten der untersuchten Wurzelsysteme. Birkennummern vgl. Tab. 22. D = Deflation, F = Flechtenheide, Z = Zwergstrauchheide, B = Bulten, W = Weidengebüsch, G = Grasmoor, U = Ufer.

Birke	Standorttyp	Wurzellänge [cm]	Wurzelspitzen [n]	Durchwurzelungsweite [cm]	Durchwurzelungstiefe [cm]	Wurzeltrockengewicht [g]	Sprossstrockengewicht [g]	Alter [a]	Probenahmejahr	Haupttrieblänge / Alter [cm/a]	Stammdurchmesser / Alter [mm/a]	Sprossschäden / Alter [n/a]	Plizbefall im Stamminnen	R/S [g/g]	SRL [cm/g]	R [cm/g]	Mykorrhizierung
1	D	710,29	1271	100	15	2,0908	0,6779	20	2002	0,500	0,385	0,20	x	3,084	339,72	0,559	x
2	D	95,87	189	15	10	0,4815	0,5287	20	2002	0,400	0,225	0,25		0,911	199,10	0,507	
3	D	818,13	1053	280	10	6,1663	2,7193	18	2002	1,111	0,394	1,39		2,268	132,68	0,777	x
4	D	1094,32	1351	260	10	9,7320	4,2200	35	2002	0,571	0,249	0,74	x	2,306	112,45	0,810	x
5	D	1785,85	2630	140	25	6,8437	1,6211	17	2002	1,000	0,294	0,41		4,222	260,95	0,679	x
6	D	521,75	1146	40	15	0,8389	0,3649	17	2002	0,294	0,188	0,18		2,299	621,95	0,455	x
7	D	1219,22	1957	160	10	2,6696	0,8086	15	2002	1,467	0,307	0,20		3,302	456,71	0,623	x
16	D	160,13	553	10	18	0,0437	0,0233	7	2003	0,286	0,243	0,00	x	1,876	3664,34	0,290	
17	D	638,70	1014	45	20	1,5270	0,6240	16	2002	0,188	0,306	0,50		2,447	418,27	0,630	x
18	D	631,95	921	60	15	1,2312	0,2712	21	2002	0,143	0,157	0,38		4,540	513,28	0,686	
19	D	243,01	540	17	10	0,0957	0,0473	11	2002	0,182	0,127	0,09		2,023	2539,34	0,450	x
20	D	934,85	1821	25	20	1,2321	0,3473	17	2002	0,529	0,218	0,12		3,548	758,74	0,513	x
21	D	969,28	2043	130	15	1,4189	0,2949	13	2002	0,462	0,269	0,08		4,812	683,12	0,474	
22	D	268,27	271	60	20	1,0779	1,0752	19	2002	0,684	0,279	0,37	x	1,003	248,88	0,990	
24	D	1089,01	1800	70	18	2,4032	0,7200	9	2003	0,444	0,678	1,33		3,338	453,15	0,605	
29	D	786,33	1865	80	26	1,5157	0,6045	14	2003	0,429	0,450	0,36		2,507	518,79	0,422	
30	D	1602,11	3487	100	27	1,6740	0,4129	12	2003	0,500	0,350	0,00		4,054	957,06	0,460	x
33	D	802,81	1238	38	16	1,7951	0,9099	24	2003	0,208	0,283	0,29		1,973	447,22	0,649	
34	D	1565,33	2527	130	42	3,1044	1,1439	18	2003	0,722	0,311	0,33		2,714	504,23	0,619	x
36	D	459,41	933	40	15	0,3530	0,1037	21	2002	0,143	0,157	0,05		3,404	1301,43	0,492	
37	D	742,88	599	70	40	2,9222	0,7618	22	2002	0,227	0,250	0,41		3,836	254,22	1,240	
38	D	460,89	774	30	50	0,7222	0,2858	13	2002	0,462	0,269	0,23		2,527	638,17	0,596	
39	D	331,85	461	70	30	0,9142	0,2945	13	2002	0,846	0,215	0,31		3,104	363,00	0,720	
40	F	143,92	155	22	10	0,1576	0,2159	15	2002	0,400	0,167	0,13	x	0,730	913,20	0,929	
41	F	459,53	638	35	15	0,9690	0,6669	18	2002	0,722	0,272	0,28	x	1,453	474,23	0,720	
