

**Interaktionen zwischen Boden und Bestockung
auf Kippenstandorten des Niederlausitzer Braunkohlen-
revieres am Beispiel der Rekultivierungsbaumarten
Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Traubeneiche**

- Wachstums-, ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen -

Dissertation

**zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum silvaticarum (Dr. rer. silv.)**

vorgelegt

**der Technischen Universität Dresden,
Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften,
Fachrichtung Forstwissenschaften**

von Dipl.-Ing. für Forstwirtschaft

Falk Stähr

Dieser Band stimmt inhaltlich mit dem Original der gleichnamigen Dissertation des Autors überein.

Stähr, Falk

Interaktionen zwischen Boden und Bestockung auf Kippenstandorten des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres am Beispiel der Rekultivierungsbaumarten Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Traubeneiche

Tag und Ort der mündlichen Prüfung: 28.05.2003 in Tharandt

Gutachter: Prof. Dr. habil. F. Makeschin

Prof. Dr. habil. H. Röhle

Prof. Dr. sc. J. Katzur

**Interaktionen zwischen Boden und Bestockung auf Kippenstandorten
des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres am Beispiel der Rekultivierungs-
baumarten Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Traubeneiche**

- Wachstums-, ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen -

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abkürzungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1. Einleitung	1
<i>1.1 Bedeutung und Stand der Rekultivierung in der Lausitz.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Arbeitsziele.....</i>	<i>5</i>
2. Stand der Forschung	6
<i>2.1 Standortkundliche Grundlagen.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2 Forstliche Rekultivierung in der Niederlausitz.....</i>	<i>11</i>
3. Untersuchungsmethodik.....	16
<i>3.1 Auswahl der Versuchsflächen.....</i>	<i>16</i>
<i>3.2 Maßnahmen und Methoden.....</i>	<i>17</i>
<i>3.3 Statistik.....</i>	<i>21</i>
4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes.....	22
<i>4.1 Geografische und naturräumliche Zuordnung.....</i>	<i>22</i>
<i>4.2 Standortbeschreibung.....</i>	<i>22</i>
4.2.1 Klima	22
4.2.2 Hydrografie.....	23
4.2.3 Geologie, Geomorphologie und Böden	23
4.2.4 Natürliche Waldgesellschaften	24
4.2.5 Depositionen.....	24
<i>4.3 Kennzeichnung der Versuchsflächen.....</i>	<i>25</i>

5. Ergebnisse und Diskussion	26
5.1 Kiefernreinbestände.....	26
5.1.1 Waldwachstum	26
5.1.1.1 Dendrometrische Kenndaten	26
5.1.1.2 Stammscheibenanalysen.....	30
5.1.1.3 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten	33
5.1.1.4 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Meliorationstiefe	37
5.1.2 Nährstoffversorgung.....	38
5.1.2.1 Stickstoff.....	39
5.1.2.2 Phosphor	40
5.1.2.3 Kalium	42
5.1.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K	44
5.1.2.5 Calcium.....	46
5.1.2.6 Magnesium	48
5.1.2.7 Schwefel	49
5.1.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle	51
5.1.2.9 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze	54
5.2 Birkenreinbestände.....	56
5.2.1 Waldwachstum	56
5.2.1.1 Dendrometrische Kenndaten	56
5.2.1.2 Stammscheibenanalysen.....	59
5.2.1.3 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten	62
5.2.2 Nährstoffversorgung.....	65
5.2.2.1 Stickstoff.....	65
5.2.2.2 Phosphor	66
5.2.2.3 Kalium	67
5.2.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K	68
5.2.2.5 Calcium und Magnesium.....	69
5.2.2.6 Schwefel und Eisen	71
5.2.2.7 Natrium.....	71
5.2.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle	72
5.2.2.9 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze	73

5.3 Eichenreinbestände	77
5.3.1 Waldwachstum	77
5.3.1.1 Dendrometrische Kenndaten	77
5.3.1.1.1 Traubeneiche	77
5.3.1.1.2 Roteiche	80
5.3.1.2 Stammscheibenanalysen	83
5.3.1.3 Einfluss der Grundmelioration auf das Waldwachstum	85
5.3.1.4 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten	88
5.3.2 Nährstoffversorgung	92
5.3.2.1 Stickstoff	92
5.3.2.2 Phosphor	94
5.3.2.3 Kalium	96
5.3.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K	97
5.3.2.5 Calcium	98
5.3.2.6 Magnesium	99
5.3.2.7 Schwefel, Eisen und Natrium	100
5.3.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle	102
5.3.2.9 Jährliche Schwankungen der Roteichen-Blattgehalte	103
5.3.2.10 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze	103
5.4 Humusbildung und Bodenentwicklung in den Kippenforsten	106
5.4.1 Bildung der Humusauflage	106
5.4.1.1 Einfluss atmosphärischer Flugascheeinträge auf die organische Auflage	106
5.4.1.2 Akkumulation der organischen Auflage und Humusformen	108
5.4.1.3 Chemische Kenndaten der Humusauflage	117
5.4.2 Stand der Mineralbodenentwicklung	127
5.4.2.1 Bodenkundliche Kenndaten	127
5.4.2.1.1 Indikatoren für Fremdstoffeinträge	127
5.4.2.1.2 Textur und Bodendichte	130
5.4.2.1.3 Bioelement- und Schadstoffgehalte	136
5.4.2.1.4 Acidität und Basensättigung	144
5.4.2.2 Profildifferenzierung und Bodentypen	150
5.5 Waldbauliche Empfehlungen für die forstwirtschaftliche Folgenutzung	155

6. Zusammenfassung	159
6.1 Auswirkungen des Standortes auf die Kippen-Forstökosysteme.....	159
6.2 Rückwirkungen der Baumarten auf den Kippenstandort.....	163
6.2.1 Bestandesdepositionen.....	163
6.2.2 Quantitative und qualitative Entwicklung der Humusauflage.....	164
6.2.3 Eigenschaften und Entwicklung der Mineralböden.....	165
6.3 Wald(um)bau	167
7. Summary	168
8. Literatur	177

Danksagung

Anlagen

- Anlage 1: Gesetzliche und landesplanerische Grundlagen bei der Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften
- Anlage 2: Repertorium der Substratmerkmale und -anforderungen
- Anlage 3: Historie der forstlichen Rekultivierung in Ostdeutschland
- Anlage 4: Versuchsflächenübersicht
 - Anlage 4.1: Übersicht über die Referenz-, Ergänzungs- und Vergleichsflächen
 - Anlage 4.2: Karte – Lage der Versuchsflächen im Lausitzer Braunkohlenrevier
- Anlage 5: Ausgewählte wachstumskundliche Kenndaten – Übersicht
 - Anlage 5.1: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Kiefernbestände
 - Anlage 5.1.1: Kiefern-Jungbestände
 - Anlage 5.1.2: Mittelalte Kiefernbestände
 - Anlage 5.2: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Birkenbestände
 - Anlage 5.3: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Eichenbestände
- Anlage 6: Stammscheibenanalysen
 - Anlage 6.1: Interpolation und Einzelkurven der Baumart Gemeine Kiefer
 - Anlage 6.2: Altershöhenkurven der Baumart Gemeine Kiefer
 - Anlage 6.3: Interpolation und Einzelkurven der Baumart Gemeine Birke
 - Anlage 6.4: Altershöhenkurven der Baumart Gemeine Birke

- Anlage 7: Deskriptive Statistik zu den Kiefern-Nadelspiegelwerten
- Anlage 8: Nadel- und Blattspiegelwerte der Mikronährstoffe und Schwermetalle
- Anlage 8.1: Gehalte in den Nadeln der Kiefern-Erstaufforstungen
 - Anlage 8.2: Gehalte in den Blättern der Birken-Erstaufforstungen
 - Anlage 8.3: Gehalte in den Blättern der Eichen-Erstaufforstungen
- Anlage 9: NPK-Relationen der untersuchten Bestände
- Anlage 9.1: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Kiefern-Erstaufforstungen
 - Anlage 9.2: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Birken-Erstaufforstungen
 - Anlage 9.3: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Eichen-Erstaufforstungen
- Anlage 10: Jährliche Schwankungen der Roteichen-Blattspiegelwerte
- Anlage 11: Einfluss basischer Stoffeinträge auf die pH-Werte der Humusaufgabe und des Mineralbodens
- Anlage 11.1: Humusaufgabe
 - Anlage 11.2: A-Horizont
 - Anlage 11.3: C-Horizont bis 100 cm
- Anlage 12: Ferromagnetische Suszeptibilität in den Humusaufgaben und Mineralbodenschichten
- Anlage 12.1: Ferromagnetische Suszeptibilität in den Humusaufgaben der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen
 - Anlage 12.2: Ferromagnetische Suszeptibilität in den A-Horizonten der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen
 - Anlage 12.3: Ferromagnetische Suszeptibilität in den C-Horizonten (bis 100 cm) der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen
- Anlage 13: Ausgewählte qualitative Kenndaten des Auflagehumus‘
- Anlage 13.1: Kenndaten der Kiefern-Referenzflächen
 - Anlage 13.2: Kenndaten der Birken- und Eichen-Referenzflächen
 - Anlage 13.3: Kenndaten der Ergänzungs- und Vergleichsflächen
- Anlage 14: C_t-Gehalte, Bodenarten und Substrattypen der untersuchten Kippenstandorte (C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe)
- Anlage 15: Mittlere Austauscherbelegung in den untersuchten Kippenböden [mmol/100g]
- Anlage 16: Mächtigkeit der A-Horizonte in Abhängigkeit von der Bodenart

I. Abkürzungsverzeichnis

DBU:	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
AfF:	Amt für Forstwirtschaft
Obf.:	Oberförsterei
Rev.:	Revier
Abt.:	Abteilung
GBI:	Gemeine Birke
GKI:	Gemeine Kiefer
EI:	Eiche
REI:	Roteiche
SEI:	Stieleiche
TEI:	Traubeneiche
DG:	Douglasie
ELA:	Europäische Lärche
HBU:	Hainbuche
RBU:	Rotbuche
RER:	Roterle
VKB:	Vogelkirschbaum
WLI:	Winterlinde
JB:	Jungbestand (Bestandesalter \leq ca. 40 Jahre)
MAB:	mittelalter Bestand (Bestandesalter 45 bis 70 Jahre)
BSP:	Blattspiegelwert
NSP:	Nadelspiegelwert
cv%:	Variationskoeffizient
Max:	Maximum
Min:	Minimum
MW:	arithmetischer Mittelwert
Z:	Median (bzw. Zentralwert)
\emptyset :	durchschnittlich (arithmetischer Mittelwert)
n.b.:	nicht bestimmt
n.b.b.:	nicht bestimmbar

MS:	ferromagnetische Suszeptibilität
SBB:	Säure-Base-Bilanz
Pufferung:	entspricht S-Wert = $KAK_{pot} * V\text{-Wert} / 100$
Ekl.:	Ertragsklasse
SSA:	Stammscheibenanalyse
A-Horizont:	mineralischer Oberbodenhorizont mit Akkumulation von organischen Stoffen (AG Boden 1996, REHFUESS 1990)
Ah-Horizont:	humoser, dunkler, von Bodentieren durchwühlter und vermischter A-Horizont, (h = Humus) (REHFUESS 1990), > 2,0 cm mächtig
Ai-Horizont:	A-Horizont mit geringer Akkumulation von organischer Substanz (i = initial), < 2,0 cm mächtig (AG Boden 1996, REHFUESS 1990)
Aih-Horizont:	A-Horizont, 2,0 cm mächtig (AG Boden 1996)
C-Horizont:	Bodentiefenstufe Solum bis 100 cm, ohne A-Horizont, Oberkante A-Horizont = Bodentiefe 0 cm
Cv-Horizont:	angewitterter bzw. schwach verwitterter Übergangshorizont (AG Boden 1996, REHFUESS 1990); hier begriffliche Verwendung als Verzahnungshorizont zwi- schen A- und C-Horizont
GB:	gewachsener Boden bzw. unverritzter (Wald)Standort
GP:	Grobporenanteil
GPV:	Gesamtporenvolumen
OS:	Organische Substanz
R _t / L _d :	Rohdichte / Lagerungsdichte
TM:	Trockenmasse
U / T:	Schluff / Ton

II. Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Landinanspruchnahme (Innenring) und Rekultivierung (Außenring) in der Lausitz von 1840-1991 (LAUBAG 1994).....	1
Abb. 2: Versuchsflächendesign der untersuchten Referenzflächen	20
Abb. 3: Niederschlagsmengen im Untersuchungsgebiet (nach Angaben des AfF Doberlug-Kirchhain 1999)	23
Abb. 4: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der GKI-Reinbestände	28
Abb. 5: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzanzahlen (N) in den Altersstufen der GKI-Reinbestände (ohne Flächen 15 und 17).....	28
Abb. 6: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der GKI-Reinbestände (ohne Flächen 15 und 17)	29
Abb. 7: Darstellung kippenspezifischer Wachstumsphasen der Baumart Gemeine Kiefer am Beispiel des Höhenwachstumsverlaufes eines 59jährigen Kiefernreinbestandes (GKI 14, Kippe Annahütte) auf Kipp-Sand (S-Kp; Ss/mSgs bzw. oj-(k)ss).....	30
Abb. 8: Höhenwachstumsverlauf des 80jährigen GKI-Vergleichsbestandes GB-SW (unverritzter Alt-Waldstandort Nähe Domsdorfer Kippe) auf Podsol-Braunerde (A2m).....	32
Abb. 9: Relative Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB) der Kiefern-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart	33
Abb. 10: Zuordnung der relativen Mittelhöhenbonitäten zu den Schluff-Ton-Summen der Kippsubstrate in den Kiefern-Erstaufforstungen.....	34
Abb. 11: Beziehung zwischen dem DGZ_{100} und dem C_t -Gehalt der Kippenböden bei der Bodenartengruppe „Reinsand“ (C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe) in den Kiefern-Erstaufforstungen	35
Abb. 12.1 und 12.2: Mittlere DGZ_{100} -Werte und durchschnittliche Mittelhöhenbonitäten auf verschiedenen Kippsubstrat-Flächentypen	36
Abb. 13: Wachstumsverlauf der Kiefern-Jungbestände KL-V1 (60 cm Meliorationstiefe) und KL-V2 (100 cm Meliorationstiefe)	37
Abb. 14: N_t -Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	39
Abb. 15.1 und 15.2: Klassifizierung der N-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988).....	39

	Seite
Abb. 16: P _t -Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	40
Abb. 17.1 und 17.2: Klassifizierung der P-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)	41
Abb. 18: P-Spannen in den Altersgruppen > 50 und < 50 Jahre	41
Abb. 19: K-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	43
Abb. 20.1 und 20.2: Klassifizierung der K-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)	43
Abb. 21: Ca-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	46
Abb. 22.1 und 22.2: Klassifizierung der Ca-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)	47
Abb. 23: Ca-Spannen in den Altersgruppen > 50 und < 50 Jahre	47
Abb. 24: Mg-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	48
Abb. 25.1 und 25.2: Klassifizierung der Mg-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)	48
Abb. 26: S _t -Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände	49
Abb. 27.1 und 27.2: Klassifizierung der S _t -Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)	50
Abb. 28: Mittlerer prognostizierter DGZ ₁₀₀ und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der GBI-Reinbestände	57
Abb. 29: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzenzahlen (N) in den Altersstufen der GBI-Reinbestände	57
Abb. 30: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der GBI-Reinbestände	58

	Seite
Abb. 31: Darstellung kippenspezifischer Wuchsphasen der Baumart Gemeine Birke am Beispiel des Höhenwachstumsverlaufes eines 55jährigen Birkenreinbestandes (GBI 11, Kippe Kleinkoschen) auf Kipp-Kohlesand (xS-Kp; Ss/mSfs bzw. oj-xss).....	59
Abb. 32: Höhenwachstumsverlauf des 59jährigen GBI-Vergleichsbestandes GB-WT (unverritzter Alt-Waldstandort, Revier Weberteich); Standort: NM 1 t	61
Abb. 33: Höhenwachstumsverlauf des 74jährigen GBI-Vergleichsbestandes GB-BS (unverritzter Alt-Waldstandort, Revier Beutersitz); Standort: NZ 2 t.....	61
Abb. 34: Zusammenhang zwischen der Ertragsklasse und dem C_t -Gehalt der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen ($C_t \leq 2,32$ M.-%)	62
Abb. 35.1: Beziehungen zwischen dem DGZ_{100} und der Basensättigung der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen.....	63
Abb. 35.2: Beziehungen zwischen dem DGZ_{100} und dem Grad der Bodenversauerung (pH_{KCl} -Wert) der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen.....	63
Abb. 36: Ertragsklassen (rel. HBon) und durchschnittliche Gesamtzuwächse (DGZ_{100}) der Birken-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart.....	64
Abb. 37: N_t -Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986).....	65
Abb. 38: P-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986).....	66
Abb. 39: K-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986).....	67
Abb. 40: Ca-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986).....	69
Abb. 41: Mg-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986).....	69
Abb. 42: Mittlere Ca- und Mg-Gehalte der Birkenbestände nach Kippen-Komplexen.....	70
Abb. 43: Ca/Mg-Verhältnisse der Blattspiegelwerte.....	70
Abb. 44: Na-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände.....	72
Abb. 45.1: P-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den P_t -Gehalten der Ah-Horizonte.....	74
Abb. 45.2: P-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den P_t -Gehalten der C-Horizonte.....	74

	Seite
Abb. 46.1: K-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den K_t -Gehalten der Ah-Horizonte.....	76
Abb. 46.2: K-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den K_t -Gehalten der C-Horizonte.....	76
Abb. 47: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der TEI-Reinbestände	78
Abb. 48: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzenzahlen (N) in den Altersstufen der TEI-Reinbestände.....	79
Abb. 49: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der TEI-Reinbestände	79
Abb. 50: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der REI-Reinbestände	81
Abb. 51: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzenzahlen (N) in den Altersstufen der REI-Reinbestände	81
Abb. 52: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der REI-Reinbestände	82
Abb. 53.1 und 53.2: Höhenwachstumsverlauf der Traubeneichenbestände Nr. 1 (Tröbitz Nord) sowie Nr. 2 und 3 (Kippe Domsdorf)	83
Abb. 53.3 und 53.4: Höhenwachstumsverlauf der Traubeneichenbestände Nr. 6 und 7 (Kippe Laubusch)	84
Abb. 53.5 und 53.6: Höhenwachstumsverlauf der Eichen-Vergleichsbestände auf unverritzten Waldstandorten (GB-GO: 39 Jahre, GB-SD: 47 Jahre, GB-WI: 52 Jahre).....	84
Abb. 54.1 und 54.2: Höhenwachstumsverlauf der Trauben- und Roteichenbestände auf der Kippe Kleinleipisch („Kleinleipisch 1974“: $V_1 = 60$ cm; $V_2 = 100$ cm Meliorations- tiefe).....	86
Abb. 54.3 und 54.4: Höhenwachstumsverlauf der Roteichenbestände auf der Kippe Domsdorf und der Außenhalde Schwarzkollm.....	87
Abb. 55: Abhängigkeit des durchschnittlichen Gesamtwachses (DGZ_{100}) und der relativen Mittelhöhenbonität (rel. MHB) der Traubeneichen-Reinbestände von der Basensättigung im C-Horizont	88

	Seite
Abb. 56: Zusammenhang zwischen durchschnittlichem Gesamtwuchs der Traubeneichen-Reinbestände und Schluff-Ton-Summe der Kippenböden	89
Abb. 57: Abhängigkeit des durchschnittlichen Gesamtwuchses (DGZ_{100}) und der relativen Mittelhöhenbonität (rel. MHB) der Roteichen-Reinbestände von der Basensättigung im C-Horizont	90
Abb. 58: Zusammenhang zwischen der relativen Mittelhöhenbonität der Roteichen-Reinbestände und dem pH_{KCl} -Wert der Kippsubstrate	90
Abb. 59: Ertragsklassen (rel. MHB) und durchschnittliche Gesamtwüchse (DGZ_{100}) der Eichen-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart	91
Abb. 60: N_t -Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)	92
Abb. 61.1 und 61.2: Korrelation zwischen der Ertragsklasse der Trauben- und Roteichen-Reinbestände und dem N_t -Gehalt der Blätter	93
Abb. 62: P-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)	95
Abb. 63: K-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)	96
Abb. 64: Ca-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)	98
Abb. 65: Mg-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)	99
Abb. 66: Ca-Blattspiegelwerte der Traubeneichen-Kippenforsten in Abhängigkeit von den Ca-Gehalten der C-Horizonte	105
Abb. 67: Mg-Blattspiegelwerte der Traubeneichen-Kippenforsten in Abhängigkeit von den Mg-Gehalten der A-Horizonte	105
Abb. 68.1 und 68.2: Abhängigkeit der Basensättigung und der Pufferung in der Humusauflage von den basischen Stoffeinträgen in den Kiefern-Referenzbeständen	106
Abb. 68.3 und 68.4: Abhängigkeit der Basensättigung und der Pufferung in der Humusauflage von den basischen Stoffeinträgen in den Birken-Referenzbeständen	106
Abb. 69.1 und 69.2: Zusammenhang zwischen den Messwerten der magnetischen Suszeptibilität im Auflagehumus und dem Reaktivierungsalter in 54- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen auf Kippenkomplexen mit unterschiedlicher Depositionsintensität	107

	Seite
Abb. 70: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauflage und dem Bestandesalter der Kiefernbestände	109
Abb. 71: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauflage und dem Bestandesalter der Birkenbestände.....	109
Abb. 72: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauflage und dem Bestandesalter der Eichenbestände.....	110
Abb. 73: Mächtigkeit der L-, Of- und Oh-Horizonte in Abhängigkeit vom Bestandesalter der Kiefern-Erstaufforstungen	111
Abb. 74: Mächtigkeit der Humusaufgaben und der A-Horizonte in den erfassten Altersstufen der Kiefern- und Birken-Kippenforsten.....	111
Abb. 75: Verteilung der Humusformen in den mittelalten Kiefern-Referenzbeständen (n = 22)	113
Abb. 76: Mächtigkeit der L-, Of- und Oh-Horizonte in Abhängigkeit vom Bestandesalter der Birken-Erstaufforstungen	113
Abb. 77: Verteilung der Humusformen in den Birken-Referenzbeständen (n = 12)	114
Abb. 78: Verteilung der Humusformen in den Eichen-Referenzbeständen (n = 9)	115
Abb. 79: Mächtigkeit der Humusaufgabe-Horizonte in Abhängigkeit von der Baumart; Angabe der mittleren Horizontmächtigkeit, des mittleren Bestandesalters und der jeweiligen Flächenzahl	116
Abb. 80: Anteil der Rekultivierungsbaumarten an den ermittelten Humusformen.....	116
Abb. 81: Messwerte der ferromagnetischen Suszeptibilität (MS), gruppiert nach Baumarten und Humusformen	117
Abb. 82.1 und 82.2: Abhängigkeit der N_t - und P-Anteile von den C_t -Gehalten in den organischen Auflagen der Kiefernbestände	120
Abb. 83.1 und 83.2: Abhängigkeit der N_t - und P-Anteile von den C_t -Gehalten in den organischen Auflagen der Birkenbestände	121
Abb. 84.1 und 84.2: Abhängigkeit der N_t - und P-Anteile von den C_t -Gehalten in den organischen Auflagen der Eichenbestände	122
Abb. 85: Anreicherung des P-Vorrates im Auflagehumus unter Eiche in Abhängigkeit vom mittleren Eichen-Bestandesalter auf den Kippenkomplexen.....	122
Abb. 86: Ca-, Mg-, K- und S-Akkumulationsraten in den Humusaufgaben unter Kiefer, Birke und Eiche	123

	Seite
Abb. 87: Korrelation zwischen ferromagnetischer Suszeptibilität und Basensättigung des Ah-Horizontes in den mittelalten Kiefernbeständen	127
Abb. 88: Verteilung der V-Werte in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität im C-Horizont (bis 100 cm Tiefe) der mittelalten Kiefernbestände	128
Abb. 89: Korrelation zwischen ferromagnetischer Suszeptibilität und Basensättigung des Ah-Horizontes in den Birkenbeständen	128
Abb. 90: Verteilung der V-Werte in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität im C-Horizont (bis 100 cm Tiefe) der Birkenbestände.....	129
Abb. 91.1 und 91.2: Zusammenhang zwischen den Messwerten der magnetischen Suszeptibilität im Ah-Horizont und dem Rekultivierungsalter in 54- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen auf Kippenkomplexen mit unterschiedlich hohen Flugascheeinträgen.....	130
Abb. 92.1: Anteile der Bodenartenuntergruppen nach AG Boden (1996) im A-Horizont der untersuchten Kiefern-, Birken- und Eichen-Referenzflächen	131
Abb. 92.2: Anteile der Bodenartenuntergruppen nach AG Boden (1996) im C-Horizont (bis 100 cm Bodentiefe) der untersuchten Kiefern-, Birken- und Eichenreferenzflächen.....	131
Abb. 93: Verteilung der Bodenarten im C-Horizont nach Kippenkomplexen, incl. mittleres Alter der in den Kippenkomplexen erfassten Bestände	132
Abb. 94.1: Ton-Schluff-Summen in den C- und A-Horizonten nach Rekultivierungsbaumarten	133
Abb. 94.2: Nach Kippenkomplexen geordnete Ton-Schluff-Summen in den Mineralbodenhorizonten unter Kiefer und Birke	133
Abb. 95.1 bis 95.4: Korrelationen zwischen C_t - und N_t -Gehalt in den untersuchten Bodentiefenstufen der mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen ($\alpha = 5\%$)	137
Abb. 96.1: pH_{KCl} -Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der jungen Kiefernbestände ($n = 7$)	144
Abb. 96.2: pH_{KCl} -Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der mittelalten Kiefern-Bestände ($n = 22$).....	144
Abb. 97: Mittlere pH-Werte und Basensättigungen unterhalb des Ah-Horizontes bis 100 cm Tiefe der Substratgruppen ‚kohlefreie Reinsande‘, ‚kohlehaltige Reinsande‘ und ‚Lehmsande‘ in den 53- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen....	146
Abb. 98: pH_{KCl} -Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der Birkenbestände ($n = 12$)	147

	Seite
Abb. 99: Mittlere pH-Werte und Basensättigungen unterhalb des Ah-Horizontes bis 100 cm Tiefe der Substratgruppen ‚kohlefreie Reinsande‘, ‚kohlehaltige Reinsande‘, ‚Kohlesande‘ und ‚Kohlelehmsande‘ in den 44- bis 68jährigen Birken-Erstaufforstungen.....	147
Abb. 100: pH_{KCl} -Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der Eichenbestände (n = 11)	148
Abb. 101: Verteilung der Baumarten auf die im C-Horizont (unterhalb des A-Horizontes bis 100 cm Tiefe) ermittelten Pufferbereiche (nach SCHWERTMANN et al. 1987 und ULRICH 1981, 1983, 1990).....	148
Abb. 102: Entwicklung der Gesamtmächtigkeit der A-Horizonte unter Kiefer in Abhängigkeit vom Bestandesalter (≤ 60 Jahre)	151
Abb. 103: Korrelation zwischen dem Zuwachs an Mächtigkeit in den Ah-Horizonten der mittelalten, nicht extrem flugaschebeeinflussten Kiefernforsten auf Reinsand und der Basensättigung der Ah-Horizonte	151
Abb. 104.1 und 104.2: Mächtigkeit der A-Horizonte unter Kiefer in Abhängigkeit vom geologischen Alter und dem C_t -Gehalt der Kippsubstrate	152
Abb. 105: Gesamtmächtigkeit und jährlicher Mächtigkeitsanstieg der A-Horizonte auf quartären und tertiären Birken-Kippenstandorten	153
Abb. 106.1 und 106.2: Korrelationen zwischen der jährlichen Zunahme der A-Horizontmächtigkeit und der Basensättigung im A-Horizont sowie in der Tiefenstufe unterhalb A bis 30 cm unter Eiche.....	154

III. Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Flächeninanspruchnahme und Rekultivierung durch den Braunkohlenbergbau in der Lausitz (Stand 31.12.2000; LAUBAG 2000, mdl. Mitt.).....	2
Tab. 2.1: Bodenchemie und -physik - Parameter und angewandte Analysemethoden	18
Tab. 2.2: Organische Auflage - Parameter und angewandte Analysemethoden.....	18
Tab. 3.1: Mittlerer Jahreseintrag der Niederschlagsdepositionen 1985 bis 1989 am Messpunkt Spremberg nach SIMON und WESTENDORFF (1991) (gemessen als Freilandniederschlag [FL] und Kronendurchlass [KD] von Kiefernbeständen in kg/ha*a)	25
Tab. 3.2: Atmogene Stoffeinträge im Untersuchungsgebiet nach KNOCHE et al. (1998) (gemessen als Bestandesdeposition in Roteichenbeständen in kg/ha*a).....	25
Tab. 4: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM ₁₀₀) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO ₁₀₀) nach LEMBCKE et al. (1975) in den Altersstufen der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen	27
Tab. 5: Mittlere N _t -Gehalte und C/N-Verhältnisse der nichthumosen Kippbodenschichten (C-Horizont) und der Kiefernadeln aller untersuchten Kiefern-Kippenforsten (außer KL-V1 und KL-V2).....	54
Tab. 6: Mittlere relative Höhenbonitäten (Ekl.) und absolute Oberhöhenbonitäten (HO ₁₀₀) nach LOCKOW (1996) sowie mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM ₅₀) und absolute Oberhöhenbonitäten (HO ₅₀) nach TJURIN (1956) in den Altersstufen der untersuchten Birken-Erstaufforstungen.....	56
Tab. 7: Ausgewählte mittlere Bodenkennwerte des nichthumosen Mineralbodens und mittlerer DGZ ₁₀₀ der nach C _t -Bodengehalten gruppierten ≥ 45jährigen Birkenbestände (n = 10)	63
Tab. 8: Korrelationen zwischen den DGZ-(y) und ausgewählten bodenkundlichen Kennwerten (x) des C-Horizontes in den ≥ 45jährigen Birken-Kippenbeständen (n = 10)	64
Tab. 9: S _t - und Fe-Ernährungsstatus der untersuchten Birken-Erstaufforstungen nach HEINSDORF (1999).....	71
Tab. 10: Mittlere N _t -Gehalte der Birkenblätter und N _t -Vorräte der Humusauflage	73
Tab. 11: Mittlere N _t -Gehalte der Birkenblätter, der Humusauflage und des Ah-Horizontes in den Birkenbeständen auf der Kippe Domsdorf.....	73
Tab. 12: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM ₁₀₀) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO ₁₀₀) nach ERTELD (1961) in den Altersstufen der untersuchten Traubeneichen-Erstaufforstungen	78

	Seite
Tab. 13: Durchmesser- und Höhenentwicklung in den untersuchten Altersstufen, gemessen am ASSMANNschen Oberhöhenstamm	79
Tab. 14: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM_{100}) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) nach BAUER (1953) in den Altersstufen der untersuchten Roteichen-Erstaufforstungen	80
Tab. 15: N_t -Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996).....	92
Tab. 16: Korrelation zwischen N_t -Blattspiegelwerten (y) und Alter der Eichenbestände (x) auf Kippenstandorten (lineare Beschreibung).....	94
Tab. 17: P-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996), incl. Angabe des mittleres Alters und der mittleren Ertragsklasse (Ekl.).....	95
Tab. 18: Gegenüberstellung der P- und K-Spiegelwerte für Traubeneiche nach BERGMANN (1986) und HEINSDORF (1983, 1996).....	96
Tab. 19: K-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)	97
Tab. 20: NPK-Blattspiegelwertbereiche der wüchsigsten TEI- und REI-Bestände sowie der Vergleichsbestände und Ableitung optimaler NPK-Nährelementanteile.....	98
Tab. 21: Ca-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996).....	99
Tab. 22: Mg-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996).....	99
Tab. 23: S_t -Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)	100
Tab. 24: Fe-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)	101
Tab. 25: Na-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)	101
Tab. 26: Zn-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996).....	102
Tab. 27: Mn-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996).....	102
Tab. 28: Al-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)	103
Tab. 29: Mittlere Cd-, Pb- und Ni-Gehalte der untersuchten Eichenbestände [ppm].....	103
Tab. 30: N_t - und P_t -Blattspiegelwerte der TEI-Kippenbestände sowie mittlere C_t -, N_t - und P_t -Gehalte des nichthumosen Mineralbodens bis 100 cm Bodentiefe.....	104
Tab. 31: Mittlere Humusmengen und Gehalte an organischer Substanz in der Humusaufgabe.....	108
Tab. 32: Modifizierung der Horizontstruktur in den mittelalten Kiefern- und Birkenbeständen durch Stoffeinträge; Vergleich Kippe Tröbitz Nord und Briesker Hochkippe.....	112

	Seite
Tab. 33: Chemische Kennwerte der Humusauflagen unter Kiefer, Birke, Trauben- und Roteiche	118
Tab. 34: Durchschnittliche Nährelement-Akkumulation und -Gesamtvorräte sowie mittlere C/N- und C/P-Verhältnisse in der organischen Auflage	119
Tab. 35: Nährelement-Akkumulation im Auflagehumus unter mittelalten Kiefern-Kippenbeständen in Abhängigkeit von der Flugaschebelastung	121
Tab. 36: Nährelement-Akkumulation im Auflagehumus unter Birken-Kippenbeständen in Abhängigkeit von der Flugaschebelastung	121
Tab. 37: Aciditätsverhältnisse und Basensättigungen in den Humusauflagen (L + Of + Oh) unter Kiefer, Birke und Eiche	125
Tab. 38: Anstieg der Ton- und Schluffanteile im Ah-Horizont gegenüber dem C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe unter Kiefer und Birke	133
Tab. 39: Spezifische Dichte, Rohdichte (R_t), Grobporenanteil (GP) und Gesamtporenvolumen (GPV) im C-Horizont der Kippenböden nach Rekultivierungsbaumarten	135
Tab. 40: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t -Gehalt der Kippenböden (53- bis 70jährige Kiefernbestände)	135
Tab. 41: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t -Gehalt der Kippenböden (44- bis 68jährige Birkenbestände)	135
Tab. 42: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t -Gehalt der Kippenböden (24- bis 45jährige Eichenbestände [incl. JB-1 und JB-2])	136
Tab. 43.1: Bioelement- und Schadstoffgehalte der Kippsubstrate [mg/100g FB] – Kiefernbestände	138
Tab. 43.2: Bioelement- und Schadstoffgehalte der Kippsubstrate [mg/100g FB] – Birken- und Eichenbestände	140
Tab. 44: K-, Mg-, Ca- und P-Gehalte der Serien III und VIII des Tieflandes, nach HF-Aufschluss [mg/100g FB] (KOPP 1970)	142
Tab. 45: Zuordnung der Kippbodenformen des Lausitzer Braunkohlenrevieres zu den Nährkraftstufen der forstlichen Standortserkundung nach KOPP (1970).....	143
Tab. 46: Mittlere Basensättigung in den Bodenhorizonten bzw. -tiefenstufen der Kiefern-, Birken- und Eichen-Erstaufforstungen	145
Tab. 47: Jährlicher Mächtigkeitzuwachs des A-Horizontes auf den Birkenstandorten in Abhängigkeit von der Basensättigung (V-Werte) im A-Horizont und in der Bodentiefenstufe unterhalb A bis 30 cm nach Altersstufen	153

1. Einleitung

1.1 Bedeutung und Stand der Rekultivierung in der Lausitz

In der Lausitz befinden sich auf einer Fläche von ca. 360 km² Braunkohlenlagerstätten, die seit etwa 1840 zunächst in offenen Gruben, später im Tief- und Tagebau abgebaut wurden. Die bisher beanspruchte Fläche beträgt ca. 80.000 ha (THOMASIIUS et al. 1999, Tab. 1).

Der enorme Umfang des für die Auskohlung benötigten Terrains zwang zur planmäßigen Wiedernutzbarmachung der zerstörten ursprünglichen Landschaft. Es entstanden Bergbaufolgelandschaften, deren kulturelles und ökonomisches Potenzial neu einzustufen ist. Von Anbeginn orientierte sich die Rekultivierungspraxis an der vorbergbaulichen naturalwirtschaftlichen Nutzung der Lausitz. Die bergbaulich in Anspruch genommene Landschaft wies vor dem Eingriff folgende Nutzungsstruktur auf (DREBENSTEDT 1998):

- 60 % forstwirtschaftliche Nutzung,
- 31 % landwirtschaftliche Nutzung,
- 8 % sonstige Nutzung (Siedlungen, Infrastruktur),
- 1 % wasserwirtschaftliche Nutzung.

In ähnlicher Weise gestaltet sich die Verteilung der Folgenutzungsarten vom Beginn der bergbaulichen Aktivitäten (1840) bis zum Inkrafttreten der neuen gesetzlichen Regelungen nach der politischen Wende (1991) (Abb. 1). Hierbei ist zu bedenken, dass systematische Aufforstungen und landwirtschaftliche Rekultivierungsversuche erst seit den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts durchgeführt wurden.

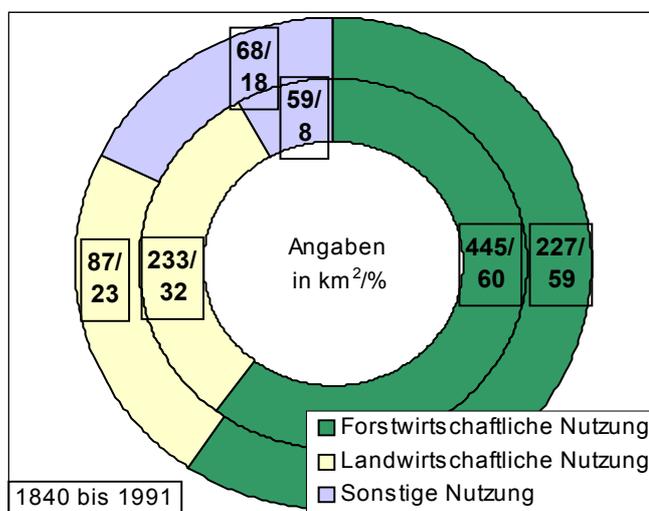


Abb. 1:
Landinanspruchnahme (Innenring) und Rekultivierung (Außenring) in der Lausitz von 1840-1991 (LAUBAG 1994)

Allein im Zeitraum von 1965 bis 1989 wurden an die Folgenutzer 15.757 ha forstlich und 7.950 ha landwirtschaftlich rekultivierte Flächen sowie 6.066 ha zur sonstigen Nutzung übergeben (LAUBAG 1991).

Tab. 1: Flächeninanspruchnahme und Rekultivierung durch den Braunkohlenbergbau in der Lausitz (Stand 31.12.2000; LAUBAG 2000, mdl. Mitt.)

Nutzungsart	Beanspruchte Fläche		Rekultivierte Fläche		Bilanz	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Forstwirtschaft	47.441,0	59,8	27.379,4	60,2	- 20.061,6	- 42,3
Landwirtschaft	24.296,9	30,6	9.220,1	20,3	- 15.076,8	- 62,1
Wasserwirtschaft	812,9	1,0	3.555,9	7,8	2.743,0	337,4
Sonstige	6.845,3	8,6	5305,8	11,7	- 1.539,5	- 22,5
Gesamt	79.396,1	100	45.461,2	100	- 33.934,9	- 42,7

Aus den aktuellen Flächenangaben für Inanspruchnahme und Rekultivierung (Tab. 1) ergeben sich zwei Schlussfolgerungen. Zum einen ist zu erkennen, dass Forstwirtschaft die dominierende naturalwirtschaftliche Nutzungsform ist. Zum anderen verdeutlicht der Wiedernutzbarmachungsanteil von nur 43 % die Dringlichkeit weiterer fundierter Rekultivierungsmaßnahmen.

Die perspektivische Bedeutung der forstlichen Rekultivierung bemisst sich nicht nur am Umfang der zu rekultivierenden Fläche, sondern vor allem an den Aufgaben und Zielstellungen, die mit den Kippen-Erstaufforstungen verbunden werden. Grundsätzlich dient die Wiedernutzbarmachung von Bergbaufolgelandschaften der Herstellung vielfältig nutzbarer Kulturlandschaften (WIEDEMANN et al. 1995, WITTIG 1998). Ziel ist die Entwicklung bzw. Stärkung der ökologischen Ausgleichsfunktion der Kippenflächen in Verbindung mit den Freiflächen des Umlandes. Hierbei stehen einerseits die Wiederherstellung der Bodenfunktionen (Produktions-, Lebensraum-, Speicher- und Filterfunktionen, Stabilisierung des Wasserhaushaltes) und andererseits die Wiederherstellung der Waldfunktionen (Klimaregulierung durch die Vegetation, Filterwirkung des Waldes, O₂-Nachlieferung und CO₂-Bindung, Schaffung von Lebensstätten für Pflanzen und Tiere) auf hohem Niveau im Vordergrund (KATZUR et al. 1995, KATZUR und BÖCKER 1998). Die Einbeziehung des Naturschutzes soll auf „Vorranggebiete“ konzentriert werden. In diesem Zusammenhang werden folgende Zielgrößen empfohlen (DUNGER 1998a+b, MÖCKEL 1998, PIETSCH 1998a+b, WIEDEMANN et al. 1995 und WIEDEMANN 1998): 15 % Naturschutz (Sukzessions- und Renaturierungsflächen incl. Flächenbedarf für Biotopverbundsysteme), 60 % Forstwirtschaft und 25 % Landwirtschaft.

Die Primäraufgaben der forstlichen Rekultivierung sind nach LORENZ (1967), KATZUR (1995a, 1998b), LANGE (1998) und PREUßNER (1998):

- (1) rasche Bodendeckung (Schutz vor Erosion und Bodenaustrocknung),
- (2) intensiver Tiefenaufschluss durch das Wurzelsystem,
- (3) Einleitung der Humus- und Bodenbildung (Anreicherung mit hochwertigen Humusstoffen),
- (4) Auswahl geeigneter Baum- und Straucharten, die einer vielfältigen, möglichst naturnahen Pflanzen- und Tierwelt Heimstätte bieten und dabei gleichzeitig die vom Menschen gewünschte Multifunktionalität (Produktion, Schutz, Erholung) erfüllen,
- (5) Schaffung einer räumlichen Ordnung, die die Waldlandschaft in die Umgebung einbindet, den Wald bewirtschaftbar macht und der Vielfalt der Nutzfunktionen entspricht.

Die Erfüllung dieser Aufgaben bedarf einer ordnungsgemäßen Rekultivierung. Es ist deshalb von großer Bedeutung, wie die Kippen-Forstökosysteme der ersten und zweiten Waldgeneration zu gestalten sind, um

- die ökologische Leistungsfähigkeit des Landschafts- und Naturhaushaltes wieder herzustellen bzw. zu verbessern,
- die Reproduktion der natürlichen Lebensgrundlagen für intakte Biozöosen und Populationen der Flora und Fauna dauerhaft zu gewährleisten,
- eine hohe geomechanische Standortsicherheit und weitgehende Schutzeffekte (besonders Bodenschutz) sowie ein hohes Bewaldungsprozent ($\geq 35\%$) zu erzielen und
- die Attraktivität der neuen Landschaft als langfristig stabilen Lebens- und Erholungsraum auf einem hohen Niveau zu halten, um den Menschen in der Bergbauregion gleichwertige Lebens- und Erwerbsbedingungen zu bieten.

Eine großflächige „natürliche Belassung“ (TRILLITZSCH 1993) der Bergbaufolgelandschaften ist wegen der bodenchemischen Bedingungen (HAUBOLD et al. 1995, KATZUR 1995a) und der standörtlichen Sicherheit nicht realisierbar. Sie würde zum Verlust an potenziell nutzbaren Naturressourcen und Naturraumpotenzialen führen (KATZUR 1998b).

Da die Verfügbarkeit mineralischer Roh- und fossiler Brennstoffe abnimmt, sei auf die Bedeutung des Waldes als biogener Stoffproduzent verwiesen (ANDERSON und ZSUFFA 1980, DIMITRI 1988, MAKESCHIN et al. 1989, BOHNENS 1991, RYTTER und ERICSSON 1993, BUNGART 1998, KATZUR 1998b, BENS und HÜTTL 1999). Die Dringlichkeit der Thematik äußert sich u.a. in der Erarbeitung alternativer Nutzungsstrategien auf Kippenstandorten (BUNGART 1998, 1999).

Die **gesetzlichen Grundlagen** der Wiedernutzbarmachung unterlagen einem zeitlichen Wandel. In der DDR-Gesetzgebung wurde eine Trennung in die beiden Leistungsabschnitte „Wiederurbarmachung“ (erste Phase) und „Rekultivierung“ (zweite Phase) vorgenommen. Nur die Wiederurbarmachung oblag dem Bergbau und beinhaltete Herstellung des Reliefs, Kulturbodenauftrag bzw. Grundmelioration und Gewährleistung der Vorflut (technische Rekultivierung). Die Rekultivierung, d.h. die auf eine Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit ausgerichtete, anschließende Bewirtschaftung, wurde den Folgenutzern übertragen (biologische Rekultivierung). Demgegenüber sieht die bundesberggesetzliche Regelung vor, dass die gesamte Wiedernutzbarmachung (= technische und biologische Rekultivierung) vom Bergbautreibenden „...während und nach der Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen...“ (BBergG §51 (1)) zu gewährleisten ist. Weiterhin ist im Bundesberggesetz (BBergG) die unverzügliche Rekultivierung aller vom Bergbau geschaffenen Kippen und Halden festgeschrieben. Die bedeutendsten Rechtsbezüge und deren Zusammenspiel in Bezug auf die Wiedernutzbarmachung von Bergbauflächen sind in Anlage 1 zusammengefasst.

Aus den gesetzlichen Grundlagen ergeben sich für die Braunkohlensanierung notwendige Maßnahmen. Diese haben folgende Ziele:

- Überwindung der bergbaulichen Folgeschäden (Ausgleich),
- Abbau der ökologischen Belastungen,
- Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes,
- vielgestaltig wirtschaftliche Entwicklung der Region (WITTIG 1998).

Grundlegende Inhalte für die Wiedernutzbarmachung enthält die „Richtlinie des Oberbergamtes des Landes Brandenburg (OLB) für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen“ (OLB 2000). Hiernach ist Wiedernutzbarmachung als „...ordnungsgemäße Gestaltung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Oberfläche unter Beachtung des öffentlichen Interesses“ zu verstehen, wobei alle Maßnahmen „...unter der Prämisse der Nachhaltigkeit...“ durchzuführen sind. Ziel der forstwirtschaftlichen Wiedernutzbarmachung ist „...eine vielfältig nutzbare und naturnahe Waldlandschaft mit hohem wirtschaftlichen Wert, hohem Erholungswert und hohem Wert für den Naturschutz“.

1.2 Arbeitsziele

Am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften Finsterwalde e.V. (FIB) wurde von 1995 bis 1999 das DBU-Verbundprojekt „Zustand, Entwicklung und Behandlung von Waldökosystemen auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenreviers“ (FKZ.: 06733) bearbeitet. In diesem Zusammenhang erhielt der Autor die Aufgabe, Boden-Bestockung-Beziehungen auf Kippenstandorten umfassend zu untersuchen. Die gewonnenen boden-, wachstums- und ernährungskundlichen Daten bilden die Grundlage für die nach Rekultivierungsbaumart und Substrat differenzierte Beschreibung der Interaktionen zwischen Boden- und Bestandesparametern.

Die übergeordnete Zielstellung besteht in der Erarbeitung anwendungsorientierter Ergebnisse für die weitere forstliche Rekultivierung im Lausitzer Braunkohlenrevier. Die Resultate sollen als Beitrag zur Bewertung, Steuerung und Prognose von forstökosystemaren Prozessen sowie zur Bewertung der ökologischen Leistungsfähigkeit von Bergbaufolgelandschaften gesehen werden.

Aus den komplexen Untersuchungen zu Humus- und Substratmerkmalen, zur Pflanzenernährung und zum Waldwachstum gehen einerseits Aussagen zu den Wirkungen physikalischer und chemischer Substratmerkmale auf Struktur, Vitalität und Waldwachstum (incl. Produktivität) der aufstockenden Kippen-Erstaufforstungen hervor. Andererseits werden die Rückwirkungen der Kippen-Waldökosysteme auf Bodenfruchtbarkeit, Humus- und Bodenentwicklung qualifiziert und quantifiziert. Hierbei finden das Depositionsgeschehen des Untersuchungsgebietes und meliorative Standortverbesserungen Berücksichtigung.

Erstmals werden in Kippen-Erstaufforstungen bis zu 70jährige Entwicklungszeiträume untersucht. Die altersspezifische Auswahl von Kiefern-, Birken- und Eichenbeständen auf definierten Substraten ermöglicht eine Analyse der baumartenspezifischen Entwicklungsprozesse und eine Abschätzung des nachhaltig nutzbaren Standortpotenzials. Besondere Bedeutung hat die Bewertung der ökologischen Wirksamkeit der untersuchten Baumarten.

Außerdem werden Empfehlungen zur Baumartenwahl und zur meliorativen Standortverbesserung vorgestellt. Die boden-, wachstums- und ernährungskundliche Analyse umbaufähiger Rekultivierungsbestände eröffnet Einblicke in potenziell realisierbare Waldstrukturen. Dabei wird ein Höchstmaß an Integration gesellschaftlicher Nutzungsanforderungen angestrebt.

2. Stand der Forschung

2.1 Standortkundliche Grundlagen

Kippenböden stellen noch junge Bodenbildungen aus anthropogen umgelagerten Sedimenten dar (LORENZ und WÜNSCHE 1969, WÜNSCHE et al. 1972, 1990).

Die typischen Merkmale der Kippsubstrate sind Heterogenität, Gefügelabilität und Mangel an Dauerhumus (SCHRÖDER 1975, GUNSCHERA 1979, WÜNSCHE und THUM 1990, GUNSCHERA et al. 1992, HAUBOLD-ROSAR 1994). DARMER (1955), BRÜNING (1959), LORENZ (1967), PIETZSCH (1970) und SCHWABE (1978) betonen das Fehlen des Edaphons und die geringe bodenbiologische Aktivität der frisch geschütteten Abraummassen. Die auf gewachsenen Böden stattfindenden Stoffkreisläufe und biologischen Zusammenhänge (THOMASIUUS et al. 1996, 1998) sowie die ökologischen Bodenfunktionen (HÜTTL und MAYER 1996) sind vorerst nicht vorhanden.

BRÜNING (1959), GUNSCHERA (1979), Autorenkollektiv (1993) und PREUBNER (1998) weisen auf die durch großflächige Grundwasserabsenkung verursachte Niederschlagsabhängigkeit der Phytozönosen hin. Außerdem entstehen infolge der Großflächigkeit der Tagebaue ungünstige mikro- und mesoklimatische Verhältnisse.

Dem geologischen Ablauf folgend, werden quartäre und tertiäre Substrate unterschieden (Anlage 2). Kohlehaltige Kippsubstrate tertiären Ursprungs vermögen mehr Wasser pflanzenverfügbar zu binden als kohlefreie Böden mit vergleichbarer Textur (THOMAS 1969). Außerdem verfügen sie über höhere Gehalte an organischen Kolloiden. Andererseits weisen kohlehaltige Tertiärsubstrate fruchtbarkeitsbegrenzende Eigenschaften auf. Vor allem die hohen Gehalte an Eisen-Disulfidschwefel (Pyrit, FeS_2) bewirken geringere Basensättigungen (KATZUR 1971, KATZUR und LIEBNER 1996) und kulturfeindliche Aciditätsverhältnisse. Die Verdrängung ernährungsphysiologisch bedeutsamer Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) vom Austauscherelement durch Protonen und die Basentiefenverlagerung führen zu geringen Gehalten an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden ($[<1\text{mg P, K und Mg je } 100\text{g Boden}]$; KATZUR 1998a). Darüber hinaus liegen geringe Mengen biologisch umsetzbarer organischer Substanz zu Nutzungsbeginn vor (HILDMANN und WÜNSCHE 1995, HAUBOLD et al. 1998). Tertiäre Abraumschichten erreichen C/N-Verhältnisse von 50 bis 170. Das C/N-Verhältnis kann als Indiz für die Stickstoffarmut fossiler organischer Substanz und die relativ stabile Fixierung des heterozyklisch gebundenen Stickstoffs gewertet werden (KATZUR 1987).

Quartäre bindige Substrate weisen meist einen ausreichenden Mineral- und Nährstoffgehalt auf. Sandige Flussschotter, Schmelzwasser-, Tal- und Beckensande verfügen hingegen über ein geringes Sorptionsvermögen und damit über eine schlechtere Nährelementversorgung (FIEDLER 1990). Bei quartären bindigen Kippsubstraten wird die Fruchtbarkeit meist durch die bodenphysikalischen Eigenschaften begrenzt (WÜNSCHE 1976, WÜNSCHE et al. 1981, SCHRÖDER et al. 1985, WÜNSCHE et al. 1990).

Untersuchungen von WÜNSCHE et al. (1967), KATZUR und ZEITZ (1985) sowie KATZUR und HAUBOLD-ROSAR (1997) zeigen, dass das für die forstliche Folgenutzung relevante Leistungspotenzial des unmeliorierten Kippsubstrates vom Gehalt an Korngrößen $< 0,02$ mm, vom anorganischen Sorptionskomplex, von den pedogenen Nährstoffvorräten, vom Gehalt an CaCO_3 sowie an rezentem und fossilem Humus, von der organischen Substanz und vom Säurepotenzial bzw. vom Schwefelgehalt im Unterboden maßgeblich abhängt.

Bereits Ende der 50er Jahre erkannte KNABE (1959a) die Notwendigkeit der Ausweisung qualitativ und geomorphologisch differenter Standortgruppen. Er erarbeitete eine „Kulturwertgliederung“ (KNABE 1952, 1955a, 1959b+c) und gab für die ausgewiesenen Standortgruppen entsprechende Bestockungszieltypen an (KNABE 1959a). LORENZ und KOPP (1968) entwickelten neue Standortgruppen, die analog dem System der forstlichen Standortkartierung auf gewachsenen Böden von R1P (P = Kippe) bis A3P reichen. WÜNSCHE et al. (1972) veröffentlichten „Bodenformen der Kippen und Halden im Niederlausitzer Braunkohlenrevier“, die auf den Analyseergebnissen verschiedener Deckgebirgsschichten (WÜNSCHE et al. 1966) aufbauten und separate Kippengutachten einbezogen. KOPP und RUHNAU (1980) versuchten, über verschiedene Legenden eine Kompatibilität der kartierten Kippbodenformen mit den forstlichen Stammnährkraftstufen gewachsener Böden herzustellen. Bis Mitte der 90er Jahre wurde in den Bergbaugebieten des mitteldeutschen Raumes und der Lausitz das Klassifizierungssystem von WÜNSCHE et al. (1981) am häufigsten verwendet. Es differenziert nach Haupt- und Lokalbodenformen und basiert auf petrografischen Merkmalen wie Skelettanteil, Körnungsart des Feinbodens, C_t -Gehalt in Kohle und Humus sowie CaCO_3 -Gehalt. Das geologische Alter ([T]ertiär, [Q]uartär) wird als Zusatzmerkmal verwendet.

Die aktuellen Klassifizierungssysteme (WÜNSCHE et al. 1981, AG Boden 1996) sind mit den auf gewachsenen Böden verwendeten Trophiestufen (KOPP und SCHWANECKE 1994) nicht abgestimmt (keine Einbeziehung der Ca-, Mg-, K-, P-Gehalte). Offen bleibt auch die Prüfung der Ausweisung von Lokalbodenformen (WÜNSCHE et al. 1981) hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit.

Im Zuge weiterer Typisierungsversuche wurden Kippbodenformen mit ähnlichem Leistungsvermögen und ähnlichem Verhalten gegenüber verschiedenen Eingriffen wie Melioration, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenwahl usw. zu Bodenformengruppen vereinigt (KATZUR 1971, 1995b). Es entstanden die Standortleistungstypen „Kippe aus tertiären Abraumsubstraten“, „Kippe aus quartären Abraumsubstraten“ und „Tertiärquartäre Mischkippe“, die KATZUR (1995b) sowie KATZUR und GAST (1998) wiederum in Kippen-Standorttypen untergliederten. Lokale Besonderheiten wurden bei SCHMIDT und DIEMANN (1981) sowie KATZUR et al. (1992) mit der Ausweisung von Standortregionaltypen berücksichtigt. Ausgehend vom Substrattyp und dessen geologischer Herkunft, erarbeiteten KATZUR und HAUBOLD-ROSAR (1997) eine 7stufige Kulturwertgliederung. Einteilungskriterien waren das mittlere biologische Ertragspotenzial und die Nutzungseignung der Kippenfläche.

Als wesentliches Ergebnis der Kartierung im Lausitzer Braunkohlenrevier wiesen HAUBOLD et al. (1995) auf 58 % der Fläche arme bis ziemlich arme Kippenstandorte (Kipp-Kiessand, Kipp-Sand und Kipp-Kohlesand) und auf weiteren 36,5 % der Fläche mäßig nährstoffversorgte Substrate (Kipp-(Kohle)Ton, Kipp-Kohleanlehmsand, Kipp-Kohlelehm, Kipp-Kohleschluff, Kipp-Anlehmsand und Kipp-Kalksand) nach. Demgegenüber belegen Kipp-Lehmsand, Kipp-Lehm, Kipp-Kalklehmsand und Kipp-Kalklehm lediglich 5,5 % des Terrains. Nach KATZUR (1977b) und KATZUR et al. (1995, 1998b) bestehen die Bodendecken der Kippen und Halden in der Lausitz zu rund 60 % aus kulturfeindlichen, extrem sauren tertiären Kippsubstraten.

Kohle- und pyrihaltige Ablagerungen sowie pleistozän-tertiäre Abraummassen bedürfen in jedem Falle der Grundmelioration (ILLNER und KATZUR 1964a+b, WÜNSCHE et al. 1966, LORENZ 1967, KATZUR 1977b). Als bodenvorbereitende Maßnahme der Wiedernutzbarmachung dient die Grundmelioration der Verbesserung der fruchtbarkeitsbegrenzenden Eigenschaften schwefelhaltiger Kippböden und hat folgende Ziele (ILLNER und KATZUR 1964b, 1968, KATZUR 1971, 1977b):

1. Standortdefekte, die in Bezug auf die geplante Naturraumnutzung bestehen, zu beheben;
2. durch Erschließung und Aktivierung des Abraummaterials den Bodenschutz zu sichern;
3. Aciditätsverhältnisse der schwefelhaltigen Kippböden dauerhaft zu verbessern;
4. Nährstoffverhältnisse so zu beeinflussen, dass anschließend die forst- und landwirtschaftliche Rekultivierung mit Erfolg durchgeführt werden kann (NPK-Grunddüngung).

Die Meliorationsbedürftigkeit des Standortes bestimmt Art und Stärke des Eingriffs (KATZUR 1971, 1993). Die am häufigsten angewandten Technologien der Grundmelioration sind:

- (1) Böhlener Verfahren von BRÜNING (1962):
Einarbeitung von Kalk und mineralischem Volldünger nach mehrjähriger Vorkultur
- (2) Domsdorfer Verfahren von ILLNER und LORENZ (1965):
Einmischung basenreicher Braunkohlenasche bis zur Tiefe von 0,60 (1,00) m einschließlich einer mineralischen Volldüngung, Standard: 500 m³ Asche/ha
- (3) Koyne-Verfahren von ILLNER und KATZUR (1964c) sowie KATZUR (1965, 1977c):
Verrieselung phenolhaltiger Abwässer nach Kalk- und Aschegaben
- (4) Kleinleipischer Verfahren nach KATZUR und HEISKE (1974):
Einarbeitung von CaO oder Kalkmergel, anschließend NPK-Grunddüngung.

Auch Müll (FLEISCHER 1962), Klärschlamm u.a. industrielle und kommunale Rückstände wurden für die Substrataufwertung verwendet. Bei reinen Kalkgaben wird die für das Erreichen eines bestimmten Ziel-pH-Wertes erforderliche Menge aus der Säure-Basen-Bilanz (SBB) der Kippböden errechnet (ILLNER und KATZUR 1964a+b, KATZUR 1971). KATZUR (1977a), SCHWABE (1977), GHODRATI et al. (1995) und GANGLOFF et al. (1997) wiesen eine Steigerung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) kohlehaltiger Böden durch die Einarbeitung von Asche nach.

Die Meliorationstiefe ist für die Vergrößerung des Wurzelraumes, für die Verbesserung der Nährstoff- und Wasserversorgung, für die Verringerung der Anfälligkeit gegenüber Windwurf und für die Verbesserung waldbaulicher Gestaltungsmöglichkeiten von großer Bedeutung (KATZUR und HERBERT 1980, KATZUR 1993). Während in der Vergangenheit eine 100 cm tiefe Melioration gefordert wurde, wiesen KATZUR et al. (1998b) nach, dass für die forstliche Rekultivierung schwefelhaltiger Kippenböden Meliorationstiefen von > 60 cm aus waldökologischer und ökonomischer Sicht uneffektiv sind. Mit den Ergebnissen der in Erstaufforstungsbeständen durchgeführten Versuchsreihen konnte das Problem der Grundmelioration kohle- und schwefelhaltiger Kippböden bis Ende der 70er Jahre weitgehend geklärt werden (ILLNER und KATZUR 1968).

Aus den frisch geschütteten Substraten entwickeln sich in Abhängigkeit von Ausgangssubstrat und Meliorationsverfahren neue Böden. THOMASIU und SCHMIDT (1996) sowie THOMASIU et al. (1998) bezeichnen den Ausgangszustand der Standortentwicklung auf Kippen als „Geotop“. Er wird als räumliche und funktionelle Einheit der Kompartimente Morphotop (Geländeausformung), Lithotop/Pedotop (Substrat/Boden), Hydrotop (Wasserregime) und Klimatop (Lokal-klima) definiert und in der Standortsform zusammengefasst.

Quantitative und qualitative Untersuchungen zur Humusbildung auf den Kippenstandorten der neuen Bundesländer liegen von WÜNSCHE und SCHUBERT (1966), WÜNSCHE et al. (1966,

1967), SKAWINA und WACHALEWSKI (1970) sowie THUM (1978) vor. Für das Lausitzer Braunkohlenrevier wurde die Thematik zunächst von KATZUR (1965) aufgegriffen. Anfang der 70er Jahre entstanden weitere Beiträge zur Humusakkumulation auf Kippenstandorten (SCHWABE 1970, 1973). Untersucht wurde außerdem die Beeinflussung der Humusbildung durch Depositionen (vor allem Flugaschen), durch die Bestockung, durch Bodenbewuchs und durch substratbedingte Einflüsse (KATZUR 1987, REMMY et al. 1994). Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Schwefel- und Staubemissionen auf die chemische Entwicklung von Humusauflagen und Mineralböden in Kiefern-Waldökosystemen liegen von WEISDORFER (1999) vor. KOLK et al. (1997) empfehlen, die qualitative Bewertung der Humusaufgabe mit bodenbiologischen Kriterien zu verknüpfen. KLEM (1998) stellte auf Kippenforsten des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres deutliche baumartenspezifische Differenzen in Bezug auf die Humusdynamik fest. So war die Humifizierung unter Roteiche tiefer im Profil fortgeschritten als bei der Rekultivierungsbaumart Kiefer.

Als Folge des Eintrages basischer Stäube verändern sich C/N-Verhältnis und Menge der organischen Substanz sowie C/N-Verhältnis und Basensättigungsgrad der Humusaufgabe jeweils unabhängig voneinander (KÖHLER und LIEBER 1968). ENDERLEIN und STEIN (1964) sprechen von „...wesentlichen Veränderungen des Säurezustandes durch industrielle Immissionen nach der basischen Seite...“. Außerdem weisen sie darauf hin, dass die Frage der Wirkung kalkhaltiger Depositionen auf die Ertragsfähigkeit der Böden bislang ungeklärt ist. THUM (1978) sieht die Humusforschung auf Kippenstandorten als bedeutendes wissenschaftliches Bedarfsfeld.

Die Kippenböden stehen am Anfang ihrer Entwicklung. Es kommen deshalb nur wenige Bodentypen wie Kipp-Syrosem, Kipp-Regosol, und Kipp-Pararendzina vor. Erste bodengenetische Differenzierungen sind bereits nach 15 bis 20 Jahren durch die Ausbildung eines A-Horizontes (Ai oder Aih) visuell erkennbar (KATZUR und HAUBOLD-ROSAR 1996, 1997). Auf über 30 Jahre alten Kippen und Halden sind bereits Kipp-Ranker, Kipp-Rendzinen, Kipp-Staugleye, Kipp-Gleye und Kipp-Rigolderden vorzufinden (HAUBOLD et al. 1995).

HAUBOLD-ROSAR (1998) und SCHNEIDER et al. (1998) betonen die positiven Wirkungen von Erstaufforstungen auf die Entwicklung der bodenphysikalischen Eigenschaften reiner bis lehmiger Sande quartärer und tertiärer Herkunft wie Gefügebildung und -stabilisierung, Infiltration, Gasaustausch und Durchwurzelbarkeit. Differenzierte Untersuchungen nach Baumart, Alter und modifizierenden Umwelteinflüssen liegen jedoch noch nicht vor.

2.2 Forstliche Rekultivierung in der Niederlausitz

Die ersten planmäßigen Aufforstungen von Kippen und Halden wurden von Werksgärtnern angelegt und später von HEUSON (1929), HARTGEN (1942) und COPIEN (1942, 1950) fortgeführt (Anlage 3). Von den bis 1935 aufgeforsteten Beständen fand AL NAIMI (1989) noch 616 ha vor, die zu 25 % aus Kiefer und zu 75 % aus Birke mit geringen Anteilen an Roteiche und Robinie bestanden. Während die Aufforstungen aus der HEUSON-Ära meist baum- und strauchartenreiche Einzelmischungen waren (THOMASIUŠ et al. 1999), legte COPIEN (1942) das Schwergewicht auf die Wirtschaftsbaumart Kiefer. Die unterschiedlichen Auffassungen von HEUSON und COPIEN zur waldbaulichen Behandlung der Kippenforsten führte SCHWABE (1970) primär auf ihre Tätigkeit in deckgebirgsgeologisch verschiedenen Gebieten zurück.

Untersuchungen zur Geschichte der forstlichen Rekultivierung in der Lausitz ergaben, dass sich diese in drei große Etappen gliedern lässt. Den Zeitraum von den Anfängen der Rekultivierung bis etwa 1960 nennen KLEINSCHMIDT (1994) sowie KATZUR und HAUBOLD-ROSAR (1996) „Birken-Zeit“, da 53 % der Erstaufforstungsflächen mit der Baumart Birke, 31 % mit Gemeiner Kiefer, 7 % mit Roteiche, 6 % mit Pappel und 3 % mit Erle begründet wurden. Allerdings sind hierbei auch die natürliche Ansamung und die Unterwanderung von Pappelaufforstungen mit der Birke erfasst. Nach dem zweiten Weltkrieg kam die forstliche Rekultivierung in der Lausitz weitgehend zum Erliegen und wurde erst in den 50er Jahren wieder planmäßig aufgenommen. Der Abschnitt 1961 bis 1975 wird als „Roteichen-Zeit“ (Roteiche 26 %, Gemeine Kiefer 51 %, Pappel 9 %, Birke 7 %, Erle 3 %) und die dritte Etappe (1975 bis 1990) als „Kiefern-Zeit“ (Gemeine Kiefer 81 %, Roteiche 11 %, Pappel 4 %) bezeichnet. Für die Etappe der sogenannten „Kiefern-Zeit“ gab es zwei Ursachen. Zum einen führten die 1965 beginnenden Autarkiebestrebungen verstärkt zu einer landwirtschaftlichen Folgenutzung der grundmeliorierten durchgehend schwach bis mittel lehmigen tertiären Abraumsstrate. Diese Substrate standen für eine Aufforstung mit Rot- oder Traubeneiche nicht mehr zur Verfügung. Infolgedessen konzentrierten sich die Aufforstungen auf die tertiären Sande. Hier wurde die Kiefer bevorzugt, da ihre Anbauwürdigkeit inzwischen belegt war. Zum anderen hatte der ökonomische Aspekt Priorität. So entstanden zwar relativ leistungsfähige, jedoch ökologisch instabile, landeskulturell nicht befriedigende und hinsichtlich des Waldschutzes problematische Kiefernforsten (KATZUR und HAUBOLD-ROSAR 1996, PREUBNER 1997). In den Jahren 1991 bis 1997 nahm nach PREUBNER (1998) insbesondere die Verwendung der Eiche und anderer Laubhölzer wieder deutlich zu (Gemeine Kiefer 40 %, Trauben-/Stieleiche 18 %, Roteiche 12 %, sonstiges Laubholz 10 %).

Nach 1950 wurde ein qualitativ neuer Abschnitt in der Kippenforschung eingeleitet. Insbesondere die Inkulturnahme tertiärer, oberflächennah phytotoxischer Kippen, die Baumartenwahl und die Begründungsmethodik waren nach Ende des II. Weltkrieges Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. In diesem Zusammenhang sind die pragmatisch orientierten Veröffentlichungen von KNABE (1952, 1955a+b), BALLASCHK (1955), GÜNTHER (1956), LIESS (1956), HOMUTH (1961), MORGENEYER (1961) und BARTHEL et al. (1965) für die forstliche Rekultivierungspraxis bedeutungsvoll. In Bezug auf die Kippen des Ruhrgebietes ist u.a. BERTHOLD (1957) zu nennen. Untersuchungen von LORENZ (1967) und SCHWABE (1970) in den zu diesem Zeitpunkt verfügbaren, ältesten, 25- bis 45-jährigen Kippen-Erstaufforstungen erbrachten erste boden-, wachstums- und vegetationskundliche Beiträge. MUTSCHER (1963), LORENZ (1967) und BARTHEL (1970) lieferten Untersuchungsergebnisse zur forstlichen Rekultivierung auf meliorierten Kippenstandorten der Niederlausitz.

Die bis ca. 1970 betriebene Forschung auf dem Gebiet der forstlichen Rekultivierung leistete beachtliche Beiträge zu Fragen der Melioration, der Bodentypisierung und der waldbaulichen Vorgehensweise bei der Begründung von Erstaufforstungsflächen. In dieser Phase konzentrierte sich die wissenschaftliche Tätigkeit auf produktive Aspekte (Bodenfruchtbarkeit, maximale Holzproduktion).

In den 90er Jahren wurden praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der forstlichen Kippenrekultivierung (LANGE und MÜHLE 1983, LANGE 1990, 1992, 1998, PREUBNER und KILIAS 1992, PREUBNER 1994, 1996) veröffentlicht. Sie weisen auf den beachtlichen Fundus an Erfahrungswerten, aber auch auf das Fehlen wissenschaftlich fundierter Handlungsempfehlungen hin. Für Rekultivierungspraxis und -forschung spielte in diesem Zeitabschnitt die Rückbesinnung auf die protektiven und rekreativen Funktionen des Waldes eine wesentliche Rolle. Die Anfang der 90er Jahre wieder aufgenommene forstliche Rekultivierungsforschung unterschied sich von den früheren, eher sporadischen Untersuchungen in erster Linie durch ökosystemare Ansätze und komplexere Forschungsschwerpunkte (u.a. KATZUR 1993, REMMY et al. 1994, KATZUR 1995b+c, KATZUR und HAUBOLD-ROSAR 1996, BUNGART 1998, 1999, BUNGART und ENDE 1998, KATZUR et al. 1999b).

Waldwachstumskundliche Aspekte spielten bis Ende der 60er Jahre eine geringe Rolle, da zunächst der Standort im Mittelpunkt der Kippenforschung in der Lausitz stand und die meisten Kippenforsten das Jungbestandesalter (bis 40 Jahre) noch nicht überschritten hatten. Verallgemeinerungsfähige dendrometrische Prognosen waren objektiv noch nicht möglich.

SCHWABE (1970) spricht von „...beachtenswerten Leistungen in der ersten Generation...“ der Kippenforsten. Er wies eine deutliche Differenzierung der Ertragsleistung in Abhängigkeit vom Substrat nach. So nahmen bspw. die Derbholzvorräte der Kiefer bei vergleichbaren Voraussetzungen von den pleistozän-tertiären Kippsanden über die miozänen Kippsande, Talschluffe, Beckensande und schluffbrockigen Talsande bis hin zu den pliozänen Kippsanden tendenziell ab. Vor allem Kiefer und Roteiche bis zur Altersklasse II zeigten sehr gute Ertragsleistungen. Allerdings betont SCHWABE (1970), dass Wuchsleistung und -gang weiterer Untersuchungen hinsichtlich der waldbaulich realisierbaren Gesamtwuchsleistung (z.B. Baumartenwahl) und der pedogenen Einflussgrößen (z.B. Bodenchemie) bedürfen.

Spätere Untersuchungen von KHALDOUN (1989) und REMMY et al. (1994) bestätigten, dass Kippenforsten mindestens die Wuchsleistungen gewachsener Böden erreichen bzw. diese deutlich übertreffen. Allerdings blieb offen, welche Standortparameter dominanten Einfluss auf die forstlichen Ertragsleistungen der Kippenforsten haben. KATZUR et al. (1995a, 1999b) verweisen auf die beachtlichen Wuchsleistungen, vor allem von Gemeiner Kiefer bis zum Alter von 65 Jahren, auf Kippsubstraten geringerer Trophiestufen und schlussfolgern, dass bei der trophischen Bewertung der Kippsubstrate wesentliche Besonderheiten unbeachtet geblieben sind. Als bedeutungsvoll wird die „Unverbrauchtheit“ der unverwitterten Kippsubstrate eingeschätzt. Untersuchungen zur Ertragsleistung von Kippenbeständen liegen weiterhin von NILLE (1978) für Flächen der Bayerischen Braunkohlenindustrie und von STRATMANN (1985) für Flächen des Rheinischen Braunkohlenrevieres vor.

Ergebnisse zur Wechselwirkung zwischen Standort und Wuchsleistung bzw. -gang der über 40jährigen Kiefern- und Birken- sowie der Eichen-Kippen-Forstökosysteme wurden erstmals von KATZUR et al. (1999b) und BÖCKER et al. (1998, 2001) veröffentlicht.

WEISDORFER et al. (1995) gehen von einer Vergleichbarkeit des Depositionsgeschehens der Kippenstandorte mit jenem unverritzter Standorte des nordostdeutschen Tieflandes aus. Von besonderer Bedeutung für den Ernährungsstatus der Kippenforsten ist die grundlegende qualitative und quantitative Veränderung der Immissionssituation (KNOCHE et al. 1996). Während sich die Ca- und SO₄-Depositionen seit 1990 drastisch verringerten, ist demgegenüber von einer deutlichen Erhöhung der N-Einträge seit Beginn der 70er Jahre (HOFMANN et al. 1990) und einer weiteren verkehrsbedingten Steigerung seit Anfang der 90er Jahre auszugehen. Quantitative Darstellungen von Nährstoffumsetzungs- und -verlagerungsprozessen auf forstlich rekultivierten Flächen erarbeiteten KNOCHE et al. (1996), KNOCHE und EMBACHER (1999), EMBACHER (2000)

sowie SCHAAF et al. (2000) am Beispiel von Roteichen- und Kiefern-Kippen-Waldökosystemen. Auf unverritzten Waldstandorten des nordostdeutschen Tieflandes liegen vergleichbare quantitative und qualitative Untersuchungen zum Depositionsgeschehen von HOFMANN et al. (1988), HOFMANN und KRAUSS (1988), HOFMANN und HEINSDORF (1990), KALLWEIT (1990), HEINSDORF und TÖLLE (1993) sowie SIMON und WESTENDORFF (1990, 1991) vor.

Ernährungskundliche Untersuchungen auf Kippenstandorten zur Indikation der Vitalität, zur Quantifizierung des pflanzenverfügbaren Nährstoffpotenzials und zur Ableitung detaillierter Dünge- und Anbauempfehlungen wurden von LORENZ (1967) eingeführt. Er stufte die P- und K-Versorgung in Pappelbeständen, die auf meliorierten Tertiärkippen stocken, als gering ein. In den 70er Jahren analysierte HEINSDORF umfassend Boden-Blatt-/Nadel-Beziehungen in jüngeren Kippenforsten des Lausitzer Braunkohlenrevieres (u.a. HEINSDORF 1982, 1983, 1992). HEINSDORF (1992) sah in den Vorräten der Elemente Stickstoff und Phosphor bei den Rohbodenformengruppen geringer Trophie die wachstumsbegrenzenden Faktoren und entwickelte N- und NP-Düngeverfahren in Kiefernkulturen. Weiterhin entstanden wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich des pflanzenphysiologischen Bedarfes an Nährelementen. Die Ergebnisse zur Pflanzenernährung, zum Verbleib applizierter Nährstoffe, zu den damit verknüpften bodenchemischen und wachstumskundlichen Prozessen und zur Düngung auf Kippenstandorten der Niederlausitz fasste er in jüngeren Publikationen zusammen (HEINSDORF 1994, 1996, 1998, 1999). BUNGART und ENDE (1998) bewerten die N-Versorgung der Bestände als wesentlichen, zuwachslimitierenden Faktor in den Kiefernforsten. Hinsichtlich der Kalium-, Magnesium- und Calciumversorgung wurden hohe Nadelspiegelwerte ermittelt, die offenbar aus der Erhöhung der bodenchemischen Ausstattung an pflanzenverfügbaren Kationen durch Düngemaßnahmen bei der Bestandesbegründung resultieren.

Das Defizit der forstlichen Rekultivierungsforschung auf Kippenstandorten der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft resultiert grundsätzlich aus der 20jährigen Zwangspause vom Beginn der 70er (KATZUR 1995c) bis Anfang der 90er Jahre.

Insgesamt zeigt sich, dass die Untersuchungen zu Interaktionen zwischen den Substraten und dem aufstockenden Bestand auf den Niederlausitzer Kippenstandorten noch am Anfang stehen. Erfassung und Zusammenführung komplexer Ökosystemindikatoren (Humus-Substrat-Waldwachstum-Pflanzenernährung) sind aber für die forstliche Rekultivierungspraxis erforderlich, um stabile, elastische und stoffverlustfreie bzw. -arme Kippen-Waldökosysteme etablieren zu können. Hierfür bedarf es baumarten- und substratspezifischer Rekultivierungs- und Behand-

lungskonzeptionen. Die wechselseitige Beeinflussung von Boden und Pflanze muss deshalb ein Schwerpunkt der weiteren Rekultivierungsforschung sein (BAIRLEIN et al. 1989, HÜTTL 1998). Der Einfluss bodenkundlicher Kenndaten auf das Waldwachstum und auf den Ernährungsstatus der Rekultivierungsbaumarten konnte bislang kaum geklärt werden. Die Rückwirkungen der Rekultivierungsbaumart und des Bestandesalters auf die Humus- und Bodenentwicklung und die daraus resultierende waldbauliche Bedeutung bilden ein weiteres Bedarfsfeld. Für die standortkundliche Bewertung ist eine Überprüfung der ausgewiesenen Lokalbodenformen und damit eine evtl. Anpassung an die Klassifizierung auf gewachsenen Böden (KOPP und SCHWANECKE 1994) notwendig.

Die mit 60 bis 70 Jahren derzeit ältesten Kippen-Erstaufforstungen der Baumarten Gemeine Kiefer und Gemeine Birke und die Bestände der perspektivisch bedeutsamen Rekultivierungsbaumart Eiche stellen in diesem Zusammenhang einzigartige, bisher wenig untersuchte Objekte für die Rekultivierungsforschung dar.

3. Untersuchungsmethodik

3.1 Auswahl der Versuchsflächen

Ausgangsparameter bei der Auswahl der Referenzflächen im Untersuchungsgebiet waren Baumarten, Bestandesalter, Kippsubstrat und Flächengröße. Daneben spielten der forstsanitären und waldbauliche Zustand der zu untersuchenden Kippen-Erstaufforstungen (z.B. Ausschluss kalamitärer Gradationen anhand historischer Unterlagen, Bestandesunterlagen und Datenspeicher Wald), die räumliche Lage (Depositionen regionaler Industrie, Randeffekte) sowie standörtliche und mikroklimatische Besonderheiten (z.B. Staunässe und Windruhe) eine Rolle.

Alle Versuchsflächen weisen vergleichbare klimatische, hydrologische, hydrochemische und geomorphologische Verhältnisse auf (Großklimabereich φ , Klimastufe T_m). Weiterhin liegen analoge Verkippungstechnologien und eine ähnliche Bestandesbehandlung vor. Sie wurden durch eigene Recherchen anhand der Bestandesunterlagen sowie mündlicher Mitteilungen geprüft.

Die untersuchten Rekultivierungsbaumarten decken mindestens 9/10 des auf der Fläche stockenden Oberstandes ab. Es handelt sich grundsätzlich um repräsentative einschichtige Reinbestände der Baumarten Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Gemeine Birke (*Betula pendula* ROTH) und Traubeneiche (*Quercus petraea* LIEBL.). Für vergleichende Untersuchungen wurden außerdem Roteichen- (*Quercus rubra* L.) und Stieleichenbestände (*Quercus robur* L.) einbezogen. Den Schwerpunkt bildeten möglichst alte Kippen-Erstaufforstungen. Die Traubeneichen-Erstaufforstungen repräsentieren die ältesten stabilen und für die Untersuchung geeigneten Eichenbestockungen auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres.

Um ein charakteristisches Substratspektrum zu erhalten, wurden im gesamten Lausitzer Braunkohlenrevier Probebohrungen bis 100 cm Bodentiefe durchgeführt. Anschließend erfolgte die Auswahl der Bestände anhand eines für die Region bzw. den Kippenkomplex und für die jeweilige Baumart repräsentativen Standort- bzw. Substratspektrums. Pedologische Repräsentativität und Homogenität der Flächen wurden durch ≥ 12 Boden-Probebohrungen (≥ 100 cm) in jedem vorausgewählten Bestand geprüft. Sofern Standortskarten vorhanden waren, erfolgte deren Auswertung. Labortechnische Analysen fungierten im Vorfeld der endgültigen Flächenauswahl ebenfalls als Entscheidungshilfen.

Die in Anlehnung an THOMASIVS (1962) und KURTH (1994) kreisförmig eingemessenen Versuchsflächen haben eine Größe von 0,25 ha ($r = 28,21$ m). Die Mindestindividuenzahl je unter-

suchter Fläche lag bei 100 Stück, wobei ausschließlich lebende Individuen in diese Bemessung integriert wurden. Um Randwirkungen auszuschließen, befinden sich die vom Flächenmittelpunkt am weitesten entfernten Individuen bzw. Flächen-Randbäume mindestens eine Baumlänge vom Bestandesrand entfernt.

3.2 Maßnahmen und Methoden

Das Einmessen der Flächen erfolgte mit dem Distanzmessgerät von Supa Rule Systems (Modell 250). Der dem Flächenmittelpunkt nächststehende Baum wurde mit einem roten Ring bei $d_{1,3}$ und jeder Randbaum der Kreisfläche mit einem roten Punkt dauerhaft gekennzeichnet.

Für die bodenchemische Analyse (Tab. 2.1) in den Tiefenstufen Ah-Horizont, Untergrenze Ah bis 30 cm, 31 bis 60 cm und 61 bis 100 cm wurden die Einzelproben der Flächen ($n = 10$ bis 12) tiefenstufenweise zu Mischproben vereinigt. Die visuelle Substratansprache eines 100 cm tiefen Bodenprofils komplettierte die Standortsbewertung. Charakteristische Profilvermerkmale wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 1996) erfasst. Zusätzlich fanden die substrataggregierenden Merkmale nach WÜNSCHE et al. (1981) Verwendung (C_t ab 0,5 M.-%, CaCO_3 ab 0,5 M.-%, Skelett ab 10 V.-%). Die bodenphysikalischen Untersuchungen (Tab. 2.1) basierten auf Strukturproben aus den Tiefenstufen Ah-Horizont, Untergrenze Ah bis 30 cm, 31 bis 60 cm und 61 bis 100 cm. Für die volumenbezogenen Parameter wie Lagerungsdichte wurde mit Stechringen in jeder Tiefenstufe $3 \times 100 \text{ cm}^3$ Probenmaterial gewonnen und zu einer tiefenstufenbezogenen Mischprobe vereinigt. Im Zuge der Auswertung war oftmals die Zusammenfassung bzw. Mittelung der Analysedaten aus den drei beprobten Mineralboden-Tiefenstufen sinnvoll. Hierfür wurde die Bezeichnung C-Horizont verwendet, zumal die untersuchten Substrate A/C-Horizontfolgen aufwiesen. Der C-Horizont ist somit als Bodentiefebereich unterhalb des Ah-Horizontes bis 100 cm definiert. Er repräsentiert die Eigenschaften des augenscheinlich noch nicht bodengenetisch veränderten Kippsubstrates.

Die Beprobung der organischen Auflage erfolgte an 5 systematisch verteilten Punkten der Referenzfläche. Es wurden flächenweise Mischproben analysiert. Die Probenahmen fanden in den Birken- und Eichenbeständen zwischen dem 01. März und dem 15. Juni statt, in den Kiefernbeständen hingegen teilweise ganzjährig. Nach dem Messen der Horizontstärken in der organischen Auflage (L, Of, Oh) erfolgte die laboranalytische Ermittlung der beschreibenden Kennwerte (Tab. 2.2). Bei den Probeneingängen wurden das Frischgewicht (in [g]) und die Trockensubstanz (TS atro in [%] und [g] nach 24 h im Trockenschrank bei 105 °C) ermittelt.

Tab. 2.1: Bodenchemie und -physik - Parameter und angewandte Analysemethoden

Parameter	Methoden
pH H ₂ O und KCl	DIN ISO 10 390, potenziometrisch mit Glaselektrode in 0,01 M KCl-Lösung und H ₂ O dest.
CaCO ₃ [M.-%]	DIN ISO 10 693 (nach SCHEIBLER VD LUFA A5.3.1. 1991, (vgl. auch SCHLICHTING et al. 1995))
Textur [M.-%] ¹⁾ (Skelettanteil und 7 Fraktionen)	DIN 19 683-2 (Trennung der Korngrößen > 0,063 mm durch Trocken- bzw. Nasssiebung, Schluff- und Tongehalt nach KÖHN (1928) bzw. ISO/CD 11 277)
Gesamtgehalte	
Ca, Mg, K, P [mg/100 g FB]	HF-Aufschluss, FIB-Hausmethode in Anlehnung an die Herstellervorschrift, Bestimmung am ICP nach DIN 38 406-E22
Cu, Pb, Zn, Cd [mg/100 g FB]	Aufschluss mit Königswasser (KW) DIN 38 414-S7, Graphitrohrverfahren, Cu, Zn: DIN 38 406-E22 Pb: DIN 38 406-E6-3 Cd: DIN 38 406-E19-3
C _t , N _t , S _t [M.-%]	trockene Veraschung bei 1150 °C (Katalysator), Bestimmung am Elementaranalysator, FIB-Hausmethode
flüchtiger Schwefel [%SO ₃] [%S]	FIB-Hausmethode nach ILLNER et al. (1968)
Spezifische Dichte [g/cm ³]	FIB-Hausmethode mit Xylol-Ultraschall (Laborwerte sind mit Bestimmungen nach DIN 19 683-11 kompatibel)
Trockenrohdichte [g/cm ³]	DIN 19 683-12
Ferromagnet. Suszeptibilität [mHz]	Bestimmung am FMA 5000 (TÖLLE und RAASCH 1991) ²⁾
Kationenaustauschkapazität (KAK)	DIN ISO 13 536 (enthält T-Wert-Bestimmung)
T- und H-Wert [mval/100 g]	Verfahren nach MEHLICH (1960) (DIN 19684-5 bzw. DIN ISO 13 536)
S-Wert [mval/100 g]	Summe der Einzelionen Ca, Mg, K, Na (DIN 38 406-E22)
V-Wert [%]	Berechnung $V = S/T * 100$

Anm.: 1) Als Separator wurde Natrium-Pyrophosphat (Na₄P₂O₅) verwendet (DIN 19 683-3).

2) Die Erfassung der ferromagnetischen Suszeptibilität (MS) lehnt sich analytisch und hinsichtlich des Auswertemodus an MULLINS (1977), STRZYSZCZ et al. (1988), HEINSDORF und TÖLLE (1993), TÖLLE und SAUPE (1993), PARTON et al. (1994), DEARING et al. (1995), AMIN et al. (1997) sowie KATZUR et al. (1998a) an. In allen untersuchten Beständen wurden jeweils zwei MS-Messungen durchgeführt und die Daten gemittelt.

Tab. 2.2: Organische Auflage - Parameter und angewandte Analysemethoden

Parameter	Methoden
pH H ₂ O und KCl	DIN ISO 10 390, potenziometrisch mit Glaselektrode in 0,01 M KCl-Lösung und H ₂ O dest.
CaCO ₃ [M.-%]	DIN ISO 10 693
Glühverlust (GV) [M.-%]	DIN 19 684-3, DIN 38 414-3
Gesamtgehalte	
Ca, Mg, K, P [mg/100 g FB]	trockene Veraschung, HCl-Auszug, nach THUN et al. (1955), Bestimmung nach DIN 38 406-E22
C _t , N _t , S _t [M.-%]	trockene Veraschung bei 1150 °C (Katalysator), Bestimmung am Elementaranalysator, FIB-Hausmethode
Ferromagnet. Suszeptibilität [mHz]	Bestimmung am FMA 5000 (TÖLLE und RAASCH 1991) ¹⁾
Kationenaustauschkapazität (KAK)	DIN ISO 13 536 (enthält T-Wert-Bestimmung)
T- und H-Wert [mval/100 g]	Verfahren nach MEHLICH (1960) (DIN 19684-5 bzw. DIN ISO 13 536)
S-Wert [mval/100 g]	Summe der Einzelionen Ca, Mg, K, Na (DIN 38 406-E22)
V-Wert [%]	Berechnung $V = S/T * 100$

Anm.: 1) vgl. Anm. 2) Tab. 2.1

Die wachstumskundlichen Erhebungen umfassten eine BHD-Vollkluppung (ab $d_{1,3} \geq 15$ cm Kreuzkluppung) jeder Fläche mit der elektronischen Kluppe Datafox (Präzisions-Apparatebau AG) und die Messung von jeweils ≥ 35 Bestandesmittelhöhen je Fläche mit dem Blume-Leiss (KRAMER und AKCA 1987). Es wurden Höhe und Durchmesser des arithmetischen Mittelstammes (HM/DM), Grundflächenmittelstammes (HG/DG), Grundflächenzentralstammes (HZ/DZ), WEISEschen Mittelstammes (HW/DW), WEISEschen Oberhöhenstammes (HG20%/DG20%), ASSMANNschen Oberhöhenstammes (HG100/DG100) und des Kollektivs der höchsten/stärksten 10 % (HG10%/DG10%) errechnet. Die Ermittlung der Stammzahl, der Grundfläche, des Volumenschlussgrades, der Ertragsklasse und des Schaft- sowie Derbholtzvorrates vervollständigten die Datengrundlage. Die Berechnung der genannten Daten erfolgte am Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik der Technischen Universität Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Tharandt auf der Basis eines für die Forsteinrichtung im Freistaat Sachsen erarbeiteten Programmes.

Die Bonitierung der Baumarten Kiefer und Birke wurde anhand der jeweiligen Oberhöhen durchgeführt. Bei den Eichen musste auf die Mittelhöhenbonitur zurückgegriffen werden. Folgende Ertragstabellen wurden verwendet:

Gemeine Kiefer:	LEMBCKE, KNAPP und DITTMAR (1975): DDR-Kiefern-ertragstafel 1975 (Wertebezug: mittleres Ertragsniveau, verbleibender Bestand)
Gemeine Birke:	LOCKOW (1996): Ertragstafel für die Sandbirke (<i>Betula pendula</i> Roth) in Mecklenburg-Vorpommern Für Vergleiche: Berechnungen nach TJURIN (in TJURIN und NAUMENKO 1956): Ertragstafel Gemeine Birke
Traubeneiche:	ERTELD (1961): Ertragstafel für Eiche - Hochdurchforstung
Roteiche:	BAUER (1953): Ertragstafel für Roteiche - Gestaffelte Durchforstung

Für die Stammscheibenanalysen wurden je Versuchsfläche drei Individuen der KRAFTschen Klassen 1 und 2 ausgewählt (Oberhöhenbereich), die zudem keine biotischen oder abiotischen Schäden aufwiesen. Die Fällung der Probestämme erfolgte bei der Kiefer von Dezember bis Januar, bei Birke und Eiche von Mitte Juli bis Mitte August. Nach der Entnahme der Scheiben in Metersegmenten wurde jede der 2 bis 4 cm dicken Stammscheiben beidseitig glattgeschliffen und dauerhaft beschriftet. Um Zählfehler an der dem Stammfuß zugewandten Seite durch Unregelmäßigkeiten in der Jahrringanzordnung oder Scheinjahrringe (besonders bei Birke) zu minimieren, erfolgten Kontrollzählungen auf der Scheibenoberseite. Die in jedem Höhensegment erfassten drei Jahrringzahlen wurden bestandesweise zu einem arithmetischen Altersmittelwert zusammengefasst.

Die Probenahme zur Ermittlung der Nadel- und Blattspiegelwerte fand an den im Zuge der Stammscheibenanalyse gefällten Bäumen statt. Der Kronenzustand der drei vorherrschenden oder herrschenden Individuen (Benadelungsdichte, Anzahl der Nadeljahrgänge, Kronenlänge) war repräsentativ für das Bestandesbild.

In enger Anlehnung an die bundesweite Bodenzustandserhebung (BMELF 1994) wurden die Proben des ersten Kiefern-Nadeljahrganges am 2. Quirl im Zeitraum absoluter Vegetationsruhe von Dezember bis Januar und die Blattproben der Baumarten Birke und Eiche in den letzten beiden Juli- und der ersten Augustwoche entnommen. Entnahmeort war die belichtete Oberkro-ne. Die Nadel-/Blattproben wurden als flächenweise Mischproben untersucht und bis zur Analyse kühl, trocken und verpilzungssicher gelagert. Das Gesamt-Frischgewicht betrug ≥ 300 g.

Das laboranalytische Verfahren verlief wie folgt:

- Reinigung mit destilliertem Wasser ohne Reinigungsmittelzusatz (MITSCHICK und FIEDLER 1991)
- Trocknung der Nadeln bei ca. 45 °C mindestens 24 Std.
- Mahlen mit Scheibenschwingmühle (bis ca. 80 % des Materials < 60 μm vorliegen)
- Aufbewahrung (sofern notwendig) in luftdichten Weithalspolyethylenflaschen
- Bestimmung der Elemente P, Ca, K, Mg, Na durch trockene Veraschung und HCl-Aufschluss
- Bestimmung der N-, C-, S-Gehalte durch Elementaranalyse mittels Elementaranalysatoren
- Bestimmung der Elemente Zn, Mn, Fe, Al, Cu, Cd, Pb und Ni durch Aufschluss mit Salpetersäure (ohne Druckaufschluss) mittels Rückflusskochen;
Verfahren in Anlehnung an die DIN 38 414 / S7 (NAW 1983)
- Messung am AES-CP (Atomemissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma u.a. für Mn, Zn, P) in Anlehnung an die DIN 38 406 / E22 (33-Element-Bestimmung) bzw. AAS / GTA (Atomabsorbtionsspektrometer / Graphit Tubus Atomisation [Graphitrohrtechnik])

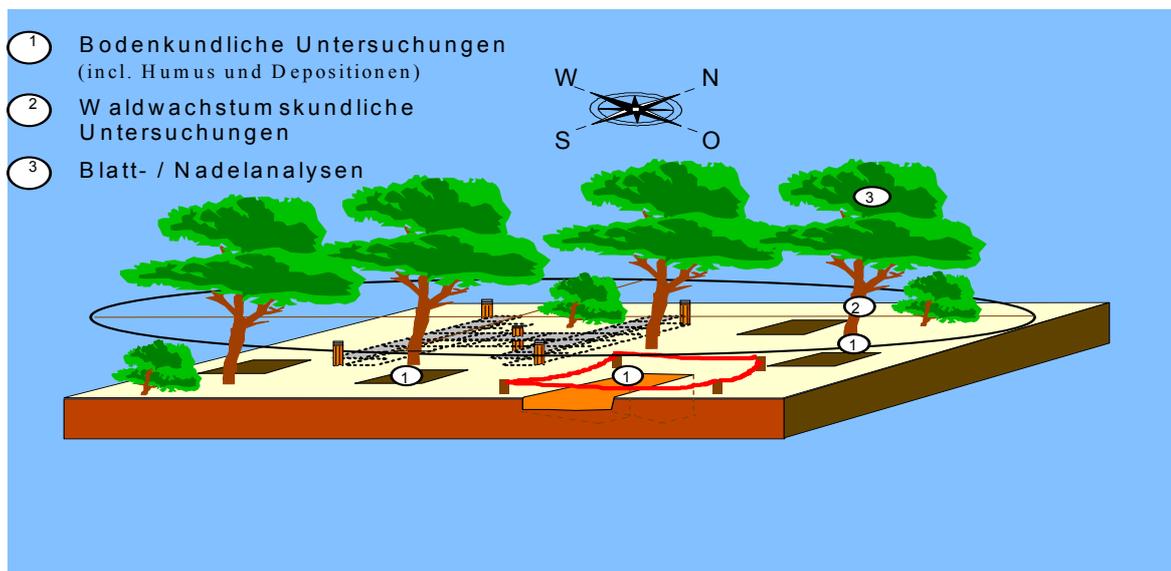


Abb. 2: Versuchsflächendesign der untersuchten Referenzflächen

3.3 Statistik

Die statistischen Berechnungen konzentrierten sich auf die Testfaktoren Straffheit und Signifikanz der Beziehung. Mathematische Zusammenhangsbeschreibungen erfolgten mittels linearer, polynomischer, logarithmischer, exponentieller oder potenzieller Funktionen. Für die beschreibenden Funktionen wurden die Bestimmtheitsmaße (R^2) und bei linearem Kurvenverlauf die Korrelationskoeffizienten (r) errechnet. Sie kennzeichnen die Straffheit der Beziehung. Bei nichtlinearem Kurvenverlauf ist der Korrelationskoeffizient kein zuverlässiger Weiser für die Straffheit des Zusammenhangs (KÖHLER et al. 1995). Der Vergleich des Korrelationskoeffizienten (r) mit dem jeweiligen Sicherungswert (r_{\max}) kennzeichnet die Signifikanz (GEIGY 1980 zit. in LOZAN und KAUSCH 1998). Hierbei ergab sich der r_{\max} -Tabellenwert zum einen aus der Anzahl der frei verfügbaren Messwerte je Messgröße bzw. der Freiheitsgrade (FG), wobei galt: $FG = n-2$ ($n =$ Wertepaare). Zum anderen dienten das Signifikanzniveau (α) von generell 5 % und der zweiseitige Test als Eingangsgrößen. Der Zusammenhang ist signifikant, wenn $r > r_{\max}$.

Im Zuge der Auswertung wurden bei links- oder rechtsgipfeligen Werteverteilungen anstelle arithmetischer Mittelwerte (MW) Mediane resp. Zentralwerte (Z) verwendet. Mediane charakterisieren links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen exakter als Mittelwerte (KÖHLER et al. 1995).

4. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

4.1 Geografische und naturräumliche Zuordnung

Das Untersuchungsgebiet entspricht im Wesentlichen dem Niederlausitzer Lagerstättenbezirk. Geografische Eckpunkte sind die Städte Lübben, Cottbus, Peitz und Guben im Norden sowie Niesky und Berzdorf im Süden. Im Osten reicht das Lausitzer Braunkohlenrevier (nicht die Lagerstätten) bis zur Oder-Neiße-Grenze und im Westen wird es durch die Tagebaue Domsdorf und Tröbitz sowie die Linie Luckau-Elsterwerda begrenzt.

Das Lausitzer Braunkohlenrevier befindet sich im Süden des nordostdeutschen Tieflandes, teilweise im Übergangsbereich zum ostsächsischen Hügel- und Bergland. Nach der naturräumlichen Gliederung (SCHOLZ 1962, Autorenkollektiv 1986) liegt es überwiegend im „Lausitzer Becken- und Heide- und Heideland“ und im „Oberlausitzer Heide- und Heide- und Heideland“. Zentrale naturräumliche Einheit ist der „Lausitzer Landrücken“. Die naturräumliche Grenzziehung des Revieres erfolgt außerdem im Norden durch die flachwelligen Gebiete der Taubendorfer und Reichskreuzer Sander (70 bis 80 m NN) und die Endmoränenzüge des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Kaltzeit.

4.2 Standortbeschreibung

4.2.1 Klima

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Großklimabereich „pseudomaritim beeinflusstes Lausitzer Klima“ (Großklimabereich ϕ). Im nördlichen und westlichen Übergangsbereich (Domsdorfer Kippe, Kippe Tröbitz Nord) sind Randeinflüsse zum „kontinental beeinflussten Südmärkischen Klima“ (Großklimabereich χ) zu berücksichtigen. Es dominiert die Klimastufe „mäßig trockenes Tieflandklima“ (m). Charakteristische Kennwerte sind nach KOPP und SCHWANECKE (1994) ein mittlerer Jahresniederschlag von 580-660 mm, eine Jahresmitteltemperatur von 8,5 °C und eine mittlere Jahresschwankung der Temperatur von 18,5 bis 19,5 °C.

MÜLLER-WESTERMEYER (1996) gibt als Langzeitmittel (1961-1990) für den Niederschlag des Untersuchungsgebietes (Station Cottbus) 562,5 mm an, auf die Vegetationsperiode (01. Mai bis 30. September nach OTTO 1994) entfallen davon 294,5 mm. Das Langzeitmittel der Station Doberlug liegt mit 323,7 mm lediglich 29,2 mm darüber (Abb. 3).

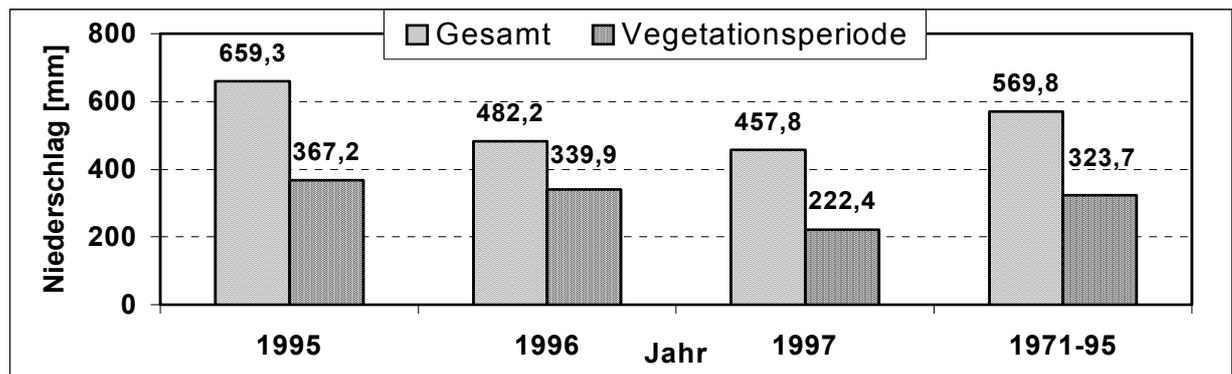


Abb. 3: Niederschlagsmengen im Untersuchungsgebiet (nach Angaben des AfF Doberlug-Kirchhain 1999)

4.2.2 Hydrografie

Das Lausitzer Braunkohlenrevier liegt im Einzugsgebiet der Flüsse Neiße, Spree und Schwarze Elster. Zur Sicherung eines gleichmäßigen Wasserangebotes im Flusssystem der Spree entstanden in Verbindung mit der sich ausweitenden Industrie und Kraftwerkskapazität die Talsperren Quizdorf, Spremberg und Bautzen. Stillgewässer haben im Untersuchungsgebiet zumeist einen anthropogenen Ursprung (GROBER 1998). Die in den Restlöchern der ausgekohlten Tagebaue entstandenen technogenen Stillgewässer sind teilweise sehr große Wasserspeicher. So umfasst bspw. der Knappensee bei Knappenrode ca. 300 ha, der Silbersee bei Lohsa ca. 235 ha und der Senftenberger See 1475 ha. Im Untersuchungsgebiet liegen nach Autorenkollektiv (1993) und nach PREUßNER (1997) weiträumige Grundwasserabsenkungen vor.