42	F	177,07	199	40	3	0,6132	0,3219	10	2002	0,600	0,380	0,60		1,905	288,77	0,890	
43	F	80,92	146	8	3	0,0363	0,0190	5	2002	0,200	0,340	0,00		1,911	2229,07	0,554	
44	F	172,17	337	10	5	0,4026	0,2822	15	2002	0,167	0,273	0,47		1,427	427,64	0,511	
45	F	54,46	124	10	5	0,0308	0,0104	5	2002	0,200	0,240	0,00		2,962	1768,18	0,439	
46	F	245,86	604	40	10	0,2037	0,0550	7	2002	0,286	0,357	0,14		3,704	1206,96	0,407	
47	F	69,99	190	20	5	0,0649	0,0248	7	2002	0,286	0,229	0,00		2,617	1078,42	0,368	
48	F	248,36	494	60	5	0,8421	0,5908	19	2002	0,237	0,258	0,42	x	1,425	294,92	0,503	
49	F	247,86	541	60	5	0,4602	0,3010	12	2002	1,000	0,308	0,50	x	1,529	538,60	0,458	
50	F	86,85	239	15	3	0,0724	0,1100	11	2002	0,546	0,173	0,18		0,658	1199,53	0,363	
51	F	571,40	789	100	10	3,7917	1,9664	21	2002	1,429	0,386	0,67		1,928	150,70	0,724	
52	F	229,09	294	60	15	1,2986	1,8721	21	2002	0,476	0,357	0,76	x	0,694	176,42	0,779	
53	F	248,00	488	50	10	0,3483	0,1673	17	2002	0,294	0,194	0,12		2,082	712,04	0,508	
54	F	200,59	359	30	14	0,4620	0,3704	12	2002	0,500	0,292	0,33		1,247	434,17	0,559	x
55	F	453,10	707	30	30	1,8023	1,6575	22	2002	1,273	0,386	0,41	x	1,087	251,40	0,641	
56	F	258,03	421	40	5	0,9504	1,0151	15	2002	1,067	0,333	0,73		0,936	271,50	0,613	
57	F	224,22	501	30	4	0,4316	0,2676	12	2002	0,667	0,250	0,08		1,613	519,51	0,448	
58	F	567,08	709	50	10	4,4033	3,4756	43	2002	0,558	0,251	0,81	x	1,267	128,78	0,800	
59	F	237,74	412	50	10	0,9478	1,0754	20	2002	0,800	0,230	0,45		0,881	250,84	0,577	
60	F	111,43	259	20	10	0,2589	0,1448	10	2002	0,550	0,260	0,10		1,788	430,41	0,430	
61	F	66,56	172	3	6	0,0293	0,0132	5	2002	0,300	0,280	0,00		2,220	2271,71	0,387	x
62	F	430,63	594	40	10	3,4126	4,7239	45	2002	0,311	0,360	0,47	x	0,722	126,19	0,725	
63	F	244,96	682	20	5	0,3445	0,1509	13	2002	0,308	0,215	0,08		2,283	711,06	0,359	
64	F	77,81	151	20	5	0,0934	0,0323	9	2002	0,111	0,222	0,11		2,892	833,07	0,515	
65	F	33,92	71	7	3	0,0272	0,0190	5	2002	0,500	0,200	0,20		1,432	1246,89	0,478	
66	F	698,95	1115	60	37	1,9941	1,4845	35	2002	0,114	0,257	0,26		1,343	350,51	0,627	
67	F	419,36	882	50	20	0,7898	0,2926	14	2002	0,429	0,250	0,36		2,699	530,97	0,476	x
68	F	814,26	1454	70	10	4,7573	3,1411	30	2002	0,900	0,293	0,93	x	1,515	171,16	0,560	
69	F	213,63	324	30	10	0,4789	0,3451	23	2002	0,174	0,174	0,13		1,388	446,08	0,659	
70	F	189,28	223	35	15	0,4704	0,1272	7	2002	0,857	0,457	0,00		3,698	402,38	0,849	
71	F	697,71	619	130	33	19,3194	12,5307	54	2002	0,796	0,270	0,98	x	1,542	36,11	1,127	
72	F	586,49	949	35	15	1,3544	1,0201	14	2002	0,929	0,321	0,36		1,328	433,02	0,618	x