4.2.3 Geologie, Geomorphologie und Böden

Die geologische Herkunft des Deckgebirges und die heutige Geomorphologie resultieren aus altpleistozänen Ablagerungen der Saalekaltzeit, welche die im Miozän entstandenen Torflager mit einer 10 bis 150 m mächtigen Deckschicht aus Geschiebematerial und Lockersedimenten überdeckten (WÜNSCHE et al. 1972, WÜNSCHE 1976, CEPEK 1980, NOWEL 1992, NOWEL et al. 1995, GROBER 1998). Jungpleistozäne Reliefmodifikationen erreichten kaum den südbrandenburger Raum. Der „Lausitzer Landrücken“ ist eine Grundmoräne der Lausitz-Kaltzeit (Saale III), die im Norden durch das Baruther Urstromtal und im Süden durch das Lausitzer Urstromtal flankiert wird. In beiden Urstromtälern treten peri- und postglaziale Bildungen in Form teilweise ausgedehnter Dünen- und Flugsandfelder auf.

Die Bodenkarte der mittel- und ostdeutschen Bundesländer (Autorenkollektiv 1979) weist auf rund 2/3 des Lausitzer Tieflandes Moorstandorte, Gley-, Auen- und Staugleybodengesellschaft-

ten auf. Der verbleibende Bereich wird von Fahlerden, Sand-Braunerden und Sand-Braunpodsolon dominiert. In der Bergbaufolgelandschaft kommen als technogene Bodengesellschaften die Klassen „Terrestrische Rohböden (O)“ und „Ah/C-Böden außer Schwarzerden (R)“ hinzu (AG Boden 1996). Die untersuchten Kippenkomplexe ähneln pedologisch aufgrund der Substratbeschaffenheit und ihres terrestrischen Charakters den (an)lehmigen Sand-Braunerden verschiedenster geologischer Bildungen (Grund- und Endmoränen, Sander, Flussterrassen) sowie den armen Sand-Braunpodsolon der Talsande, Dünengebiete und sandig-kiesigen Altmoränen.

4.2.4 Natürliche Waldgesellschaften

Im Untersuchungsgebiet bilden vor allem Kiefern-Eichenwälder mit Trauben- und/oder Stieleiche (*Pino-Quercetum*, *Agrostio-Quercetum*) die charakteristische natürliche Waldgesellschaft (SCAMONI 1954, SCAMONI 1975, SCHMIDT 1995). Auf den armen grundwasserfernen Sand-Braunpodsolon und auf Dünenaufwehungen gehen die Kiefern-Eichenwälder in Kiefernwälder über (*Vaccinio-*, *Cladonio-*, *Festuco-* und *Corynephero-Pineten*) (GROBER 1998). In den Niederungen findet man überwiegend Birken-Stieleichenwälder (*Molinio-Quercetum*), örtlich auch mit Rotbuche. Je nach Grundwasserstand und Nährstoffangebot wachsen weiterhin, meist kleinräumig, in den Gewässerniederungen Stieleichen-Hainbuchenwälder (*Lathraeo-*, *Stellario-* und *Polytricho-Carpineten*), seltener Erlen-Bruch- (*Carici elongatae-Alnetum*) und Erlen-Eschenwälder (*Pado-Fraxinetum*).

Unmeliorierte vegetationsfeindliche Substrate bleiben meist jahrelang vegetationslos (KATZUR 1998a). Auf vegetationsfreundlichen Kippsubstraten vollzieht sich nach GROBER (1998) zunächst eine natürliche Entwicklung von Birken- und/oder Aspen-Vorwald als Pionierstadium.

4.2.5 Depositionen

Die im Untersuchungsgebiet angesiedelten Großkraftwerke und Industrieanlagen verursachten hohe Fremdstoffeinträge in die Waldökosysteme. Insbesondere SO₂-Abgase, Flugaschen mit hohem Kalkgehalt und durch die Landwirtschaft emittierter Stickstoff dominierten bis 1990 das Depositionsgeschehen (HOFMANN und HEINSDORF 1990, NEUMEISTER et al. 1991). SIMON und WESTENDORFF (1990, 1991) ordnen das Lausitzer Braunkohlenrevier als flugaschebeeinflussten „Schwefel-Typ“ ein (Tab. 3.1) und bestätigen damit den von HOFMANN und HEINSDORF (1990) ausgewiesenen Immissions-Depositionstyp („Schwefel-(Kalk)-Flugaschen-Typ“).

Tab. 3.1: Mittlerer Jahreseintrag der Niederschlagsdepositionen 1985 bis 1989 am Messpunkt Spremberg nach SIMON und WESTENDORFF (1991) (gemessen als Freilandniederschlag [FL] und Kronendurchlass [KD] von Kiefernbeständen in kg/ha*a)

	pH-Wert	H	NH ₄	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Cl	F
FL	4,62	0,16	8,02	8,97	0,05	55,76	32,16	1,16
KD	4,56	0,16	12,23	7,44	0,02	74,02	27,36	1,54
	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Al	Zn
FL	46,64	7,06	4,42	6,16	0,64	0,75	1,23	1,41
KD	65,88	10,62	13,06	6,68	1,82	1,35	2,46	0,82

KALLWEIT (1990) geht für das Gros der Niederlausitz von einem SO₂-Basen-N-Mischtyp (Typ 5) aus. Bis 1989 wurden auf 80 Tha Waldschäden kartiert und zu 67 % dem Schwefel-Kalk-Typ (Flugaschentyp), zu 29 % dem Schwefel-Typ (SO₂) und zu 4 % dem Schwefel-Stickstoff-Typ zugeordnet. Ergebnisse zur aktuellen lokalen Immissionsituation weisen auf folgende Stoffeinträge im untersuchten Areal hin (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Atmosphärische Stoffeinträge im Untersuchungsgebiet nach KNOCHÉ et al. (1998) (gemessen als Bestandesdeposition in Roteichenbeständen in kg/ha*a)

	Ca	K	Mg	Al	Fe	SO ₄ -S	NH ₄ -N	NO ₃ -N
Koyne	5,1	11,9	1,5	0,2	0,5	7,6	7,8	5,6
Domsdorf	6,4	11,1	1,6	0,6	0,7	10,8	6,9	4,9

4.3 Kennzeichnung der Versuchsfelder

Die untersuchten Referenzflächen repräsentieren folgende Kippenkomplexe:

- (1) Domsdorfer Kippe (ehemaliger Tagebau Domsdorf)
- (2) Kippe Tröbitz Nord (ehemaliger Tagebau Tröbitz Ostfeld)
- (3) Kippe Kleinleipisch (ehemaliger Tagebau Kleinleipisch)
- (4) Kippe Annahütte (ehemaliger Tagebau Annahütte-Poley)
- (5) Briesker Hochkippe (ehemaliger Tagebau Meuro-Süd)
- (6) Kleinkoschener Kippe (ehemaliger Tagebau Sedlitz)
- (7) Kippe Laubusch (ehemaliger Tagebau Laubusch/Kortitzmühle incl. Tätzschwitzer Bereich)

Anlage 4 stellt die administrative, geografische und verwaltungsseitige Zuordnung der Referenzflächen, einschließlich Altersangaben, dar. Um altersspezifische Modifikationen zu erkennen, erfolgten Teilaufnahmen auf „Ergänzungsflächen“ (Anlage 4.1). Außerdem wurden Vergleichsbestände auf unverritzten Standorten einbezogen, deren Flächenbezeichnungen mit GB (Gewachsener Boden) beginnen.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1 Kiefernreinbestände

5.1.1 Waldwachstum

5.1.1.1 Dendrometrische Kenndaten

Die untersuchten Kiefernbestände verteilen sich auf die einzelnen Altersstufen (KURTH 1994) wie folgt:

Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl	Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl
20-29 Jahre (IIj)	KL-V1, KL-V2	n = 2	50-59 Jahre (IIIa)	1, 3, 5, 6, 8, 9, 12, 22	n = 8
30-39 Jahre (IIa)	JB-3, JB-4, JB-5	n = 3	60-69 Jahre (IVj)	2, 4, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21	n = 14
40-49 Jahre (IIIj)	JB-1, JB-2	n = 2			

Anlage 5.1 gibt einen Überblick über die wesentlichen dendrometrischen Kenndaten der Kiefern-Referenzflächen (n = 22).

In den 52- bis 69jährigen Referenzbeständen weist der Grundflächenmittelstamm Mediane von $Z_{DG} = 20,5$ cm und $Z_{HG} = 18,6$ m (bezogen auf Schaftholz) und der ASSMANNsche Oberhöhenstamm von $Z_{DG100} = 29,9$ cm und $Z_{HG100} = 20,3$ m auf. Die nahezu identischen Mittel- und Medianwerte der Vorratsangaben ($Z_{VSH} = \emptyset 275,1$ und $Z_{VDH} = \emptyset 264,2$ Vfm/ha) belegen eine weitgehende Normalverteilung der flächenweisen Vorratsdaten (KÖHLER et al. 1995).

Die Stehend-Totholzvorräte betragen bei Schaftholzbezug (VSH_{tot}) $Z = 2,5$ Vfm/ha (MW = 5,3 Vfm/ha) und bei Derbholzbezug (VDH_{tot}) $Z = 2,0$ Vfm/ha (MW = 3,9 Vfm/ha). Bei Stückzahlen von $N_{tot} = 0$ bis 468 Stck/ha liegen Totholzanteile in den mittelalten Referenzbeständen von 0,91 % (Z) bzw. 1,92 % (MW) des Lebend-Schaftholzvorrates und 0,76 % (Z) bzw. 1,47 % (MW) des Lebend-Derbholzvorrates vor.

Nach der Kiefern-Ertragstafel von LEMBCKE et al. (1975) waren relative Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB) von 0,60 bis 4,60 feststellbar (Anlage 5.1). Arithmetischer Mittelwert und Median belegen, dass die Kiefern-Erstaufforstungen des Lausitzer Braunkohlenrevieres überwiegend mindestens zweite Bonitäten erreichen. Bei 15 Referenzflächen (68,2 %) entspricht die Wachstumsleistung einer nullten bis ersten Mittelhöhenbonität. Absolute Mittelhöhenbonität (HM_{100}) und absolute Oberhöhenbonität (HO_{100}) bestätigen die zumeist sehr guten bis hervorragenden Wachstumsleistungen der Kiefernforsten.

Die derbholzbezogenen durchschnittlichen Gesamtzuwächse (DGZ_{100}) der 52- bis 69jährigen Bestände schwanken zwischen 6,13 und 10,12 $m^3/ha*a$ (ohne Nr. 15 und 17). Der derbholzbezogene laufende Jahreszuwachs (LJZD) liegt mit $MW_{LJZD} = 9,2$ bzw. $Z_{LJZD} = 9,7 m^3/ha*a$ über den entsprechenden DGZ-Werten (Anlage 5.1). Er dokumentiert damit die im mittleren Bestandesalter sehr hohen potenziellen Zuwachsleistungen der Kiefer. Der DGZ-Wert lässt auf ein Abflachen der Wuchsleistung im Alter 100 schließen.

Die geringen Variationskoeffizienten des ASSMANNschen Oberhöhenstammes (HG_{100}) und der absoluten Oberhöhenbonität (HO_{100}) (Anlage 5.1) zeigen, dass der Oberhöhenbonitierung die größte rechnerische Stabilität innewohnt. Demgegenüber differiert die relative Mittelhöhenbonität in vermutlich standörtlicher Abhängigkeit stärker.

In die nachfolgenden Betrachtungen werden Bestände junger Altersstufen einbezogen, um Entwicklungstendenzen darstellen zu können (Tab. 4). Die relative Mittelhöhenbonität steigt bei rechnerischem Ausschluss extremer Ausreißer (Flächen GKI JB-4, 15 und 17) von der Altersstufe 20 bis 29 Jahre bis zur Altersstufe 40 bis 49 Jahre um ca. eine Bonität an und fällt bis zur Altersstufe 60 bis 69 Jahre wieder stetig ab. Auch die absoluten Höhenbonitäten zeigen die höchsten Wuchsleistungen am Übergang vom Jung- (40 bis 49 Jahre) zum Mittelaltbestand (50 bis 59 Jahre).

Tab. 4: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM_{100}) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) nach LEMBCKE et al. (1975) in den Altersstufen der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen

	20 - 29 Jahre (IIj)	30 - 39 Jahre (IIa)	40 - 49 Jahre (IIIj)	50 - 59 Jahre (IIIa)	60 - 69 Jahre (IVj)
rel. MHB (Ekl.)	2,15	2,27 (1,55 ¹⁾)	1,10	1,23	2,14 (1,76 ²⁾)
absolute Mittelhöhe (HM_{100})	23,80	23,30 (26,05 ¹⁾)	27,90	27,40	23,81 (25,32 ²⁾)
absolute Oberhöhe (HO_{100})	25,20	25,77 (27,45 ¹⁾)	29,50	28,71	25,49 (26,95 ²⁾)

Anm.: 1) Berechnung ohne JB-4

2) Berechnung ohne Flächen 15 und 17

Analog erreichen der DGZ_{100} und der jährlich Derbholzzuwachs (LJZD) in der Altersstufe IIj mit 6,92 und 6,60 $m^3/ha*a$ den geringsten und in der Altersstufe IIIj mit 9,19 und 11,45 $m^3/ha*a$ den höchsten Wert (Abb. 4). Insgesamt fallen die mittleren DGZ_{100} -Daten der Altersstufen IIj bis IVj mit $\bar{\varnothing} 7,8 m^3/ha*a$ höher aus als die Zuwachsdaten altersäquivalenter Kiefernbestände unverritzter Standorte, die für den Gesamtwald des Landes Brandenburg mit $\bar{\varnothing} 6,6 m^3/ha*a$ (MELF 1995) angegeben werden. Allerdings sind auf den Kippenstandorten keine ertragskund-

lichen Dauerversuche verfügbar. Die DGZ-Werte der Kippenforsten wurden deshalb aus den für unverritzte Waldstandorte entwickelten Ertragsmodellen abgeleitet.

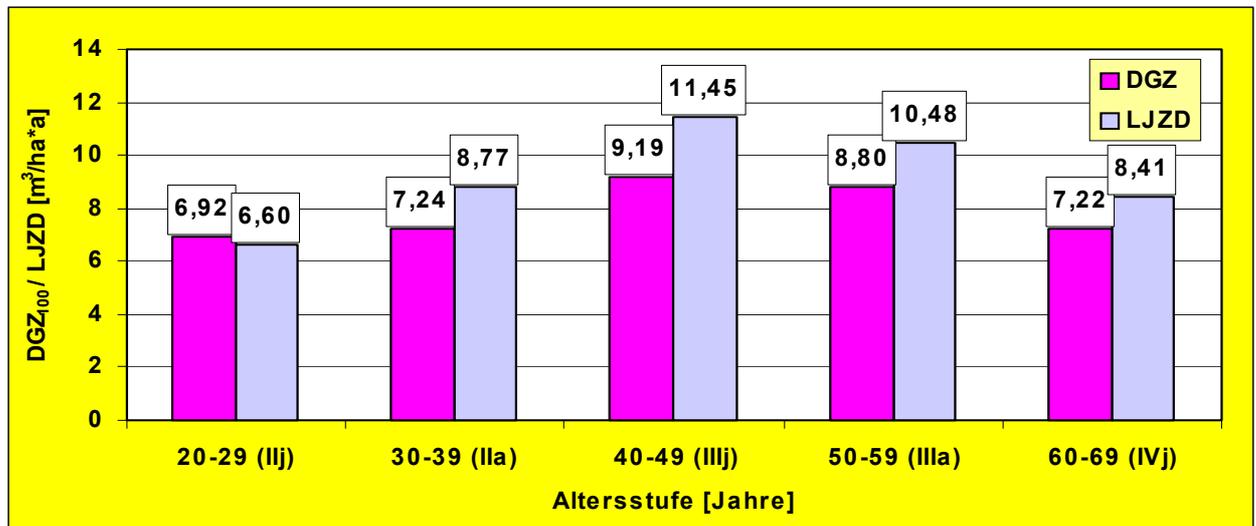


Abb. 4: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der GKI-Reinbestände

Charakteristisch für die vor 20 bis 60 Jahren begründeten Kiefernkulturen sind Pflanzenzahlen von über 16000 Stck/ha. Aufgrund fehlender oder unzureichender Pflegemaßnahmen ergeben sich noch in der Altersstufe 20 bis 29 Jahre Derbholz-Pflanzenzahlen von 3150 Stck/ha (Abb. 5). Die mittlere Schaffholz- und damit Gesamtstammzahl der ≤ 29 jährigen Kiefernbestände beträgt sogar 10120 Stck/ha (Anlage 5.1.1). Die Pflanzenzahlen und Volumenschlussgrade nehmen von der Altersstufe IIa zur Altersstufe IVj kontinuierlich ab.

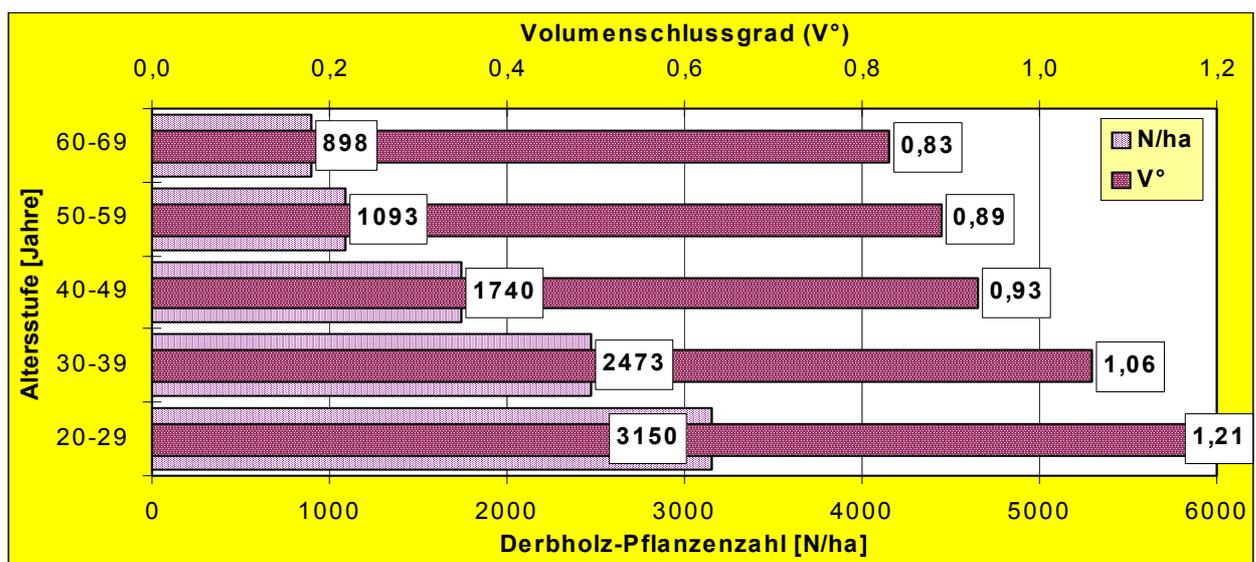


Abb. 5: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzenzahlen (N) in den Altersstufen der GKI-Reinbestände (ohne Flächen 15 und 17)

An den raschen Anstieg der Grundflächenwerte von der Altersstufe 20 bis 29 Jahre ($18,6 \text{ m}^2/\text{ha}$) bis zur Altersstufe 50 bis 59 Jahre ($33,0 \text{ m}^2/\text{ha}$) schließt sich, bedingt durch Pflegeeingriffe, eine Verringerung um $8,2 \%$ in der Altersstufe 60 bis 69 Jahre an (Abb. 6).

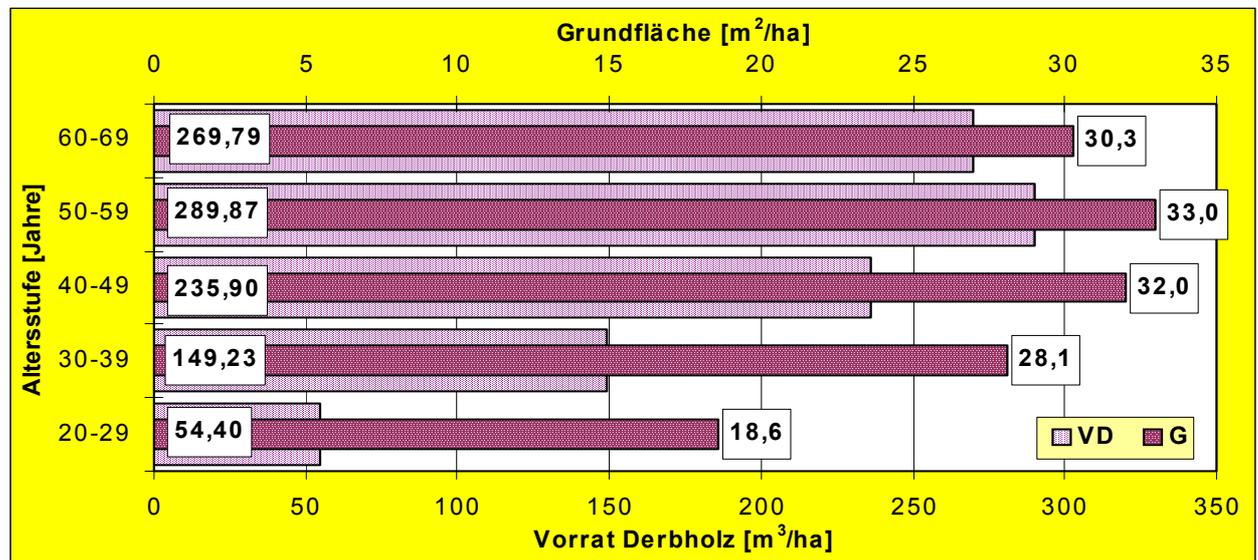


Abb. 6: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der GKI-Reinbestände (ohne Flächen 15 und 17)

Die Derbholzvorräte nehmen bis zur Altersstufe 50 bis 59 Jahre rasant zu (Abb. 6) und erreichen im Einzelfall Spitzenwerte von $343,8$ (Fläche 9) und $334,1$ Vfm/ha (Fläche 1). Analog verläuft die Entwicklung der Schaftholzvorräte. Sie betragen in den Altersstufen IIj = $138,4$; IIa = $182,4$; IIIj = $252,1$ und IIIa = $297,9$ Vfm/ha.

Die durchschnittlichen Hektarvorräte der Kiefernbestände des Landes Brandenburg betragen ca. 200 Vfm/ha (MELF 1995). Auf den Kippenstandorten des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres sind in den Kiefern-Erstaufforstungen bereits in der Altersstufe IIIj Derbholzvorräte von durchschnittlich $235,9$ Vfm/ha zu verzeichnen. Die vergleichsweise hohen Volumenleistungen der Kiefern-Kippenforsten sind zum einen auf das hohe standörtliche Leistungspotenzial und zum anderen auf Überbestockungen zurückzuführen.

Der brandenburgische Landeswaldbericht (MELF 1995) weist für die Kiefer auf gewachsenen Böden eine Durchschnittsbonität (MHB) von $1,9$ (Stichtag: 01.01.1995) aus. Im Bereich des Amtes für Forstwirtschaft (AfF) Doberlug-Kirchhain wird für die Kiefer eine durchschnittliche Mittelhöhenbonität von $2,4$ angegeben. Demnach verfügen die Kippenstandorte im Wuchsgebiet „Düben-Niederlausitzer Altmoränenland“ zumeist über ein höheres aktuelles Leistungspotenzial als die unverritzten altdiluvialen Waldstandorte. Die zumeist guten bis hervorragenden Wuchsleistungen der Kiefern-Kippenforsten bestätigen Ergebnisse von KATZUR et al. (1995, 1999b).

5.1.1.2 Stammscheibenanalysen

Die Stammscheibenanalyse dient der Rekonstruktion der Höhenentwicklung von Einzelbäumen oder Waldbeständen, da das Höhenwachstum als integrale Größe alle wesentlichen bonitätsbeeinflussenden Standortsfaktoren reflektiert. Das Höhenwachstum wird im Unterschied zur Durchmesserentwicklung nur geringfügig von der Wahl des Pflanzverbandes, den Erziehungs- und Pflegeeingriffen oder sonstigen Maßnahmen waldbaulicher Strukturlenkung beeinflusst. Es dient somit als ertragskundlicher Indikator für die standörtliche Leistungsfähigkeit.

Der ermittelte Höhenwachstumsverlauf orientiert sich an der Oberhöhenbonitur, da die Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Stämme je ha (HG100) in der Regel keiner rechnerischen Verschiebung unterliegt (WENK et al. 1990). Sie ist im Vergleich zur Mittelhöhe als standörtlicher Leistungsweiser besser geeignet und kann technisch unkompliziert ermittelt werden (KRAMER 1988, LOCKOW 1996). In den Anlagen 6.1 und 6.2 wird der Wuchsgang ausgewählter Kiefernflächen der Kippenkomplexe Tröbitz Nord (n = 3), Domsdorf (n = 5), Brieske (n = 3) und Kleinkoschen (n = 2) dargestellt. Die Höhenwachstumskurve in Abb. 7 weist einen kippenspezifischen Wuchsgang auf, der durch drei Entwicklungsphasen charakterisiert ist.

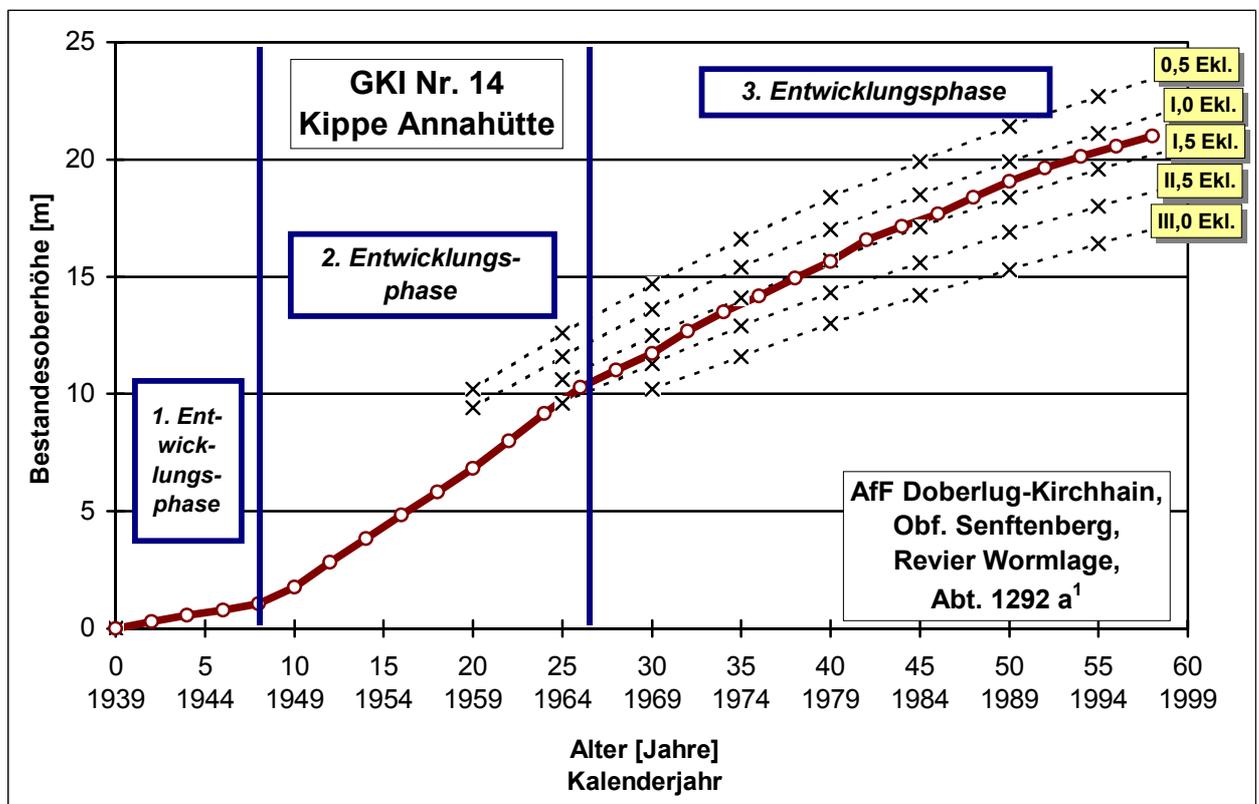


Abb. 7: Darstellung kippenspezifischer Wuchsphasen der Baumart Gemeine Kiefer am Beispiel des Höhenwachstumsverlaufes eines 59jährigen Kiefernreinbestandes (GKI 14, Kippe Annahütte) auf Kipp-Sand (S-Kp; Ss/mSgs bzw. oj-(k)ss)

In der ersten Entwicklungsphase haben die Kiefern-Erstaufforstungen bis zum Alter von 8 (teilweise 15) Jahren deutlich geringere Wuchsleistungen. Das depressive Wachstum der Anwuchsphase ist ursächlich auf die ungünstigen pedogenen Charakteristika der Kippenstandorte wie geringe bodenbiologische Aktivität, stark wechselnde Acidität in den grundmeliorierten Kippenböden, Armut an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, Gefügelabilität und Mangel an Auflagehumus zurückzuführen. Außerdem erschweren die extremen mikroklimatischen Verhältnisse, der ungünstige Bodenwasserhaushalt sowie Wind- und Wassererosion das Anwachsen der Kiefernkulturen. Weitere relevante Einflussfaktoren sind die Vorsommertrockenheit im Mai-Juni und der Faktor „Wild“. Entscheidend ist offenbar die pedogenetische Situation und somit der geringe Entwicklungsstand des Bodens.

In der zweiten Entwicklungsphase werden die erwähnten Startschwierigkeiten überwunden und die ökosystemaren Stoffkreisläufe initiiert. Mit der Etablierung des Standortes setzt eine progressive Entwicklung des Bestandeshöhenwachstums ein. Zumeist werden Leistungssteigerungen von mehr als einer Ertragsklasse realisiert. Im Alter von 20 bis 30 Jahren klingt das progressive Wachstum ab. Aufgrund des Wuchsverhaltens kann von einer Erhöhung des Angebotes an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und von einer Stabilisierung der Forstökosysteme ausgegangen werden. In diesem Zusammenhang sind bodenbiologische Prozesse, der Humusaufbau und die Mineralisierung der organischen Substanz von besonderer Bedeutung. Begrenzend auf den Anstieg des Höhenwachstums hinsichtlich Progressivität und Dauer wirken in der zweiten Entwicklungsphase der Kiefern-Erstaufforstungen vermutlich Standortgüte, Bodenart und Bodengefüge. Bodenart und -gefüge sind wegen ihres Einflusses auf den Bodenwasserhaushalt (nFk) bedeutsam.

Die dritte Entwicklungsphase ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die Höhenentwicklung der Kiefernreinbestände auf den Kippenstandorten an die in der Ertragstafel (LEMBCKE et al. 1975) modellierte Höhenzuwachsentwicklung der Kiefernbestände auf den unverritzten Waldstandorten eng anlehnt. Dieses Ergebnis ist aus zwei Gründen von Bedeutung. Zum einen beweist es, dass die Kippen-Erstaufforstungen ab einem Alter von etwa 25 bis 30 Jahren eine „ertragstafelgerechte“ Höhenzuwachsentwicklung vollziehen. Damit ist die von LEMBCKE et al. (1975) aufgestellte Kiefern-ertragstafel auch für Kiefern-Kippenforsten bis zum Alter von 70 Jahren gültig. Zum anderen belegt der Verlauf der dritten Wuchsphase, dass sich die Kippenstandorte nach einer Rekultivierungszeitdauer von ca. 30 Jahren zu produktiven, den gewachsenen Böden funktional ebenbürtigen Waldstandorten entwickelt haben. SCHWABE (1970) beobachtete an über 40jährigen Kiefernbeständen auf Kippenstandorten deutliche Zuwachsrückgänge. Er vermutete,

dass dies eine Besonderheit der Kippen-Erstaufforstungen wäre. Spätere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass der Zuwachsrückgang voraussichtlich auf die damalige Immissionssituation zurückzuführen war, denn ab 1990 stiegen die Höhenzuwächse wieder an (KATZUR et al. 1995).

Die analysierten Bestände 18 und 19 (Anlage 6.2) zeigen am Übergang der Phase 2 zur Phase 3 im Alter von ca. 35 Jahren einen deutlichen Bonitätsabfall, der auf Anfang der 60er Jahre zu datieren ist. Ab Alter 50 stabilisiert sich der Wuchsgang auf verringertem Niveau. Beide Kiefern-Erstaufforstungen liegen auf der Briesker Hochkippe, in damals stark depositionsbeeinflusster Lage (Kap. 5.4.1.1). Der Bonitätsabfall wird deshalb auf die depositionsinduzierten Störungen in der Etablierungsphase der Stoffflüsse zurückgeführt.

Zum Vergleich wurde das Höhenzuwachsverhalten eines GKI-Bestandes auf unverritztem Standort (GB-SW) analysiert (Abb. 8). Der Bestand befindet sich im Wuchsgebiet der untersuchten Kippenforsten („Düben-Niederlausitzer-Altmoränenland“) und unterlag analogen klimatischen und depositionspezifischen Verhältnissen.

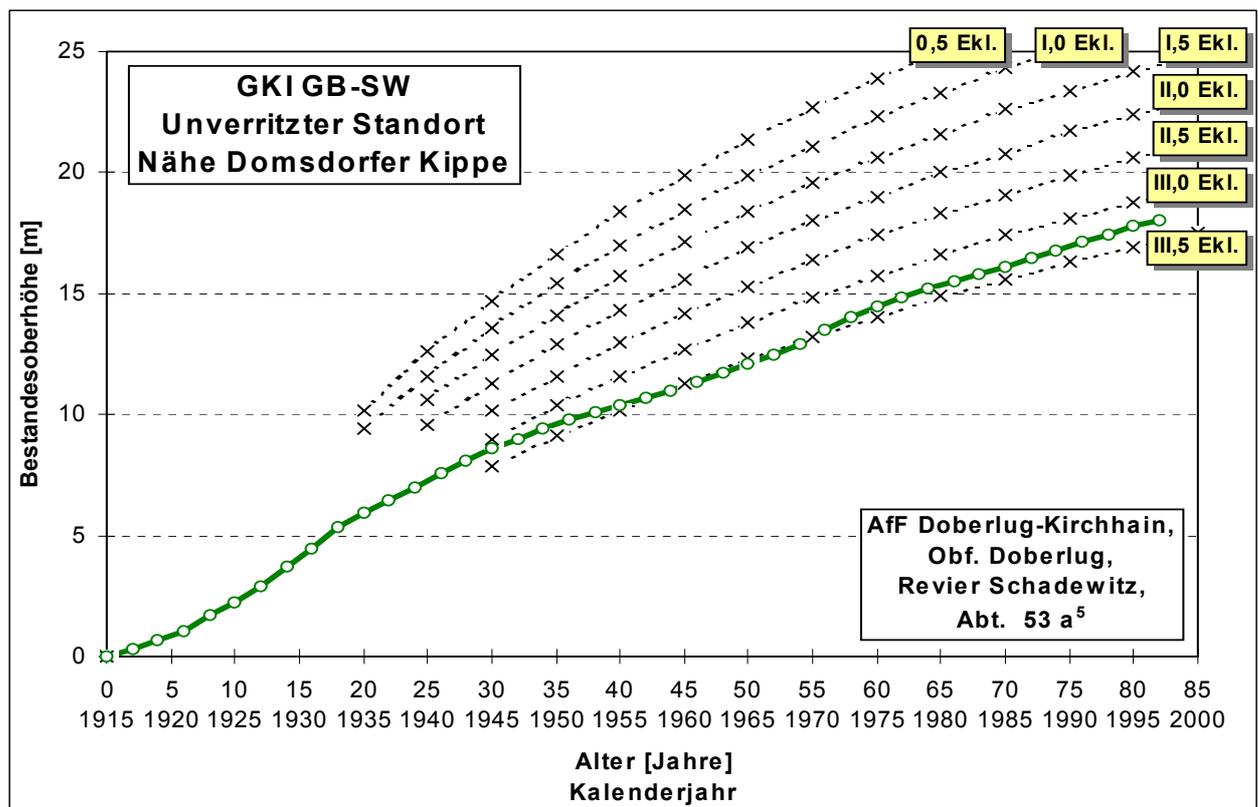


Abb. 8: Höhenwachstumsverlauf des 80jährigen GKI-Vergleichsbestandes GB-SW (unverritzter Alt-Waldstandort Nähe Domsdorfer Kippe) auf Podsol-Braunerde (A2m)

GB-SW weist in den letzten 50 Jahren nur geringe Schwankungen im Höhenzuwachs auf. Ein Vergleich der Alters-Höhen-Beziehungen im Bestandesalter von 30 (1945) und 45 (1960) Jah-

ren sowie 55 (1970) und 82 (1997) Jahren ergibt im Kurvenverlauf Abweichungen von weniger als einer halben Oberhöhenbonität. Im zuerst genannten Zeitabschnitt liegt ein Bonitätsabfall und im zweiten ein Bonitätsanstieg vor. Der Bonitätsanstieg nach 1970 ist offenbar auf die Stilllegung bedeutender Emittenten (vor allem Brikettfabriken) im Nahbereich des östlich davon gelegenen Vergleichsbestandes zurückzuführen. Höhenzuwachs und Bonitätsniveau der Fläche GB-SW liegen insgesamt unter den Leistungsdaten der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen.

5.1.1.3 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten

Die Gruppierung der relativen Mittelhöhenbonitäten nach der Bodenart zeigt innerhalb der Bodenartenuntergruppe „reiner Sand“ (Ss-mS, -mSgs, -gSms) keine eindeutige Differenzierung und lässt keine klare Überlegenheit der Lehmsande und Sandlehme erkennen (Abb. 9). Auf den schwach lehmigen Sanden liegen die relativen Mittelhöhenbonitäten mit $\bar{\varnothing}$ 1,6 im Streuungsbereich der Reinsande. Aufgrund des kippenspezifischen Wachstumsverlaufes (Kap. 5.1.1.2) weisen auf Lehmsand die beiden 23jährigen Kiefernbestände die geringsten Ertragsleistungen auf.

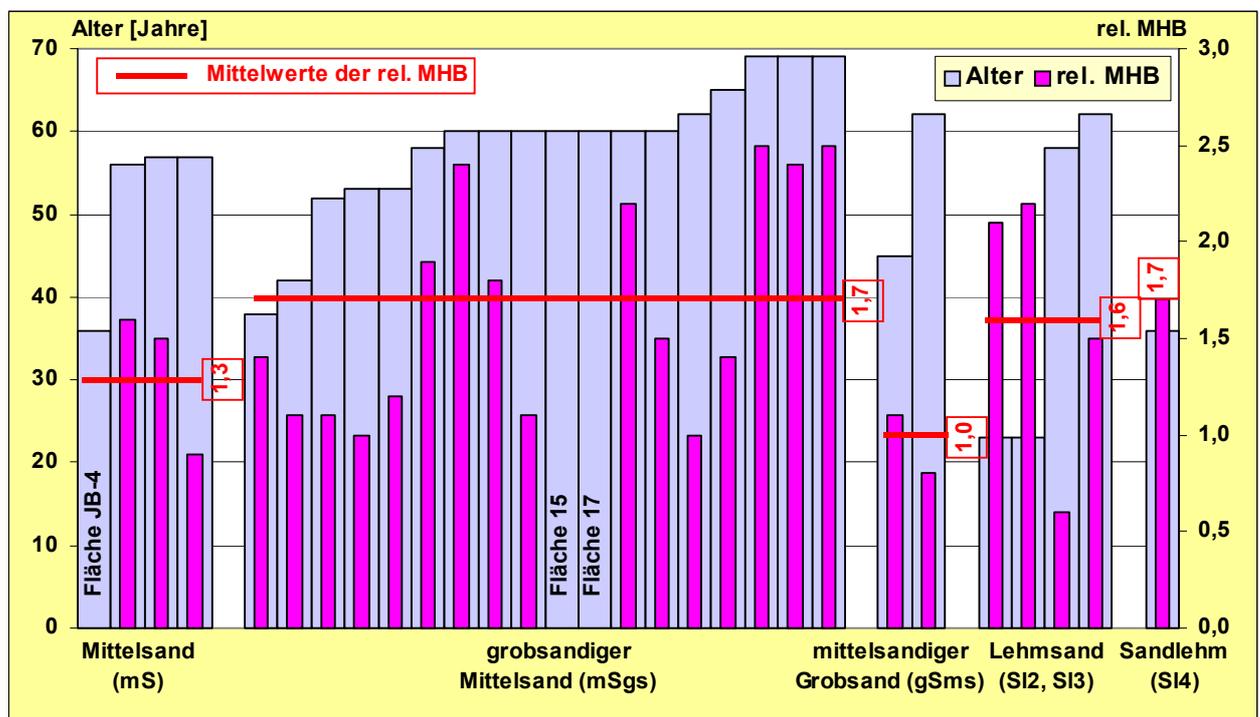


Abb. 9: Relative Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB) der Kiefern-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart

Das durchschnittliche Alter der untersuchten Kiefernbestände ist auf den Reinsandflächen mit mS = 57 Jahre (n = 3), mSgs = 58 Jahre (n = 16) und gSms = 54 Jahre (n = 2) wenig differenziert. Da auch die Bonitätsunterschiede zwischen den Bodenarten mS, mSgs und gSms gering

sind, sollten sie zu einer Lokalbodenform (mS-Kp = S-Kp) zusammengefasst werden (WÜNSCHE et al. 1981). Die Kiefernreinbestände auf mittelsandigem Grobsand (gSms) erreichen eine \emptyset rel. MHB von 0,95. Diese Bestände stocken auf feldspatreichen Sanden der Raunoer Schichtenfolge, die im Bereich der Oberflöztagebaue vielfach oberflächlich abgelagert wurden. Aufgrund der geringen Anzahl von Wiederholungen ($n = 2$) und der deutlichen Altersdifferenzen (42 und 65 Jahre) ist den mittelsandigen Grobsanden jedoch nicht zwangsläufig ein höheres Leistungspotenzial zuzuerkennen.

Abb. 10 bestätigt, dass der Schluff- und Tonanteil in den Kippsubstraten der Kiefern-Versuchsflächen keinen Einfluss auf die Wuchsleistung hat. Die Flächen GKI 15 und 17 (beide Briesker Hochkippe) unterlagen extremen Fremdstoffeinträgen und weisen, ebenso wie GKI JB-4, eine besonders unzureichende Nährstoff- und Wasserversorgung sowie erhebliche Durchforstungsrückstände auf. Die geringe Wuchsleistung dieser Bestände ist daher plausibel.

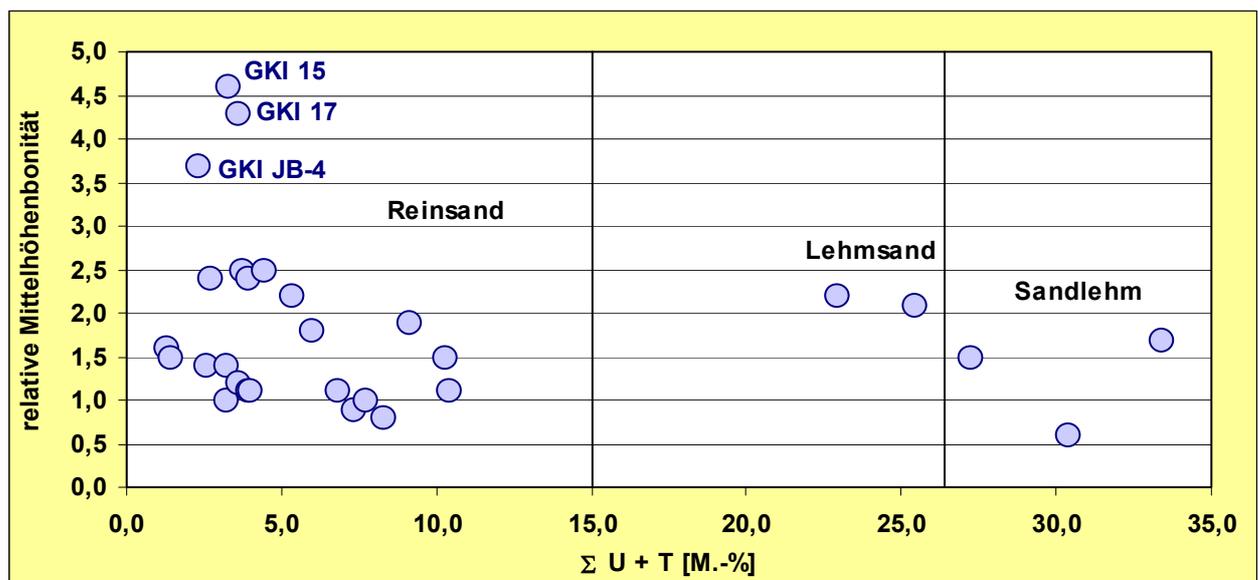


Abb. 10: Zuordnung der relativen Mittelhöhenbonitäten zu den Schluff-Ton-Summen der Kippsubstrate in den Kiefern-Erstaufforstungen

Bei Gruppierung der kohlefreien bis -führenden Reinsand-Flächen ($C_t \leq 2,0$ M.-%, WÜNSCHE et al. 1981) deutet sich ein schwach tendenzieller Zusammenhang zwischen dem prognostizierten DGZ_{100} der Kiefernbestände und dem C_t -Gehalt an (Abb. 11). Die Erhöhung des C_t -Gehaltes von 0,20 M.-% auf 0,50 M.-% geht mit einer DGZ -Steigerung von $0,61 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ einher. Bei $C_t = 1,0$ M.-% sind $1,63 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ an Mehrzuwachs zu verzeichnen. Dies bedeutet bei Umtriebszeiten von 100 Jahren eine Erhöhung der Massenleistung von $163 \text{ m}^3/\text{ha}$. Die Gruppierung der Reinsand-Flächen nach C_t -Stufen ergibt folgende DGZ -Mittelwerte:

➤ bis $C_t < 0,5$ M.-%:	$\varnothing 7,20 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$	(n = 13)	● ↓
➤ C_t 0,5 bis 1,0 M.-%:	$\varnothing 8,05 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$	(n = 8)	
➤ $C_t > 1,0$ M.-%:	$\varnothing 9,08 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$	(n = 3)	

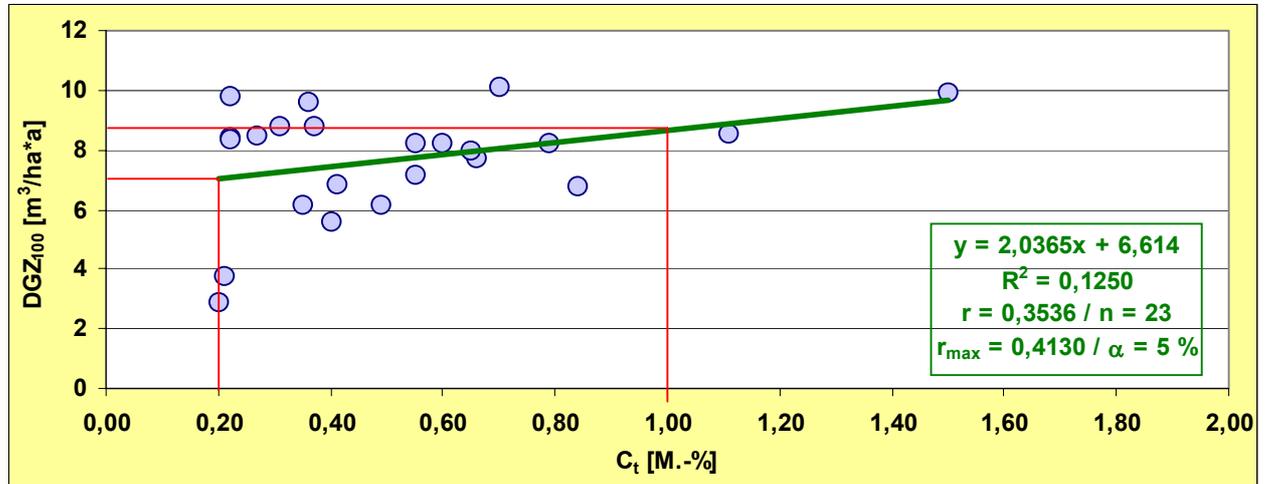


Abb. 11: Beziehung zwischen dem DGZ_{100} und dem C_t -Gehalt der Kippenböden bei der Bodenartengruppe „Reinsand“ (C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe) in den Kiefern-Erstaufforstungen

Nach KATZUR und ZEITZ (1985) sowie KATZUR et al. (1999a) verbessern die reaktiven kohligen Bestandteile der (tertiären) Abraumsstrate den Wasserhaushalt und die Pufferungsreaktionen der Kippenböden. Außerdem werden aus ihrem Verband durch oxidative Ammonolyse und Austauschprozesse beträchtliche N-Mengen freigesetzt (KATZUR und LIEBNER 1995a+b, 1996).

Die Abb. 12.1 und 12.2 stellen die substratspezifische Massenertragsleistung der Kiefern-Referenz- und Ergänzungsflächen (n = 29) in Abhängigkeit vom geologischen Alter dar. Da die beiden Ertragsweiser „ DGZ_{100} “ und „rel. MHB“ altersspezifischen Schwankungen unterliegen, wurden die untersuchten Bestände nach zwei Altersbereichen (< 50 und > 50 Jahre) gruppiert. Der Substratflächentyp „Gemengelagerung“ ist durch innige Materialvermischung oder durch Überlagerung von zumeist 40 bis 60 cm mächtigen tertiären Substratschichten über quartärem Material gekennzeichnet.

Es zeigt sich, dass die älteren Bestände im Durchschnitt der Substratflächentypen bessere Bonitäten und höhere DGZ -Werte als die jüngeren Bestände aufweisen. Weiterhin werden auf den zu 60 bis 100 % aus quartären Abraumsstraten (überwiegend Reinsand) bestehenden Bodendecken durchschnittlich geringere Ertragsleistungen und schlechtere Mittelhöhenbonitäten erzielt als auf den zu 60 bis 100 % aus tertiärem Abraummaterial bestehenden Bodendecken. Dies bestätigt die Positiveffekte der C_t -Anteile in Bezug auf die Massenleistung, wenn eine Grundmelioration durchgeführt wurde.

Auf den gemenge- und schichtstrukturierten Substratflächentypen sind die besten Wuchs- und höchsten Ertragsleistungen nachweisbar. Bei Substratschichtung (Überlagerung) entsteht an den Schichtübergängen ein Sickerwasserstau, so dass für die Pflanzen vorübergehend eine größere Wassermenge verfügbar ist (KATZUR und LIEBNER 1995a+b) und ein Leistungsschub induziert wird. Demgegenüber verknüpfen die Gemenge-Kippbodenformen offenbar die günstigen physikalischen Eigenschaften der Quartärsubstrate (relativ hohe Schluff- und Tonanteile) mit den positiven Effekten kohligter Beimengungen in den Tertiärsubstraten (höhere KAK_{pot} , Wasserspeicherung und N-Freisetzung).