73	F	540,80	1285	50	4	0,5479	0,2028	14	2002	0,500	0,200	0,29	x	2,702	987,04	0,421	
74	F	486,84	1274	40	4	1,2333	0,8228	22	2002	0,500	0,282	0,32		1,499	394,75	0,382	
75	F	58,81	123	10	7	0,0268	0,0139	6	2002	0,333	0,183	0,00		1,928	2194,31	0,478	
76	F	45,15	82	5	10	0,0515	0,0497	9	2002	0,222	0,222	0,33		1,036	876,70	0,551	
77	F	164,79	190	35	6	0,3968	0,1870	16	2002	0,313	0,238	0,50	x	2,122	415,30	0,867	
78	F	749,30	1545	45	35	1,1602	0,8320	15	2002	1,067	0,293	0,27		1,395	645,83	0,485	x

Tab. 23 (Fortsetzung)

Birke	Standorttyp	Wurzellaenge [cm]	Wurzelspitzen [n]	Durchwurzelungsweite [cm]	Durchwurzelungstiefe [cm]	Wurzeltrockengewicht [g]	Sprossstrockengewicht [g]	Alter [a]	Probenahmejahr	Haupttrieblaenge / Alter [cm/a]	Stammdurchmesser / Alter [mm/a]	Sprossschaden / Alter [n/a]	Pilzbefall im Stamminnen	R/S [g/g]	SRL [cm/g]	R [cm/g]	Mykorrhizierung
79	F	377,71	523	70	30	1,3708	0,7652	15	2002	0,733	0,247	0,20		1,791	275,54	0,722	
80	F	388,38	481	130	2	2,5421	1,3745	17	2002	1,059	0,388	0,59	x	1,850	152,78	0,807	
81	F	512,59	833	70	10	2,2662	1,7665	26	2002	0,423	0,312	0,42	x	1,283	226,19	0,615	
82	F	374,45	643	30	15	0,6926	0,4991	13	2002	0,846	0,277	0,31		1,388	540,64	0,582	x
83	F	286,48	262	30	15	1,5995	1,1130	14	2002	0,571	0,321	0,57		1,437	179,11	1,093	x
84	F	291,68	409	60	20	1,0783	1,1649	12	2002	1,500	0,383	0,58		0,926	270,50	0,713	
85	F	745,17	1486	40	30	1,1428	0,3581	25	2002	0,200	0,216	0,04		3,191	652,06	0,502	
86	F	227,73	629	14	4	0,0849	0,0203	4	2003	0,500	0,500	0,00		4,182	2682,35	0,362	x
87	F	427,43	1021	37	8	0,3215	0,1945	10	2003	0,400	0,380	0,30		1,653	1329,48	0,419	x
88	F	125,84	360	10	6	0,0853	0,0140	5	2003	0,200	0,400	0,00		6,093	1475,25	0,350	
89	F	132,27	318	12	2	0,1356	0,1039	7	2003	0,571	0,471	0,14		1,305	975,48	0,416	
91	F	40,40	127	4	4	0,0136	0,0063	5	2003	0,200	0,200	0,00		2,159	2970,30	0,318	
99	F	250,62	509	25	9	0,4169	0,2028	17	2003	0,353	0,188	0,24	x	2,056	601,16	0,492	
104	F	395,22	733	33	16	0,5068	0,1383	22	2003	0,136	0,191	0,05		3,665	779,83	0,539	
110	F	1053,06	1954	95	26	4,3294	2,4867	32	2003	0,500	0,338	0,50		1,741	243,23	0,539	
119	F	104,13	261	6	9	0,0467	0,0214	9	2003	0,222	0,200	0,00		2,182	2229,83	0,399	
125	F	324,79	593	50	25	1,1075	0,4802	20	2003	0,300	0,270	0,10		2,306	293,26	0,548	x
130	F	106,15	318	8	8	0,0274	0,0210	7	2003	0,286	0,214	0,00		1,305	3874,16	0,334	x
132	F	547,45	905	55	18	0,9640	0,5400	18	2003	0,250	0,178	0,11		1,785	567,89	0,605	x
133	F	216,69	309	30	7	0,4245	0,1806	13	2003	0,385	0,208	0,08		2,351	510,47	0,701	
136	F	101,31	257	15	6	0,1359	0,0771	11	2003	0,182	0,327	0,00		1,763	745,47	0,394	
138	F	433,34	733	15	20	0,7463	0,3522	14	2003	0,429	0,486	0,29	x	2,119	580,65	0,591	x
142	F	177,46	171	60	20	0,6963	0,3077	19	2002	0,263	0,168	0,32	x	2,263	254,86	1,038	
143	Z	201,95	313	40	5	0,6135	0,5541	16	2002	0,938	0,250	0,63	x	1,107	329,18	0,645	
144	Z	93,92	122	15	10	0,3704	0,1510	20	2002	0,275	0,235	0,10	x	2,453	253,57	0,770	
145	Z	103,15	192	15	10	0,1609	0,1333	11	2002	0,636	0,218	0,00		1,207	641,10	0,537	
146	Z	111,61	176	25	10	0,1306	0,1046	9	2002	0,444	0,244	0,33		1,249	854,56	0,634	
147	Z	28,66	57	8	4	0,0235	0,0672	11	2002	0,273	0,182	0,00		0,350	1219,52	0,503	
148	Z	58,87	92	15	8	0,1014	0,1248	13	2002	0,231	0,223	0,31		0,813	580,55	0,640	
149	Z	131,87	243	50	8	0,3486	0,1676	8	2002	1,000	0,363	0,13		2,080	378,29	0,543	x
150	Z	148,08	236	20	4	0,2366	0,2807	17	2002	0,529	0,229	0,24		0,843	625,86	0,628	
151	Z	31,59	98	6	2	0,0153	0,0089	3	2002	0,333	0,333	0,00		1,719	2064,39	0,322	
152	Z	232,33	624	12	2	0,1919	0,3138	14	2002	0,357	0,214	0,50		0,612	1210,70	0,372	
153	Z	68,56	89	20	6	0,3098	0,3680	12	2002	0,333	0,400	0,58		0,842	221,29	0,770	
154	Z	41,75	124	5	4	0,0346	0,0740	8	2002	0,500	0,288	0,00		0,468	1206,60	0,337	
155	Z	105,83	199	20	10	0,5387	0,2607	22	2002	0,227	0,182	0,32		2,066	196,45	0,532	
156	Z	172,27	396	25	4	0,2262	0,2538	20	2002	0,175	0,265	0,10		0,891	761,57	0,435	x
157	Z	28,75	93	8	2	0,0213	0,0280	7	2002	0,429	0,171	0,00		0,761	1349,55	0,309	x
158	Z	107,98	129	20	20	0,8245	0,5053	22	2002	0,182	0,205	0,64	x	1,632	130,97	0,837	
159	Z	88,80	144	35	4	0,1873	0,1161	19	2002	0,158	0,158	0,11		1,613	474,10	0,617	
160	Z	54,63	119	13	30	0,1099	0,0761	9	2002	0,278	0,322	0,44		1,444	497,10	0,459	
161	Z	103,01	286	15	10	0,0602	0,0356	6	2002	0,167	0,367	0,50	x	1,691	1711,12	0,360	x
162	Z	91,89	179	20	4	0,1038	0,1080	17	2002	0,118	0,141	0,18		0,961	885,27	0,513	
163	Z	80,10	117	20	10	0,2141	0,2068	13	2002	0,462	0,231	0,38		1,035	374,14	0,685	
164	Z	28,56	99	30	2	0,0262	0,0188	5	2002	0,300	0,280	0,20		1,394	1090,08	0,289	
165	Z	81,02	164	9	3	0,0828	0,1084	10	2002	0,500	0,200	0,10		0,764	978,55	0,494	x
166	Z	53,98	98	20	3	0,2267	0,2249	21	2002	0,119	0,191	0,24	x	1,008	238,12	0,551	
167	Z	168,14	326	30	10	0,3153	0,3343	21	2002	0,476	0,214	0,19		0,943	533,26	0,516	
168	Z	37,98	119	3	2	0,0123	0,0128	10	2002	0,100	0,110	0,00		0,961	3087,45	0,319	x
169	Z	40,06	61	21	3	0,4803	0,3671	15	2002	0,300	0,267	0,73		1,308	83,40	0,657	
170	Z	83,55	114	50	4	0,3013	0,2533	17	2002	0,235	0,206	0,29		1,190	277,29	0,733	
171	Z	159,03	243	12	5	0,3550	0,4759	13	2002	0,539	0,400	0,69		0,746	447,97	0,654	