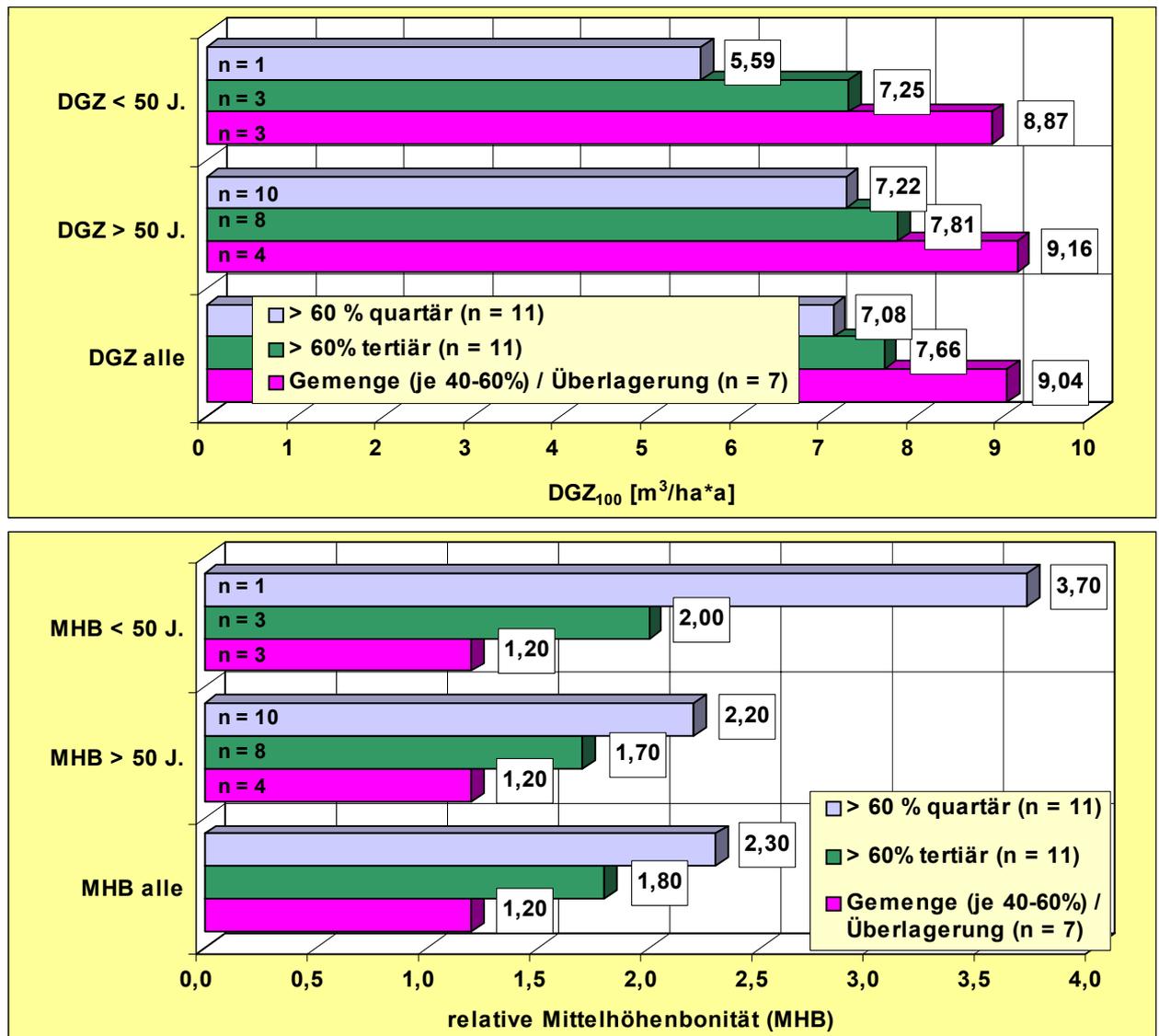


Abb. 12.1 und 12.2: Mittlere DGZ₁₀₀-Werte und durchschnittliche Mittelhöhenbonitäten auf verschiedenen Kippsubstrat-Flächentypen

5.1.1.4 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Meliorationstiefe

Die Grundmelioration der tertiären und anteilig tertiären Kippsubstrate erfolgte durch Verwendung basenreicher Braunkohlenaschen oder Düngelkalle. Sie werden vor der Aufforstung in einer dem Säurepotenzial der schwefelhaltigen Substrate angepassten Menge (ILLNER und KATZUR 1964a+b, KATZUR 1998a) zusammen mit NPK-Mineraldüngern gleichmäßig in den oberen Substratbereich eingearbeitet.

Um den Einfluss der bodentiefendifferenzierten Grundmelioration auf das Waldwachstum quantifizieren zu können, wurde 1974 von KATZUR auf der Absetzerkippe AS 987 des Tagebaues Kleinleipisch ein zweifaktoreller forstlicher Rekultivierungsversuch angelegt (KATZUR und HEISKE 1974). Abb. 13 beschreibt die Wachstumsverläufe der beiden Kiefern-Jungbestände auf 60 cm (Variante 1; KL-V1) und 100 cm (Variante 2; KL-V2) tief meliorierten Teilflächen. Beide Bestände stocken auf nahezu identischen Kippsubstraten (oj-(x)uls; SI2).

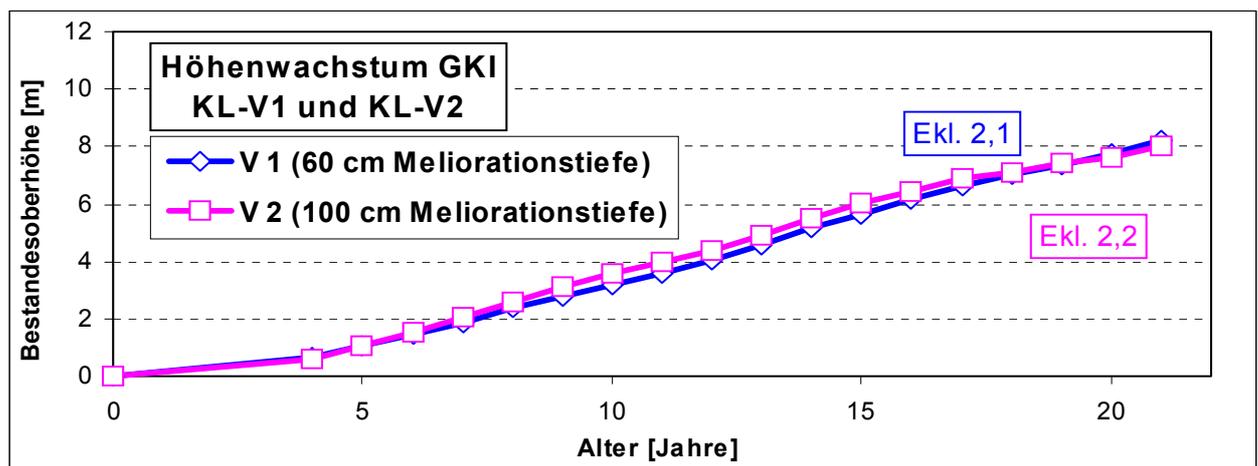


Abb. 13: Wachstumsverlauf der Kiefern-Jungbestände KL-V1 (60 cm Meliorationstiefe) und KL-V2 (100 cm Meliorationstiefe)

Der Vergleich zwischen der Bestandesoberhöhenentwicklung der Parzellen KL-V1 und KL-V2 zeigt, dass beide Kippen-Erstaufforstungen einen fast analogen Wuchsverlauf aufweisen und im bisherigen Wachstumsverlauf der ersten und zweiten kippenspezifischen Wuchsphase entsprechen (Kap. 5.1.1.2). Bis zum Alter von 4 Jahren sind die Höhenzuwächse sehr gering. Danach steigt die Höhenkurve bis zum Alter von 17 Jahren an, bei V2 stärker als bei V1. Ab Alter 18 bleibt das Höhenwachstum bei V2 etwas zurück. Die Vertiefung des Meliorationshorizontes bewirkte bis zum Zeitpunkt der Probebaumfällung keine Steigerung des Höhenwachstums. Aus wachstumskundlicher Sicht kann deshalb für die forstliche Rekultivierung der kohle- und schwefelhaltigen Kippenböden mit der Baumart Kiefer eine Meliorationstiefe von 60 cm empfohlen werden (KATZUR et al. 1998b, 1999a). Vertiefungen des Meliorationshorizontes auf 100 cm führen nicht zur Steigerung des standörtlichen Ertragspotenzials.

5.1.2 Nährstoffversorgung

Die Darstellungen und Auswertungen zur Pflanzenernährung umfassen 12 mittelalte Kiefernbestände (MAB) und weitere 7 Jungbestände (JB), um altersspezifische Unterschiede herausarbeiten zu können. Außerdem wurde ein 80jähriger Vergleichsbestand auf unverritztem Standort einbezogen (GB-SW).

Auswertung und Interpretation der Daten orientieren sich an Arbeiten von WEHRMANN (1959), FIEDLER und HÖHNE (1984), HOFMANN und KRAUSS (1988), HOFMANN und HEINSDORF (1990) sowie HEINSDORF (1994, 1999). Die von HOFMANN und KRAUSS (1988) erarbeiteten Ernährungsstufen für die Baumart Kiefer wurden als Bezugsgröße verwendet. Hiernach sind die Elementgehalte der Ernährungsstufen wie folgt klassifiziert (außer Schwefel):

- | | |
|-----------------|--|
| <i>Stufe 1:</i> | <i>Mangelzustand, Elementgehalt liegt erheblich unter dem artspezifischen Optimalwert;</i> |
| <i>Stufe 2:</i> | <i>Unterversorgung, Elementgehalt liegt unter dem Optimalwert, ohne dass akuter Mangel auftritt;</i> |
| <i>Stufe 3:</i> | <i>Normal- bzw. Optimalversorgung des Bestandes;</i> |
| <i>Stufe 4:</i> | <i>Luxus- bzw. Überversorgung des Bestandes, ohne dass phytotoxische Effekte auftreten;</i> |
| <i>Stufe 5:</i> | <i>Extreme, meist anthropogen verursachte Elementbelastung, die bei anhaltendem Eintrag physiologische oder gar phytotoxische Folgen verursacht.</i> |

FIEDLER (1988), HEINSDORF (1988) sowie HOFMANN und HEINSDORF (1990) weisen darauf hin, dass wichtige Elemente wie Stickstoff und Schwefel in den Stufen 4 und 5 eine hohe technogene Belastung indizieren können, die mit deutlichen Beeinträchtigungen der Vitalität und Stabilität einhergeht. Demgegenüber verursachen über dem Optimum liegende Kalium- und Calciumwerte „...kaum akute Ökosystemsäden.“

Bei der Interpretation der Nadelspiegelwerte ist zu berücksichtigen, dass es sich um einmalige Aufnahmen handelt. Nach BERGMANN (1986) sowie HEINSDORF und TÖLLE (1991) ist mit jährlichen Schwankungen der Analyseergebnisse zu rechnen, die vor allem mit den Niederschlagsverhältnissen in der Vegetationsperiode sowie Art und Verteilung des Depositionsgeschehens korrespondieren. Der Aussagewert resultiert somit aus der Höhe der Versorgungsdaten und aus dem direkten Flächenvergleich der jeweiligen Nährstoffgehalte.

5.1.2.1 Stickstoff

Die mittelalten Kiefernbestände sind mit Stickstoff optimal ernährt oder gering überversorgt (Abb. 14 und 15.1). Auch die Mehrzahl der Jungbestände weist eine N-Normalversorgung auf. Der Vergleichsbestand (GB-SW: Podsol-Braunerde, A2m) weicht nur sehr gering vom Optimalbereich ab ($N_t = 1,56\%$).

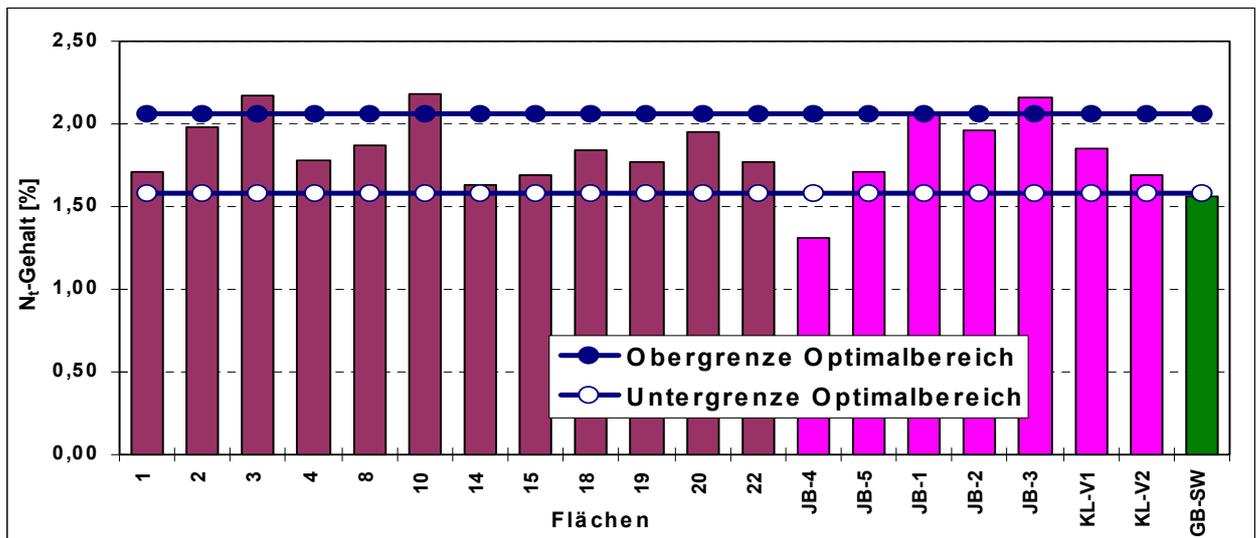


Abb. 14: N_t -Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

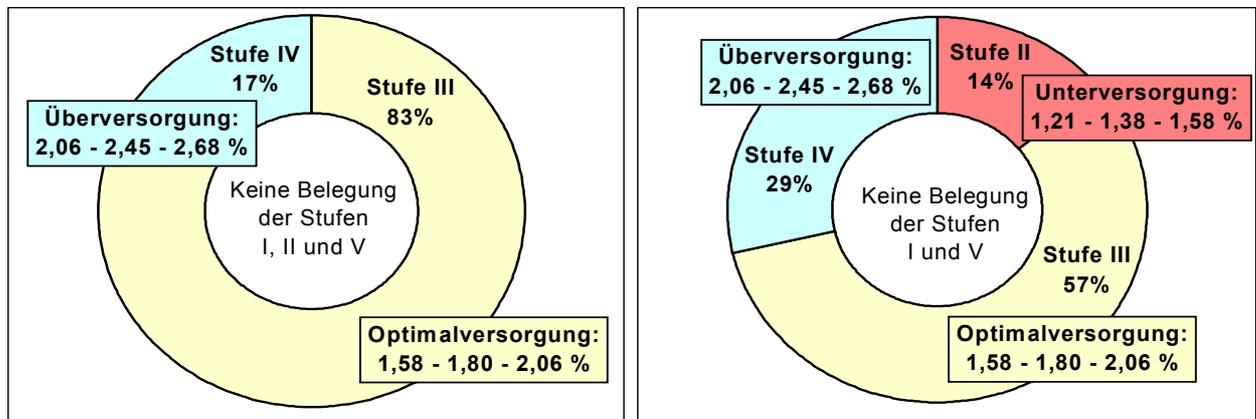


Abb. 15.1 und 15.2: Klassifizierung der N-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Die mittleren N-Gehalte der Nadeln betragen bei den mittelalten Beständen 1,86 % und bei den Jungbeständen 1,82 % (Anlage 7). Sie zeigen somit eine ausreichende N-Versorgung und eine geringe atmogene N-Belastung an (HOFMANN und HEINSDORF 1990).

Nach HOFMANN und KRAUSS (1988) liegt der optimale Bereich der Stickstoffversorgung bei 1,58 bis 2,06 %. HOFMANN et al. (1990) und HÜTTL (1986, 1991) sehen in N-Gehalten von 1,6 bis 1,8 % den Bereich optimaler Versorgung. TÖLLE (1969) ermittelte auf Standorten mit mittlere-

rer bis kräftiger Trophie optimale Zuwachseleistungen der Kiefer bei einem N-Gehalt von 1,8 %. KRAUSS (1963) und HEINSDORF (1964) gehen davon aus, dass bei der Kiefer hohe Wuchseleistungen nur dann vorliegen, wenn die N-Gehalte der Nadeln 1,5 % nicht wesentlich unterschreiten. Schließlich bezeichnen HOFMANN et al. (1990) die Spiegelwertspanne bis 1,8 % N als „Anreicherungsphase“ und N-Nadelgehalte von ca. 1,8 % als natürliche Oberschwelle der N-Ernährung. N-Gehalte zwischen 1,80 % und 2,35 % liegen in der durch Maximalzuwächse charakterisierten „Sättigungsphase“ und N-Spiegelwerte von über 2,35 % charakterisieren die „Schädigungs- oder Auflösungsphase“ (HOFMANN 1995). KRAUSS et al. (1986) bewerten N-Nadelgehalte über 2,36 % als schädigend.

5.1.2.2 Phosphor

Da die Phosphoraufnahme aus der Atmosphäre praktisch keine Rolle spielt, stehen die P-Gehalte der Assimilationsorgane in einer engen Beziehung zu den Bodenvorräten an pflanzenverfügbarem Phosphor. HEINSDORF (1982) bezeichnet die Phosphorversorgung als wichtigen Ernährungsfaktor der Kiefernbestände auf den Lausitzer Kippen und hebt den extremen P-Mangel junger Kippenforsten hervor. FREESE (1988), FREESE et al. (1989) und VETTERLEIN et al. (1999) weisen auf die stabile Fixierung des Phosphors in kohlehaltigen Substraten und die aus der verringerten Pflanzenverfügbarkeit resultierende Limitierung des Pflanzenwachstums in der Initialphase hin. So können auch bei ausreichender pedogener P-Ausstattung Mangelerscheinungen auftreten (THOMASIUŠ et al. 1996). Im Unterschied zu Ca, Mg oder K ist der Phosphor im Boden wenig mobil und schwer löslich.

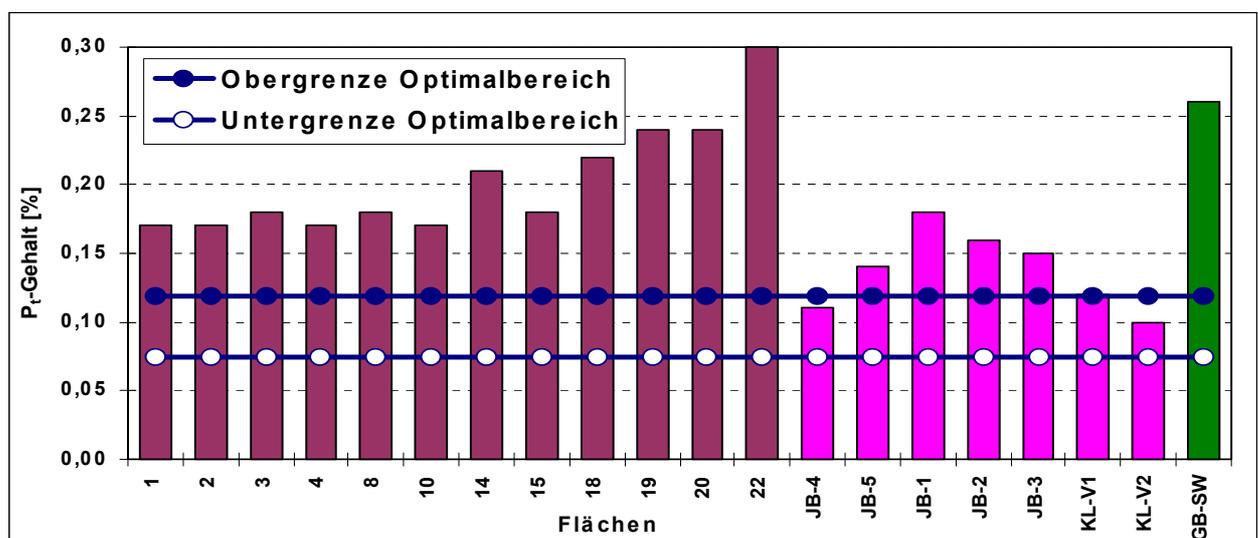


Abb. 16: P_i-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

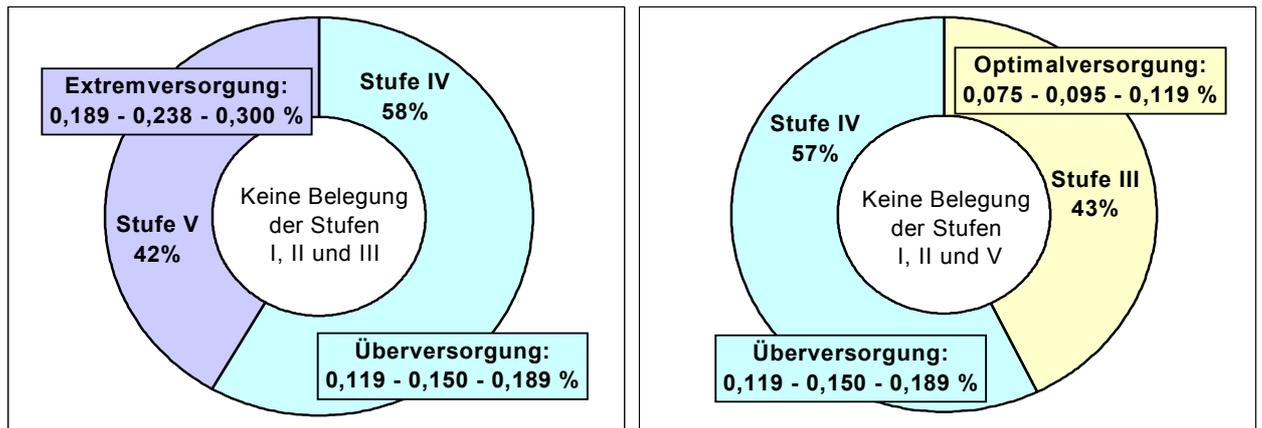


Abb. 17.1 und 17.2: Klassifizierung der P-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Die mittelalten Kiefernbestände sind luxus- bis extremversorgt (Abb. 16 und 17.1). Auf der Fläche 22 erreicht die Versorgung mit 0,30 % P sogar die Obergrenze extremer P-Belastung. TÖLLE (1970) hebt hervor, dass sich der P-Gesamtgehalt im Boden primär aus mineralischen und sekundär aus organischen Bestandteilen zusammensetzt. Aufgrund der „Unverbrauchtheit“ der relativ frisch verkippten, unverwitterten Substrate und der nunmehr einsetzenden, durch Säureangriff verstärkten Verwitterung erscheint der hohe Mittelwert von 0,20 % P auf den Referenzflächen plausibel (Anlage 7). Die Jungbestände befinden sich im Bereich der Versorgungsstufen III und IV. Der arithmetische Mittelwert liegt mit 0,14 % deutlich unter dem Wert der 52- bis 69jährigen Referenzbestände (Anlage 7).

Da die Variationskoeffizienten nahezu identisch sind ($cv\%_{MAB} = 20,2$; $cv\%_{JB} = 20,9$), ist die Zunahme der P-Gehalte in den mittelalten Beständen nicht durch rechnerische Einbeziehung von Ausreißern bedingt, sondern signalisiert eine Altersspezifik (Abb. 18).

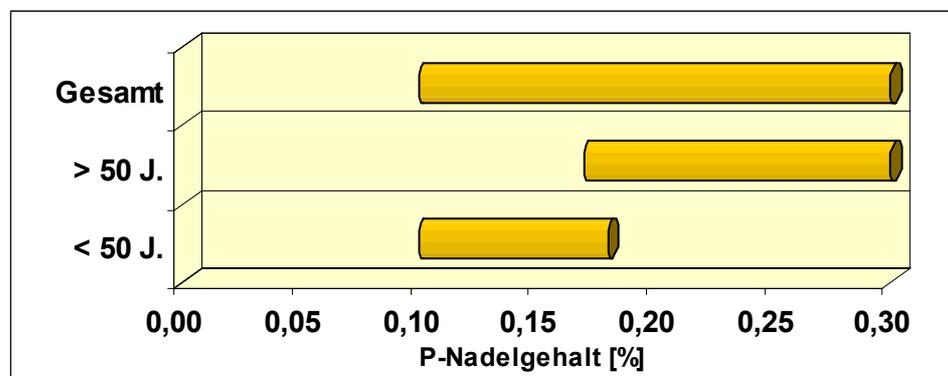


Abb. 18: P-Spannen in den Altersgruppen > 50 und < 50 Jahre

Die hohen P-Spiegelwerte der älteren Kiefernbestände lassen eine Etablierung ökosystemarer Stoffflüsse vermuten, da der pflanzenverfügbare Phosphorpool durch die Streuzersetzung mit zunehmendem Bestandesalter erhöht wird. Weiterhin stocken die Jungbestände zumeist auf C₁-

reicheren Substraten als die mittelalten Kiefern (Kap. 5.4.2.1), so dass hier der Phosphor stabiler fixiert und schwerer verfügbar ist. Die von HEINSDORF (1981) festgestellten P-Mangelerscheinungen in Kiefernkulturen, die bis zu 20 Jahre alt waren, zeichneten sich in den untersuchten Jung- und Mittelaltbeständen nicht ab.

Untersuchungen von FIEDLER und HÖHNE (1984) ergaben auf typischen Alt-Waldstandorten des nordostdeutschen Tieflandes eine gesicherte P-Ernährung der Kiefer. Dies wird durch den P-Gehalt auf der Fläche GB-SW (0,26 %) unterstrichen. Obwohl der Standort der Nährkraftstufe „arm“ zuzuordnen ist (KOPP und SCHWANECKE 1994), befindet sich der P-Wert deutlich im Bereich der Extremversorgung. Dies bestätigt Ergebnisse von JUNGK (1993), die eine große Unsicherheit des Aussagewertes pflanzenverfügbarer P- und K-Bodengehalte für den tatsächlichen Ernährungsstatus belegen. Vor allem bei Phosphor-Bodengehalten < 10 mg/100g FB können die Pflanzen sowohl deutliche Defizite bei der P-Ernährung aufweisen als auch genügend P aus dem Boden entnehmen (Kap. 5.1.2.9). Für die tatsächliche P-Pflanzenverfügbarkeit sind offenbar nicht nur die analytisch bestimmten Bodengehalte bzw. das Niveau der Nährstoffe im Unterboden (RENGER et al. 1993), sondern auch Ton- und Humusgehalte, pH-Wert (VETTER und FRÜCHTENICHT 1974), Krümen- und Durchwurzelungstiefe, Wasser- und Lufthaushalt, Bodentyp, Ausgangsgestein und Klima (JUNGK 1993) von Bedeutung. Die Quantifizierung des Einflusses dieser Faktoren auf die Pflanzenverfügbarkeit ist weitgehend ungelöst.

5.1.2.3 Kalium

Kalium fungiert als wichtiger Regulationsfaktor im Wasserhaushalt der Pflanze und ist für die Erhöhung der Frostresistenz von Bedeutung (BLOCK et al. 1991). HEINSDORF (1964) wies enge Zusammenhänge zwischen der K-Konzentration in den Nadeln und dem Höhenzuwachs der Kiefern nach.

In den mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen liegen die K-Gehalte zu je 50 % ($n = 6$) im optimalen und geringfügig überversorgten Bereich (Abb. 19 und 20.1). Der Variationskoeffizient (cv%) von 9,8 % belegt eine geringe Schwankungsbreite der ermittelten Werte (Anlage 7). Differenzierter fallen die K-Gehalte der Jungbestände aus (Abb. 20.2; Anlage 7). So entsprechen vier Kiefern-Jungbestände (57,1 %) dem Optimalbereich, weitere drei Bestände (28,6 %) sind überversorgt. Der Variationskoeffizient verdoppelt sich gegenüber jenem der mittelalten Kiefernbestände auf 19,6 %. Der Mittelwert der K-Nadelgehalte beträgt in beiden Altersgruppen

0,5 %. Eine altersbedingte Zunahme der K-Spiegelwerte (FIEDLER und HÖHNE 1984) ist nicht zu erkennen.

Der K-Nadelgehalt auf dem Alt-Waldstandort (GB-SW) dokumentiert eine optimale Versorgung. Das gegenüber den Kippenstandorten geringere Nährstoffpotenzial von 473,3 mg/100g FB (unterhalb Ah bis 100 cm) reicht offenbar aus, um den K-Bedarf der Kiefer abzudecken. Es bestätigt die Anspruchslosigkeit der Kiefer und ihren Pioniercharakter auf Extremstandorten.

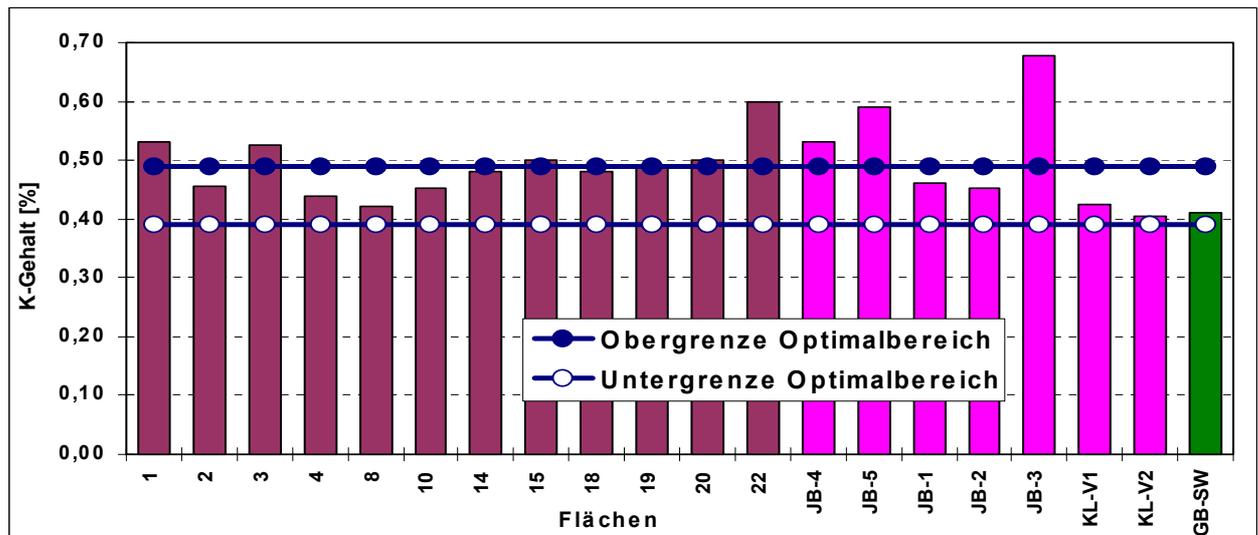


Abb. 19: K-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

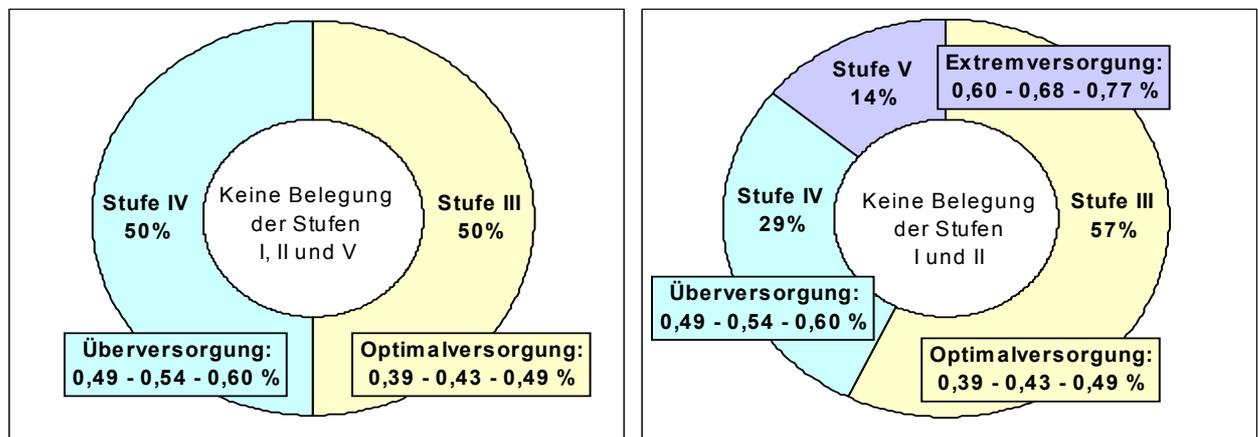


Abb. 20.1 und 20.2: Klassifizierung der K-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Die überwiegend ausreichenden bis hohen K-Nadelgehalte der Kiefern-Kippenbestände sind auf die relativ gute K-Grundausrüstung der Substrate (Kap. 5.4.2.1.3), auf die K-Grunddüngung und auf die lokalen K-Einträge mit Braunkohlen-Flugasche (Kap. 5.4.1.1) zurückzuführen. Die Kaliumgehalte der Aschen sind zwar gering. Aufgrund der feinen Körnung und der günstigen Durchfeuchtung der Asche ist jedoch eine gute Pflanzenverfügbarkeit des Kaliums gewährleistet

(SCHWABE 1977). Für die K-Pflanzenverfügbarkeit ist außerdem der Beitrag des Unterbodens zur Nährstoffversorgung der Pflanze in trockenen Jahren höher als in normalen bzw. feuchten Jahren (GÄTH et al. 1989, WESSOLEK und GÄTH 1989, RENGER et al. 1993).

HEINSDORF und TÖLLE (1991) betonen, dass bereits bei K-Nadelspiegelwerten von 0,45 bis 0,50 % von einer unzureichenden K-Ernährung auszugehen ist. Hiervon wären 75 % (n = 9) der mittelalten und 57 % (n = 4) der jungen Bestände betroffen. Keiner der untersuchten Kippen-Kiefernbestände wies Schadsymptome oder gar physiologische Depressionen auf, so dass die Klassifizierung von HOFMANN und KRAUSS (1988) einen geeigneteren Maßstab bildet. In Anlehnung an Untersuchungsergebnisse von FIEDLER et al. (1973), SMIDT und STEFAN (1980), WEHRMANN (1983), FIEDLER und HÖHNE (1984), KNABE (1984), LANDOLT et al. (1984), HÜTTL (1985), REIGBER und BRAUN (1985) sowie KRAUSS et al. (1986) ist die K-Mangelgrenze bei maximal 0,33 % anzusetzen.

5.1.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K

Das Höhenwachstum der Kiefer ist nach HEINSDORF (1964) eine Funktion der N-, P- und K-Nährelementgehalte in den Nadeln. FIEDLER und HÖHNE (1984) verweisen einerseits darauf, dass zwischen den ermittelten Bonitäten und den NPK-Relationen keine gesicherten Beziehungen bestehen. Sie sehen aber andererseits im Zusammenspiel der Elemente N, P und K eine besondere physiologische Bedeutung. Erhöht sich der N-Gehalt in den Nadeln der Kiefer, steigen auch die Spiegelwerte für P und K durch verstärkte Aufnahme aus dem pflanzenverfügbaren Bodenvorrat der Elemente an (HIPPELI 1967, TÖLLE 1969, FIEDLER und HÖHNE 1984). Anlage 9 stellt die NPK-Relationen dar.

Das durchschnittliche N/P-Verhältnis liegt nach WEHRMANN (1959) auf gewachsenen Böden zwischen 10 und 11. Der N/P-Mittelwert der 52- bis 69jährigen Referenzbestände beträgt 9,5. Im Einzelfall wurden N/P-Verhältnisse zwischen 5,9 und 12,8 ermittelt. Hierbei zeichnen sich Differenzierungen zwischen den Kippenkomplexen ab. Während Domsdorf und Tröbitz Nord N/P-Verhältnisse von > 10 aufweisen, liegen die Relationen in Annahütte, Brieske und Kleinkoschen ausschließlich bei < 10. Fläche 22 (Kippe Kleinkoschen) fällt durch ein sehr enges N/P-Verhältnis von 5,9 auf (0,30 % P). Bei den 23- bis 45jährigen Kiefern-Jungbeständen sind die N/P-Relationen deutlich weiter (Anlage 9). Die durchschnittlichen N-Nadelgehalte der Jungbestände weichen nur unwesentlich von denen der mittelalten Bestände ab. Allerdings bewirken die geringeren P-Gehalte der Jungbestände eine rechnerische Erhöhung der N/P-Verhältnisse

($\bar{N/P} = 13,5$). Im Durchschnitt liegt das N/P-Verhältnis der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen bei 11,0. Auf dem Alt-Waldstandort (GB-SW) beträgt das N/P-Verhältnis 6,0.

Nach FIEDLER und HÖHNE (1984) besitzt das N/K-Verhältnis für die Vitalität der Kiefer im Tiefland eine besondere Bedeutung, denn beide Elemente können nach einseitiger Düngung zu Wachstumsbegrenzungen führen. Für ungedüngte Kiefernbestände des nordostdeutschen Tieflandes gibt KRAUSS (1967) N/K-Verhältnisse von 2,1 bis 3,6 ($\bar{N/K} = 2,6$) an. Die N/K-Relationen der mittelalten Bestände liegen zwischen 3,0 und 4,8 (Anlage 9). Im Durchschnitt übersteigen die Verhältnisse sowohl der 52- bis 69jährigen ($\bar{N/K}_{MAB} = 3,8$) als auch der 23- bis 45jährigen Kiefernbestände ($\bar{N/K}_{JB} = 3,7$) die Vorgaben von KRAUSS (1967). Wiederum ist eine kippenpezifische Differenzierung feststellbar. Mit Ausnahme der Fläche 1 ($N/K = 3,2$) befinden sich die N/K-Relationen auf den Kippenkomplexen Tröbitz Nord und Domsdorf im Bereich $> 4,0$ (4,1 bis 4,4). Auf den Kippenkomplexen Annahütte, Brieske und Kleinkoschen wurden N/K-Relationen von $< 4,0$ (3,0 bis 3,9) ermittelt. Die vergleichsweise geringen N/K-Werte der Jungbestände JB-4 (2,5) und JB-5 (2,9) sind auf die niedrigen N-Gehalte (1,31 und 1,71 %) und auf die deutlich über dem arithmetischen Mittelwert liegenden K-Gehalte (0,53 und 0,59 %) zurückzuführen. Das N/K-Verhältnis auf dem Alt-Waldstandort (GB-SW) beträgt ebenfalls 3,8. Allerdings bezeichnen FIEDLER und HÖHNE (1984) bereits N/K-Relationen von 3,6 als „...deutliche Abweichung vom Optimum.“ (= 2,6). Dies betreffe im Untersuchungsgebiet sowohl verritzte als auch unverritzte Standorte.

Die NPK-Relationen zeigen, dass der N-Anteil an der NPK-Nährelementsumme bei den Kippenforsten zumeist höher ist als auf dem altdiluvialen Waldstandort. Die hohen N-Anteile resultieren aus den entsprechenden Bodenvorräten und/oder N-Freisetzen aus den kohligen Bestandteilen der Kippsubstrate sowie aus atmosphärischen N-Einträgen. Weiterhin zeichnet sich in den Jungbeständen der höchste relative N- und K-Anteil ab, der P-Summenanteil hingegen liegt deutlich unter dem Wert der mittelalten Kiefernbestände.

Den Kiefernbeständen mit den höchsten N-Nadelspiegelwerten (2,07 bis 2,18 % N) sind nicht zwangsläufig die höchsten P- (0,24 bis 0,30 % P) und K-Gehalte (0,59 bis 0,68 % K) zuzuordnen. Im Umkehrschluss gilt diese Aussage ebenso für die Bestände mit den geringsten N-Nadelspiegelwerten. Vermutlich spielt das Angebotsverhältnis (Ionenäquivalente) der Anionen-Gruppe (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^-) zur Kationengruppe (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+) und innerhalb der Ionen-Gruppen das Verhältnis der einzelnen Kat- bzw. Anionen zueinander eine wesentliche Rolle.

Demnach beeinflussen Art und Umfang der Grundmelioration (Düngung, Meliorationsmittel) die NPK-Relationen.

Nach IVANOVA und LAVRICENKO (1980) wird die Produktivität forstlicher Kulturen beeinträchtigt, wenn die N- und K-Anteile um mehr als 2-4 % vom optimalen Verhältnis abweichen. Aufgrund der z.T. hervorragenden Wuchsleistungen in den untersuchten Kiefernbeständen (Kap. 5.1.1.1) kann dies nicht bestätigt werden.

5.1.2.5 Calcium

Calcium ist ein für das Pflanzenwachstum unentbehrlicher Makronährstoff, der die Zellstreckung und -vermehrung unterstützt. Typische Mangelerscheinungen sind jedoch selten, da bei zu geringem Calciumangebot Säureschäden auftreten (BLOCK et al. 1991). Die Ca-Nadelspiegelwerte sind somit ein Indiz für die bodenbürtige Basenversorgung.

Die mittelalten Erstaufforstungen sind mit Ca überversorgt bzw. extrem hoch versorgt (Abb. 21 und 22.1). Arithmetischer Mittelwert und Median (Anlage 7) bestätigen mit 0,46 % diesen Ernährungsstatus. Bei den Kiefern-Jungbeständen sind je zwei Flächen den Stufen III und V zuzuordnen (Abb. 22.2), die verbleibenden drei Jungbestände sind luxusversorgt (Stufe IV). Hier wurde ein mittlerer Ca-Nadelspiegelwert von 0,38 % ermittelt (Anlage 7). Die Ca-Gehalte steigen offensichtlich nicht nur mit zunehmendem Nadelalter (ULRICH 1987, BLOCK et al. 1991), sondern auch mit zunehmendem Bestandesalter durch Akkumulationsprozesse (Abb. 23).

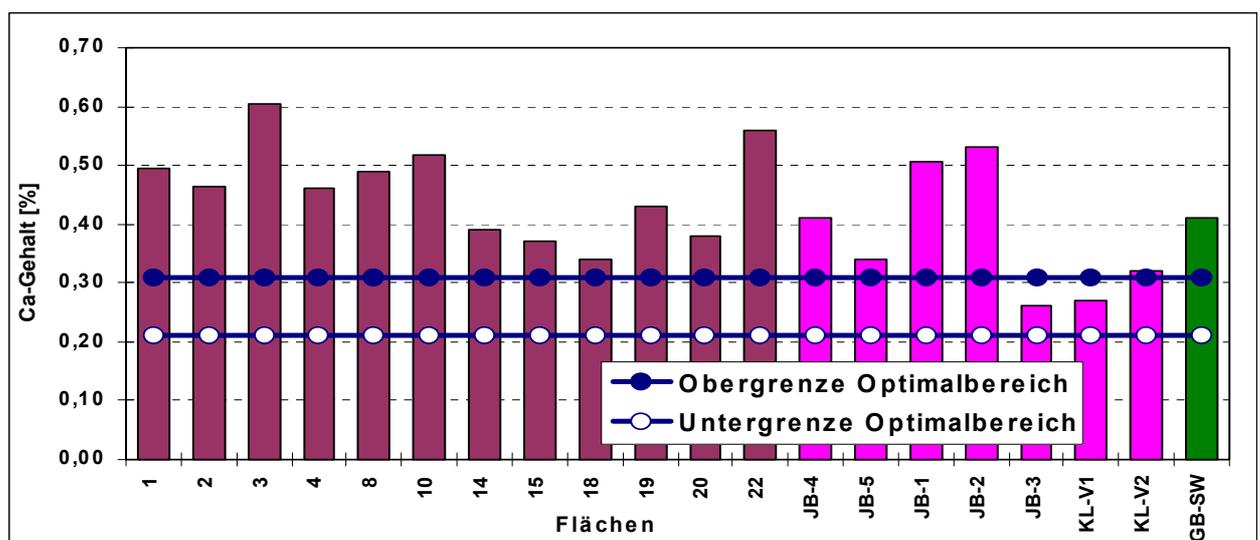


Abb. 21: Ca-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

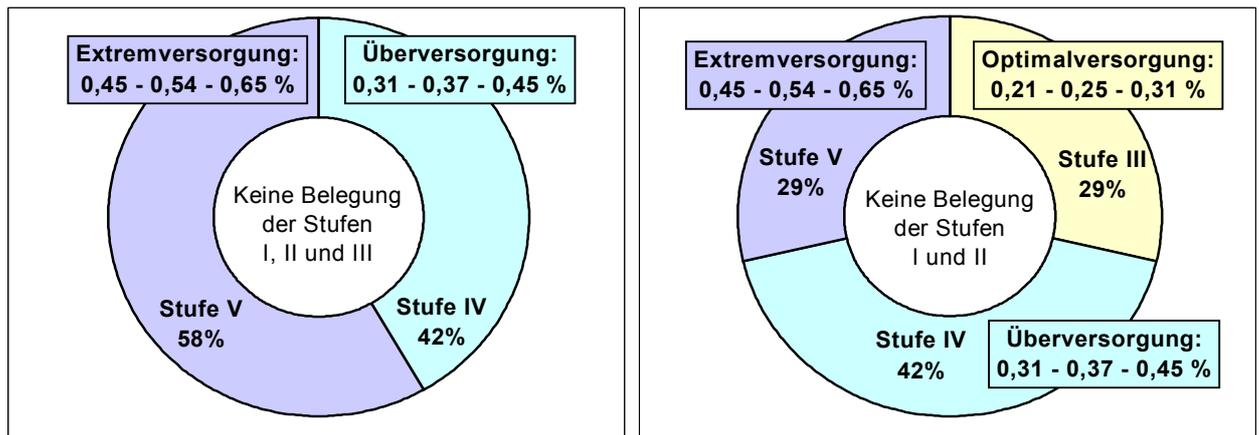


Abb. 22.1 und 22.2: Klassifizierung der Ca-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Nach BERGMANN (1986) zeigen Ca-Gehalte zwischen 0,25 und 0,60 % optimale Versorgung an. Die ermittelten Ca-Nadelspiegelwerte liegen somit im Optimalbereich. HEINSDORF und TÖLLE (1991) kamen zu dem Schluss, dass unter mitteleuropäischen Standortverhältnissen, einschließlich der Kippenstandorte, die Gemeine Kiefer ausreichend mit Calcium versorgt ist.

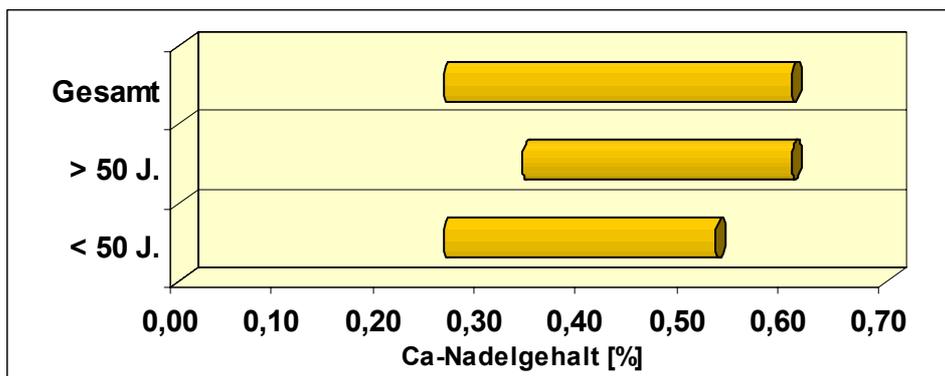


Abb. 23: Ca-Spannen in den Altersgruppen > 50 und < 50 Jahre

Die hohen Ca-Gehalte der Kiefernadeln sind vor allem auf meliorative Düngekalk- und/oder Braunkohlenaschegaben zurückzuführen (Kap. 5.4.2.1.3 und 5.4.2.1.4). Auf den Referenzflächen sind anhand historischer Unterlagen und Zeitzeugenberichten bodenmeliorative Maßnahmen belegt. Lokal überdurchschnittlich hohe Ca-Gehalte von > 0,50 % zeigen, dass regionale Differenzierungen vorrangig aus Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit resultieren. Basische Stoffeinträge wirken sekundär-modifizierend. REMMY et al. (1994), BUNGART und ENDE (1998) sowie KATZUR et al. (1999b) wiesen nach, dass hohe meliorative Ca-Gaben bei der Bestandesbegründung bis in das Bestandesalter von ca. 60 Jahren den Ernährungsstatus der Bestände beeinflussen können.

5.1.2.6 Magnesium

Der größte Teil des Nährelementes Magnesium liegt in gelöster Form oder locker am Plasmaeiweiß gebunden vor. Er kann daher im Saftstrom transloziert und jüngeren Nadeln zugeführt werden (KNABE et al. 1988). Magnesiummangel führt zu Chlorophyllabbau und typischen Vergilbungssymptomen (BLOCK et al. 1991).

In beiden Altersgruppen beträgt der mittlere Mg-Nadelgehalt 0,091 % und liegt damit im Grenzbereich zwischen Optimal- und Überversorgung (Anlage 7). Mg-Nadelspiegelwerte von 0,07 % sind für gute Wachstumsleistungen ausreichend (WEHRMANN 1959, 1983, HEINSDORF 1964, ZÖTTL und HÜTTL 1985, HOFMANN und KRAUSS 1988). Die Mg-Gehalte weisen die geringsten Variationskoeffizienten der Makronährstoffe auf ($cv\%_{MAB} = 9,2$; $cv\%_{JB} = 10,2$). Sie sind auch im Vergleich der Kippenkomplexe außerordentlich homogen verteilt (Abb. 24, 25.1 und 25.2).

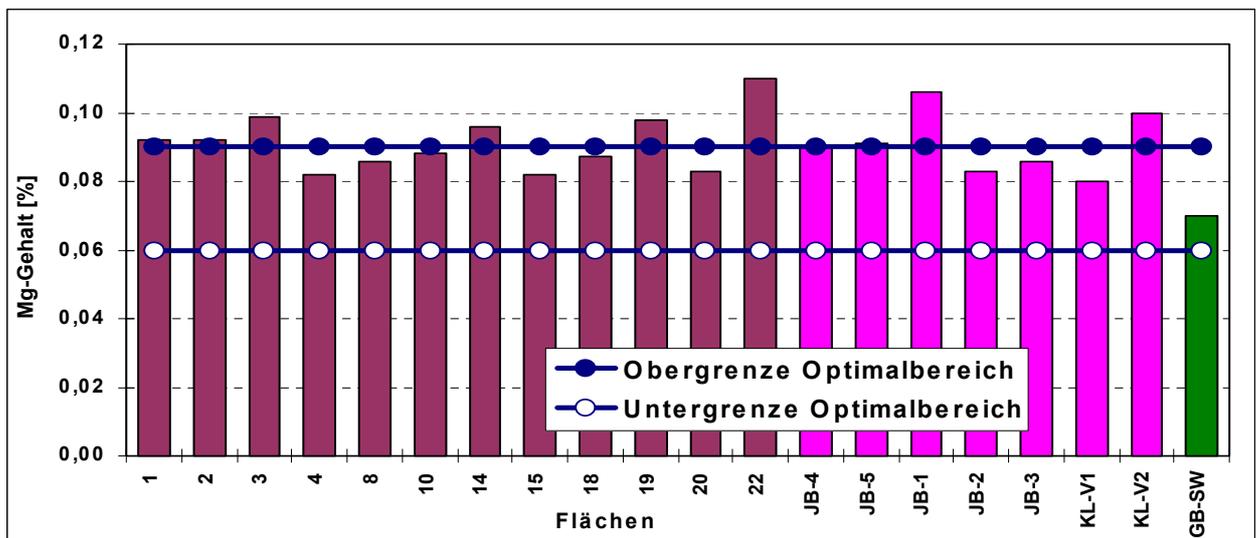


Abb. 24: Mg-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

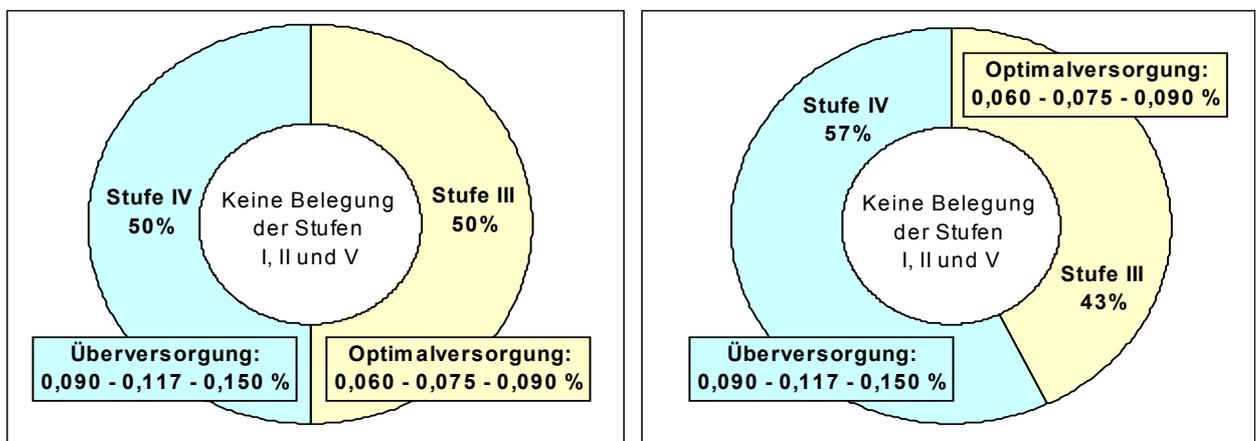


Abb. 25.1 und 25.2: Klassifizierung der Mg-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Als Ursachen für die physiologisch günstigen Mg-Gehalte sind primär die Grundmelioration mit Mg-haltigen Bodenverbesserungsmitteln (Braunkohlenasche, z.T. Mergel, Mg-Kali und Mg-Phosphat) und sekundär der atmogene Eintrag basenreicher, Mg-haltiger Braunkohlen-Flugaschen in die Forstökosysteme zu nennen. Nach SCHWABE (1977) enthalten Braunkohlenaschen MgO-Anteile von 0,4 bis 3,8 % und bis zu 35 % CaO-Anteile. Die meliorativ verwendeten Aschen beeinflussen deshalb den Mg-Ernährungsstatus der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen weniger stark als die Ca-Versorgung der Bestände.