172	Z	293,03	375	70	10	1,4257	0,7292	15	2002	0,600	0,400	0,47		1,955	205,53	0,781	
173	Z	193,83	391	15	5	0,2064	0,1808	10	2002	0,900	0,290	0,10		1,142	939,08	0,496	
174	Z	143,30	316	20	18	0,2352	0,2662	8	2002	1,000	0,363	0,13		0,884	609,28	0,454	
175	Z	72,70	77	30	8	0,7982	0,8621	14	2002	0,714	0,379	0,43		0,926	91,08	0,944	
176	Z	317,88	333	150	15	1,3629	1,1588	33	2002	0,485	0,167	0,27	x	1,176	233,24	0,955	
177	Z	115,17	162	15	7	0,4496	0,8321	20	2002	0,450	0,240	0,70		0,540	256,15	0,711	
178	Z	134,50	144	15	5	0,6789	0,6369	19	2002	0,526	0,295	0,47		1,066	198,12	0,934	
179	Z	47,46	54	15	3	0,2240	0,1695	12	2002	0,375	0,225	0,42		1,322	211,85	0,879	
180	Z	359,32	619	80	15	1,3846	1,9191	27	2002	0,889	0,200	0,37		0,722	259,51	0,581	
181	Z	254,09	458	20	15	0,4426	0,4057	9	2002	1,444	0,422	0,33		1,091	574,09	0,555	
182	Z	27,05	61	8	3	0,0508	0,0389	6	2002	0,333	0,267	0,17		1,306	532,51	0,444	

Anhang

Tab. 23 (Fortsetzung)

Birke	Standorttyp	Wurzellaenge [cm]	Wurzelspitzen [n]	Durchwurzelungsweite [cm]	Durchwurzelungstiefe [cm]	Wurzeltrockengewicht [g]	Sprossstrockengewicht [g]	Alter [a]	Probenahmejahr	Haupttrieblaenge / Alter [cm/a]	Stammdurchmesser / Alter [mm/a]	Sprossschaden / Alter [n/a]	Plizbefall im Stamminneren	R/S [g/g]	SRL [cm/g]	R [cm/g]	Mykorrhizierung
183	Z	160,24	376	20	5	0,3758	0,3779	21	2002	0,381	0,191	0,19		0,994	426,41	0,426	x
184	Z	32,70	39	8	3	0,2469	0,3976	11	2002	0,182	0,300	0,45		0,621	132,44	0,838	
185	Z	35,91	51	5	3	0,0805	0,1895	23	2002	0,413	0,091	0,04	x	0,425	446,07	0,704	
186	Z	153,68	224	55	3	0,4207	0,3295	14	2002	0,500	0,221	0,43		1,277	365,30	0,686	
187	Z	151,48	236	35	6	0,4535	0,5446	18	2002	0,778	0,194	0,28		0,833	334,02	0,642	
188	Z	622,95	957	70	14	2,6390	2,4901	35	2002	0,400	0,229	0,77	x	1,060	236,05	0,651	
189	Z	180,99	270	40	5	0,5021	0,4301	12	2002	0,458	0,300	0,25		1,167	360,47	0,670	
190	Z	91,07	135	15	15	0,1153	0,1160	13	2002	0,308	0,215	0,00		0,994	789,89	0,675	
191	Z	119,54	151	35	6	0,2766	0,4635	16	2002	0,375	0,206	0,31		0,597	432,16	0,792	
192	Z	12,80	21	3	2	0,0233	0,0421	9	2002	0,444	0,156	0,00		0,553	549,25	0,609	
193	Z	47,66	75	10	6	0,1080	0,0782	20	2002	0,100	0,165	0,10	x	1,381	441,31	0,636	
194	Z	162,35	188	50	22	0,9200	0,3968	15	2002	0,800	0,247	0,20		2,319	176,46	0,864	
195	Z	29,70	27	14	3	0,0827	0,1412	9	2002	0,889	0,244	0,00		0,586	359,13	1,100	
196	Z	58,84	86	19	5	0,0457	0,0471	6	2002	0,833	0,217	0,17		0,970	1287,53	0,684	
197	Z	203,80	363	36	12	0,4447	0,5084	17	2002	0,382	0,271	0,24		0,875	458,29	0,561	x
201	Z	211,31	378	15	10	0,3261	0,2319	17	2003	0,324	0,247	0,00		1,406	647,99	0,559	x