5.1.2.7 Schwefel

Schwefel ist ein wesentlicher Bestandteil von Aminosäuren und pflanzlichen Ölen. Er kann, vor allem bei SO₂-Einwirkung in höheren Mengen, akkumuliert werden (BLOCK et al. 1991).

Die Gesamtschwefel-Nadelgehalte (S_t) liegen sowohl in den mittelalten Referenzbeständen als auch in den Jungbeständen ausschließlich in den Gehaltsstufen II und III (Abb. 26, 27.1 und 27.2). Der arithmetische Mittelwert beträgt bei den mittelalten Beständen 0,14 % und bei den Jungbeständen 0,16 % (Anlage 7). Auffallend hoch sind die S_t -Gehalte der Jungbestände JB-4 und JB-5 (0,22 und 0,20 %) auf der Kippe Tröbitz Nord (Abb. 26). Beachtenswert ist, dass auf den kohleführenden Substraten (z.B. GKI 3 und 18) und den Kohlesubstraten mit > 2,0 % C_t (z.B. GKI JB-2 und JB-3), trotz Verwitterung des Eisen-Disulfidschwefels (Pyrit, FeS₂) und der damit verbundenen S-Freisetzung in den Kippsubstraten, keine extrem hohen S_t -Nadelgehalte zu verzeichnen sind. Die höchsten S_t -Nadelgehalte (GKI 14, JB-4 und JB-5) wurden in Beständen ermittelt, die auf kohlefreien bzw. schwach kohlehaltigen Substraten stocken (AG Boden 1996).

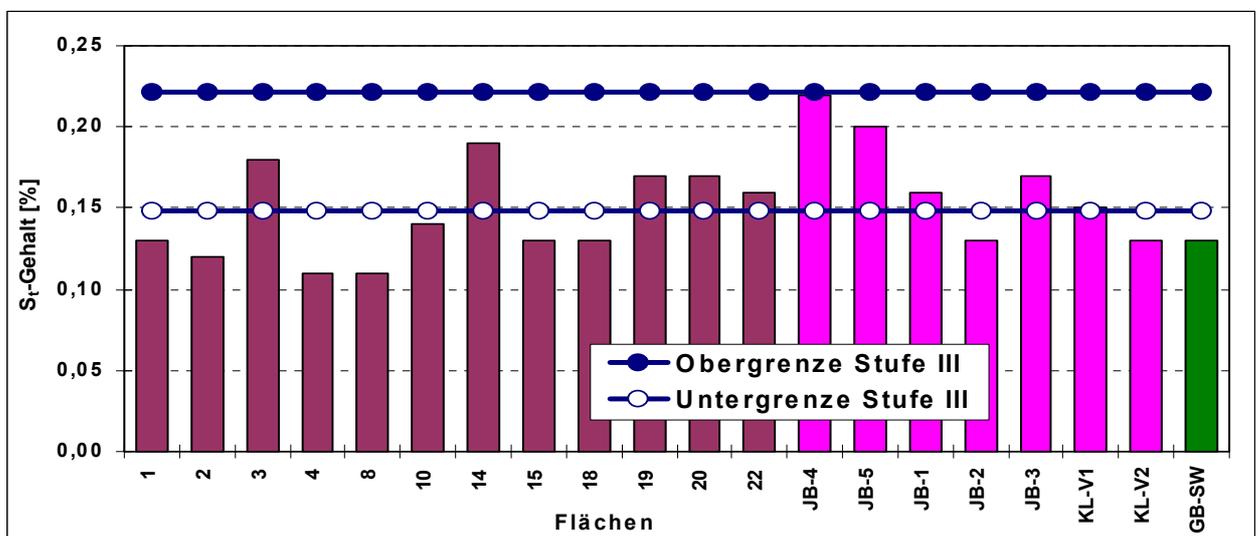


Abb. 26: S_t -Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

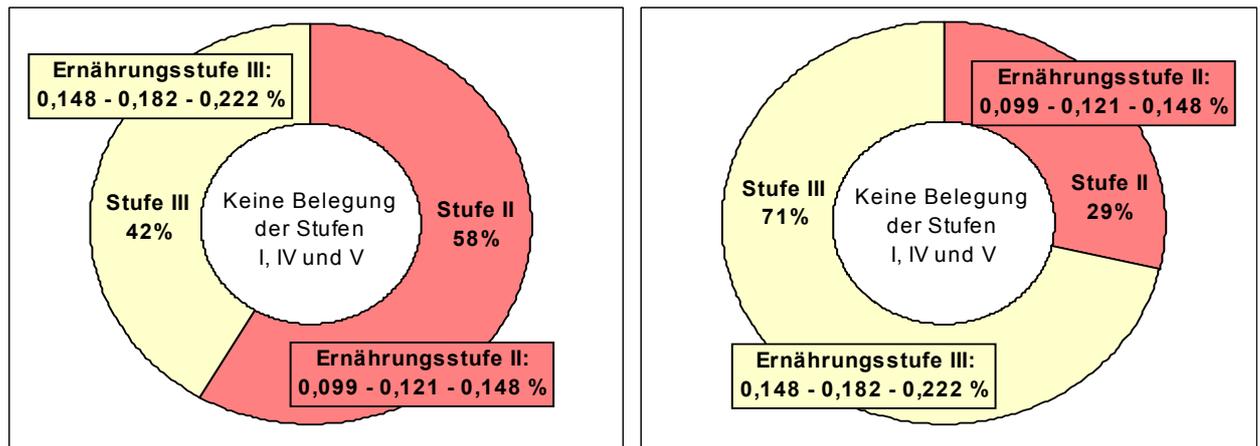


Abb. 27.1 und 27.2: Klassifizierung der S_T -Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

Nach HEINSDORF und HEINSDORF (2001) entsprechen die Gehaltsstufen bei Schwefel, im Unterschied zu den anderen Nährelementen, nicht der üblichen Definition des Ernährungsstatus'. Die Stufe I signalisiert bereits eine „normale“ S-Ernährung. S-belastungsfreie bzw. S-unterversorgte Bestände sind im nordostdeutschen Tiefland nicht auffindbar. MALCOLM und GARFORTH (1977) schätzen Schwefelgehalte von 0,09 % als „ausreichend“ ein. Nach REIGBER und BRAUN (1985) werden S_T -Spiegelwerte unter 0,10 % am jüngsten Nadeljahrgang der Kiefer als belastungsfrei definiert. Werte zwischen 0,10 und 0,12 % gelten als beginnende Belastung. Bei $S_T > 0,12$ % ist von einem Immissionseinfluss auszugehen. Mit 0,14 bzw. 0,16 % überschreiten die eigenen Untersuchungsbefunde diesen Schwellenwert. Auch HEINSDORF und HEINSDORF (2001) bezeichnen S_T -Nadelgehalte von $\geq 0,10$ % als Anzeichen für atmogene S-Belastung. In den Kiefern-Erstaufforstungen ist demnach von einer Belastung der Waldökosysteme durch Schwefeldepositionen auszugehen. Sie resultiert wahrscheinlich primär aus der Kohleverbrennung in den Heizwerken und Fabriken des Untersuchungsgebietes, wengleich die in Nadel- und Blattspiegelwerten nachweisbare S_T -Belastung seit Mitte der 80er Jahre deutlich rückläufig ist (HEINSDORF und HEINSDORF 2001). Ein Zusammenhang zwischen bodenbürtigem Schwefel und Schwefel-Nadelgehalten besteht auf den untersuchten Flächen nicht. FIEDLER und THAKUR (1984) sowie EVERS (1986) verweisen auch auf die Möglichkeit geringer atmogener SO_2 -Aufnahme trotz hoher SO_2 -Konzentrationen in der Luft, weil durch hohe SO_2 -Konzentrationen irreversible Störungen des Stomata-Mechanismus auftreten können.

5.1.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle

Die **Eisen**-Nadelspiegelwerte der mittelalten und jungen Bestände entsprechen mit durchschnittlich 130 (MAB) und 114 ppm (JB) nach HOFMANN und KRAUSS (1988) dem unteren bis mittleren Bereich optimaler Versorgung (Anlagen 7 und 8). Ausnahmen bilden die Flächen 20 und 22 (beide Kippe Kleinkoschen) mit 210 und 710 (!) ppm. Insbesondere der letztgenannte Fe-Gehalt ist in seiner exorbitanten Höhe ursächlich nicht erklärbar. Aufgrund wiederholt durchgeführter Analysen wird ein labortechnischer Fehler ausgeschlossen. Die Bestände auf den kohlehaltigen Substraten weisen keine erhöhten Fe-Spiegelwerte auf. Das bedeutet, dass die aus der Pyritverwitterung (FeS_2) hervorgegangenen Fe^{2+} - und Fe^{3+} -Ionen keine Luxus- oder Extremwerte in den Nadeln verursachen. Die von KNABE (1984) sowie REIGBER und BRAUN (1985) angegebene Grenze für Eisenmangel (20 ppm) wird auf allen Flächen überschritten (Anlage 8). Von Interesse ist, dass nach KREUTZER (1982, mdl. Mitt. zit. bei REIGBER und BRAUN 1985) der Bereich toxischer Fe-Versorgung bei > 680 ppm liegt.

Zink ist am Proteinaufbau und an der Bildung pflanzlicher Hormone beteiligt. Mit arithmetischen Mittelwerten von 38,3 ppm in den mittelalten Kiefernbeständen und 40,0 ppm in den Kiefern-Jungbeständen liegen die untersuchten Flächen im unteren Bereich optimaler Zn-Versorgung (Anlagen 7 und 8). Die von HÜTTL (1985) ermittelten Wertespannen (Zn-Mangel < 30 ppm, „gute Versorgung“: 30 bis 50 ppm) bestätigen die Klassifizierung von HOFMANN und KRAUSS (1988). Toxische Effekte treten bei Zn-Gehalten von > 100 ppm auf (ZIMMERMANN 1990). Die in den Kiefern-Kippenforsten ermittelten Zn-Nadelspiegelwerte unterschreiten diesen Schwellenwert deutlich.

Mangan ist für die Chloroplastenbildung unerlässlich, fungiert als Aktivator von Enzymen und ist sehr leicht aus Koniferennadeln auswaschbar (BLOCK und NIESAR 1989). Hohe Mn-Gehalte können Wasserstress hervorrufen (GÄRTNER et al. 1990). Beide Altersgruppierungen weisen Belegungen der Ernährungsstufen I bis III auf (Anlage 8). Mit 250 bis 280 ppm repräsentieren die arithmetischen Mittelwerte und Mediane der mittelalten und Jungbestände (Anlage 7) den oberen Bereich der Stufe II (152 bis 290 ppm). Aufgrund der enormen Variation der Nadelgehalte ($\text{cv}\%_{\text{MAB}} = 72,9$; $\text{cv}\%_{\text{JB}} = 41,9$) ist ein vereinheitlichendes Resümee nur insofern möglich, dass auf eine im Wesentlichen ausreichende Manganversorgung geschlossen werden kann. Auffallend ist eine gewisse Kippenspezifität. Die Kippen Kleinkoschen (Werte ≤ 150 ppm) und vor allem Brieske (Werte < 80 ppm) müssen der Mangelstufe (Stufe I) zugeordnet werden. Demgegenüber sind auf den Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf die Kiefernbestände vorwiegend überversorgt und optimal Mn-ernährt. Offenbar beeinflussen Substrattyp, Depositionsgeschehen

und bodenmeliorative Maßnahmen die Mn-Versorgung. Der von KNABE (1984) und BERGMANN (1986) angegebene Schwellenwert für Manganmangel (50 ppm) wird lediglich auf Fläche 19 knapp unterschritten.

Der Nährstoff **Kupfer** aktiviert Enzyme, die bei der Reduktion von molekularem Stickstoff benötigt werden. Kupfermangel tritt besonders auf Heidesandböden, anmoorigen Böden und Rodungsflächen als sogenannte „Urbarmachungskrankheit“ auf (BLOCK et al. 1991). 75 % der mittelalten Bestände und alle Jungbestände sind der Cu-Versorgungsstufe III zuzuordnen (Anlage 8). Mittelwerte und Mediane beider Altersgruppierungen liegen zwischen 3,9 und 4,3 ppm (Anlage 7) und somit im Bereich der von HOFMANN und KRAUSS (1988) definierten Optimalversorgung. Die von REIGBER und BRAUN (1985) angegebene Spanne von 2 bis 5 ppm Cu für eine optimale Versorgung der Baumart Kiefer deckt sich im Wesentlichen mit diesen Vorgaben. Die Fläche 22 nimmt mit 6,2 ppm auch bei der Cu-Versorgung eine Sonderstellung ein.

Aluminium ist bei zu hohem Angebot ein Schadstoff mit phytotoxischer Wirkung (ZÖTTL 1983). In solchen Fällen kann bis zu 90 % des Al in der Wachsschicht der Nadeloberfläche abgelagert werden (KRIVAN und SCHALDACH 1985). In den mittelalten Beständen sind alle fünf Gehaltsstufen nach HOFMANN und KRAUSS (1988) vertreten (Anlage 8). Beide Altersgruppierungen weisen hohe Variationskoeffizienten ($cv\%_{MAB} = 53,1$; $cv\%_{JB} = 34,4$) und linksgipfelige Werteverteilungen auf. Derartige Verteilungsmuster werden durch Mediane charakterisiert (KÖHLER et al. 1996). Mit 265 ppm (MAB) und 294 ppm (JB) indizieren die Mediane Al-Gehalte im Optimal- bis Luxusbereich (Anlage 7). Auch im Hinblick auf das Element Aluminium ist die Fläche 22 eine Ausnahme. Obwohl die Al-Spiegelwerte mit 690 ppm (!) den oberen Schwellenwert extremer Versorgung erheblich überschreiten, sind keine phytotoxischen Effekte zu erkennen. REIGBER und BRAUN (1985) gehen bei Kiefern-Nadelgehalten ab 300 bis 400 ppm Al von beginnender Al-Toxizität aus. Bei einer relativen Mittelhöhenbonität von 1,1 und einer absoluten Oberhöhenbonität von 28,70 m zeigt der Bestand 22 jedoch hervorragende Wachstumsleistungen. Die Jungbestände JB-1 und JB-5 (460 und 430 ppm Al) weisen ebenfalls sehr gute Wachstumsleistungen auf (rel. MHB 1,1 und 1,4). Der Alt-Waldstandort (GB-SW) ist mit 260 ppm im oberen Optimalbereich platziert und weicht nur gering vom Median der mittelalten Kiefern ab. Nach HOFMANN und KRAUSS (1988) sowie REIGBER und BRAUN (1985) liegen die untersuchten Kiefernbestände, mit Ausnahme von Nr. 22, auf „Normalniveau“.

Für die Spurenelemente Natrium, Cadmium, Blei und Nickel liegen keine Klassifizierungen vor. Sie werden deshalb lediglich numerisch benannt (Anlagen 7 und 8).

Natrium ist im Durchschnitt mit einem Gehalt von 84 ppm in den Nadeln der mittelalten Bestände enthalten (Anlage 7). Die Jungbestände weisen mit 106 ppm einen höheren Wert auf, wobei der Anstieg vor allem aus den vergleichsweise hohen Werten der Flächen JB-1 (158 ppm) sowie KL-V1 und KL-V2 (151 und 125 ppm) resultiert. Auf gewachsenem Boden wurden lediglich 47 ppm gemessen (Anlage 8). Es zeigen sich demnach erhebliche Differenzen in der Na-Versorgung zwischen dem unverritzten Standort und den Kippenforsten.

Mittelwert und Median der **Cadmium**-Gehalte betragen bei den mittelalten Referenzbeständen und auf der Fläche GB-SW jeweils 0,13 ppm (Anlagen 7 und 8). In den Jungbeständen wurden 0,14 bzw. 0,15 ppm ermittelt. Während die mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen der Kippenkomplexe Tröbitz Nord, Domsdorf und Annahütte vergleichsweise hohe bis sehr hohe Cd-Nadelspiegelwerte zwischen 0,12 und 0,20 ppm anzeigen, liegen die Cadmiumgehalte auf der Briesker Hochkippe und der Kippe Kleinkoschen im Bereich $\leq 0,12$ ppm. Die Daten der Jungbestände unterstreichen dieses regionale Verteilungsmuster. In allen Jungbeständen der Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf (JB-1, JB-3 bis JB-5) sind Cd-Gehalte $> 0,14$ ppm nachweisbar. Die hiervon regional deutlich getrennten Bestände KL-V1 und KL-V2 verfügen über Cd-Nadelspiegelwerte von $\leq 0,12$ ppm. In diesem Zusammenhang könnten die Bodenreaktionen sowie räumliche und/oder zeitliche Änderungen des Depositionsgeschehens eine Rolle spielen.

Nach ZIMMERMANN (1990) sowie REIGBER und BRAUN (1985) liegen die „**Blei**-Normalgehalte“ in den Assimilationsorganen der Kiefer bei ≤ 5 ppm. Die Blei-Nadelspiegelwerte der untersuchten Bestände schwanken zwischen 1,7 und 2,7 ppm (Anlage 8), die Mittelwerte und Mediane zwischen 2,10 und 2,56 ppm (Anlage 7). Der auf der Fläche 22 mit 7,0 ppm ermittelte Pb-Maximalgehalt löste bislang keine phytotoxischen Effekte aus. Der Pb-Gehalt von 2,5 ppm auf der Fläche GB-SW weist die genannten Vorgaben (ZIMMERMANN 1990, REIGBER und BRAUN 1985) als geeigneten Vergleichsmaßstab aus. Außerdem entsprechen die ermittelten Pb-Nadelspiegelwerte den von BLOCK et al. (1991) nachgewiesenen Größenordnungen in rheinlandpfälzischen Kiefernwäldern.

Bei einem arithmetischen Mittelwert von 2,5 ppm und einem Median von 1,9 ppm (Anlage 7) fällt im Flächenpool der mittelalten Kiefern wiederum der Bestand Nr. 22 mit einem **Nickel**-Gehalt von 4,8 ppm auf. Die Nadeln der Jungbestände enthalten durchschnittlich 2,3 ppm, der Median liegt bei 2,1 ppm. Der Alt-Waldstandort GB-SW erreicht mit 4,8 ppm einen Höchstwert. Da in den Kiefern-Kippenforsten geringere Ni-Nadelgehalte ermittelt wurden, liegt die

Vermutung nahe, dass die Kippsubstrate über einen vergleichsweise geringen nutzbaren Ni-Bodenvorrat verfügen.

5.1.2.9 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze

Die Stickstoffversorgung der Nadeln wird erheblich und nachhaltig atmogen (BRUMME et al. 1992, EILERS et al. 1992, FERM 1993, KÖLLING und NEUSTIFTER 1997) sowie durch Düngemaßnahmen (HEINSDORF 1994) beeinflusst. Wegen der N-Verlagerung aus dem Auflagehumus wirken sich diese Faktoren nachhaltig auf die ökosystemaren N-Kreislaufprozesse und somit auf den Ernährungsstatus aus.

Tab. 5 belegt, dass tendenziell mit zunehmenden N_t -Bodengehalten die N-Nadelspiegelwerte ansteigen und die C/N-Verhältnisse in den Nadeln enger werden. Die Vergleichsfläche auf gewachsenem Boden (GB-SW) bestätigt diese Entwicklung. Bemerkenswert ist, dass die Flächen der Kippe Domsdorf einerseits mit \varnothing 2,0 M.-% die C_t -reichsten Substrate ($n = 5$) und andererseits mit \varnothing 24,8 die engsten C/N-Verhältnisse der Kiefernadeln aufweisen (Tab. 5). Vermutlich werden bei aschemelierten kohlehaltigen Kippenböden relativ höhere N-Mengen aus der Kohle pflanzenverfügbar freigesetzt als bei kohlefreien oder -armen ($< 0,5$ M.-% C_t) Kippsubstraten.

Tab. 5: Mittlere N_t -Gehalte und C/N-Verhältnisse der nichthumosen Kippbodenschichten (C-Horizont) und der Kiefernadeln aller untersuchten Kiefern-Kippenforsten (außer KL-V1 und KL-V2)

Kippenkomplex	N_t -Gehalte [%]		C/N-Verhältnisse	
	Boden	Nadeln	Boden	Nadeln
Tröbitz Nord	0,0125 \uparrow	1,78	36,76 \uparrow	29,4 \uparrow
Annahütte/Brieske	0,0135	1,73 \downarrow	30,79 \downarrow	28,9
Kleinkoschen	0,0145	1,86 \downarrow	31,97	26,5 \downarrow
Domsdorf	0,0562 \downarrow	2,05 \downarrow	30,33	24,8 \downarrow
Unverritzter Stao. GB-SW	0,0030	1,56	15,71	31,86

Die N_t -Blattspiegelwerte scheinen tendenziell von den Stickstoffgehalten im Ah-Horizont stärker abzuhängen ($r = 0,33$) als von den Stickstoff-Bodengehalten im C-Horizont ($r = 0,28$; $r_{\max} = 0,4560$). Der in der Humusaufgabe freigesetzte und in den Ah-Horizont verlagerte Stickstoff ist offenbar besser pflanzenverfügbar als der im Substrat nachweisbare Gesamtstickstoff. Wahrscheinlich ist der Stickstoff im C-Horizont relativ stabil an die kohlige Substanz gebunden.

Bei den Makronährstoffen **P**, **Ca**, **Mg** und **K** zeigt sich deutlich, dass die Nadelspiegelwerte nicht zwangsläufig mit den jeweiligen Bodengehalten korrespondieren. So waren auf den untersuchten Kiefernflächen stagnierende oder gar abnehmende Nadelgehalte feststellbar, wenn folgende Gehalte im C-Horizont überschritten wurden (STÄHR et al. 2000):

- P-Vorräte: 10 – 15 mg/100 g FB
- Ca-Vorräte: 100 – 150 mg/100 g FB
- Mg-Vorräte: 15 – 20 mg/100 g FB
- K-Vorräte: 700 – 800 mg/100 g FB

5.2 Birkenreinbestände

5.2.1 Waldwachstum

5.2.1.1 Dendrometrische Kenndaten

Die untersuchten Birkenbestände sind auf vier Altersstufen wie folgt verteilt:

Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl	Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl
30-39 Jahre (IIa)	JB-1, JB-2	n = 2	50-59 Jahre (IIIa)	1, 2, 3, 5, 9, 10, 1	n = 7
40-49 Jahre (IIIj)	4, 12	n = 2	60-69 Jahre (IVj)	6, 7, 8	n = 3

In den 43- bis 67jährigen Birkenbeständen ($n = 12$) wird, ausgehend von den Schaftholzdaten, der Grundflächenmittelstamm durch die Durchmesser- und Höhenmediane $Z_{DG} = 17,86$ cm und $Z_{HG} = 18,01$ m gekennzeichnet (Anlage 5.2). Der ASSMANNsche Oberhöhenstamm weist Mediane von $Z_{DG100} = 24,48$ cm und $Z_{HG100} = 19,58$ m auf. Die Höhendaten streuen mit Variationskoeffizienten von 13,9 und 11,5 % weniger stark als die Durchmesserwerte (18,7 und 14,9 %).

Im Weiteren werden die Betrachtungen altersstufenweise fortgesetzt. In der Tab. 6 sind die altersstufenbezogenen Höhen-Bonitäten nach LOCKOW (1996, 1997) und TJURIN (in TJURIN und NAUMENKO 1956) erfasst. Ein Vergleich zeigt, dass die Wuchsleistungen der Birke auf den vorwiegend tertiären Kippenstandorten nach LOCKOW (1996) einer 3. bis 4. Ertragsklasse entsprechen und von ihm um ca. eine Ertragsklasse schlechter bewertet werden als von TJURIN (1956). Mit zunehmender Altersstufe steigen die Wuchsleistungen der Birke an. Dies bestätigt ihren Pioniercharakter und damit ihre Eignung für die sukzessive Besiedlung der nicht ausreichend in ihren Aciditätsverhältnissen verbesserten, schwefelsaurer Kippenböden.

Tab. 6: Mittlere relative Höhenbonitäten (Ekl.) und absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) nach LOCKOW (1996) sowie mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM_{50}) und absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{50}) nach TJURIN (1956) in den Altersstufen der untersuchten Birken-Erstaufforstungen

		30 - 39 Jahre (IIa)	40 - 49 Jahre (IIIj)	50 - 59 Jahre (IIIa)	60 - 69 Jahre (IVj)
rel Hbon (Ekl.)	LOCKOW	4,00	3,85	3,61	3,17
abs. Oberhöhe (HO_{100})	LOCKOW	19,85	20,80	20,99	23,50
rel. MHB	TJURIN	3,05	2,80	2,74	2,10
abs. Mittelhöhe (HM_{50})	TJURIN	16,15	16,85	16,94	18,70
abs. Oberhöhe (HO_{50})	TJURIN	18,65	19,00	18,54	20,03

Die durchschnittlichen Gesamtzuwächse (DGZ_{100}) folgen tendenziell der Bonitätsentwicklung, wengleich in der Altersstufe IIIa eine Verringerung der Zuwachsleistung auf $3,43$ m³/ha*a prognostiziert wird (Abb. 28). Im Vergleich zwischen den Altersstufen IIa und IVj ist eine Erhöhung der prognostizierten Gesamtzuwächse um $0,71$ m³/ha*a festzustellen.

Eine Gegenüberstellung der mittelalten Kiefern- und Birken-Referenzbestände zeigt die geringe Leistungsfähigkeit der Birken-Erstaufforstungen, denn der DGZ_{100} -Zentralwert liegt bei 47,3 % des entsprechenden Medians in den Kiefernbeständen.

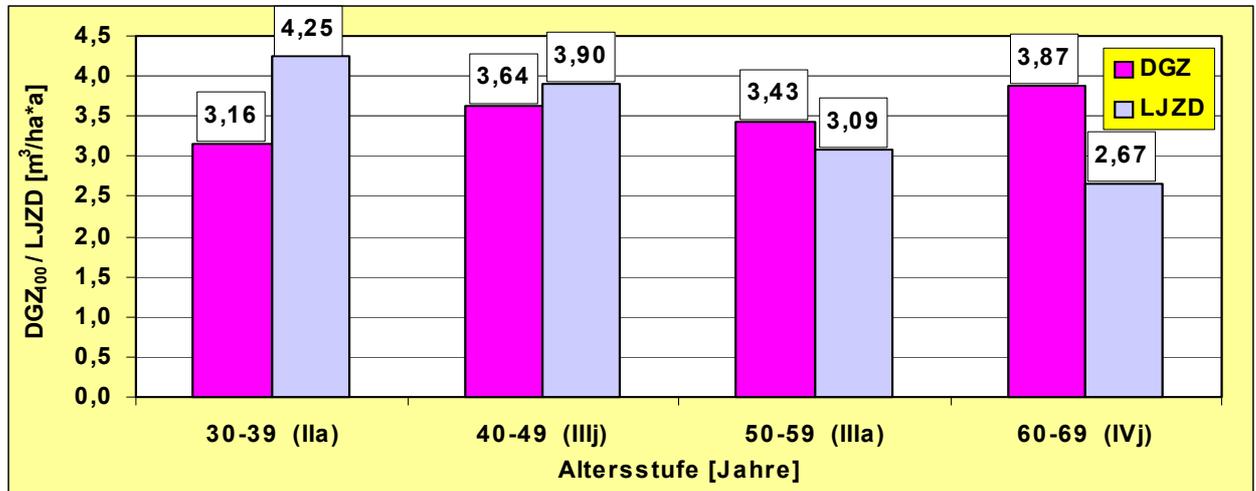


Abb. 28: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der GBI-Reinbestände

Ein weiteres Indiz für die hohe Anpassungsfähigkeit der Birke ist die Alterstufenverteilung der jährlichen Derbholzzuwächse (LJZD), die eine konträre Numerik zu den durchschnittlichen Gesamtwüchsen aufweist. Die LJZD-Werte nehmen von der Alterstufe IIa ($4,25 m^3/ha*a$) bis zur Altersstufen IVj ($2,67 m^3/ha*a$) um $1,58 m^3/ha*a$ kontinuierlich ab (Abb. 28).

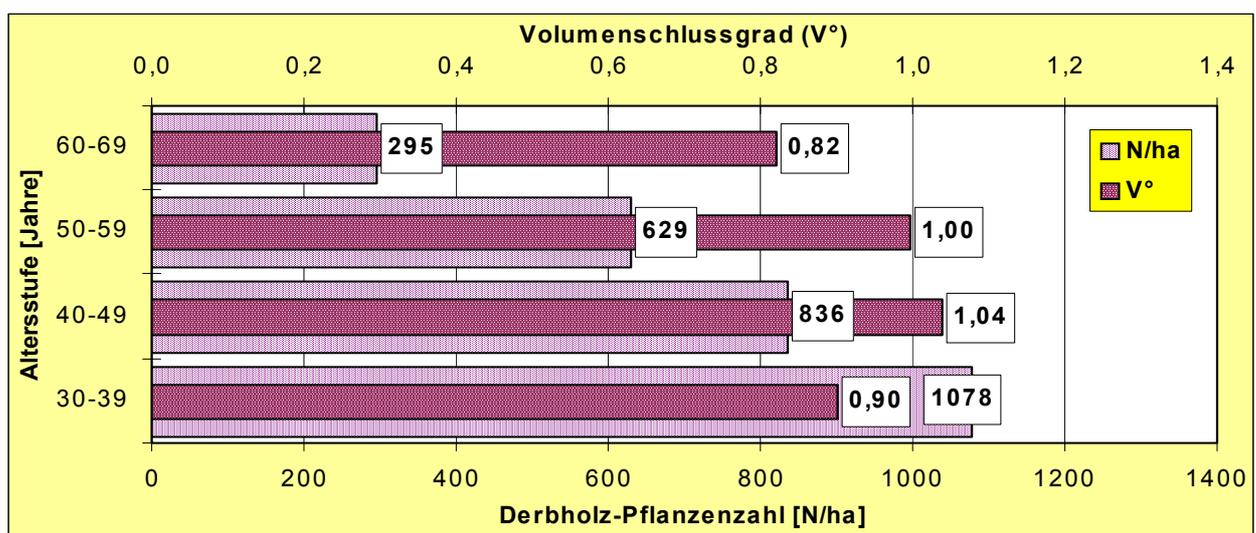


Abb. 29: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzanzahlen (N) in den Altersstufen der GBI-Reinbestände

Die Entwicklung der Volumenschlussgrade und Pflanzanzahlen ist ein Resultat natürlicher Mortalität, da in den Birken-Kippenbeständen praktisch keine Durchforstungen, Aufschlussmaßnahmen oder sonstige Nutzungen vorgenommen wurden (Abb. 29). Die ursprünglichen

Pflanzenzahlen sind aufgrund der Pflanzverbände (2,00 x 1,50 m bis 2,00 x 1,70 m) mit ca. 3000 Stck/ha anzugeben. In den 30- bis 39jährigen Beständen wurden durchschnittlich 1078 lebende Pflanzen je ha und ein mittlerer Volumenschlussgrad von 0,90 ermittelt. In den Altersstufen IIIj und IIIa nehmen die Pflanzenzahlen ab. Wegen der in dieser Phase zunehmenden Grundfläche (Abb. 30) und kulminierenden Höhenzuwachsleistung steigt der Volumenschlussgrad auf 1,0 an. Pflanzenzahlen (\varnothing 295 Stck/ha), Volumenschlussgrade (\varnothing 0,82) und Grundfläche (\varnothing 14 m²/ha) nehmen in der Altersstufe IVj deutlich ab. Demnach erreicht die Birke ihr biologisches Zielalter auf den ungünstigen Kippenstandorten früher als auf den unverritzten Waldstandorten. Der mittlere V^o in den mittelalten Birkenbeständen beträgt 0,96 (Anlage 5.2).

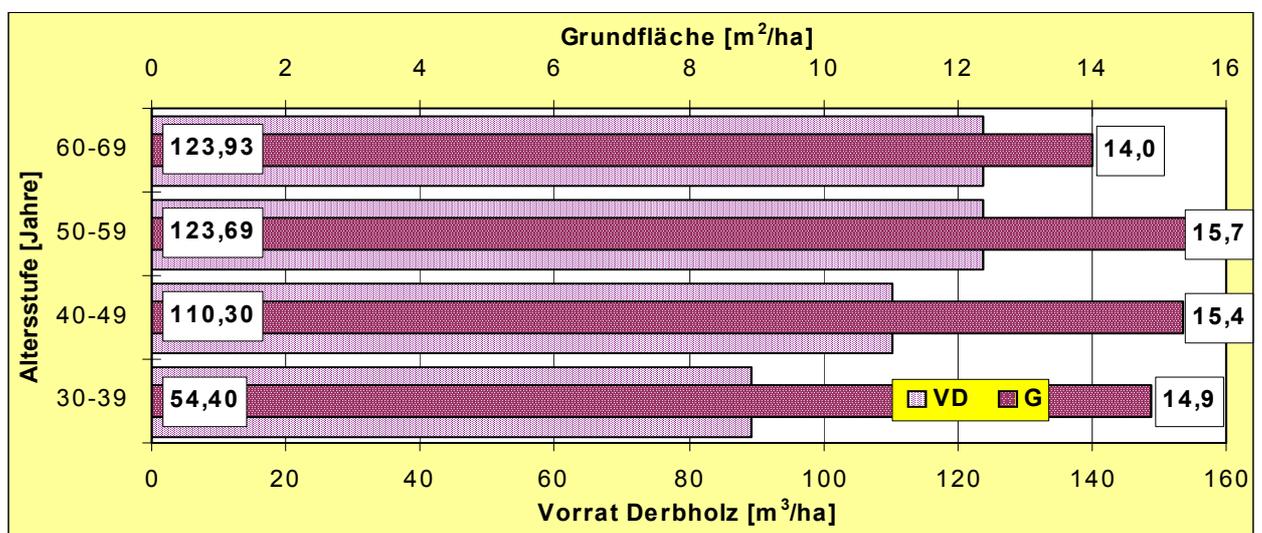


Abb. 30: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der GBI-Reinbestände

Der Derbholzvorrat liegt in der Altersstufe IIa lediglich bei 54,40 Vfm/ha, erhöht sich jedoch bereits in der Altersstufe IIIj auf 110,30 Vfm/ha (Abb. 30). Der leichte Anstieg des Derbholzvorrates in der Altersstufe IVj ist überraschend, da Pflanzenzahlen, Grundfläche und Volumenschlussgrad rückläufig sind. Die Wachstumskurven (Kap. 5.2.1.2) belegen jedoch einen leichten Anstieg des Höhenzuwachses im Alter 60 bis 69 Jahre, der sich in den Vorratsdaten widerspiegelt. Im Durchschnitt stockt in den 43- bis 67jährigen Birkenbeständen ein Derbholzvorrat von 121,5 Vfm/ha und ein Schaftholzvorrat von 127,3 Vfm/ha.

Beachtenswerte Totholz mengen fallen insbesondere in den über 60jährigen Birkenbeständen an, die sich in Auflösung befinden (Anlage 5.2). Die erhebliche Verringerung der Lebendstammzahlen und Volumenschlussgrade ab Altersstufe IVj (Abb. 29) korrespondiert mit einem sprunghaften Anstieg des Stehend-Totholzvorrates (\varnothing VD_{tot} in IVj = 23,5 Vfm/ha). Der derbholzbezogene Stehend-Totholzanteil liegt in den Altersstufen IIa bei 3,5 %, IIIj bei 4,9 %, IIIa bei 4,6 % und IVj bei 19,0 % des Lebend-Derbholzvorrates.

5.2.1.2 Stammscheibenanalysen

Für die GBI-Stammscheibenanalysen wurden alle mittelalten Birkenbestände ($n = 12$) und ein Jungbestand (JB-1) beprobt (Anlage 6.3 und 6.4).

Die Höhenkurven lassen zwei kippenspezifische Wuchsphasen erkennen (Abb. 31).

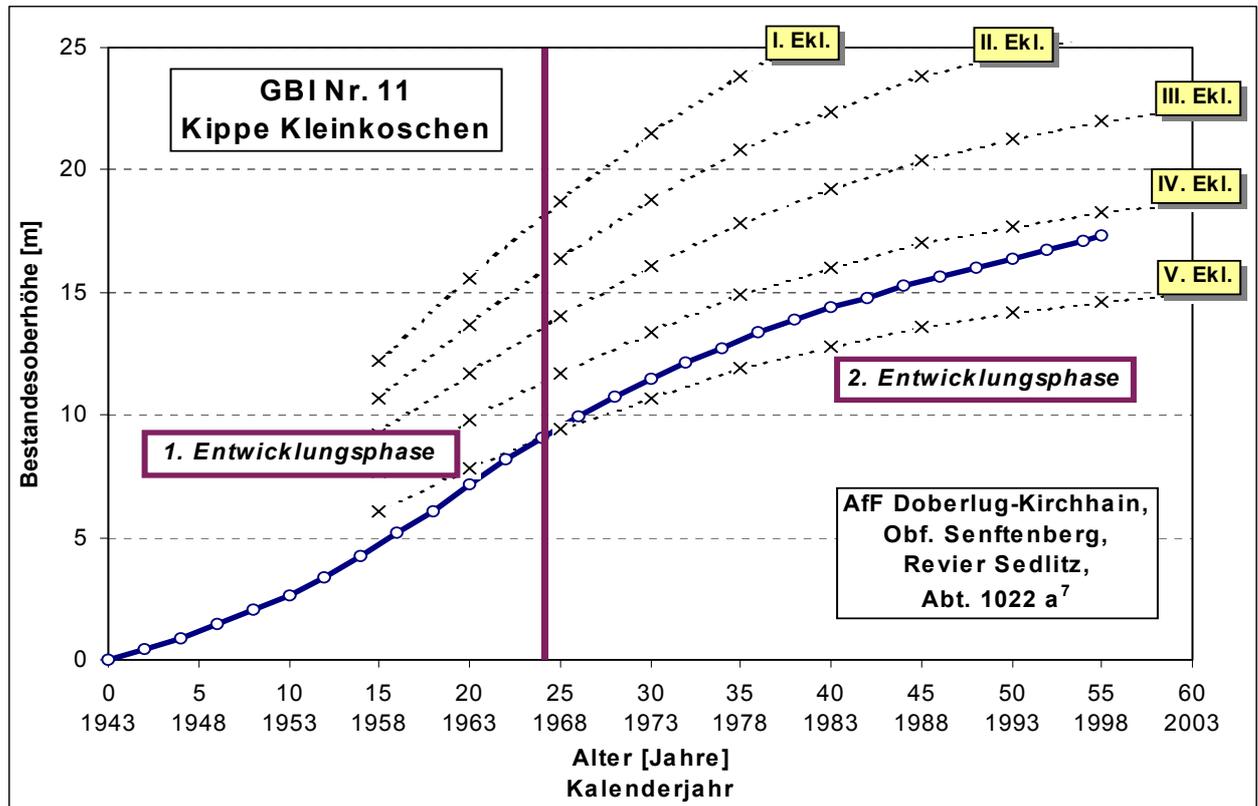


Abb. 31: Darstellung kippenspezifischer Wuchsphasen der Baumart Gemeine Birke am Beispiel des Höhenwachstumsverlaufes eines 55jährigen Birkenreinbestandes (GBI 11, Kippe Kleinkoschen) auf Kipp-Kohlesand (xS-Kp; Ss/mSfs bzw. oj-xss)

Die erste Entwicklungsphase dauert 10 bis 25 Jahre und ist durch ein verhaltenes Wachstum charakterisiert. Da die untersuchten Birkenbestände fast ausschließlich auf tertiären Kippsubstraten (C_t -Gehalte $\geq 0,5$ M.-%) stocken, wird die zunächst gebremste Höhenzuwachsentwicklung vor allem auf die durch Versauerungsprozesse verursachten niedrigen „Start-pH-Werte“ (Pyritverwitterung und Protonennachlieferung durch Hydrolyse der Fe-/Al-Sulfate) zurückgeführt. Dies deutet auf eine zu geringe CaO-Ausstattung der Substrate hin. Höhere C_t -Werte korrespondieren zumeist mit höheren S_t -Gehalten. Im Allgemeinen taucht deshalb die Höhenkurve umso später in den Bonitätenfächer ein je höher der C_t -Gehalt im C-Horizont ist (Anlage 6.4). Dies zeigt ein Vergleich der Flächen 1 ($C_t = 0,91$ M.-%) oder 2 ($C_t = 2,11$ M.-%) mit der Fläche JB-1 ($C_t = 6,67$ M.-%) sowie ein Vergleich der Fläche 6 ($C_t = 0,31$ M.-%) mit der Fläche 8 ($C_t = 0,90$ M.-%). Der C_t -Gehalt ist demnach ein Weiser für die Länge der „Anpassungsphase“.

In der zweiten Entwicklungsphase nähert sich die Kurve den Ertragstafelmodellen. Es zeigt sich, dass die Birke deutlich unter dem Leistungspotenzial der Kiefer liegt und dass sie sich frühzeitig im standortsspezifischen Leistungspotenzial einpendelt. Diese Entwicklung gilt für eine breite Standortpalette (C-Horizont bis 100 cm: Ss bis Sl4, $C_t = 0,31$ bis $6,81$ M.-%, $V = 6,99$ bis $50,37$ %). Die Altershöhenkurven lassen in den Altersstufen IIIa und IVj trotz abnehmender Pflanzanzahlen, Volumenschlussgrade und Grundflächen (Abb. 29 und 30) keinen Leistungsrückgang erkennen. Sie bestätigen somit die Ergebnisse der Bonitierung (Tab. 6), die auf einen gleichbleibenden oder gering ansteigenden Höhenzuwachs hinweisen. Das stabile Leistungs-niveau ist vermutlich auf die Entsäuerung des Untergrundes zurückzuführen (KATZUR et al. 1998b) und deshalb als Anpassung an den Standort zu bewerten. Ungeachtet dessen bewirkt in den > 60jährigen Birkenbeständen die natürliche Mortalität eine teilweise Verlichtung. Auf den Kippenkomplexen Tröbitz Nord, Domsdorf, Brieske und Annahütte können wuchsfördernde Effekte durch die Abnahme der atmosphärischen Stoffeinträge (Emittentenstilllegungen seit ca. 1990) nicht ausgeschlossen werden. Das Höhenwachstum der auf der Kippe Tröbitz Nord gelegenen Bestände bestätigt dies, da auf den Flächen 1, 2 und 3 im Alter von 50 Jahren (1990, 1988 und 1989) eine sichtbare Verbesserung der Wuchsleistungen einsetzt (Anlage 6.4).

Die Höhenwachstumsverläufe der Birken-Kippenbestände wurden mit denen der Birkenbestände auf klimatisch und lithofaciell adäquaten unverritzten Waldstandorten verglichen. Die Gegenüberstellung zeigt, dass der auf einem typischen Birken-Altstandort stockende Bestand GB-BS (Abb. 33) ein ausgeglicheneres und im Unterschied zu den Kippenstandorten weitgehend ertragstafelkonformes Höhenwachstum aufweist. Die „Anpassungsphase“ ist bei diesem Bestand wegen des etablierten ökosystemaren Nährstoffhaushaltes nicht vorhanden. Der Bestand GB-WT (Abb. 32) zeigt hingegen ein nahezu lineares Höhenwachstum, das sich aus den standörtlichen Bedingungen erklären lässt. Der zunächst geringe Anstieg der Altershöhenkurve wird auf Nährstoffverarmung und -auswaschung im Oberboden (Podsolierung) zurückgeführt. Danach verläuft der Höhenzuwachs wegen der relativ hohen pedogenen Nährstoffausstattung (mittlere Trophie) und des überdurchschnittlichen Wasserangebotes (mineralischer Nassstandort) progressiv. Bemerkenswert ist, dass auf den Alt-Waldstandorten, analog den Birken-Kippenbeständen, in den Altersstufen IIIa und IVj kein Leistungsabfall angezeigt wird.

Am Beispiel der Altershöhenkurven der Flächen 4 und JB-1 wird deutlich, dass der „2-Phasen-Charakter“ des Höhenwachstums bei höheren Ton-, Schluff- (Sl3 und Sl4) und C_t -Gehalten weniger stark ausgeprägt ist. Auf diesen Flächen ähnelt der Wuchsgang der GBI-Kippenforsten dem auf unverritzten Waldstandorten (Anlage 6.4, Abb. 32 und 33).

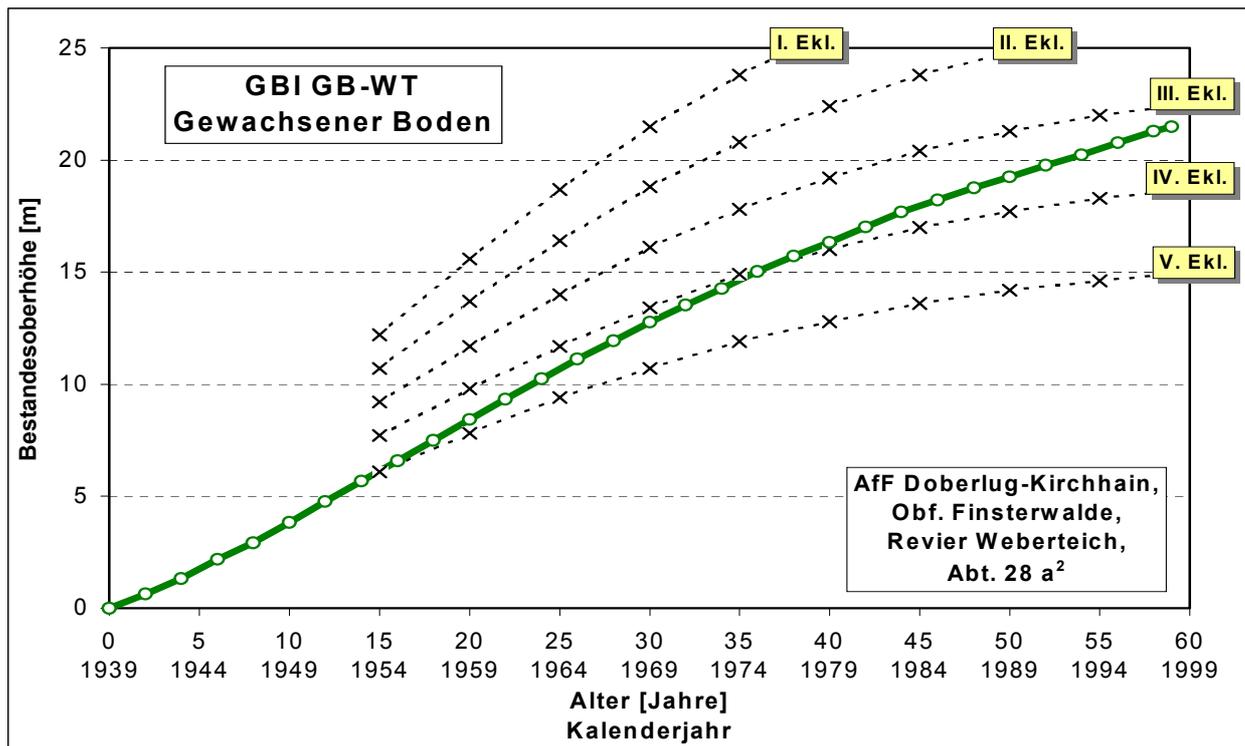


Abb. 32: Höhenwachstumsverlauf des 59jährigen GBI-Vergleichsbestandes GB-WT (unverritzter Alt-Waldstandort, Revier Weberteich); Standort: NM 1 t

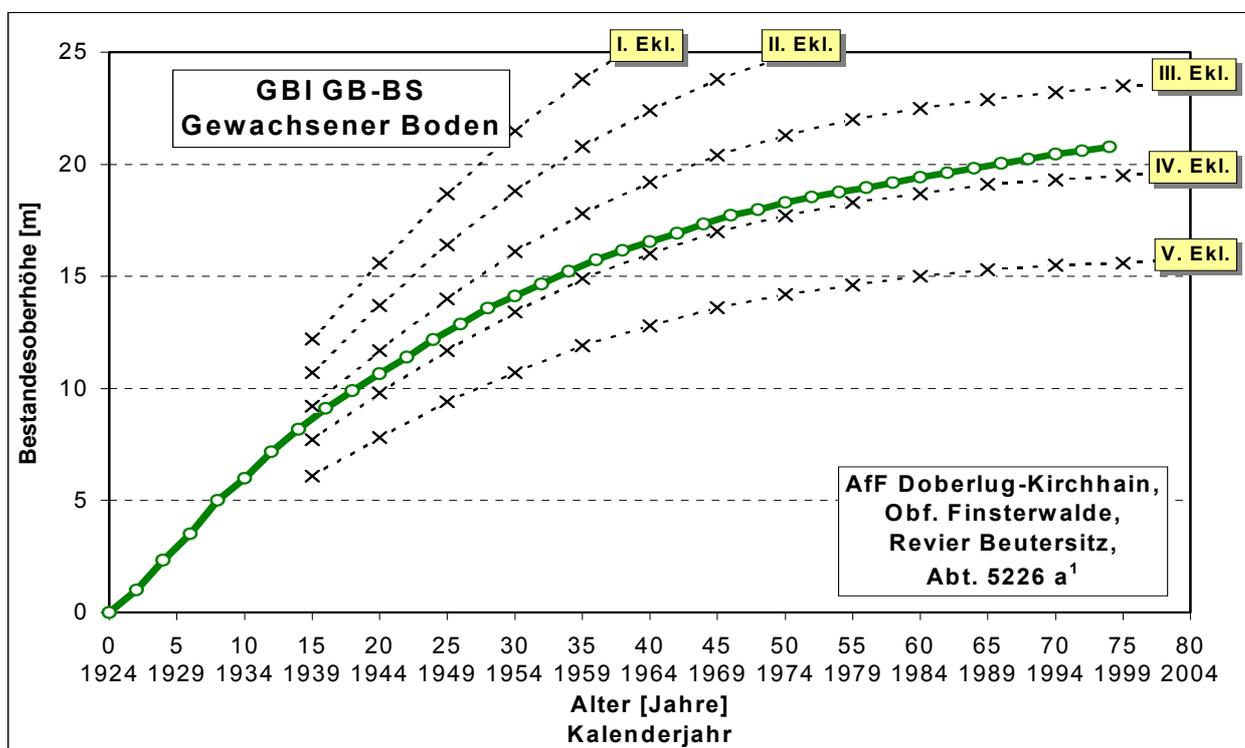


Abb. 33: Höhenwachstumsverlauf des 74jährigen GBI-Vergleichsbestandes GB-BS (unverritzter Alt-Waldstandort, Revier Beutersitz); Standort: NZ 2 t

5.2.1.3 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten

Die wachstumskundlichen Kenndaten und die Stammscheibenanalysen lassen eine Einflussnahme des braunkohleninduzierten Bodenchemismus auf die Ertragsleistung der Birken-Erstaufforstungen vermuten. Hierbei stehen substrat- und altersabhängige Versauerungstendenzen im Vordergrund (KATZUR et al. 1998b). Der Abb. 34 ist zu entnehmen, dass zwischen den mittleren C_t -Gehalten der Kippenböden bis in 100 cm Bodentiefe und den Wuchsleistungen der Birkenforsten statistisch gesicherte Beziehungen bestehen.