202	Z	200,25	356	20	10	0,3781	0,2100	16	2003	0,281	0,194	0,06		1,801	529,61	0,563	x
205	Z	125,59	143	28	14	0,2810	0,1328	11	2003	0,136	0,318	0,36		2,116	446,92	0,878	
207	Z	170,01	150	30	12	0,4119	0,2323	15	2003	0,400	0,247	0,47		1,773	412,74	1,133	
209	Z	272,73	342	55	15	2,6388	1,8228	31	2003	0,194	0,290	0,29		1,448	103,35	0,798	
215	Z	254,36	438	30	4	0,4088	0,2280	20	2003	0,250	0,225	0,25	x	1,793	622,21	0,581	
216	Z	217,74	383	40	20	0,3682	0,2072	21	2003	0,119	0,238	0,29		1,777	591,35	0,569	
217	Z	10,47	23	2	3	0,0305	0,0216	7	2003	0,214	0,214	0,00		1,412	343,12	0,455	
218	Z	95,75	281	15	5	0,0581	0,0324	6	2003	0,583	0,267	0,00		1,793	1648,09	0,341	x
221	Z	107,21	252	20	8	0,1102	0,0551	17	2003	0,118	0,194	0,00		2,000	972,85	0,425	x
225	B	335,23	517	16	11	0,1753	0,1248	8	2003	0,875	0,338	0,00		1,405	1912,31	0,648	
229	B	293,58	650	20	10	0,1760	0,1443	15	2003	0,600	0,120	0,00	x	1,220	1668,10	0,452	x
231	B	470,60	729	80	25	1,9380	1,0136	17	2003	0,353	0,288	0,47		1,912	242,83	0,646	
236	B	328,08	537	65	10	0,5704	0,5430	13	2003	0,923	0,254	0,08		1,051	575,18	0,611	
242	B	94,22	231	17	8	0,0675	0,0523	6	2003	0,500	0,300	0,33		1,291	1395,80	0,408	
261	W	724,51	1087	80	8	1,8739	3,9831	14	2003	2,286	0,457	1,43		0,471	386,63	0,667	
264	W	198,78	352	20	10	0,1198	0,1221	7	2003	1,143	0,329	0,43		0,981	1659,25	0,565	
271	W	1127,35	1756	70	12	2,0220	3,0283	8	2003	5,375	0,788	0,13		0,668	557,54	0,642	
274	W	865,72	1340	40	10	1,1030	1,9914	13	2003	2,000	0,408	0,23		0,554	784,88	0,646	
277	W	217,39	411	15	10	0,1843	0,1519	3	2003	2,667	1,033	0,33		1,213	1179,53	0,529	
283	G	349,67	587	45	10	0,2893	0,2067	9	2003	0,778	0,256	0,00	x	1,400	1208,67	0,596	
285	G	439,48	1030	25	4	0,2348	0,5260	11	2003	0,546	0,309	0,18	x	0,446	1871,73	0,427	
291	G	13,04	34	3	3	0,0096	0,0120	7	2003	0,286	0,143	0,00		0,800	1357,88	0,383	
296	G	842,56	1773	35	5	1,0954	1,0801	9	2003	1,222	0,644	0,67		1,014	769,18	0,475	
301	G	128,45	342	9	3	0,0483	0,0499	7	2003	0,429	0,229	0,00		0,968	2659,42	0,376	
330	U	203,74	383	18	8	0,1682	0,1483	9	2003	0,333	0,311	0,11		1,134	1211,27	0,532	x
338	U	33,01	97	13	3	0,0164	0,0273	8	2003	0,375	0,175	0,00		0,601	2012,88	0,340	
342	U	188,88	173	40	5	0,3593	0,2313	22	2003	0,114	0,173	0,00		1,553	525,68	1,092	
357	U	26,59	72	7	2	0,0060	0,0090	7	2003	0,143	0,143	0,00		0,667	4431,60	0,369	
375	U	14,41	30	4	1	0,0276	0,0234	6	2003	0,333	0,267	0,00		1,180	522,17	0,480	
403	D	443,84	661	70	40	2,6353	1,1958	17	2002	0,353	0,453	0,88	x	2,204	168,42	0,672	x
411	D	258,44	613	30	15	0,9180	0,1896	12	2002	0,417	0,400	0,25		4,842	281,53	0,422	
412	D	1280,28	1891	120	20	2,2433	0,7736	33	2002	0,091	0,215	0,27	x	2,900	570,71	0,677	x