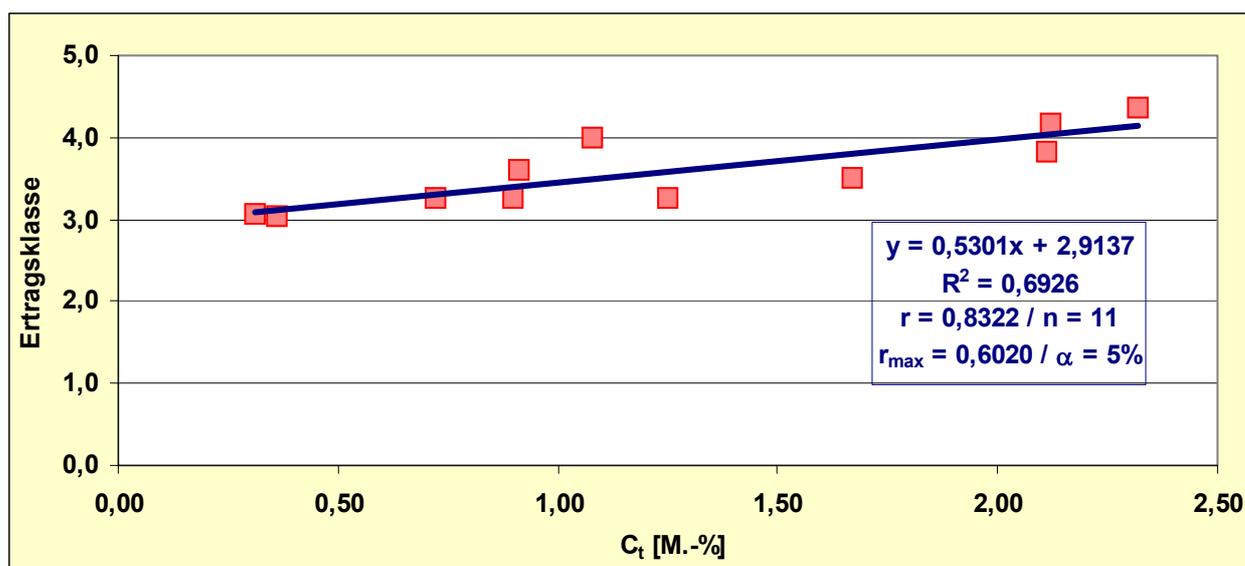


Abb. 34: Zusammenhang zwischen der Ertragsklasse und dem C_t -Gehalt der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen ($C_t \leq 2,32$ M.-%)

Bis zu einem C_t -Gehalt von 2,32 M.-% werden mit steigenden C_t -Bodenvorräten die Ertragsklassen zunehmend schlechter. Offensichtlich reagiert die Birke deutlicher auf Veränderungen des C_t -Gehaltes als die Gemeine Kiefer (Tab. 8 und Abb. 11). Dieses Ergebnis gilt jedoch nur für die in ihren Aciditätsverhältnissen nicht nachhaltig verbesserten kohle- und schwefelhaltigen Kippenböden, die in der Vergangenheit bevorzugt mit Birke aufgeforstet wurden. Es erklärt auch das insgesamt niedrige Ertragsniveau der GBI-Erstaufforstungen.

Die DGZ_{100} -Leistung der Birkenbestände steigt signifikant mit zunehmenden pH- und V-Werten (Abb. 35.1 und 35.2). Die grafischen Darstellungen enthalten außer Fläche 4 alle untersuchten Birken-Erstaufforstungen. Auf der Fläche 4 wurde trotz extremer Versauerung ($pH_{KCl} = 3,27$; $V = 7,0$ %) der zweithöchste DGZ_{100} -Wert ($4,50 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$) ermittelt. Dies wird auf die im Vergleich zu den anderen GBI-Standorten deutlich höheren Ton- und Schluffgehalte (oj-(x)uls; S13) sowie besseren Gefügeverhältnisse ($PV = \emptyset 56,3$ %) zurückgeführt. Die C_t -reichen Kippsubstrate unter Birke verfügen aufgrund fehlender meliorativer Verbesserung der Aciditätsverhält-

nisse erwartungsgemäß über deutlich geringere pH- sowie Basensättigungs- und letztendlich DGZ-Werte als die Kippenböden mit geringem C_t -Gehalt (Tab. 7).

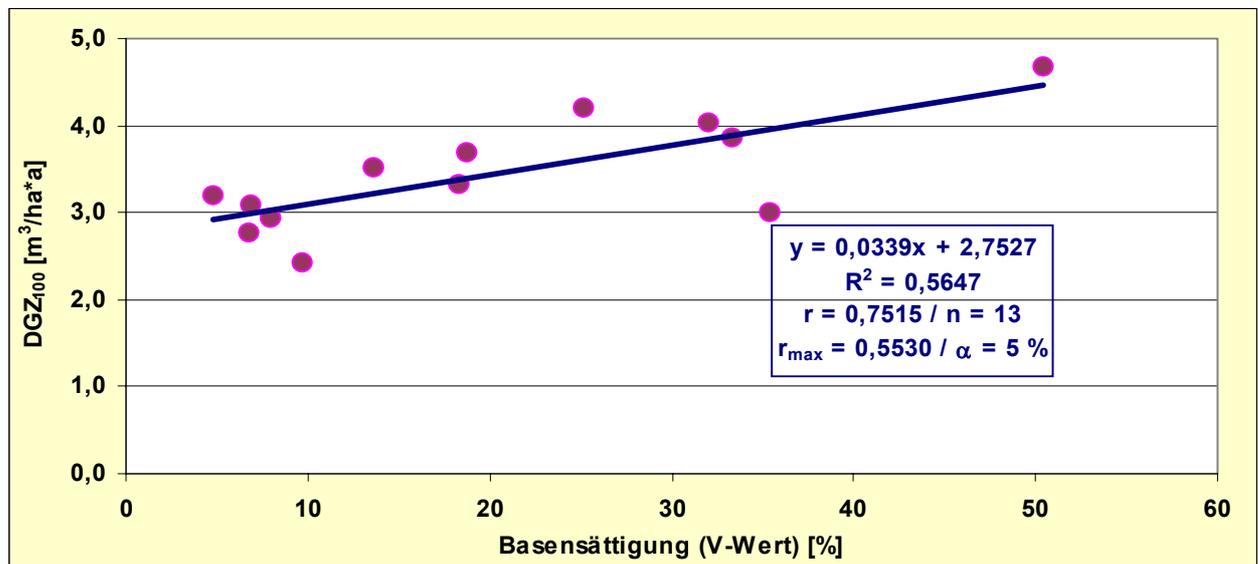


Abb. 35.1: Beziehungen zwischen dem DGZ₁₀₀ und der Basensättigung der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen

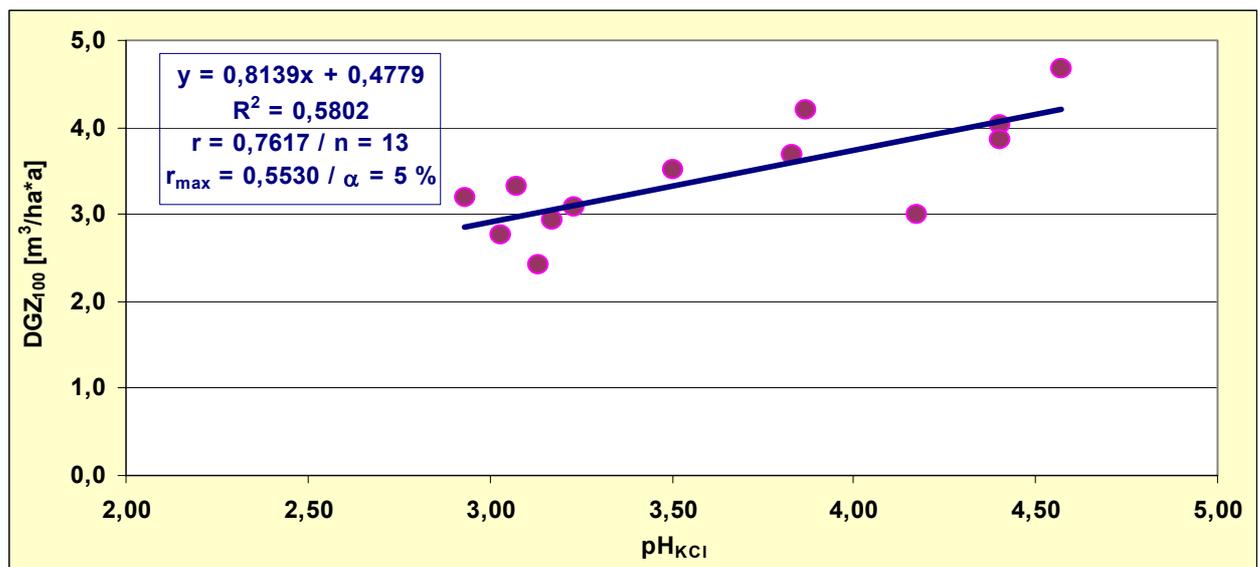


Abb. 35.2: Beziehungen zwischen dem DGZ₁₀₀ und dem Grad der Bodenversauerung (pH_{KCl}-Wert) der Kippenböden in den Birken-Erstaufforstungen

Tab. 7: Ausgewählte mittlere Bodenkennwerte des nichthumosen Mineralbodens und mittlerer DGZ₁₀₀ der nach C_t -Bodengehalten gruppierten ≥ 45 jährigen Birkenbestände (n = 10)

C_t -Gehalt [M.-%]	KAK _{pot} [mmol _c /100g FB]	V%	pH _{KCl}	DGZ ₁₀₀ [m ³ /ha*a]
0,31 bis 1,25 (n = 6)	5,53	21,61	3,87	3,73
1,26 bis 2,32 (n = 4)	12,25	7,31	3,06	2,83

Tab. 8: Korrelationen zwischen den DGZ-(y) und ausgewählten bodenkundlichen Kennwerten (x) des C-Horizontes in den ≥ 45 jährigen Birken-Kippenbeständen (n = 10)

Unabhängige Variable (x)	Korrelationskoeffizient ($r_{\max} = 0,6320$)
C_t [M.-%]	-0,8084
KAK_{pot} [mmol _c /100g FB]	-0,6605
V [%]	0,8271

Die Tab. 8 bestätigt, dass die Ertragsleistungen der Birken-Kippenforsten signifikant negativ durch die C_t -Bodengehalte und dementsprechend auch durch die potenziellen Kationenaustauschkapazitäten sowie signifikant positiv durch die Basensättigungen beeinflusst werden. Demgegenüber ergab sich zwischen den Analysedaten der Bodennährstoffe und den wachstumskundlichen Kenndaten keine statistisch gesicherte Beziehung. Der Einfluss der Bodenarten (AG Boden 1996) auf die Wuchsleistungen der Birkenforsten (rel. HBon, DGZ_{100}) ist ebenfalls unspezifisch, was auf die insgesamt ungünstigen Reaktionsverhältnisse zurückzuführen ist (Abb. 36). Lediglich die durchschnittlichen Gesamtwüchse fallen auf den feinsandigen Mittelsanden ab ($2,68 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$) und steigen in den auf Lehmsand stockenden Birkenbeständen leicht an ($3,82 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$).

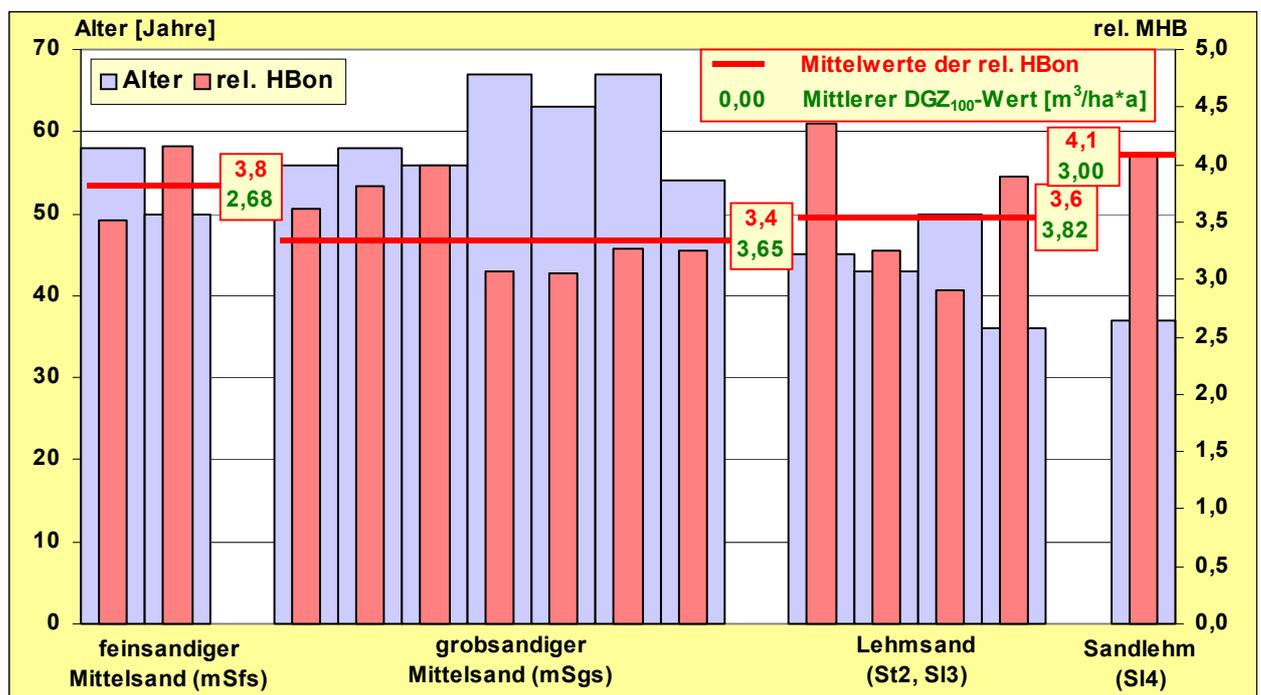


Abb. 36: Ertragsklassen (rel. HBon) und durchschnittliche Gesamtwüchse (DGZ_{100}) der Birken-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart

5.2.2 Nährstoffversorgung

Die Auswertung der Blattspiegelwerte erfolgt nach den von BERGMANN (1986) für eine ausreichende Nährstoffversorgung angegebenen Wertebereichen. Die darunterliegenden Blattgehalte kennzeichnen eine mangelhafte und alle darüberliegenden eine Überversorgung. Ergebnisse von HEINSDORF (1999) wurden in die Bewertung einbezogen.

5.2.2.1 Stickstoff

Die N_t -Blattspiegelwerte der Birkenbestände schwanken zwischen 2,63 und 2,99 % und befinden sich zumeist im unteren Drittel einer ausreichenden bzw. optimalen Versorgung nach BERGMANN (1986) (Abb. 37).

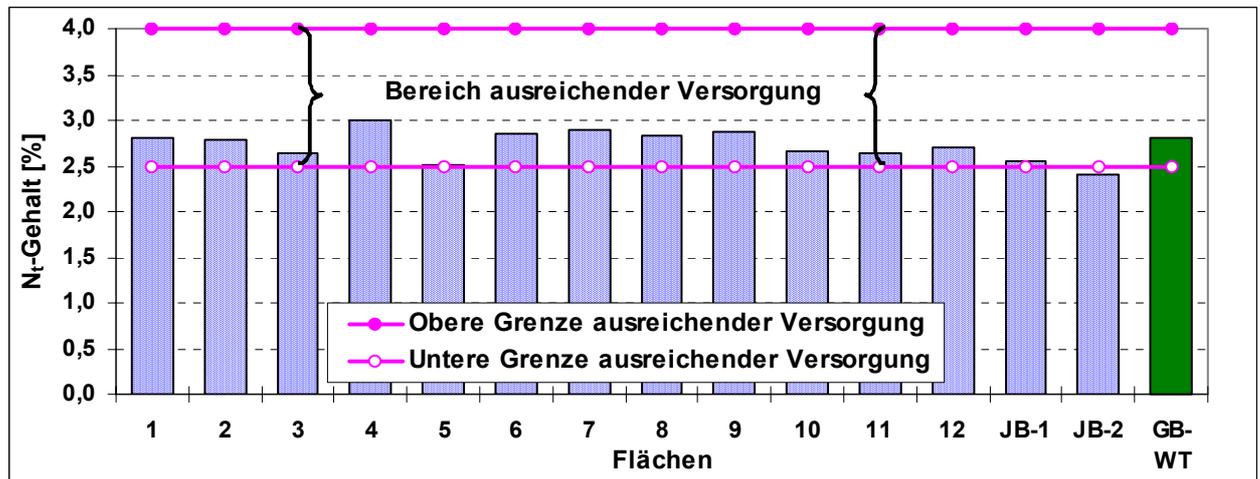


Abb. 37: N_t -Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Die mittleren N_t -Gehalte der Kippenkomplexe lassen eine regionale Differenzierung erkennen:

Kippenkomplex	\bar{N}_t -Gehalt
Kippe Annahütte	2,52 %
Kippe Kleinkoschen	2,67 %
Tröbitz Nord	2,74 %
Briesker Hochkippe	2,86 %
Domsdorfer Kippe	2,99 %

Bei Gruppierung der Bestände nach Kippenkomplexen beträgt somit die größte Abweichung zwischen den mittleren N_t -Gehalten der Birkenbestände 0,47 %. Mittelwert- und Medianberechnungen ergeben für die 12 mittelalten Birkenbestände 2,76 und 2,79 % N_t .

Die aktuellen Ertragsdaten und die Dynamik der Wuchsverläufe (Kap. 5.2.1) lassen darauf schließen, dass keine Engpässe bei der Stickstoffversorgung vorliegen. Auffallend ist die gerin-

ge Schwankungsbreite der N_t -Blattspiegelwerte ($cv\% = 4,70$). Die von BERGMANN (1986) für eine ausreichende N_t -Versorgung der Birke ausgewiesenen Blattspiegelwerte von 2,5 bis 4,0 % N_t sind wahrscheinlich an der unteren und oberen Grenze zu hoch bemessen. Auf den Kippen liegt die untere Grenze einer ausreichenden N_t -Versorgung bei ca. 2,2 %. Als Obergrenze sind maximal 3,0 % N_t anzugeben. Untersuchungen von HEINSDORF (1999) weisen eine optimale N_t -Ernährung der Baumart Birke bei Gehalten von 2,09 bis 2,69 % N_t aus und bestätigen somit weitgehend die eigenen Ergebnisse.

5.2.2.2 Phosphor

Die P-Blattspiegelwerte weisen mit einem Variationskoeffizienten von 33 % die stärksten Schwankungen im Komplex der Makronährstoffe auf (Abb. 38).

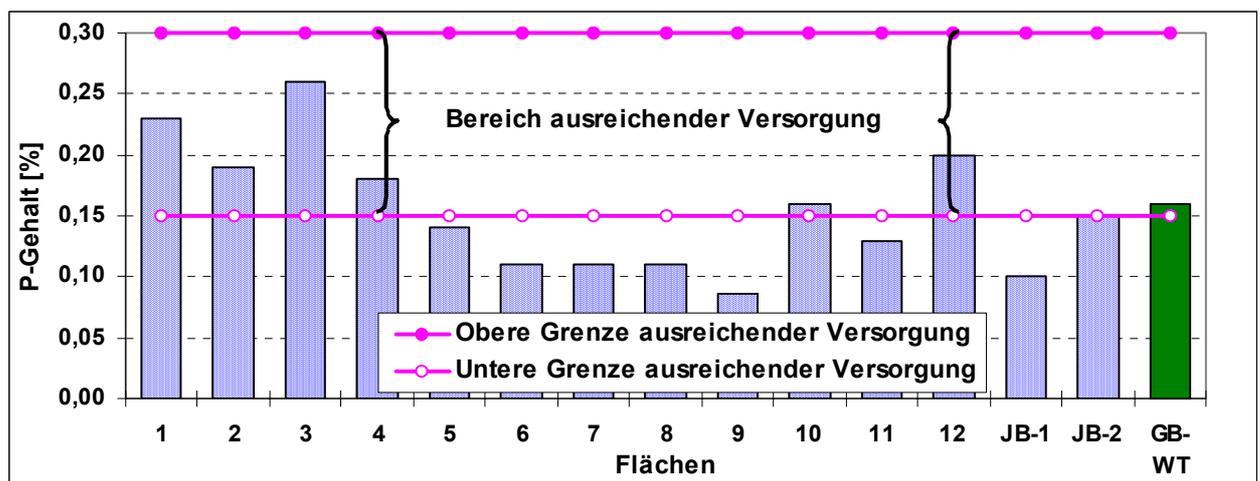


Abb. 38: P-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Auf der Briesker Hochkippe ist der P-Blattgehalt mit $\bar{\varnothing}$ 0,104 % am geringsten. Er zeigt eine deutliche Unterschreitung des ausreichenden Versorgungsbereiches an. HEINSDORF (1999) beziffert den optimalen P-Status der Gemeinen Birke mit 0,171 bis 0,251 %. Den geringen P-Spiegelwerten von 0,086 bis 0,110 % auf der Briesker Hochkippe (Flächen 6 bis 9) sind 3. Bonitäten zuzuordnen (Tab. 6 und Anlage 5.2). Damit werden auf diesem Kippenkomplex keine geringeren Wachstumsleistungen ermittelt als auf den überdurchschnittlich P-versorgten Kippen Tröbitz Nord ($\bar{\varnothing}$ 0,227 %) und Domsdorf (0,180 %) sowie auf der Fläche 12 (0,200 %). Die P-Gehalte aller mittelalten Birkenbestände liegen mit $\bar{\varnothing}$ 0,159 % geringfügig über dem unteren Schwellenwert ausreichender Versorgung (Median = 0,150 %). Die Jungbestände JB-1 und JB-2 sind mit 0,100 und 0,150 % P_t unterversorgt bzw. gerade noch ausreichend P-ernährt.

Der P-Blattgehalt auf dem unverritzten Alt-Waldstandort (GB-WT) indiziert mit 0,160 % P_1 eine ausreichende Versorgung. Er ist mit dem durchschnittlichen P-Spiegelwert der mittelalten Birkenforsten auf den zumeist unzureichend meliorierten Kippenstandorten nahezu identisch.

5.2.2.3 Kalium

Die K-Blattspiegelwerte der mittelalten Birken-Erstaufforstungen und der Jungbestände sind mit jeweils $\bar{\varnothing}$ 0,90 % identisch und kennzeichnen in beiden Altersgruppen eine Unterversorgung (Abb. 39). Lediglich die Birkenbestände 1 und 3 (beide Tröbitz Nord) überschreiten mit 1,20 und 1,10 % geringfügig die Grenze einer ausreichenden Versorgung. Trotz der geringen K-Gehalte bei den Beständen 6 bis 8 (Briesker Hochkippe) waren keine chlorotischen Veränderungen an den Assimilationsorganen erkennbar. Nach HEINSDORF (1999) sind bereits bei K-Blattspiegelwerten von 0,54 bis 0,79 % die Birken optimal mit Kalium versorgt. Hiernach befänden sich alle untersuchten Birkenbestände im Bereich der Optimal- bis Luxusversorgung.

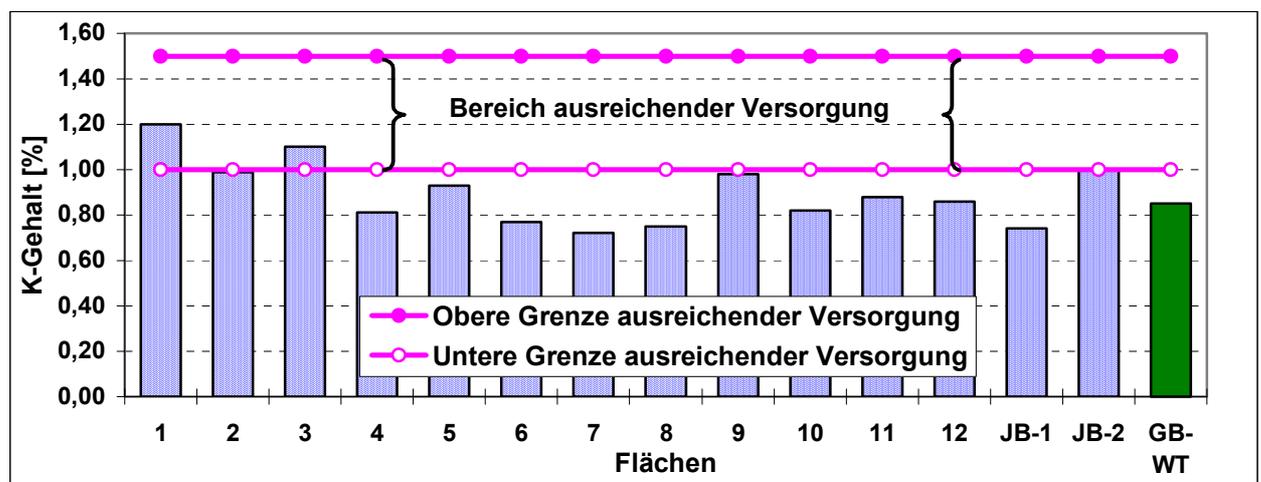


Abb. 39: K-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Der geringe K-Gehalt des Vergleichsbestandes GB-WT (0,85 %) bestätigt, dass die von BERGMANN (1986) für eine optimale Nährstoffversorgung ausgewiesenen K-Blattspiegelwerte zu hoch angesetzt sind. Bei K-Blattspiegelwerten von 0,70 % kann bereits von einer ausreichenden K-Ernährung der Birken ausgegangen werden. Somit entsprechen die von HEINSDORF (1999) ermittelten optimalen K-Spiegelwerte besser der Realität als die Vorgaben von BERGMANN (1986).

5.2.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K

Anlage 9.2 enthält die relativen N-, P- und K-Anteile an der Nährelementsumme der Blattspiegelwerte und die daraus resultierenden N/P- bzw. N/K-Verhältnisse.

Ein Vergleich zwischen den Kippenkomplexen weist bei den mittelalten Birken-Referenzbeständen auf eine kippenspezifische NPK-Ernährung hin:

	N		P		K
Brieske	75,9 %	↑	2,8 %	↓	21,3 %
Kleinkoschen	72,4 %		4,4 %		23,2 %
Tröbitz Nord	67,4 %		5,6 %		27,0 %

Die Differenzierungen bei den N-, P- und K-Anteilen sind vermutlich auf die unterschiedlichen Nährstoffgehalte der Substrate, die Meliorationsverfahren und die Stoffeinträge zurückzuführen. Da die Birke überwiegend auf kohleführenden Substraten stockt, stehen ihr hier wegen der Bildung stabiler metallorganischer P-Komplexe (FREESE et al. 1989) geringere Phosphormengen zur Verfügung als auf kohlefreien Sedimenten. Im Vergleich zu den Kiefern ist der K-Anteil an der NPK-Nährelementsumme bei den Birken um \varnothing 3,0 % höher. Das ist wahrscheinlich auf das höhere K-Aneignungsvermögen der Birke zurückzuführen. Die Verringerung der P-Gehalte führt außerdem zu einer rechnerischen Erhöhung der K- bzw. N-Anteile.

Aus dem Vergleich der relativen N-, P- und K-Anteile mit den ermittelten Wachstumsleistungen (Kap. 5.2.1) ergaben sich folgende annähernd optimale NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme: 65 bis 74 % N, 4 bis 7 % P und 22 bis 28 % K. Hierbei wurden die von BERGMANN (1986) und HEINSDORF (1999) vorgeschlagenen N-, P- und K-Versorgungsbereiche berücksichtigt. Es wurde vorausgesetzt, dass die optimalen N-, P- und K-Blattgehalte der Birken bei 2,2 bis 3,0 % N_t (BERGMANN 1986: 2,5 bis 4,0 %; HEINSDORF 1999: 2,09 bis 2,69 %), 0,15 bis 0,30 % P_t (BERGMANN 1986: 0,15 bis 0,30 %; HEINSDORF 1999: 0,171 bis 0,251 %) und 0,80 bis 1,20 % K_t (BERGMANN 1986: 1,00 bis 1,50 %, HEINSDORF 1999: 0,54 bis 0,79 %) liegen.

Der auf unverritztem Waldstandort stockende Vergleichsbestand GB-WT bestätigt die ermittelte optimale NPK-Relation. Bei einer den Kippenforsten sehr ähnlichen NPK-Nährelementsumme (3820 mg/100g TS) liegt eine Verteilung der NPK-Anteile im Verhältnis 74:4:22 vor.

5.2.2.5 Calcium und Magnesium

Die Ca- und Mg-Blattspiegelwerte sind mindestens im Bereich der von BERGMANN (1986) angesetzten Spanne für eine ausreichende Versorgung (Abb. 40 und 41) positioniert. In den mittelalten Birkenforsten werden $\bar{\varnothing}$ 1,23 % Ca und 0,31 % Mg und in den Jungbeständen $\bar{\varnothing}$ 1,35 % Ca und 0,28 % Mg festgestellt. In 7 Beständen liegen die Mg-Spiegelwerte über dem oberen Grenzwert einer ausreichenden Ernährung.

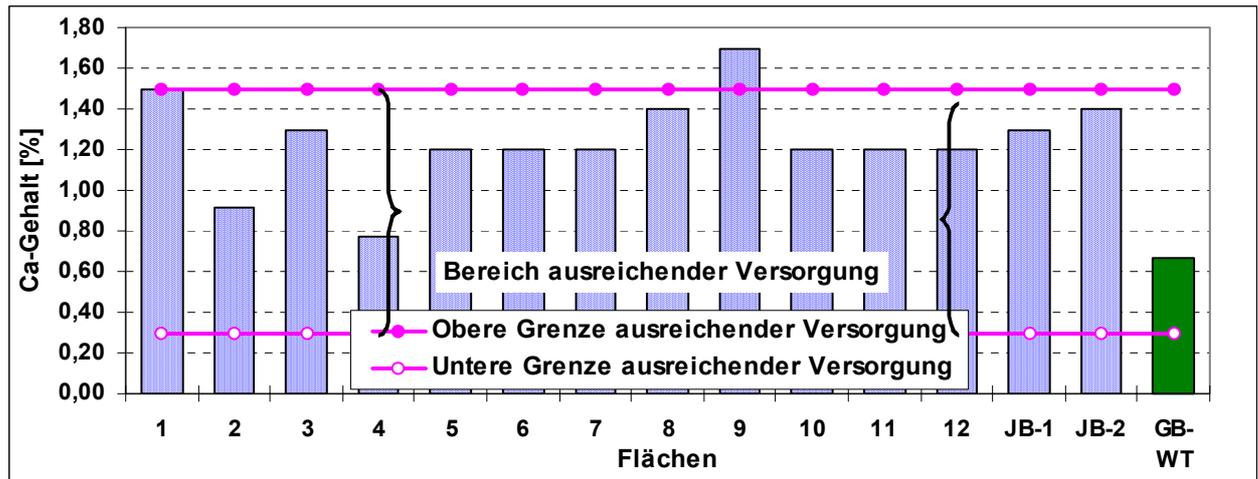


Abb. 40: Ca-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

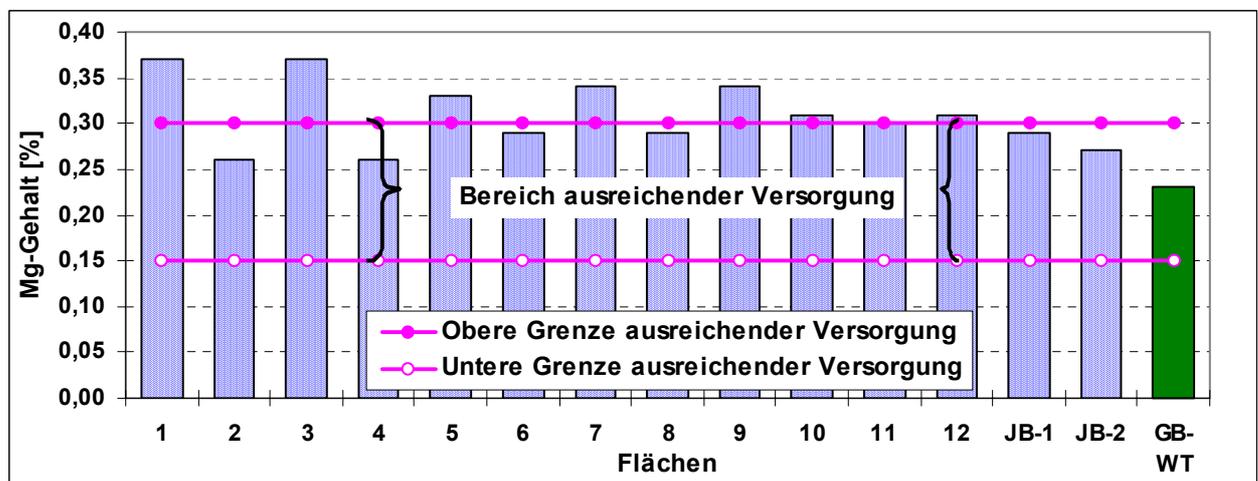


Abb. 41: Mg-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Die hohen Ca-Blattgehalte auf der Briesker Kippe (Abb. 42) korrespondieren mit den Analyseergebnissen zur magnetischen Suszeptibilität (Kap. 5.4.1.1) und mit der räumlichen Nähe zu den Basenemittenten (z.B. Brikettfabriken Meurostolln und Fortschritt, Industriekomplex Brieske). Die geringsten absoluten Ca- und Mg-Gehalte werden auf der Domsdorfer Kippe bestimmt. Auf den Kippenstandorten ist eine um durchschnittlich 1,86-fach höhere Ca- und 1,34-fach höhere Mg-Versorgung nachweisbar als auf dem Alt-Waldstandort.

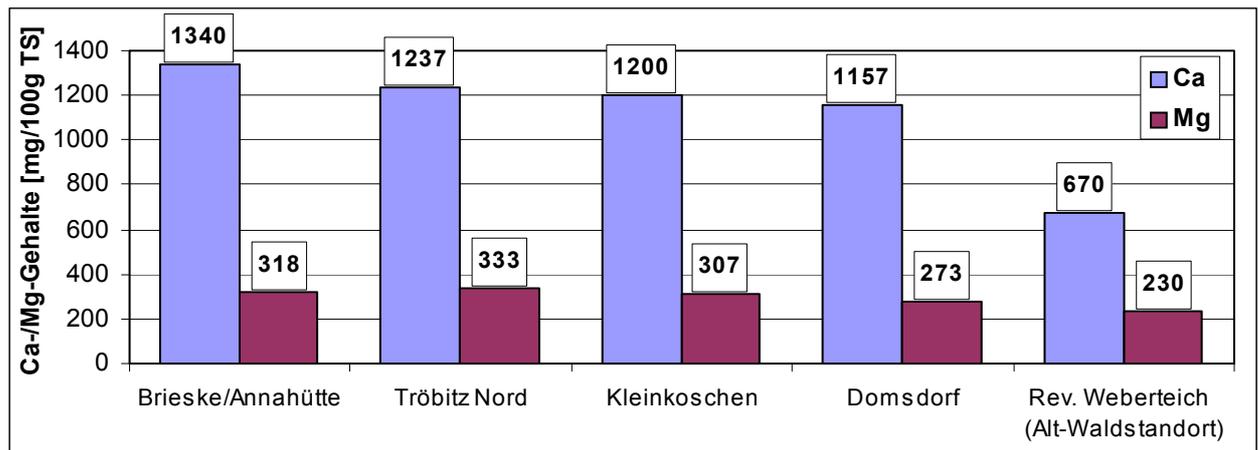


Abb. 42: Mittlere Ca- und Mg-Gehalte der Birkenbestände nach Kippenkomplexen

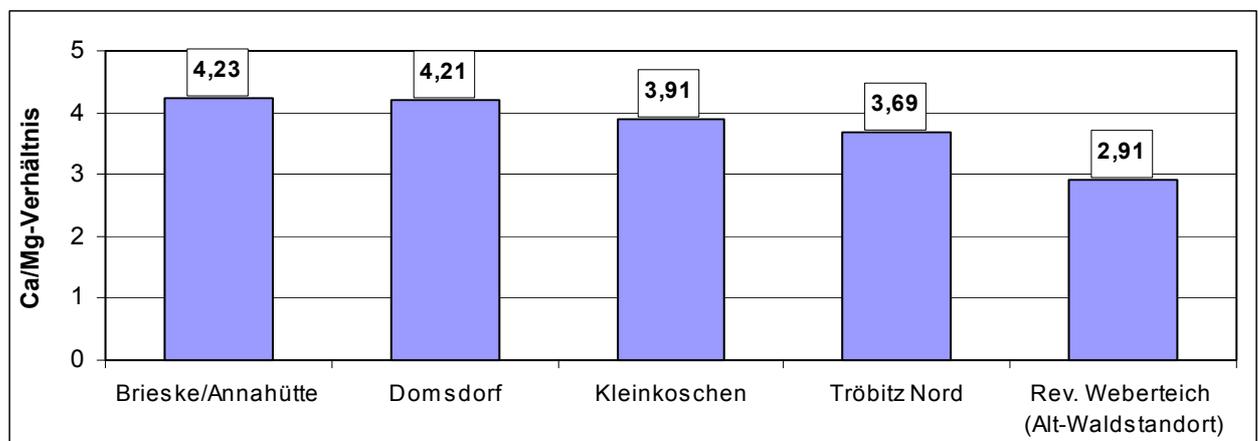


Abb. 43: Ca/Mg-Verhältnisse der Blattspiegelwerte

Die Gruppierungen der Kippenkomplexe nach den Ca/Mg-Verhältnissen (Abb. 43) und nach den Ca-/Mg-Gesamtgehalten weichen voneinander ab. Markant sind die relativ hohen Ca/Mg-Verhältnisse auf den Kippen Brieske/Annahütte (4,23) und Domsdorf (4,21). In Brieske macht sich wiederum der über Jahrzehnte währende Eintrag großer Mengen an basenreichen Flugaschen bemerkbar. Auf der Domsdorfer Kippe ist die Ca/Mg-Relation als Indiz für die physiologische Langzeiteffizienz bodenmeliorativer Maßnahmen, vor allem hinsichtlich des Einsatzes CaO-reicher Kesselhausasche, zu werten.

Ein Vergleich zwischen den Ca-Blattspiegelwerten auf den Kippenstandorten und dem unverritzten Waldstandort unterstreicht, dass die Ca-Gehalte für eine „ausreichende Ernährung“ nach BERGMANN (1986) zu hoch angesetzt sind. Der Bestand auf unverritztem Waldstandort erzielt bei einem Ca-Blattspiegelwert von 0,67 % bereits eine den Birken-Kippenforsten vergleichbare Bonität (Ekl. 3,2 nach LOCKOW 1996). Sowohl bei der geringsten (Fläche 3: Ekl. 4,0; 1,30 % Ca) als auch bei der höchsten Flächen-Ertragsleistung (Fläche 5: Ekl. 2,9; 1,20 % Ca) wurden hohe Ca-Blattgehalte ermittelt. Aufgrund der guten Wuchsleistungen und Vitalität der Kippen-

forsten kann die Obergrenze einer als „ausreichend“ definierten Ca-Versorgung auf Kippenstandorten mit 1,20 % angesetzt werden. Höhere Ca-Blattspiegelwerte führen nicht zu einer Verbesserung der Wuchsleistung. HEINSDORF (1999) gibt für die Birke optimale Versorgungsbereiche von 0,50 bis 0,72 % Ca und von 0,120 bis 0,187 % Mg an.

5.2.2.6 Schwefel und Eisen

Bei Bezugnahme auf die Vorgaben von HEINSDORF (1999) ergibt sich folgende Flächenverteilung auf die jeweiligen Ernährungsstufen (Tab. 9):

Tab. 9: S_t- und Fe-Ernährungsstatus der untersuchten Birken-Erstaufforstungen nach HEINSDORF (1999)

Ernährungsstufe	Flächen-Nr.	S _t -Status ¹⁾ Absolut (Relativ)	Flächen-Nr.	Fe-Status ¹⁾ Absolut (Relativ)
II	-	-	5, 7	n = 2 (16,7 %)
III	3, 9 (JB-2)	n = 2 (16,7 %)	6	n = 1 (8,3 %)
IV	1, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12 (JB-1)	n = 8 (66,6 %)	1, 4, 8, 11 (JB-2)	n = 4 (33,3 %)
V	2, 4	n = 2 (16,7 %)	2, 3, 9, 10, 12 (JB-1)	n = 5 (41,7 %)

Anm.: 1) nur mittelalte Birken-Kippenbestände

Der Vergleichsbestand GB-WT ist mit 0,26 % S_t der Stufe IV zuzuordnen und liegt mit 70 ppm Fe im Bereich der Eisen-Mangelversorgung (Stufe I). Der mittlere S_t-Blattgehalt aller untersuchten Birken-Kippenforsten (Ø 0,26 %) ist mit dem S_t-Gehalt des Vergleichsbestandes identisch. Demgegenüber liegt der mittlere Fe-Gehalt in den Birken-Kippenforsten mit Ø 151 ppm deutlich über dem Fe-Blattgehalt der unverritzten Fläche GB-WT. Diese Differenz ist auf die Pyritverwitterung und die damit verbundene Herauslösung pflanzenverfügbarer Fe-Anteile aus der FeS₂-Struktur zurückzuführen.

5.2.2.7 Natrium

In den mittelalten Birkenbeständen weisen die Na-Gehalte mit cv% = 65,9 einen extrem hohen Variationskoeffizienten auf. Wegen der hohen Variation wurde in der Vergangenheit meist auf eine differenzierte Bewertung der Na-Spiegelwerte verzichtet.

BERGMANN (1986) verweist auf die Möglichkeit einer gehemmten Ca²⁺-, Mg²⁺- und K⁺-Aufnahme bei Na-Überschuss. Dies kann für die Birkenbestände mit den höchsten Na-Blattgehalten von 180 ppm Na (Fläche 1) und 170 ppm Na (Fläche 3) nicht bestätigt werden (Abb. 44). Beide

Bestände sind mit Ca, Mg und K optimal bis überversorgt. Nach HEINSDORF (1999) liegen 91,7 % (n = 11) der mittelalten Bestände, die beiden Jungbestände und der Vergleichsbestand weit im Bereich der Na-Extremversorgung (> 23 ppm).

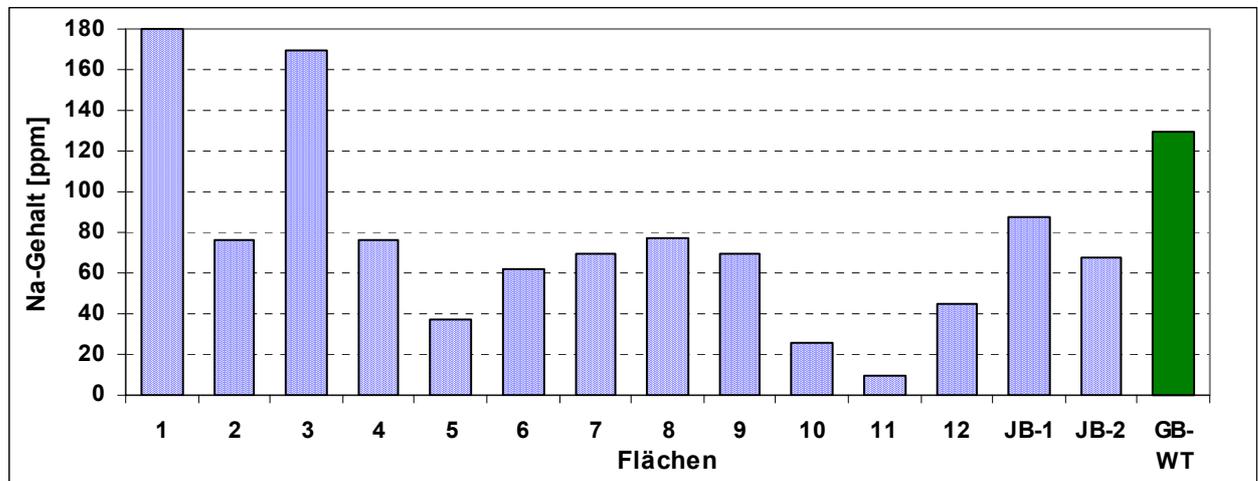


Abb. 44: Na-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände

5.2.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle

Die Auswertung der Mikronährstoffgehalte konzentriert sich zunächst auf die in den BERGMANNschen Vergleichstabellen ausgewiesenen Elemente Zink, Mangan und Kupfer. Während die Cu-Gehalte der Birkenblätter durch eine schwankungsarme Verteilung gekennzeichnet sind (alle Birkenforsten: $cv\% = 16,1$), fällt der Variationskoeffizient bei Mangan ($cv\% = 67,7$) extrem hoch aus (Anlage 8.2).

Die **Zink**-Gehalte befinden sich mit durchschnittlich 128 ppm weit über den Empfehlungen für eine ausreichende Versorgung (15 bis 50 ppm, BERGMANN 1986). Auch der Zn-Wert des Vergleichsbestandes fällt mit 120 ppm sehr hoch aus. Es ist davon auszugehen, dass die von BERGMANN (1986) vorgeschlagenen Grenzwerte für eine ausreichende Versorgung zu niedrig angesetzt sind. HEINSDORF (1999) ermittelte einen optimalen Zn-Bereich von 52 bis 70 ppm.

Die mittleren **Mangan**-Gehalte (\bar{x} 119 ppm) überschreiten den empfohlenen Versorgungsbereich (30 bis 100 ppm); der Median hingegen (73 ppm) liegt innerhalb dieses Bereiches. Insgesamt kann nach BERGMANN (1986) von einer ausreichenden Mn-Versorgung ausgegangen werden. Demgegenüber bewertet HEINSDORF (1999) Mn-Gehalte von 230 bis 332 ppm als Unterversorgung (Stufe II) und < 230 ppm als Mangelversorgung (Stufe I). Hiernach wären die Bestände 1 und GB-WT unterversorgt und alle anderen GBI-Bestände mangelversorgt.

Kupfer ist in den Assimilationsorganen der Birken mit 4,4 bis 7,4 ppm nachweisbar (ausreichend = 6 bis 12 ppm, BERGMANN 1986). Der arithmetische Mittelwert von 5,6 ppm Cu entspricht einer geringen Unterversorgung.

Die Blattspiegelwerte der Elemente **Aluminium**, **Cadmium**, **Blei** und **Nickel** enthält Anlage 8.2. Nach HEINSDORF (1999) sind 6 mittelalte Birkenbestände, beide Jungbestände und der Vergleichsbestand GB-WT der Al-Versorgungsstufe I (15 bis 22 ppm Al), weitere 5 Bestände der Stufe II (22 bis 32 ppm Al) und der Bestand Nr. 4 der Stufe III (32 bis 47 ppm Al) zuzuordnen.

5.2.2.9 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze

Eine Gruppierung der Birken-Erstaufforstungen nach Altersgruppen (Tab. 10) belegt eine deutliche Zunahme der Stickstoff-Blattspiegelwerte mit dem Bestandesalter. Dies korrespondiert mit dem Anstieg der N_t -Vorräte im Auflagehumus. Die räumliche Nähe der untersuchten Kippenkomplexe zueinander schließt eine depositionsbedingte kippenspezifische Modifizierung der N_t -Blattgehalte weitgehend aus. Demnach führt die allmähliche Etablierung ökosystemarer Nährstoffkreislaufprozesse zur Verbesserung der N-Ernährung. Der N_t -Blattspiegelwert erreicht in den zumeist unzureichend meliorierten Substraten, die arm an pflanzenverfügbarem Stickstoff sind, eine ausreichende Versorgung ($> 2,5\%$ N_t nach BERGMANN 1986) frühestens ab einem Alter von ca. 40 Jahren und/oder bei N_t -Humusvorräten $> 1,5$ t/ha. Am Beispiel der meliorativ vorbereiteten Flächen auf der Domsdorfer Kippe lässt sich nachweisen, dass die N_t -Blattspiegelwerte auch in Beziehung zu den N_t -Gehalten im Ah-Horizont stehen (Tab. 11).

Tab. 10: Mittlere N_t -Gehalte der Birkenblätter und N_t -Vorräte der Humusauflage

Altersgruppe	Anzahl (n)	Ø Alter ¹⁾ [Jahre]	N_t -Blattspiegelwerte [%]	N_t -Humusvorräte [t/ha]
30 – 40 Jahre	2	37,5	2,48	1,48
40 – 60 Jahre	9	53,2	2,73	1,64
> 60 Jahre	3	66,7 ↓	2,86 ↓	2,51 ↓

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1998

Tab. 11: Mittlere N_t -Gehalte der Birkenblätter, der Humusauflage und des Ah-Horizontes in den Birkenbeständen auf der Kippe Domsdorf

	Flä.-Nr.	Alter ¹⁾ [Jahre]	N_t -Blattspiegelwerte [%]	N_t -Humusgehalte [%]	N_t -Gehalte im Ah-Horiz. [%]
Domsdorfer Kippe	JB-2	37 ●	2,40 ●	0,91 ●	0,20 ●
	JB-1	38 ↓	2,56 ↓	1,10 ↓	0,28 ↓
	4	44 ↓	2,99 ↓	1,84 ↓	0,92 ↓

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1998

Der Stickstoff-Blattgehalt des 60jährigen Vergleichsbestandes (GB-WT = 2,81 % N_t) gibt Anlass zur Vermutung, dass ab einem Alter von 50 bis 60 Jahren in den Birken-Erstaufforstungen über Mineralisationsprozesse Stickstoffmengen bereitgestellt werden, die mit jenen unverritzter Alt-Waldstandorte vergleichbar sind. Offenbar stabilisieren sich die ökosystemaren N-Kreisläufe in den Birken-Kippenbeständen ab einem Alter von etwa 50 bis 60 Jahren. Bei Alterswerten von ≥ 64 Jahren und $\geq 2,11$ t/ha organische Auflage erreichen die N_t-Blattgehalte der untersuchten Birken-Erstaufforstungen einen oberen Schwellenwert (2,8 bis 3,0 % N_t) und steigen nicht weiter an.

Die P-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenforsten steigen tendenziell mit den P-Gehalten in der Humusaufgabe an. Durch die Streuzersetzung wird pflanzenverfügbarer Phosphor in den Stoffkreislauf zurückgeführt, der wiederum die P-Blattgehalte beeinflusst. Allerdings ist kein statistisch gesicherter Zusammenhang nachweisbar ($r_{\max} = 0,5320$, $r = 0,4792$, $n = 14$, $\alpha = 5\%$).