413	D	436,91	932	50	40	0,6346	0,1611	21	2002	0,095	0,176	0,24	x	3,939	688,48	0,469	
414	D	376,67	717	20	30	0,7144	0,2864	19	2002	0,105	0,216	0,26		2,494	527,25	0,525	
415	D	674,77	1349	40	15	0,7701	0,2419	14	2002	0,357	0,229	0,36		3,184	876,22	0,500	x
416	F	725,75	838	55	43	2,6350	2,7679	33	2003	0,303	0,355	0,42	x	0,952	275,43	0,866	
417	F	971,90	1132	60	35	3,5005	1,6848	30	2003	0,233	0,323	0,37	x	2,078	277,65	0,859	
419	F	1333,02	2402	120	19	4,9519	3,0119	32	2003	1,000	0,294	0,28		1,644	269,19	0,555	x
421	F	918,87	1741	90	40	1,6890	2,1505	20	2003	1,600	0,275	0,50		0,785	544,03	0,528	x
422	F	620,55	989	70	18	0,9626	0,3660	16	2003	0,313	0,256	0,25		2,630	644,66	0,627	
426	Z	541,30	643	80	13	2,9694	3,4817	21	2003	0,524	0,491	0,62		0,853	182,29	0,842	
428	Z	353,22	344	70	30	1,7633	1,8949	18	2003	0,833	0,289	0,22		0,931	200,32	1,027	x
429	Z	368,77	454	60	25	1,3275	1,0377	22	2003	0,546	0,350	0,27		1,279	277,79	0,812	
434	Z	198,49	112	40	23	1,4203	0,8369	20	2003	0,450	0,370	0,25		1,697	139,75	1,772	
436	Z	532,18	472	55	24	2,7201	2,0031	19	2003	0,947	0,247	0,21		1,358	195,65	1,128	
439	B	151,34	240	20	3	0,3077	0,4287	21	2003	0,171	0,095	0,00		0,718	491,85	0,631	
440	B	207,43	465	12	7	0,2138	0,1213	13	2003	0,631	0,215	0,00		1,763	970,22	0,446	

Tab. 23 (Fortsetzung)

Birke	Standorttyp	Wurzelliänge [cm]	Wurzelspitzen [n]	Durchwurzelungsweite [cm]	Durchwurzelungstiefe [cm]	Wurzeltrockengewicht [g]	Sprossstrockengewicht [g]	Alter [a]	Probenahmejahr	Haupttrieblänge / Alter [cm/a]	Stammdurchmesser / Alter [mm/a]	Sprossschäden / Alter [n/a]	Pilzbefall im Stamminnen	R/S [g/g]	SRL [cm/g]	R [cm/g]	Mykorrhizierung
441	B	10,13	24	3	2	0,0054	0,0047	3	2003	0,500	0,300	0,00		1,149	1876,83	0,422	
444	B	127,84	249	15	2	0,1344	0,0600	7	2003	0,429	0,343	0,00		2,240	951,19	0,513	
446	B	215,36	489	15	1	0,1605	0,1440	7	2003	1,429	0,386	0,00		1,115	1341,81	0,440	
449	W	1056,85	2041	20	8	0,9034	1,0205	7	2003	2,143	0,657	0,29		0,885	1169,86	0,518	x
450	W	101,29	234	12	8	0,0299	0,0497	5	2003	0,400	0,280	0,00		0,602	3387,56	0,433	
451	W	280,64	574	17	8	0,2684	0,3035	7	2003	2,000	0,314	0,29	x	0,884	1045,60	0,489	
452	W	51,82	133	8	8	0,0249	0,0063	4	2003	0,500	0,225	0,00		3,952	2081,09	0,390	
454	W	42,29	118	10	8	0,0135	0,0158	6	2003	0,333	0,167	0,00		0,854	3132,91	0,358	
463	G	439,09	1015	16	4	0,3021	0,1246	4	2003	1,500	0,775	0,00		2,425	1453,45	0,433	
469	G	182,83	460	5	3	0,0459	0,1101	13	2003	0,385	0,192	0,00		0,417	3983,12	0,397	
492	G	181,27	440	25	2	0,0892	0,0685	10	2003	0,200	0,200	0,00		1,302	2032,14	0,412	x