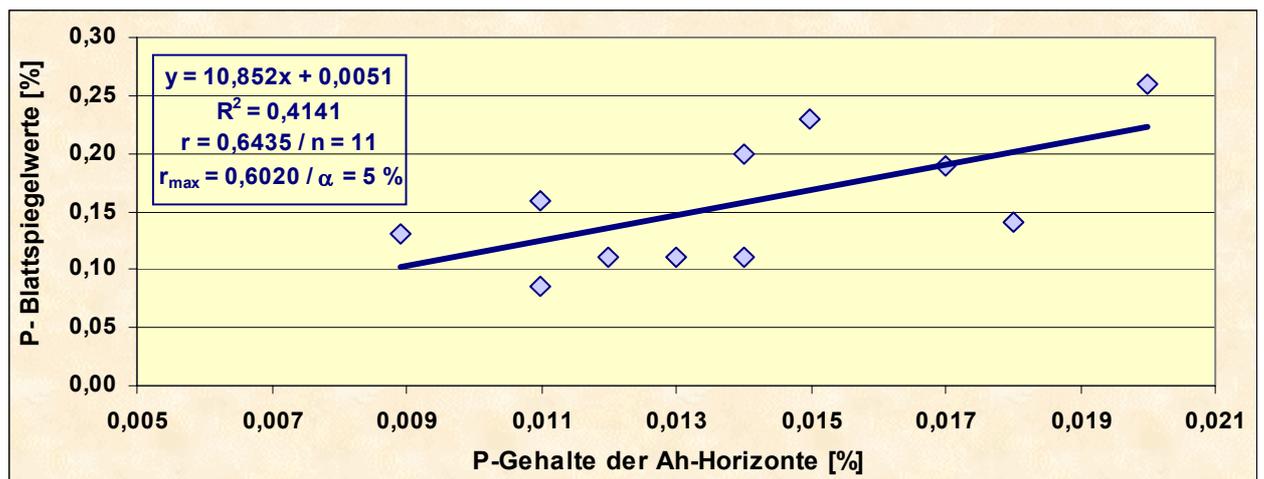


Abb. 45.1: P-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den P_t-Gehalten der Ah-Horizonte

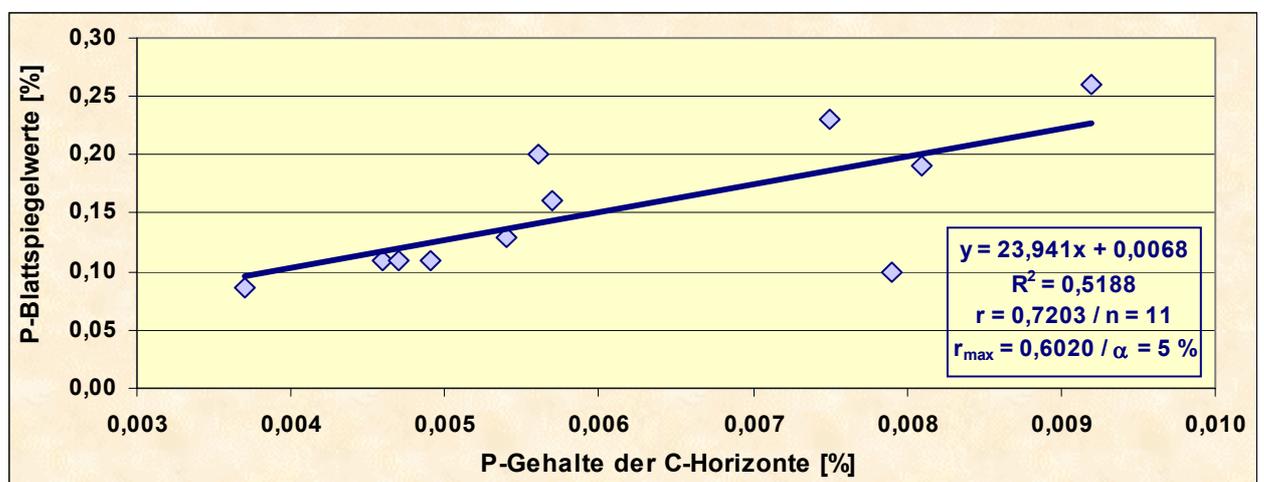


Abb. 45.2: P-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den P_t-Gehalten der C-Horizonte

Bei P-Gehalten $< 0,02$ % im Ah-Horizont (Abb. 45.1) und $< 0,01$ % im C-Horizont (Abb. 45.2) ist hingegen eine signifikante Zunahme der P-Blattspiegelwerte mit den Phosphor-Gehalten sowohl im Ah-Horizont als auch im nichthumosen Mineralboden bis 100 cm Bodentiefe nachweisbar. Diese Beziehungen sind wahrscheinlich auf Verwitterungs- sowie Mineralisierungsprozesse und die Anreicherung von Vegetationsrückständen zurückzuführen.

Phosphor liegt in sehr unterschiedlichen Bindungsformen vor, von denen nur ein gewisser Anteil pflanzenverfügbar ist bzw. wird. FREESE et al. (1989) und VETTERLEIN et al. (1999) verweisen auf die äußerst stabile Fixierung des Phosphors in kohlehaltigen Substraten und auf die damit verbundene Limitierung des Pflanzenwachstums. Im Ah-Horizont der Mineralböden sind 25 bis 65 % des Phosphors organisch gebundenen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1998). Die Mineralisationsrate und damit die Freisetzung des Phosphors durch Abbau der organischen Bodensubstanz variiert in Abhängigkeit von Vorrat und Güte der organischen Auflage sowie von der Bodenreaktion erheblich. Ein Teil des freigesetzten Phosphors bleibt pflanzenverfügbar, ein anderer Teil wird vermutlich an Fe- und Al-Ionen gebunden, die wiederum mit Humin- und Fulvosäuren komplexiert sind. Diese metallorganischen P-Komplexe verringern vor allem in den aschemelierten kohle- und schwefelhaltigen Kippenböden die Verfügbarkeit des Phosphors. Die auf aschemelierten Kippenstandorten stockenden Birkenbestände (Flächen 4, JB-1 und JB-2, alle Kippe Domsdorf) wurden deshalb nicht in die Korrelationsanalyse einbezogen.

Aus dem Vergleich der Calcium- bzw. Magnesium-Blattspiegelwerte mit den Ca- und Mg-Gehalten in der Humusaufgabe bzw. im humusfreien Mineralboden ergaben sich keine stochastischen Beziehungen. Vermutlich übersteigen die Ca- und Mg-Bodenvorräte den Nährstoffbedarf der Bäume, so dass die Ca- und Mg-Blattgehalte bei Überschreitung eines oberen Schwellenwertes und gleichzeitig steigendem pedogenen Nährstoffangebot nur noch geringfügig zu- oder gar abnehmen. Diese Blattspiegel-Schwellenwerte liegen bei etwa 1,50 bis 1,70 % Ca und 0,30 bis 0,35 % Mg. Sie decken sich weitgehend mit Angaben von HEINSDORF (1999).

Bei Gehalten von $> 0,012$ bis $0,015$ % Phosphor, $> 0,15$ % Calcium und $> 0,03$ % Magnesium im humusfreien Mineralboden hat sich der Ernährungsstatus der Birken-Kippenforsten nicht weiter verbessert.

Die Kalium-Blattspiegelwerte korrespondieren ebenfalls nicht mit den Kaliumgehalten in der organischen Auflage. Dagegen zeichnet sich eine signifikante Abnahme der K-Blattgehalte mit steigenden Kaliumgehalten in den Ah- und im C-Horizonten ab (Abb. 46.1 und 46.2). Für die negative Korrelation zwischen K-Blatt- und K-Bodengehalten sind zwei Ursachen zu nennen:

Zum einen können bei sauren Bodenreaktionen vor allem durch Protonierung der organischen Sorptionsträger und durch Kationenaustausch erhebliche K^+ -Auswaschungsverluste auftreten. Bei Versauerungen nimmt die variable Ladung ab, es werden die KAK_{eff} der Huminstoffe verringert und weniger Nährstoffionen sorbiert. Zum anderen sind K-Verdünnungseffekte möglich, wenn bei zunehmender Biomasseproduktion nicht adäquat ansteigende K-Bodengehalte vorliegen.

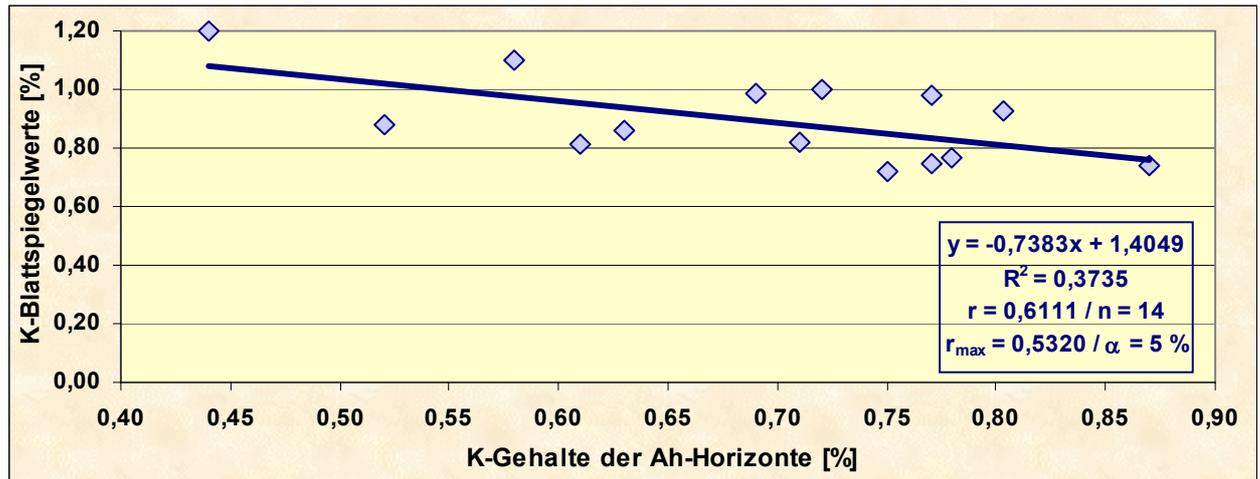


Abb. 46.1: K-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den K_t -Gehalten der Ah-Horizonte

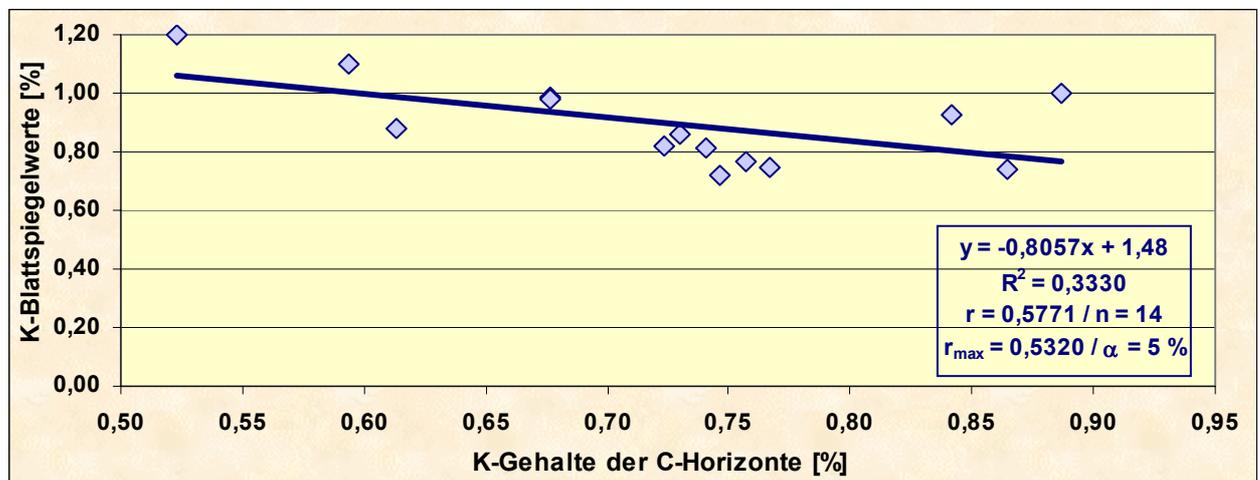


Abb. 46.2: K-Blattspiegelwerte der Birken-Kippenforsten in Abhängigkeit von den K_t -Gehalten der C-Horizonte

5.3 Eichenreinbestände

5.3.1 Waldwachstum

Die Untersuchungen wurden in Trauben- und Roteichen-Reinbeständen durchgeführt, um das Wuchsverhalten beider Baumarten und ihre Rückwirkungen auf den Standort vergleichen zu können.

Die Bonitierung der Trauben- und Roteichenbestände erfolgte ertragstafelbedingt nach der Mittelhöhe. Die große Zahl unter- und zwischenständiger Individuen in den nahezu ungepflegten Eichenbeständen kann rechnerisch den Durchmesser und die Höhe des Grundflächenmittelstammes beeinflussen und zur Unterschätzung der Bonitäten führen. Anlage 5.3 enthält die wesentlichen dendrometrischen Parameter der Trauben- und Roteichen-Erstaufforstungen.

5.3.1.1 Dendrometrische Kenndaten

5.3.1.1.1 Traubeneiche

Der geringe Anteil der Traubeneiche an der Aufforstungsfläche resultiert vermutlich aus der Überbewertung ihrer Standortsansprüche sowie fehlenden wissenschaftlichen Grundlagen für die nachhaltige Verbesserung der Aciditätsverhältnisse auf kohle- und schwefelhaltigen Kippenstandorten. Erst seit Mitte der 60er Jahre wurde die Traubeneiche stärker berücksichtigt (KLEINSCHMIDT 1994). Daraus resultiert das relativ geringe Alter der untersuchten Traubeneichenbestände (23 bis 44 Jahre, $\bar{\varnothing}$ 31,1 Jahre), deren Altersstufen wie folgt verteilt sind:

Altersstufen	Flächennummer/-bezeichnung	Anzahl
20-29 Jahre (IIj)	2, 3, 4-V1, 4-V2	n = 4
30-39 Jahre (IIa)	1, 7	n = 2
40-49 Jahre (IIIj)	6	n = 1

Während der Grundflächenmittelstamm durch Mediane von $Z_{DG} = 9,00$ cm und $Z_{HG} = 10,70$ m ($MW_{DG} = 10,37$ cm; $MW_{HG} = 10,48$ m) gekennzeichnet ist, betragen die Durchmesser- und Höhendaten beim ASSMANNschen Oberhöhenstamm $Z_{DG100} = 15,78$ cm und $Z_{HG100} = 13,89$ m ($MW_{DG100} = 17,30$ cm; $MW_{HG100} = 12,82$ m) (Anlage 5.3).

Die relativen Mittelhöhenbonitäten (Ertragsklassen) schwanken insgesamt zwischen -0,3 und 1,4, die absoluten Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) zwischen 22,1 und 33,0 m. Bemerkenswert sind die in allen Altersstufen hervorragenden Wuchsleistungen der Traubeneichen, die ihre Eignung als Rekultivierungsbaumart bestätigen (Tab. 12).

Tab. 12: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM_{100}) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) nach ERTELD (1961) in den Altersstufen der untersuchten Traubeneichen-Erstaufforstungen

	20 - 29 Jahre (IIj)	30 - 39 Jahre (IIa)	40 - 49 Jahre (IIIj)
rel. MHB (Ekl.)	0,73	0,90	0,00
absolute Mittelhöhe (HM_{100})	22,0	21,5	24,1
absolute Oberhöhe (HO_{100})	26,0	31,9	30,8

Auch die DGZ_{100} -Werte bewegen sich auf sehr hohem Niveau (Abb. 47). Die Forsteinrichtung (MELF 1995) weist für die Traubeneiche im Bereich des Aff Doberlug-Kirchhain einen mittleren DGZ_{100} von $4,8 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ aus, so dass die TEI-Bestände auf den Kippenstandorten von überdurchschnittlicher Wüchsigkeit sind. Dies ist auf die Bodenarten (Kap. 5.4.2.1.2) und die Grundmelioration der zumeist tertiären Traubeneichen-Kippenstandorte zurückzuführen. Allerdings ist gegenwärtig noch nicht einschätzbar, ob die 23- bis 44jährigen Eichen-Erstaufforstungen im weiteren Bestandesleben dieses Leistungsniveau halten können.

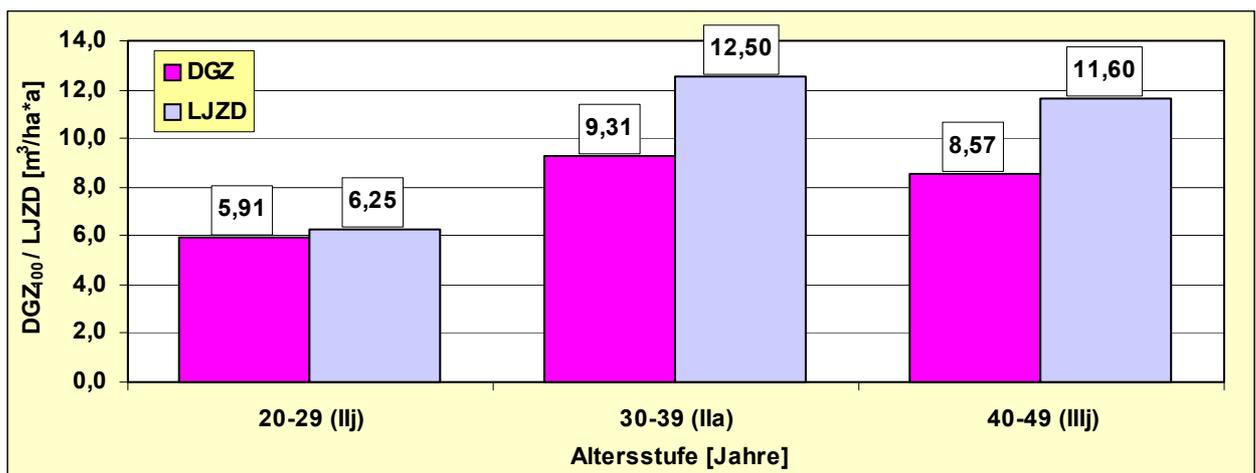


Abb. 47: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der TEI-Reinbestände

Die jährlichen Derbholzzuwächse verdoppeln sich von der Altersstufe IIj zur Altersstufe IIa auf $12,50 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ und fallen in der Altersstufe IIIj auf $11,60 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ ab (Abb. 47).

Die derbholzbezogenen Volumenschlussgrade (V°) übersteigen im Alter von 20-29 Jahren deutlich die Vollbestockung (Abb. 48). In der Altersstufe IIa (30-39 Jahre) wird ein mittlerer Volumenschlussgrad von lediglich 0,62 errechnet. Er resultiert vermutlich aus geringen Anwuchsprozenten und aus Verlusten durch Wildverbiss. Der 44jährige Eichenbestand Nr. 6 weist aufgrund stabilitäts- und qualitätsorientierter Pflegemaßnahmen und natürlicher Differenzierungsprozesse mit $V^\circ = 0,98$ Vollbestockung auf.

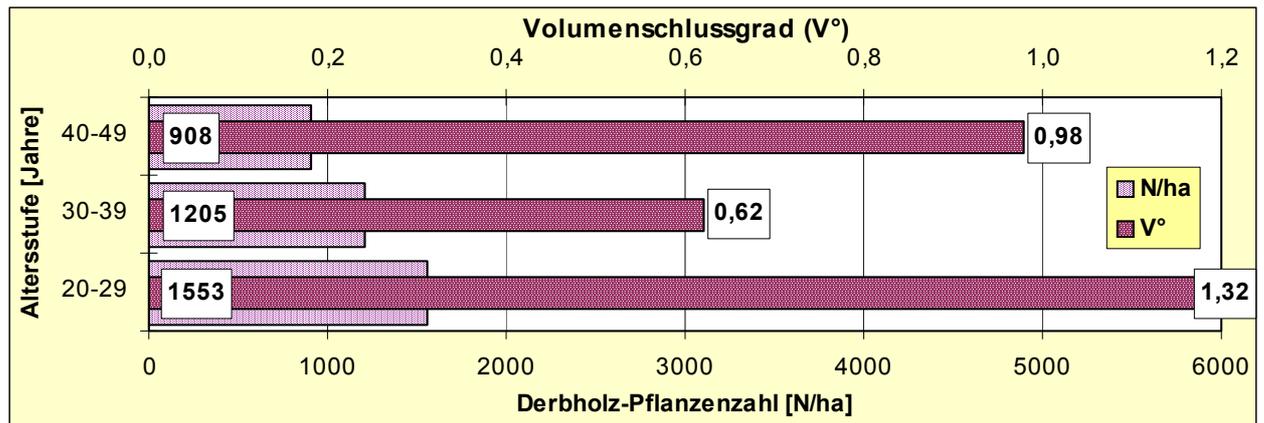


Abb. 48: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzanzahlen (N) in den Altersstufen der TEI-Reinbestände

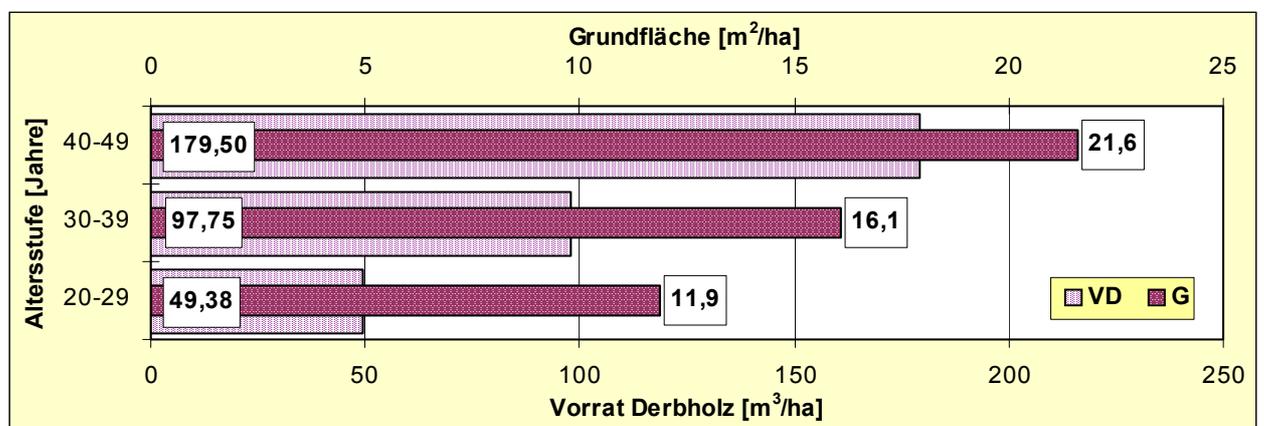


Abb. 49: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der TEI-Reinbestände

Abb. 49 belegt eine altersstufenweise Steigerung der Grundfläche in den Traubeneichenbeständen von ca. 5 m² pro ha und Dekade. Des Weiteren ist eine stetige Steigerung der Derbholzvorräte bis zur Altersstufe IIIj festzustellen. Die Schaftholzvorräte steigen von 81,23 (20 bis 29 Jahre) über 111,55 (30 bis 39 Jahre) bis auf 180,70 m³/ha (40 bis 49 Jahre). Der altersstufenweise Anstieg der Grundflächen und der Derbholzvorräte trotz abnehmender Pflanzanzahlen (Abb. 48) ist auf das realisierte Dicken- und Höhenwachstum in den Altersstufen IIa und IIIj zurückzuführen (Tab. 13). Der enorme Anstieg der Grundfläche und damit der Derbholzmasse in der Jungwuchs- und Jungbestandesphase wird als Besonderheit der Kippen-Erstaufforstungen mit Traubeneiche gewertet.

Tab. 13: Durchmesser- und Höhenentwicklung in den untersuchten Altersstufen, gemessen am ASSMANNschen Oberhöhenstamm

Altersstufe	Mittlerer Durchmesser (DG100) [cm]	Mittlere Höhe (HG100) [m]
IIj (20 – 29 Jahre)	13,36	10,26
IIa (30 – 39 Jahre)	21,16	14,93
IIIj (40 – 49 Jahre)	25,49	18,84

5.3.1.1.2 Roteiche

Die Roteiche wurde bei der forstlichen Kippenrekultivierung weitaus häufiger verwendet als die Traubeneiche. Hierbei waren Aspekte des Waldbrandschutzes, die Entwicklung der Roteiche in der Jugendphase und ihre Fähigkeit, sehr stark saure Bodenschichten ($\text{pH} < 4,0$) zu durchwurzeln (MUTSCHER 1963, LORENZ 1967), von zentraler Bedeutung.

Die untersuchten REI-Reinbestände weisen folgende Altersstufenverteilung auf:

Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl	Altersstufen	Flächennummer/ -bezeichnung	Anzahl
20-29 Jahre (IIj)	5-V1, 5-V2	n = 2	50-59 Jahre (IIIa)	nicht belegt	
30-39 Jahre (IIa)	JB-1, JB-2, JB-3	n = 3	60-69 Jahre (IVj)	MAB-1	n = 1
40-49 Jahre (IIIj)	JB-4, JB-5	n = 2			

Die Durchmesser- und Höhenberechnungen der Altersstufen IIj bis IIIj ergeben für den Grundflächenmittelstamm die Mediane $Z_{\text{DG}} = 7,21$ cm und $Z_{\text{HG}} = 10,34$ m ($\text{MW}_{\text{DG}} = 9,84$ cm; $\text{MW}_{\text{HG}} = 11,82$ m) sowie für den ASSMANNschen Oberhöhenstamm $Z_{\text{DG100}} = 14,95$ cm und $Z_{\text{HG100}} = 14,62$ m ($\text{MW}_{\text{DG100}} = 16,33$ cm; $\text{MW}_{\text{HG100}} = 14,04$ m). Der mittelalte Roteichenbestand MAB-1 (63 Jahre) weist Durchmesser- und Höhenwerte für den Grundflächenmittelstamm von $\text{DG} = 33,40$ cm und $\text{HG} = 25,31$ m sowie für den ASSMANNschen Oberhöhenstamm von $\text{DG100} = 43,73$ cm und $\text{HG100} = 27,12$ m auf (Anlage 5.3).

Am Beispiel der relativen und absoluten Mittelhöhenbonitäten (Tab. 14) ist nachweisbar, dass sich die Wuchsleistungen der Roteichen in den Altersstufen IIj bis IVj im Durchschnitt sprunghaft von 3. bis 4. Bonitäten auf 1. bis 2. Bonitäten verbessern. Offenbar wurde die Roteiche, vor allem in den letzten 40 Jahren, bevorzugt auf geringwertigeren Kippsubstraten angebaut (Anspruchslosigkeit, Waldbrandriegel), so dass die REI-Jungbestände nicht die außergewöhnlichen Leistungen der Traubeneiche (Tab. 12) erreichen können.

Tab. 14: Mittlere relative und absolute Mittelhöhenbonitäten (rel. MHB und HM_{100}) sowie absolute Oberhöhenbonitäten (HO_{100}) nach BAUER (1953) in den Altersstufen der untersuchten Roteichen-Erstaufforstungen

	20 - 29 Jahre (IIj)	30 - 39 Jahre (IIa)	40 - 49 Jahre (IIIj)	50 - 59 Jahre (IIIa)	60 - 69 Jahre (IVj)
rel. MHB (Ekl.)	3,35	3,83	1,95	-	1,30
abs. Mittelh. (HM_{100})	19,3	17,2	24,4	-	27,5
abs. Oberh. (HO_{100})	21,5	22,1	26,1	-	29,8

Die absoluten Oberhöhenbonitäten zeigen über die Altersstufen einen konstanten Anstieg von 21,5 m in der Altersstufe IIj bis 29,8 m in der Altersstufe IVj. Sie korrespondieren mit den entsprechenden DGZ-Werten (Abb. 50). Diese steigen ebenfalls bis zur Altersstufe 60 bis 69 Jahre

kontinuierlich an. Die DGZ_{100} -Werte der Roteichen liegen in den Altersstufen IIj um $\bar{\varnothing}$ 1,93, IIa um $\bar{\varnothing}$ 5,03 und IIIj um $\bar{\varnothing}$ 2,89 $m^3/ha \cdot a$ unter denen der Traubeneichen. Der jährliche Derbholzzuwachs kulminiert in der Altersstufe IIIj mit $9,75 m^3/ha \cdot a$.

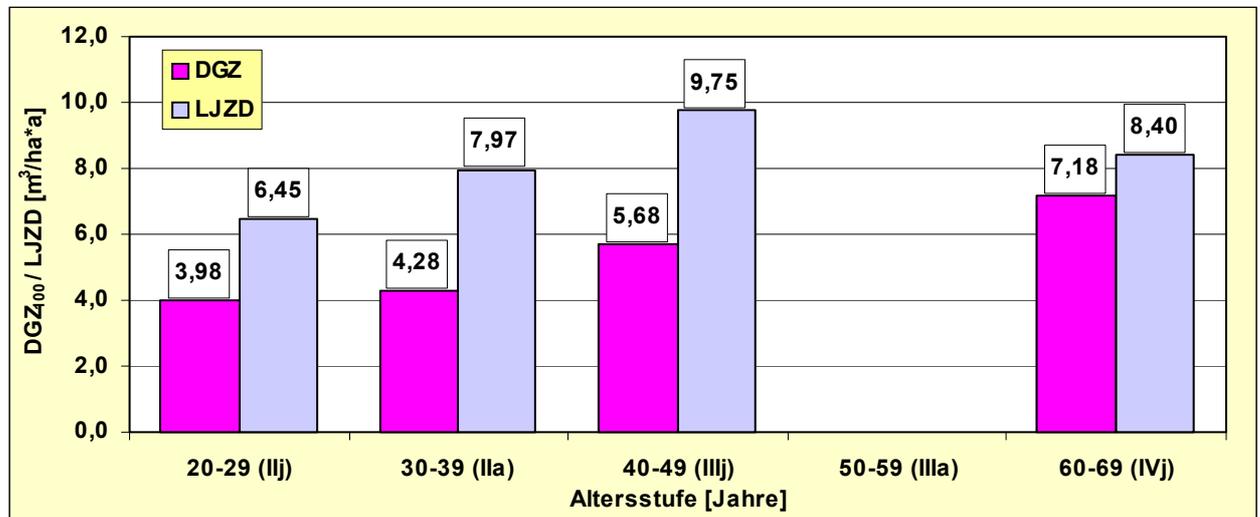


Abb. 50: Mittlerer prognostizierter DGZ_{100} und laufender jährlicher Derbholzzuwachs (LJZD) in den untersuchten Altersstufen der REI-Reinbestände

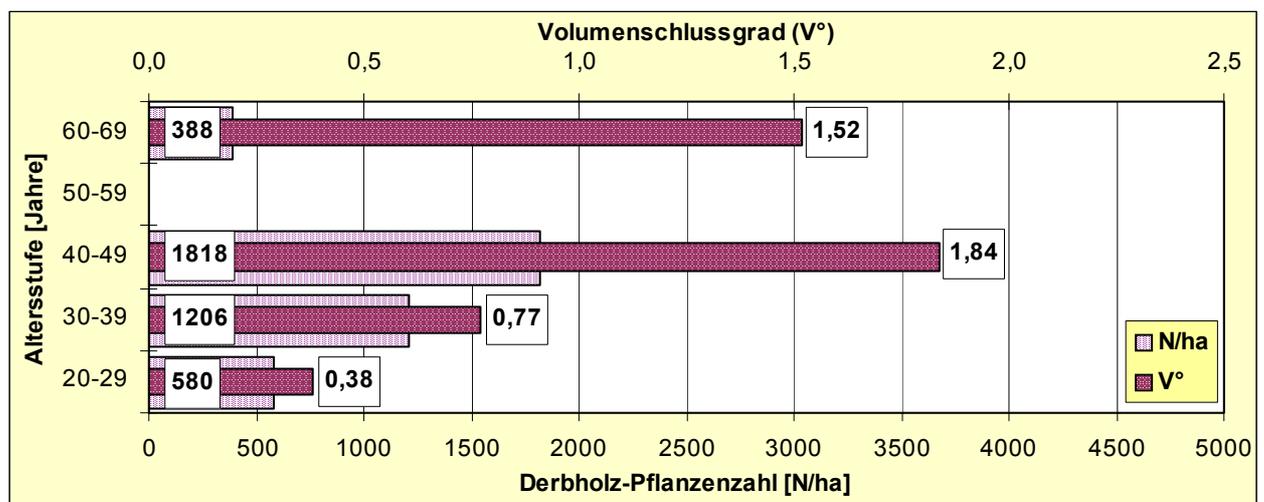


Abb. 51: Mittlere Volumenschlussgrade (V°) und Derbholz-Pflanzanzahlen (N) in den Altersstufen der REI-Reinbestände

Die vorgefundenen REI-Pflanzverbände ($1,30 \times 0,70$ m, oft enger) deuten auf die Verwendung von mindestens 11000 Stck/ha hin. Die Derbholz-Pflanzanzahlen (Abb. 51) steigen von der Altersstufe IIj bis zur Altersstufe IIIj um ca. 620 Stck pro ha und Altersstufe. Diese Entwicklung wird bei Berücksichtigung der Schaftholz-Pflanzanzahlen als „Gesamtstückzahl“ plausibel. So liegen die Schaftholz-Pflanzanzahlen bei 4320 Stck/ha in der Altersstufe IIj, 2598 Stck/ha in der Altersstufe IIa, und 1929 Stck/ha in der Altersstufe IIIj. In der Altersstufe IVj sind Derb- und Schaftholz-Pflanzanzahlen identisch (388 Stck/ha). Die Entwicklung der Schaftholz-Pflanzanzahlen reflektiert eine sehr hohe Stammzahlreduzierung in den ersten 20 bis 30 Jahren, überwie-

gend verursacht durch natürliche Mortalität. Der derbholzbezogene Volumenschlussgrad korrespondiert erwartungsgemäß bis zur Altersstufe IIIj mit den Zuwachsdaten (Abb. 50) und der Entwicklung der Derbholz-Stammzahlen (Abb. 51). In den Altersstufen IIIj und IVj sind erhebliche Überbestockungen zu registrieren. Aus den Volumenschlussgraden der Altersstufen lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- (1) Die > 40jährigen REI-Bestände sind durch extrem hohe Pfliegerückstände gekennzeichnet.
- (2) Die sehr hohen derbholzbezogenen Volumenschlussgrade in den Altersstufen IIIj und IVj weisen auf eine geringe individuelle und kollektive Stabilität der Roteichenbestände hin, die aus fehlender Jungwuchs- und Jungbestandspflege resultiert.
- (3) Die Roteichen-Kippenforsten wurden nicht oder in einem weitaus geringeren Maße als die Traubeneichen-Kippenbestände in den Pfliegerturnus einbezogen.

Beachtenswert ist weiterhin, dass die Roteichenbestände des Meliorationsversuches Kleinleipisch geringere mittlere Derbholzstammzahlen, Volumenschlussgrade und Derbholzvorräte aufweisen (\emptyset VD: REI 5-V1/V2 = 7,5; TEI 4-V1/V2 = 12,2 m³/ha, Anlage 5.3) als die unmittelbar benachbarten, gleichalten Traubeneichenbestände. Beide Bestandeskomplexe wurden mit den selben Pflanzverbänden (1,30 x 0,70 m) begründet und nicht durchforstet. Im direkten Vergleich wird deutlich, dass sich die REI-Kippenerstaufforstungen in den ersten 20 bis 30 Jahren durch eine höhere natürliche Mortalität von den TEI-Erstaufforstungen unterscheiden.

Die Entwicklung der Grundflächen und Derbholzvorräte stimmt bis zur Altersstufe IIIj tendenziell mit den Traubeneichenbeständen überein (Abb. 52). Im 63jährigen REI-Bestand (MAB-1) wurde ein Derbholzvorrat von 439,9 m³/ha (!) ermittelt.

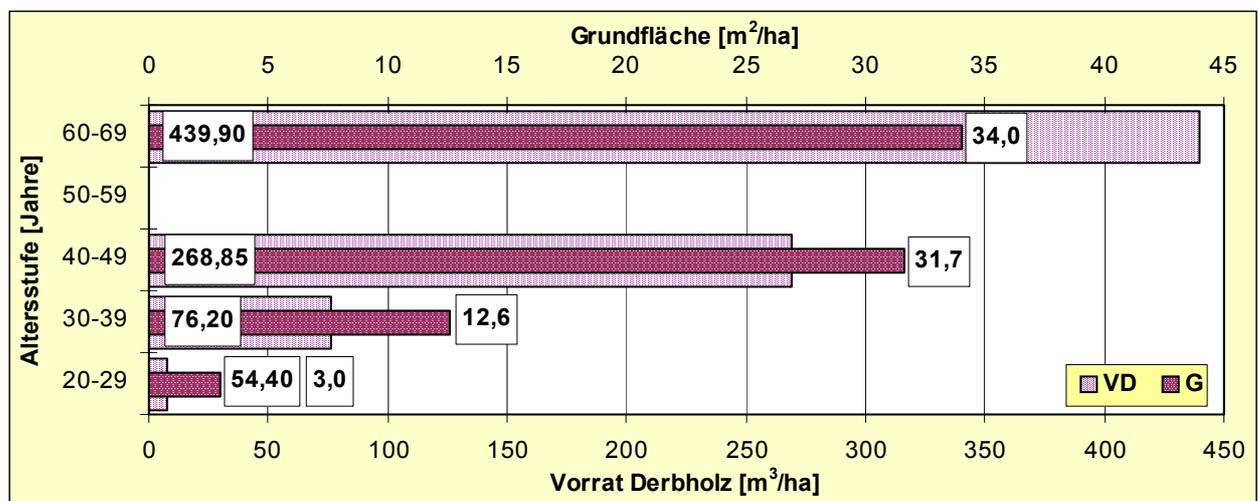


Abb. 52: Mittlere Grundflächen (G) und Derbholzvorräte (VD) in den Altersstufen der REI-Reinbestände

5.3.1.2 Stammscheibenanalysen

Die Traubeneichenbestände 1 bis 3 und 6 (Abb. 53.1 bis 53.3) stocken auf kohlehaltigen Lehmsanden (St2). Die Basensättigung variiert stark in Abhängigkeit vom Meliorationsgeschehen (\emptyset V-Wert unterhalb Ah bis 100 cm: 2,4 bis 30,2 %). Der Bestand TEI 7 (Abb. 53.4) wurde auf mittelbasischem Reinsand begründet ($V = 25,4 \%$, $C_t = 0,29 \text{ M.-%}$).

Die Abb. 53.1 bis 54.4 stellen die Ertragstafelwerte der Mittelhöhe des verbleibenden Bestandes der Altershöhenentwicklung der Probestämme (Oberhöhenbereich) gegenüber. Bislang sind keine kippenspezifischen Wachstumsphasen zu erkennen. Der steile und nahezu lineare Anstieg der Höhenkurven ist überwiegend auf eine intensive Grundmelioration mit basenreicher Kesselhausasche sowie auf die höheren Ton- und Schluffgehalte dieser Kippsubstrate zurückzuführen. Die dargestellten TEI-Bestände zeigen keine Anwuchsschwierigkeiten. Lediglich Fläche 6 ist durch ein verhaltenes Höhenwachstum bis zum Alter von 10 Jahren charakterisiert. Auf den unverritzten Waldstandorten (Abb. 53.5 und 53.6) zeigt sich, dass die TEI-Bestände auf den Alt-Waldstandorten mit den Trophiestufen arm bis mittel sowie mit durchschnittlicher bis überdurchschnittlicher Wasserversorgung keine besseren Wachstumsleistungen erreichen als auf den Kippenstandorten. Der Wuchsgang auf den grundmeliorierten TEI-Standorten ähnelt weitgehend dem auf unverritzten Waldstandorten.

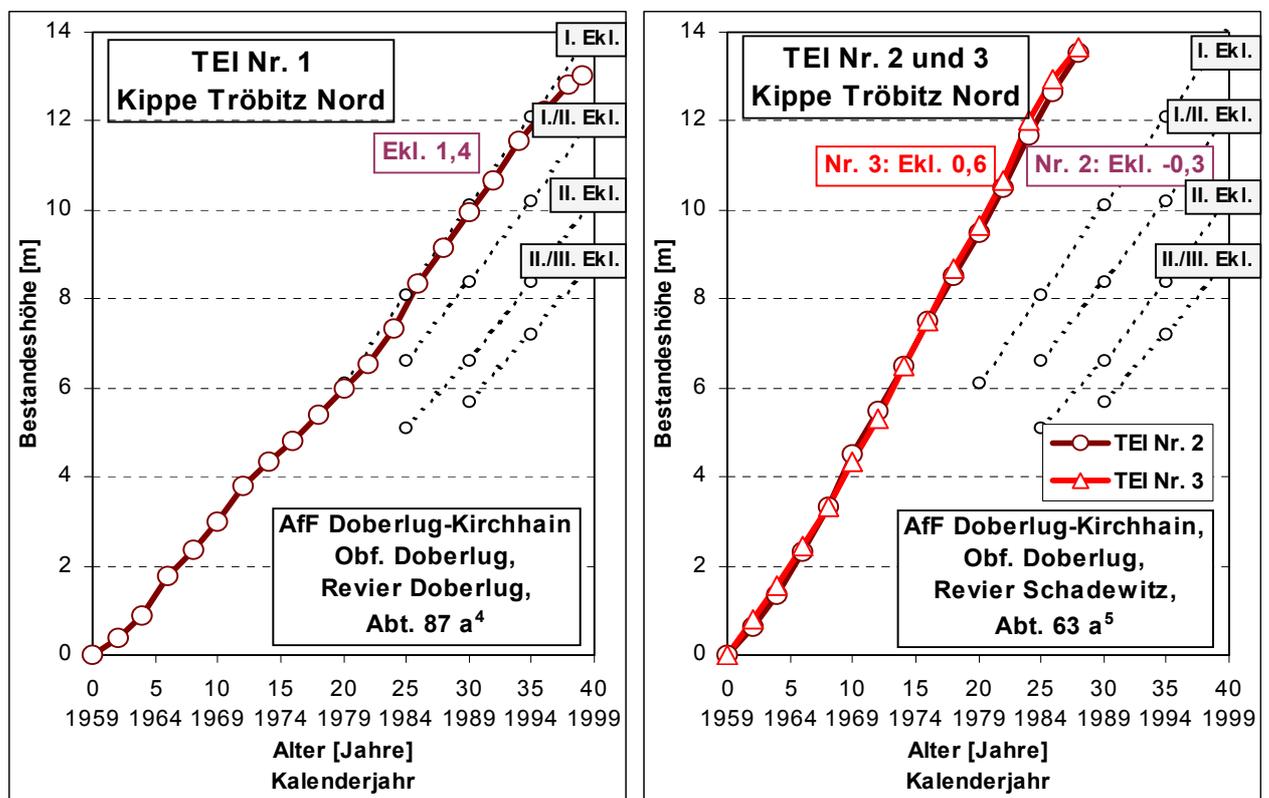


Abb. 53.1 und 53.2: Höhenwachstumsverlauf der Traubeneichenbestände Nr. 1 (Tröbitz Nord) sowie Nr. 2 und 3 (Kippe Domsdorf)

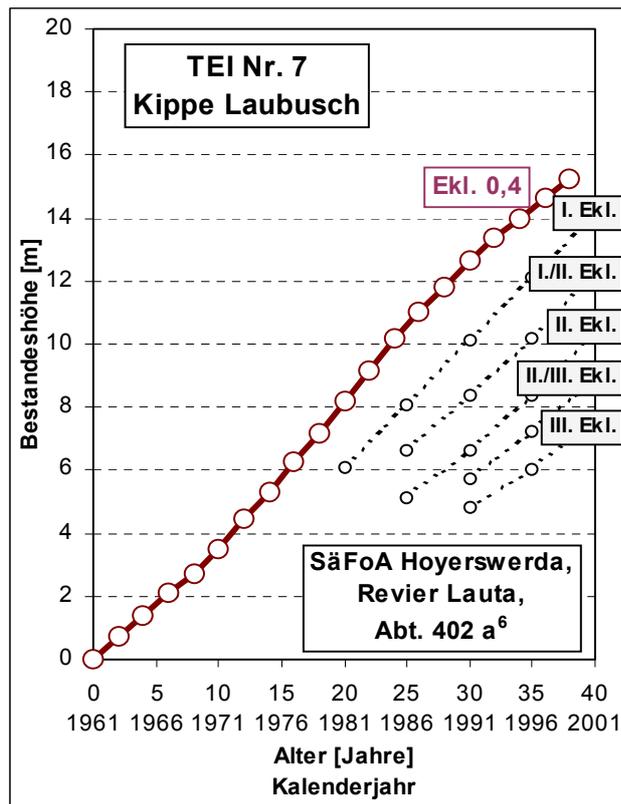
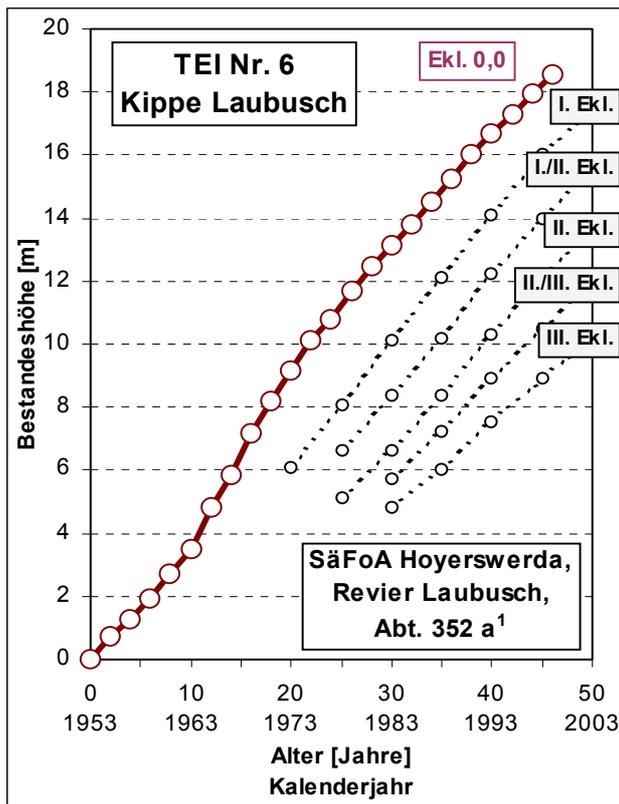


Abb. 53.3 und 53.4: Höhenwachstumsverlauf der Traubeneichenbestände Nr. 6 und 7 (Kippe Laubusch)

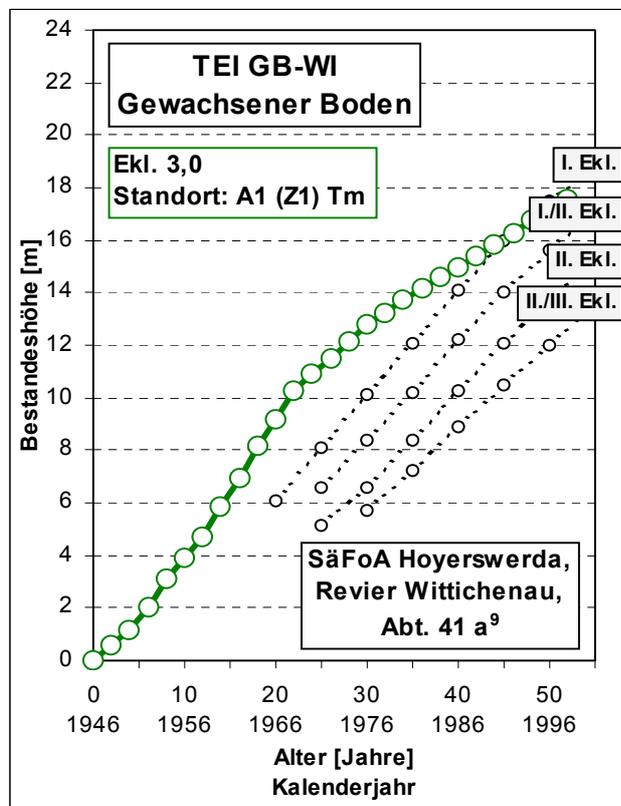
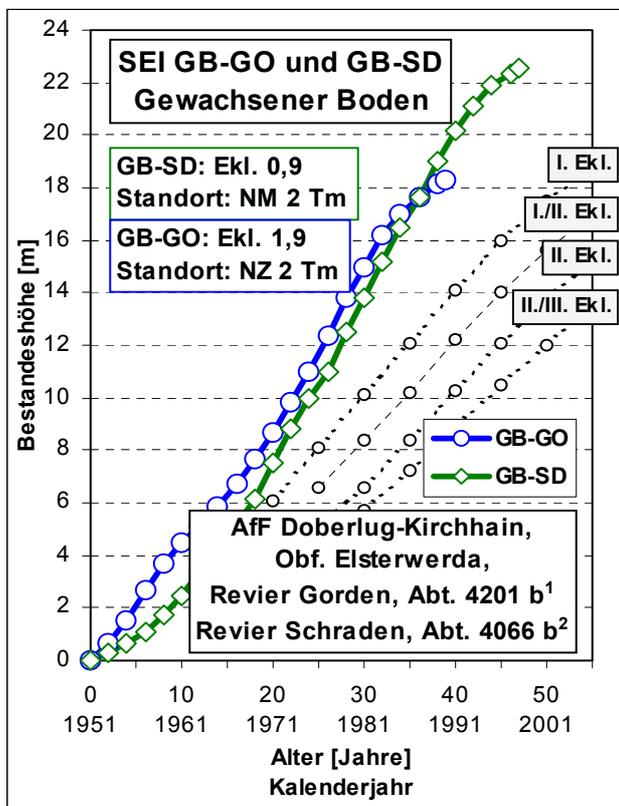


Abb. 53.5 und 53.6: Höhenwachstumsverlauf der Eichen-Vergleichsbestände auf unverritzten Waldstandorten (GB-GO: 39 Jahre, GB-SD: 47 Jahre, GB-WI: 52 Jahre)

5.3.1.3 Einfluss der Grundmelioration auf das Waldwachstum

Aus Modellversuchen (KATZUR und LORENZ 1976) und Praxisexperimenten (KATZUR und HERBERT 1980) wurde die Mindestmächtigkeit der grundmeliorierten Bodenschicht für eine landwirtschaftliche Folgenutzung von zunächst 60 cm (TGL 6 157) und später von 100 cm (TGL 26 157/02, OLB 2000) abgeleitet (KATZUR und ZEITZ 1985).

Im Meliorationsversuch „Kleinleipisch 1974“ sollte geklärt werden, inwieweit die Vertiefung des Meliorationshorizontes von 60 cm (Variante 1) auf 100 cm (Variante 2) das Waldwachstum der TEI- und REI-Erstaufforstungen beeinflusst (KATZUR 1977b). Der CaO-Bedarf wurde nach der Säure-Base-Bilanz berechnet (ILLNER und KATZUR 1964a+b, ILLNER et al. 1970, KATZUR 1998a). Auf den Flächen 4-V1 und 5-V1 wurden 400 dt CaO/ha und auf den Flächen 4-V2 und 5-V2 667 dt CaO/ha als Kalkmergel ausgebracht und nach dem Kleinleipischer Verfahren (KATZUR und HEISKE 1974) bis in die angestrebte Tiefe eingearbeitet (KATZUR et al. 1998b). Die Grunddüngung bestand aus einheitlich 100 kg P (Alkalisinterphosphat), 50 kg N (Kalkammonsalpeter) und 50 kg K (Kalidüngesalz) je Hektar. Die Bestände stocken auf kohlehaltigen Lehmsanden (Sl2, Su2 und Sl3) bis Sandlehmen (Sl4).

Bei der Traubeneiche (Abb. 54.1) zeichnet sich in den ersten zwei Jahren ein bei beiden Varianten adäquates Wachstum ab. Danach ist bei der Variante 2 bis zum Alter von ca. 15 Jahren eine geringfügig bessere Höhenzuwachsleistung erkennbar, die sich bis zum Aufnahmealter (22 Jahre) wieder der 60 cm-Variante nähert. Auch die beiden Roteichenbestände zeigen zu Versuchsbeginn ein nahezu identisches Anwuchsverhalten (Abb. 54.2). Bis zum Alter von ca. 10 Jahren liegt der Höhenzuwachs der Roteiche auf der Fläche 5-V2 geringfügig über dem der Variante 5-V1.