512	G	97,12	250	11	4	0,0871	0,0586	9	2003	0,278	0,211	0,00		1,486	1115,00	0,389	x
515	G	170,33	427	20	3	0,1185	0,0646	11	2003	0,364	0,218	0,00		1,834	1437,40	0,399	x
522	D	2723,39	3043	160	38	14,8770	5,7115	42	2003	0,476	0,150	0,69	x	2,605	183,06	0,895	x
523	D	1296,86	1989	100	26	3,3277	0,9992	25	2003	0,560	0,212	0,32		3,330	389,72	0,652	x
526	D	547,50	924	65	30	3,8683	3,0750	40	2003	0,125	0,288	0,70	x	1,258	141,54	0,593	x
527	D	1451,25	2823	70	30	1,4001	0,2639	13	2003	0,539	0,308	0,23		5,305	1036,53	0,514	
532	F	335,31	678	30	25	0,4319	0,2595	19	2003	0,316	0,195	0,00		1,664	776,36	0,495	x
536	F	426,67	815	50	24	1,4209	0,9451	21	2003	0,238	0,443	0,14	x	1,503	300,28	0,524	
537	F	384,62	879	25	18	0,9658	0,6405	27	2003	0,222	0,215	0,07		1,508	398,24	0,438	
544	F	317,67	527	35	18	0,7033	0,4650	22	2003	0,182	0,223	0,27	x	1,513	451,69	0,603	x
550	F	499,20	1021	40	23	0,7586	0,4255	26	2003	0,231	0,200	0,27	x	1,783	658,05	0,489	x
556	Z	214,51	410	20	12	0,3064	0,2096	17	2003	0,177	0,235	0,12		1,462	700,10	0,523	
557	Z	75,96	101	13	4	0,2081	0,1835	18	2003	0,194	0,200	0,00		1,134	365,02	0,752	
558	Z	172,55	397	25	7	0,7222	0,7410	21	2003	0,357	0,333	0,29	x	0,975	238,92	0,435	x
559	Z	465,33	627	40	35	2,3409	1,6190	21	2003	0,857	0,371	0,29		1,446	198,78	0,742	x
560	Z	245,18	524	34	12	0,3135	0,2017	14	2003	0,571	0,250	0,00		1,554	782,06	0,468	
564	B	365,95	393	55	23	1,8748	4,4897	45	2003	0,267	0,176	0,24	x	0,418	195,19	0,931	x
565	B	121,78	280	20	11	0,1500	0,1130	11	2003	0,500	0,227	0,00		1,327	811,90	0,435	
569	B	214,39	295	35	7	0,8692	0,6794	28	2003	0,321	0,186	0,11		1,279	246,65	0,727	
571	B	236,93	304	35	15	1,6494	0,9873	32	2003	0,188	0,369	0,22	x	1,671	143,64	0,779	
572	B	242,17	399	20	7	0,5214	0,5515	29	2003	0,207	0,241	0,07		0,945	464,46	0,607	
575	W	414,60	699	60	9	0,7760	0,7388	13	2003	1,154	0,362	0,46		1,050	534,27	0,593	
585	W	149,70	339	14	10	0,0914	0,1126	9	2003	1,222	0,256	0,00		0,812	1637,90	0,442	
592	W	885,78	1573	80	10	1,0101	1,3616	12	2003	2,500	0,325	0,00		0,742	876,92	0,563	x
595	W	132,03	278	25	11	0,0518	0,0430	5	2003	0,800	0,380	0,00		1,205	2548,75	0,475	
607	W	88,25	141	10	10	0,2280	0,1087	12	2003	0,292	0,250	0,00		2,098	387,07	0,626	
694	G	518,38	958	37	4	0,6008	0,5637	9	2003	1,111	0,378	0,00		1,066	862,82	0,541	
709	G	180,18	346	15	5	0,1147	0,1068	6	2003	1,083	0,367	0,00		1,074	1570,88	0,521	x
735	G	167,10	310	12	3	0,1714	0,1288	6	2003	1,250	0,450	0,00	x	1,331	974,89	0,539	x
755	G	228,12	407	23	8	0,2973	0,2372	8	2003	0,875	0,375	0,38		1,253	767,30	0,561	
831	G	36,74	90	5	2	0,0422	0,0181	4	2003	0,250	0,300	0,00		2,332	870,65	0,408	