Die Wachstumsanalysen der TEI- und REI-Reinbestände erbringen wie bei der Kiefer den Nachweis, dass die Vertiefung des Meliorationshorizontes von 60 auf 100 cm unter Berücksichtigung des Zeitfaktors (Basen-Tiefenverlagerung in den unmeliorierten teilentsäuerten Untergrund) keine günstigeren Wuchsbedingungen für die Kippen-Erstaufforstungen initiiert. Wesentlich bedeutsamer sind die richtige Bemessung der meliorativen Düngekalk- bzw. Aschegaben nach der Säure-Base-Bilanz und deren gleichmäßige Verteilung auf den gesamten Meliorationshorizont (KATZUR et al. 1998b). Stabilität, Elastizität und Produktivität der neu zu etablierenden Kippen-Forstökosysteme hängen vor allem von der Säureneutralisationskapazität der oberen Bodenschicht ab. Außerdem beeinflussen der Pflegezustand der Kippenforsten, die Bodenart und der C_t -Gehalt der Kippsubstrate das Waldwachstum (KATZUR et al. 1999b).

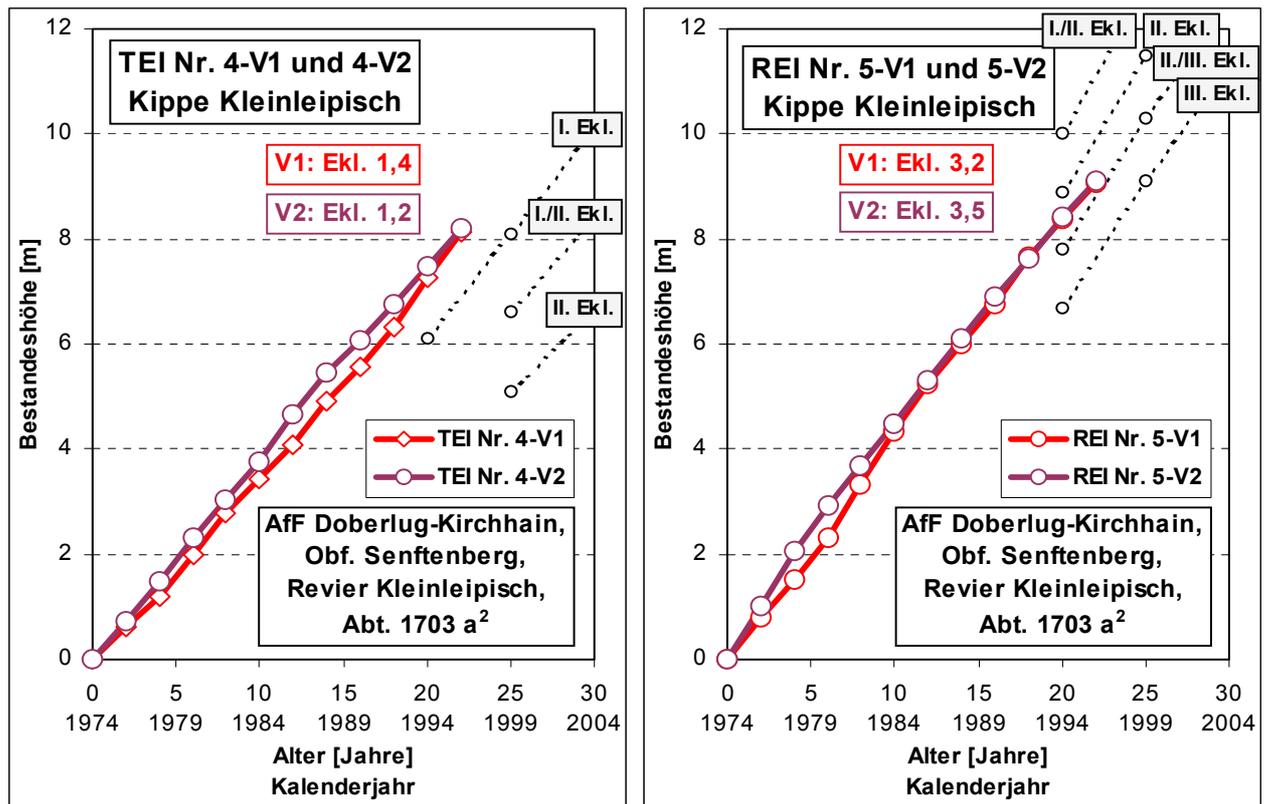


Abb. 54.1 und 54.2: Höhenwachstumsverlauf der Trauben- und Roteichenbestände auf der Kippe Kleinleipisch („Kleinleipisch 1974“: V1 = 60 cm; V2 = 100 cm Meliorationstiefe)

Der REI-WLI-Mischbestand JB-3 wurde 1961 auf der Brückenkippe des Tagebaues Domsdorf angelegt. Er stockt nach KATZUR et al. (1998b) auf kohlehaltigen lettigen Sanden bis sandigen Kohleletten tertiärer Herkunft. Die meliorative Aschegabe (700 m^3 Kesselhausasche/ha $\cong 571 \text{ dt CaO/ha}$) wurde mit einer Düngekalkung ($50 \text{ dt Brantkalk/ha} \cong 27 \text{ dt CaO/ha}$) kombiniert. Die Grunddüngung bestand aus 100 kg N/ha (Kalkammonsalpeter), 32 kg P/ha (Thomasphosphat) und 111 kg K/ha . *Quercus rubra* und *Tilia cordata* wurden truppweise (2,25 ar) gepflanzt und mit *Populus euramericana* f. *robusta* im $5 \times 5 \text{ m}$ -Pflanzverband sowie mit *Alnus glutinosa* in den Pappelreihen übergepflanzt. Bis zum Untersuchungszeitpunkt (1998) entwickelte sich ein Roteichen-Winterlinden-Mischbestand, dem nur einige Birken sowie absterbende Pappeln und Rotenrlen beigemischt waren (KATZUR et al. 1998b).

Wegen der nur flach ausgeführten Grundmelioration liegt in den ersten vier Jahren ein verhaltenes Höhenwachstum der Roteichen vor (Abb. 54.3). Danach steigt die Altershöhenkurve steil an. Die relative Mittelhöhenbonität von 2,1 kennzeichnet die insgesamt guten bis sehr guten Wuchsleistungen der Roteiche auf den grundmeliorierten kohlehaltigen Kippenböden. Der annähernd lineare Verlauf der Altershöhenkurve dokumentiert die Nachhaltigkeit der bodenverbessernden Maßnahmen und die positiven Effekte der Asche-Düngekalk-Kombination.

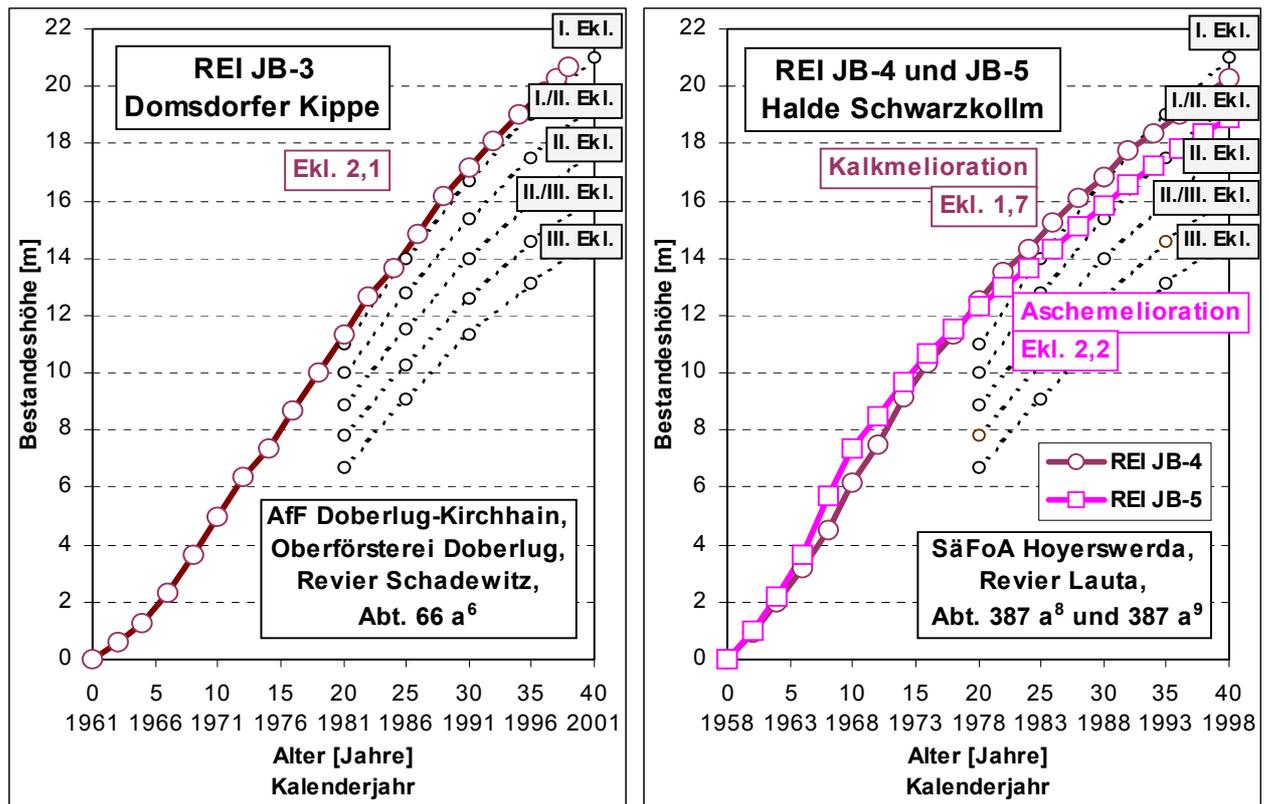


Abb. 54.3 und 54.4: Höhenwachstumsverlauf der Roteichenbestände auf der Kippe Domsdorf und der Außenhalde Schwarzkollm

Ein weiterer Meliorationsversuch wurde 1957 auf der Außenhalde Schwarzkollm bei Laubusch angelegt. Hier wurden die Auswirkungen einer 20 bis 30 cm tiefen Grundmelioration mit Branntkalk (= 200 dt/ha Ca, Fläche REI/JB-4) bzw. mit 500 m³ Braunkohlenasche (= 261 dt CaO/ha; Fläche REI/JB-5) auf das Waldwachstum einer REI-Erstaufforstung untersucht (KATZUR et al 1998b). SIEGEL (1967) charakterisierte den Versuchsstandort als extrem sauren, stark kohlehaltigen, mittellehmigen Sand. Die Wachstumsleistungen der 41jährigen Roteichen sind mit einer Ertragsklasse von 1,7 auf der kalkmeliorierten Parzelle (JB-4) höher als auf der aschemeliorierten Parzelle (JB-5: Ekl. 2,2) (Abb. 54.4 und Anlage 5.3). Dies könnte in der Bodenart begründet sein, denn der stark sandige Lehm (Ls4) der Fläche JB-4 verfügt bei vergleichbaren Trockenrohdichten von 1,45 g/cm³ mit 21,0 Vol.-% über eine um 3,5 Vol.-% höhere nutzbare Feldkapazität als der sandig-tonige Lehm (Lts) bei JB-5 (17,5 Vol.-%; AG Boden 1996). Das wiederum steht im Einklang mit der Entwicklung der Bestandesoberhöhe, denn nach dem 12. Jahr klingen die Vorteilswirkungen der Aschemelioration wie gefügemeliorative und K_{Mg}-Düngungseffekte ab. Die Wachstumsleistung der Roteichenbestände wird zunehmend von den an die Textur gebundenen Bodenfruchtbarkeitsmerkmalen bestimmt.

Ein Vergleich der Abb. 54.2 und 54.4 zeigt, dass die Roteiche auf der Halde Schwarzkollm im Alter von 20 Jahren trotz geringerer Meliorationstiefe eine größere Bestandesoberhöhe erreicht

als auf der Kippe Kleinleipisch. Als Ursachen sind die höheren Ton- und Schluffgehalte sowie die höheren C_t -Gehalte der Kippsubstrate auf der Außenhalde Schwarzkollm zu nennen. Hierbei spielt der Kohlegehalt eine besondere Rolle, da mit steigendem C_t -Gehalt nFK, N-Bodenvorräte und KAK_{pot} zunehmen und über die Intensivierung der Hydratation Nettohydrierung und Nährstoffaufnahme verbessert werden (KATZUR et al. 1999b).

5.3.1.4 Beziehungen zwischen Waldwachstum und Bodenkennwerten

Eine positive Einflussnahme der Basensättigungsverhältnisse im nichthumosen Mineralboden bis 100 cm Bodentiefe auf die Wuchsleistung der **Traubeneichen** ist in den untersuchten Beständen ($n = 7$) nicht mit statistischer Sicherheit nachweisbar (Abb. 55). Bei V-Werten $> 20\%$ nehmen überraschend die Ertragsleistungen ab, was nicht auf die Basensättigungsverhältnisse, sondern auf das Alter der Forstökosysteme zurückzuführen ist. Aufgrund der Entwicklung ökosystemarer Stoffflüsse und der sukzessiven Verbesserung des Bodengefüges durch bspw. Bioturbation und Durchwurzelung werden die Ertragspotenziale der Kippengeotope mit zunehmendem Bestandesalter (bis ca. Alter 30 Jahre) durch den aufstockenden Bestand besser genutzt als in den jüngeren Forstökosystemen. Die Folge ist ein Anstieg der Wuchsleistungen. So steigen tendenziell im Basensättigungsbereich von > 13 bis $< 40\%$ die DGZ_{100} -Werte mit dem Bestandesalter. Ähnliches gilt für die relativen Mittelhöhenbonitäten, die in den V-Wertebereichen > 24 bis $< 40\%$ bzw. > 2 bis $< 14\%$ mit zunehmendem Bestandesalter besser werden. Vor allem die Zuwachsleistungen der beiden 23jährigen Bestände reflektieren einen geringeren standörtlichen Etablierungsgrad.

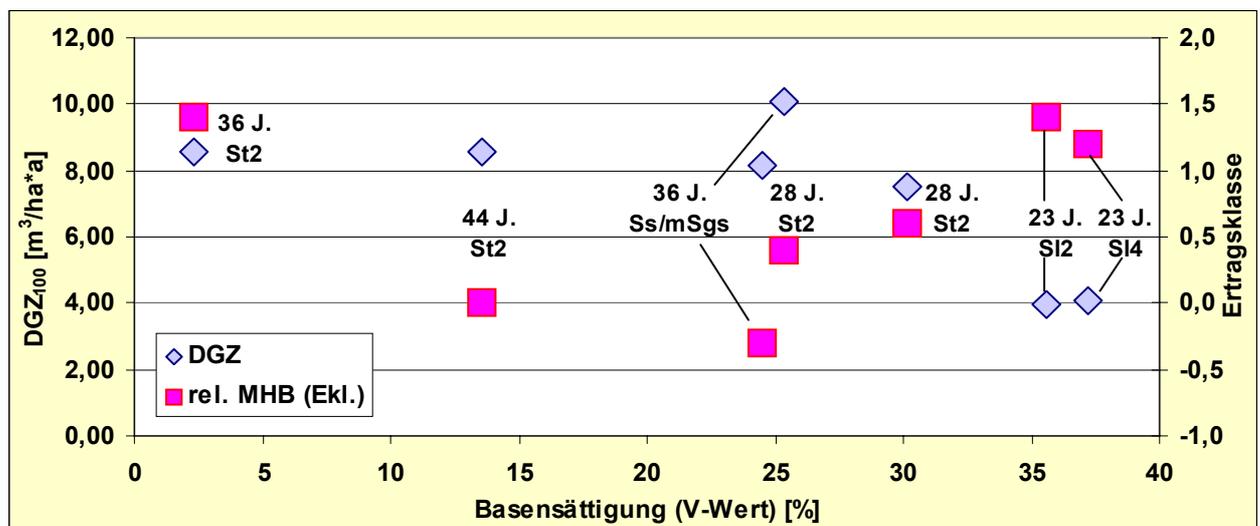


Abb. 55: Abhängigkeit des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (DGZ_{100}) und der relativen Mittelhöhenbonität (rel. MHB) der Traubeneichen-Reinbestände von der Basensättigung im C-Horizont

Die wachstumskundliche Bedeutung des Bestandesalters wird jedoch durch die Basensättigungsverhältnisse modifiziert. Darauf deutet ein Vergleich zwischen dem DGZ-Wert des 36jährigen Traubeneichenbestandes auf Reinsand mit dem DGZ_{100} des 44jährigen TEI-Bestandes auf St2 hin (Abb. 55). Hier zeigt der ältere Bestand eine geringere Zuwachs- und Ertragsleistung bei geringerer Basensättigung.

Mit zunehmendem Alter verbessern die Erstaufforstungen durch Initiierung von ökosystemaren Stoffflüssen den Standort und damit dessen aktuelle Fruchtbarkeit. Die aktuelle Fruchtbarkeit nähert sich mit fortschreitendem Alter dem potenziellen Leistungsvermögen des Standortes an. Die Verbesserung der Bonitäten mit zunehmendem Bestandesalter ist ein wesentliches Merkmal des Wuchsganges von Kippen-Erstaufforstungen. Bestandesalter und Basensättigung stellen in den TEI-Kippenerstaufforstungen die am meisten plausiblen DGZ-Einflussgrößen dar.

Die DGZ_{100} -Werte werden weiterhin mit dem Anstieg der Schluff-Ton-Summe im C-Horizont (bis 100 cm) der jeweiligen Fläche signifikant geringer. Der negativ lineare Zusammenhang weist ein Altersgefälle analog Abb. 55 auf. Hierbei spielt wahrscheinlich die erwähnte altersabhängige Entwicklung des Bodengefüges und damit auch die Verbesserung der Wasserversorgung (nFK) eine ertragsrelevante Rolle. Außerdem korrespondieren möglicherweise die höheren Schluff-Ton-Summen in den jüngeren Forstökosystemen mit einer Verschlechterung des Bodengefüges und infolgedessen mit geringeren Wuchsleistungen.

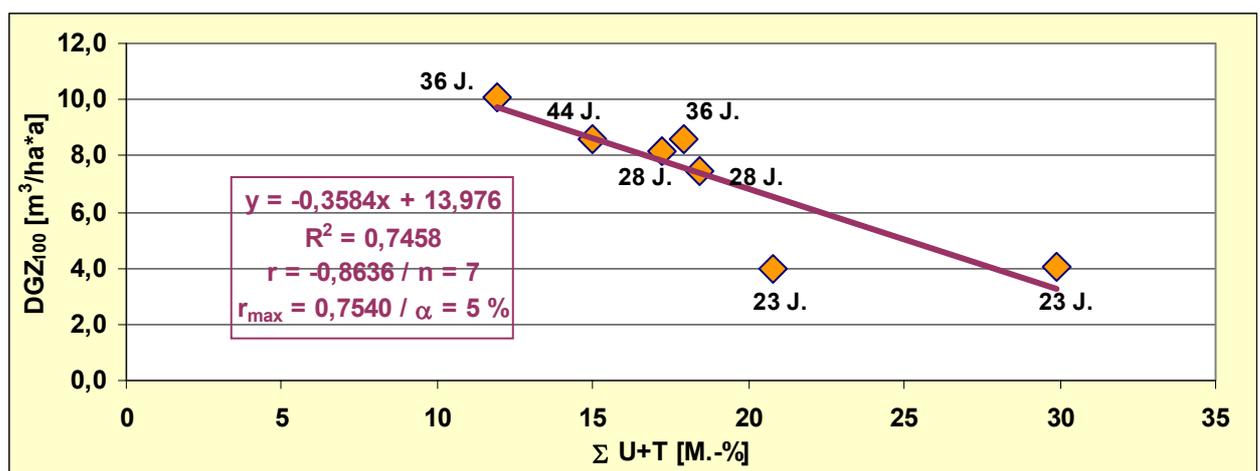


Abb. 56: Zusammenhang zwischen durchschnittlichem Gesamtzuwachs der Traubeneichen-Reinbestände und Schluff-Ton-Summe der Kippenböden

Die **Roteichen**-Reinbestände ($n = 5$) werden in ihren Zuwachs- und Ertragsleistungen ebenfalls von den Basensättigungsverhältnissen in den nichthumosen Mineralbodenschichten beeinflusst (Abb. 57). Mit steigender Basensättigung deutet sich eine Zunahme des DGZ_{100} und eine Verbesserung der Ertragsklasse an. Der Zusammenhang zwischen der Wuchsleistung und den

pH_{KCl}-Werten im C-Horizont (Abb. 58) bestätigt, dass auch bei der als anspruchslos geltenden Roteiche eine nachhaltige Verbesserung der extrem sauren Kippenböden durch Grundmelioration unumgänglich ist, wenn Wüchsigkeit und Bestandesstabilität gewährleistet werden sollen. In der Anwuchsphase entscheiden die durch Verkipfung und Grundmelioration hergestellten Aciditätsverhältnisse über den Erfolg der Kulturbegründung.

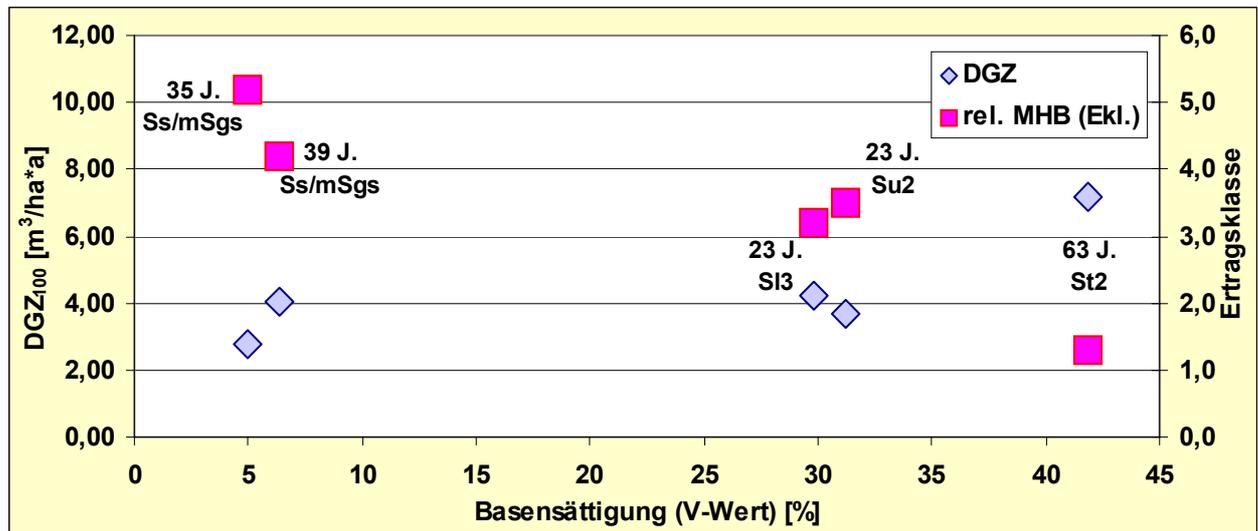


Abb. 57: Abhängigkeit des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (DGZ₁₀₀) und der relativen Mittelhöhenbonität (rel. MHB) der Roteichen-Reinbestände von der Basensättigung im C-Horizont

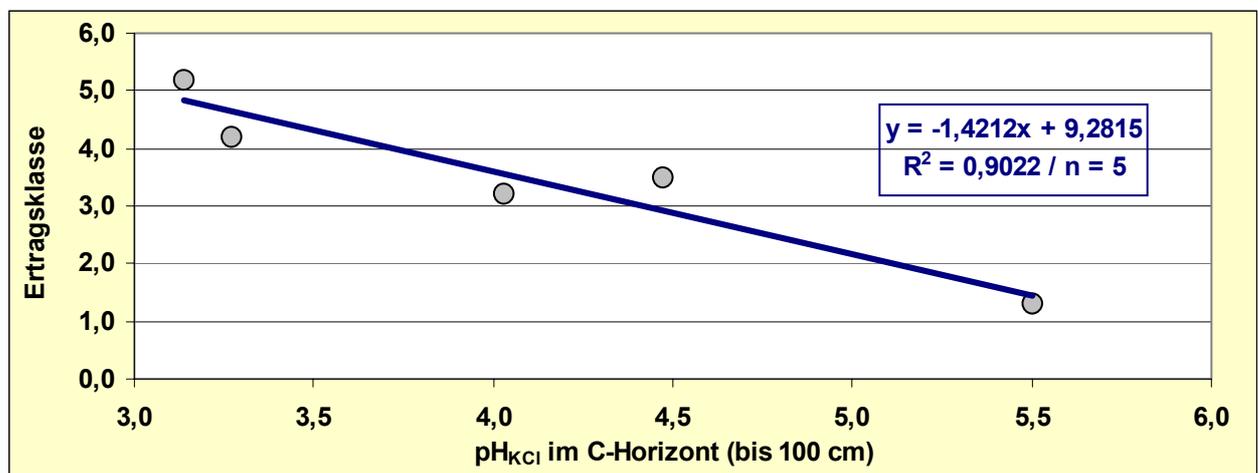


Abb. 58: Zusammenhang zwischen der relativen Mittelhöhenbonität der Roteichen-Reinbestände und dem pH_{KCl}-Wert der Kippsubstrate

Die Massenleistungen der REI-Erstaufforstungen werden in starkem Maße von der Bodenart bestimmt (Abb. 59). Bemerkenswert ist, dass die Roteiche auf grobsandigen Mittelsanden und Lehmsanden geringere Massenzuwächse erreicht als die Traubeneiche. Offenbar wurden in der Vergangenheit die Standortsansprüche der Traubeneiche überschätzt.

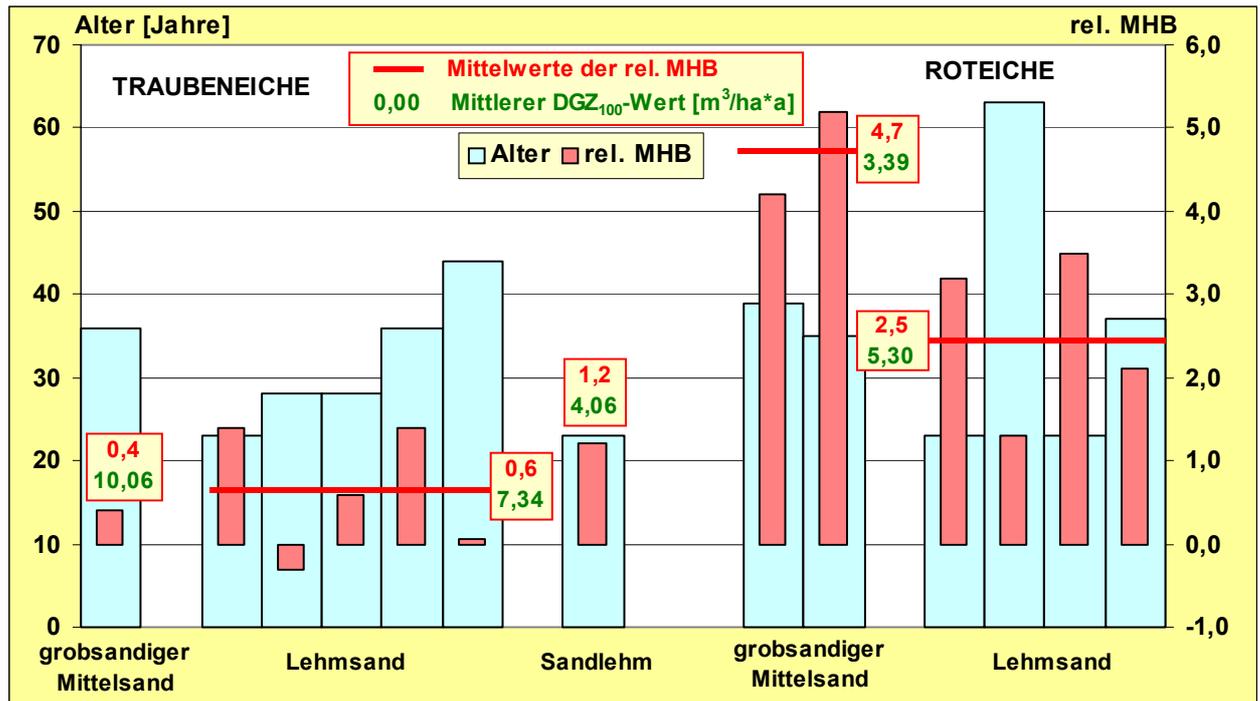


Abb. 59: Ertragsklassen (rel. MHB) und durchschnittliche Gesamtzuwächse (DGZ₁₀₀) der Eichen-Erstaufforstungen in Abhängigkeit vom Bestandesalter und der Bodenart

5.3.2 Nährstoffversorgung

Die Blattspiegelwerte wurden an jeweils 7 Trauben- und Roteichen-Jungbeständen auf Kippenstandorten und 3 Vergleichsbeständen auf unverritzten Waldstandorten erhoben. Ihre Bewertung basiert auf den Klassifizierungen nach BERGMANN (1986) und HEINSDORF (1983, 1996).

5.3.2.1 Stickstoff

Die N_t -Blattspiegelwerte liegen nach BERGMANN (1986) zumeist im Bereich einer geringfügigen Unter- bis Optimalversorgung (Abb. 60). Im arithmetischen Mittel weichen die Traubeneichen ($\bar{\varnothing}$ 2,2 % N_t) nur unwesentlich von den Roteichenbeständen ($\bar{\varnothing}$ 2,1 % N_t) ab. Demgegenüber sind die N_t -Gehalte der auf unverritzten Standorten stockenden Bestände mit $\bar{\varnothing}$ 2,7 % deutlich höher als die Werte der Eichen-Kippenforsten. Dies ist vermutlich auf den besseren Kulturzustand der Waldböden und auf die Etablierung eines im Vergleich zu den Kippenbeständen ausgeglicheneren N_t -Kreislaufes zurückzuführen.

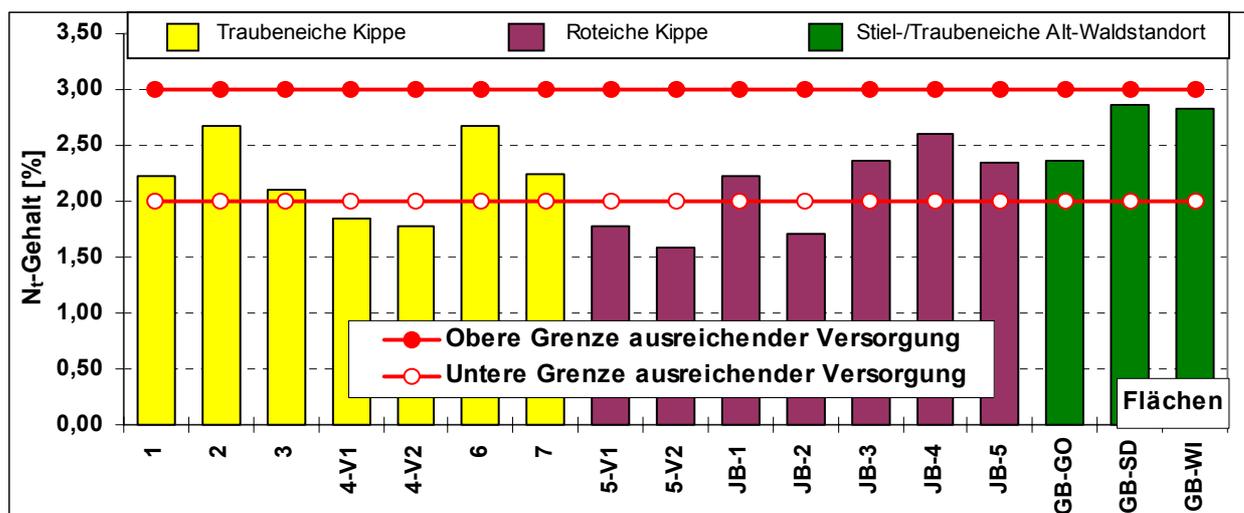


Abb. 60: N_t -Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Tab. 15: N_t -Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
I	Mangelversorgung	1,25 – 1,72	-	-	2	28,6
II	Unterversorgung	1,72 – 2,19	3	42,8	1	14,3
III	Optimalversorgung	2,19 – 2,66	2	28,6	4	57,1
IV	Übersorgung	2,66 – 3,13	2	28,6	-	-
V	Extremversorgung	3,13 – 3,60	-	-	-	-

Nach HEINSDORF (1996) liegen die N_t -Blattspiegelwerte der Traubeneichen-Kippenbestände im Bereich einer Unter- bis Überversorgung (Tab. 15). Die TEI-/SEI-Bestände auf Alt-Waldstandorten sind mit Stickstoff optimal (GB-GO) bis überversorgt (GB-SD und GB-WI). Die Roteichen zeigen eine N_t -Mangel- bis Optimalversorgung an. Die in Tab. 15 dargestellte Gruppierung lässt einen höheren N_t -Bedarf der Roteiche vermuten. Beste Wuchslleistungen erreicht die Traubeneiche (Ekl.: -0,3 bis 0,6) bei N_t -Blattgehalten von 2,11 bis 2,67 % und die Roteiche (Ekl.: 1,7 bis 2,2) bei 2,35 bis 2,60 %. Zwischen den N_t -Blattspiegelwerten und den Ertragsklassen besteht ein Zusammenhang (Abb. 61.1 und 61.2), wengleich mit $n = 7$ ein geringer Stichprobenumfang betrachtet wird.

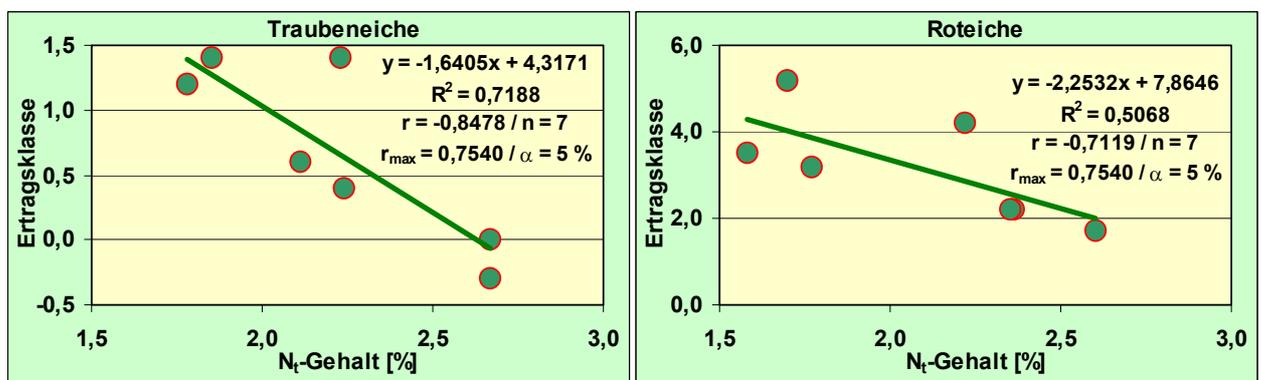


Abb. 61.1 und 61.2: Korrelation zwischen der Ertragsklasse der Trauben- und Roteichen-Reinbestände und dem N_t -Gehalt der Blätter

Ausgehend von den guten Bonitäten (\emptyset Ekl.: 1,93) und den hohen N_t -Blattspiegelwerten der Trauben- und Stieleichenbestände auf gewachsenen Standorten kann der optimale N_t -Versorgungsbereich mit 2,0 bis 2,8 (3,0) % angegeben werden. HEINSDORF (1999) legte für die Traubeneiche die untere Grenze einer optimalen Stickstoffversorgung bei N_t -Blattspiegelwerten von 2,07 % fest. Allerdings realisieren die untersuchten Traubeneichen-Kippenbestände auch bei N_t -Gehalten von 1,78 und 1,85 % noch Ertragsklassen von 1,2 und 1,4. Für die Roteiche benennt HEINSDORF (1999) als untere Grenze des Optimalbereiches 1,77 % N_t . Auf den Kippenstandorten erreicht die Roteiche bei diesem Versorgungsniveau 3. bis 5. Bonitäten (nach BAUER 1953).

Beachtenswert ist, dass die 24jährigen Trauben- und Roteichenbestände des Meliorationsversuches „Kleinleipisch 1974“ (Flächen 4-V1, 4-V2, 5-V1, 5-V2) nach HEINSDORF (1996) unter- bis mangelversorgt sind (Abb. 60). Dies ist zum einen auf die vergleichsweise weiten C/N-Verhältnisse im Auflagehumus (23,8 bis 28,7) und die relativ geringen N_t -Gehalte im humusfreien Mineralboden (0,031 bis 0,044 % N_t) zurückzuführen. Zum anderen beeinflusst das geringe Bestandesalter den N_t -Ernährungsstatus (Tab. 16).

Tab. 16: Korrelation zwischen N_t -Blattspiegelwerten (y) und Alter der Eichenbestände (x) auf Kippenstandorten (lineare Beschreibung)

	Anzahl n	Sicherungswert (r_{\max} aus LOZAN und KAUSCH 1998)	Korrelations- koeffizient (r)
Traubeneiche (TEI)	7	0,7540	0,6201
Roteiche (REI)	7	0,7540	0,8736
TEI und REI	14	0,5320	0,6949

Offenbar haben sich noch keine Kreislaufmechanismen etabliert, die zur permanenten Freisetzung ausreichender Mengen pflanzenverfügbaren Stickstoffs führen. Die Ergebnisse bestätigen den tendenziellen Zusammenhang zwischen Bestandesalter und Wuchsleistung (Abb. 55).

Weiterhin ist keine Verbesserung der N_t -Versorgung bei Vertiefung der Meliorationshorizonte von 60 cm auf 100 cm erkennbar. Die mittleren N_t -Gehalte im C-Horizont bis 100 cm sind in beiden Varianten fast identisch (Flächen 4-V1 und 5-V1: \varnothing 0,034 %; Flächen 4-V2 und 5-V2: \varnothing 0,039 %).

Die zwischen den Roteichenbeständen JB-1 und JB-2 auf der Kippe Tröbitz Nord bestehende Spiegelwertdifferenz von 0,52 % N_t resultiert wahrscheinlich aus der wind- und sonnenexponierten Lage des Bestandes JB-2. Der Mangel am Lösungs- und Transportmedium „Wasser“ bedingt die deutlich geringeren N_t -Gehalte der Roteichenblätter. Dies spiegelt sich auch in der sehr geringen Bonität (Ekl.: 5,2) wider und spricht für einen Mangel an pflanzenverfügbarem Stickstoff bei N_t -Blattgehalten von < 2,0 % in den Roteichenblättern. Dagegen können in den Trauben- und Roteichen-Kippenbeständen N_t -Blattgehalte von > 3,0 % ein atmogen bedingtes Überangebot an Stickstoff indizieren. LINDBERG et al. (1986), BRUMME et al. (1992), EILERS et al. (1992) und FERM (1993) wiesen nach, dass in Forstbeständen erhebliche Stickstoffanteile (bis 40 %) aus nassen und trockenen Depositionen ausgefiltert und über die Assimilationsorgane in den Stoffkreislauf einbezogen werden können.

5.3.2.2 Phosphor

Die P-Blattspiegelwerte zeigen nach BERGMANN (1986) überwiegend P-Unterversorgung an (Abb. 62). Die mittleren P-Blattspiegelwerte betragen in den untersuchten Traubeneichenbeständen 0,127 % und in den Roteichen-Erstaufforstungen 0,108 %. Nach HEINSDORF (1983, 1996) dominiert bei den Traubeneichen die Versorgungsstufe III und bei den Roteichen die Stufe I (Tab. 17), wobei in den jüngsten Beständen die geringsten P-Blattgehalte festgestellt werden.

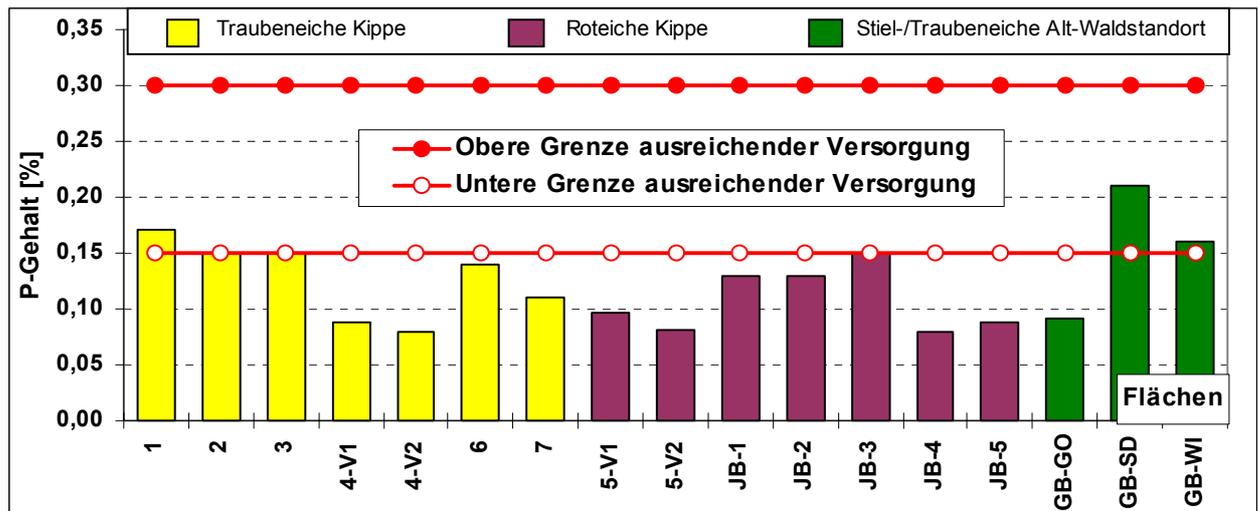


Abb. 62: P-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Tab. 17: P-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996), incl. Angabe des mittleres Alters und der mittleren Ertragsklasse (Ekl.)

Ernährungsstufen		TEI-Erstaufforstungen			REI-Erstaufforstungen		
Stufe	Definition	Anzahl (n)	Anteil [%]	Ø Alter / Ø Ekl.	Anzahl (n)	Anteil [%]	Ø Alter / Ø Ekl.
I	Mangelversorgung	2	28,6	24,0 / 1,3	4	57,1	32,5 / 2,7
II	Unterversorgung	1	14,3	40,0 / 0,4	2	28,6	36,0 / 4,7
III	Optimalversorgung	4	57,1	33,8 / 0,4	1	14,3	38,0 / 2,2
IV	Übersversorgung	-	-	-	-	-	-

Die besten Wuchsleistungen erreicht die Traubeneiche (Ekl. -0,3 bis 0,6) bei 0,11 bis 0,15 % P_t (Ø 0,138 %) und die Roteiche (Ekl. 1,7 bis 2,2) bei 0,08 bis 0,15 % P_t (Ø 0,106 %). Die Stiel- und Traubeneichenbestände auf unverritzten Standorten weisen einen mittleren P-Blattgehalt von 0,154 % auf, wobei die beste Mittelhöhenbonität (GB-SD: Ekl. 0,9) mit dem höchsten P-Wert (0,21 %) korrespondiert. Demnach deutet sich ein positiver Zusammenhang zwischen den P-Blattspiegelwerten und den Wuchsleistungen der Eichenbestände an.

Ausgehend von den eigenen Ergebnissen sind die von HEINSDORF (1983, 1996, 1999) erarbeiteten P-Versorgungsbereiche offensichtlich ein besser geeigneter Maßstab für die Vitalitätscharakteristik der untersuchten Eichenbestände als die BERGMANNschen Angaben (Tab. 18, incl. Kalium). In Verbindung mit den Wuchsleistungen ist bei P-Blattgehalten > 0,20 bis 0,25 % von einer Überschreitung des tatsächlichen P-Bedarfes der Jungbestände auszugehen. Dies bestätigt die von HEINSDORF (1999) ausgewiesene Obergrenze der optimalen P-Bedarfsspanne. Sie wird bei den Traubeneichen mit 0,199 % P und bei den Roteichen mit 0,168 % P angegeben.

Tab. 18: Gegenüberstellung der P- und K-Spiegelwerte für Traubeneiche nach BERGMANN (1986) und HEINSDORF (1983, 1996)

	Phosphor [%]	Kalium [%]
BERGMANN (1986):		
Ausreichende Versorgung	0,15 – 0,30	1,00 – 1,50
HEINSDORF (1983, 1996):		
Unterversorgung (Stufe II)	0,097 – <u>0,114*</u> – 0,135	0,40 – <u>0,47*</u> – 0,54
Optimalversorgung (Stufe III)	0,135 – <u>0,159*</u> – 0,187	0,54 – <u>0,64*</u> – 0,75
Übersorgung (Stufe IV)	0,187 – <u>0,221*</u> – 0,259	0,75 – <u>0,87*</u> – 1,02
Eigene Ergebnisse:		
Traubeneiche	0,080 – <u>0,127*</u> – 0,170	0,79 – <u>0,98*</u> – 1,10
Roteiche	0,080 – <u>0,108*</u> – 0,150	0,65 – <u>0,79*</u> – 0,97

* Mittelwert innerhalb des jeweiligen Gehaltbereiches

5.3.2.3 Kalium

Die K-Blattspiegelwerte liegen zumeist im Mangelbereich (Abb. 63). Der mittlere K-Gehalt der Traubeneichen-Erstaufforstungen beträgt 0,98 %, die Roteichenblätter enthalten durchschnittlich 0,79 % K. Mit $cv\%_{TEI} = 10,0$ und $cv\%_{REI} = 15,1$ haben die K-Spiegelwerte vergleichsweise geringe Variationskoeffizienten.

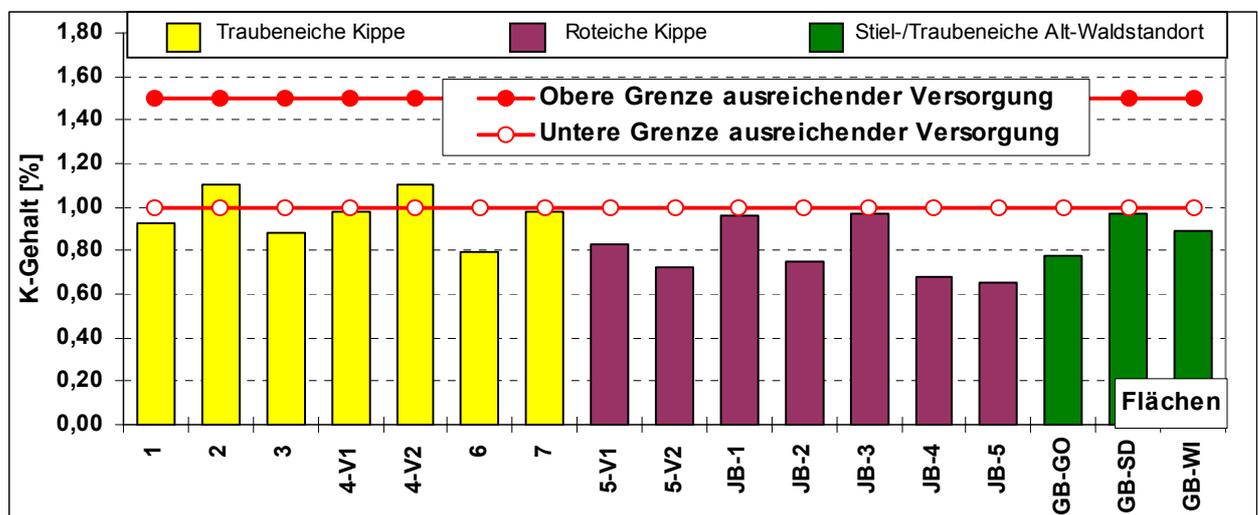


Abb. 63: K-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Die Bewertung der K-Blattspiegelwerte nach BERGMANN (1986) steht in krassem Widerspruch zu den ermittelten Wuchsleistungen der Kippenforsten und der Vergleichsbestände auf unverritzten Standorten. Nach HEINSDORF (1996) sind die untersuchten Traubeneichenbestände zumeist über- und z.T. extremversorgt (Tab. 19). Die Roteichenbestände liegen im Durchschnitt um eine Versorgungsstufe tiefer.

Tab. 19: K-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen		TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
II	Unterversorgung	-	-	-	-
III	Optimalversorgung	-	-	4	57,1
IV	Übersorgung	5	71,4	3	42,9
V	Extremversorgung	2	28,6	-	-

Den besten Wuchsleistungen der TEI- (Ekl. -0,3 bis 0,6) und REI-Reinbestände (Ekl.: 1,7 bis 2,2) sind K-Blattspiegelwerte von 0,79 bis 1,10 % bzw. von 0,65 bis 0,97 % zuzuordnen. Die drei Vergleichsbestände auf unverritzten Standorten weisen einen durchschnittlichen K-Blattgehalt von 0,88 % auf. Demnach verfügen die TEI-Kippenstandorte über eine bedarfsdeckende K-Ausstattung. Weiterhin zeigt sich, dass die Roteichen offenbar einen geringeren essenziellen K-Bedarf haben als die Traubeneichen. HEINSDORF (1983) bezeichnet K-Spiegelwerte von über 0,55 % bei den Roteichen als ausreichend. Anhand der vorliegenden Ergebnisse setzt der Luxusverbrauch der Eichenbestände vermutlich bei $\geq 1,0$ % K ein. Mangelercheinungen sind bei Gehalten unter 0,55 % K zu erwarten.

5.3.2.4 Beziehungen zwischen N, P und K

Die absoluten und relativen Anteile der Nährstoffe N, P und K an der NPK-Nährelementsumme der Eichenblätter sind in der Anlage 9.3 enthalten. Außerdem wurden die Schwankungsbereiche der relativen Nährstoffanteile in den wüchsigsten TEI- und REI-Beständen erfasst und mit denen auf Alt-Waldstandorten verglichen. Unter Berücksichtigung der Versorgungsstufen nach HEINSDORF (1996) (Tab. 15 und 18) ergeben sich Spannweiten für optimale NPK-Nährstoffsummen und -Nährelementanteile (Tab. 20). In der Regel ist die Versorgung optimal, wenn die toxische Wirkung der einzelnen Nährstoffe im Zusammenhang mit den anderen Einflussfaktoren am geringsten ist (RAUTENBERG und BUSSLER 1960). Die Untersuchungen zeigen, dass bei den TEI-Erstaufforstungen die NPK-Relationen offenbar optimal sind, wenn die relativen Nährelementanteile an der NPK-Summe bei 65 bis 74 % N_t , 4 bis 5 % P_t und 22 bis 30 % K_t liegen.

Auf den unverritzten Alt-Waldstandorten sind die mittleren Nährstoffsummen sowie die relativen N- und P-Anteile höher. Die relativen K-Anteile sind hingegen niedriger als auf den mit Traubeneiche bestockten Kippenstandorten.

Tab. 20: NPK-Blattspiegelwertbereiche der wüchsigsten TEI- und REI-Bestände sowie der Vergleichsbestände und Ableitung optimaler NPK-Nährelementanteile

Nährstoffe	Kippen - Standorte		Alt-Waldbestände
	Traubeneiche (n = 4)	Roteiche (n = 3)	TEI/SEI (n = 2)
Spiegelwertbereiche in den wüchsigsten Beständen [%]			
N	2,11 - 2,67 (Ø 2,42)	2,35 - 2,60 (Ø 2,44)	2,83 - 2,86 (Ø 2,84)
P	0,11 - 0,15 (Ø 0,138)	0,08 - 0,15 (Ø 0,106)	0,16 - 0,21 (Ø 0,185)
K	0,79 - 1,10 (Ø 0,96)	0,65 - 0,97 (Ø 0,77)	0,89 - 0,97 (Ø 0,93)
NPK-Nährelementsummen in den wüchsigsten Beständen [mg/100g TS]	3240 bis 3920 (Ø 3522)	3088 bis 3480 (Ø 3309)	3880 bis 4040 (Ø 3960)
Optimale Bereiche der Nährelementanteile (% an Σ NPK)			
N	65,1 - 74,2 (Ø 68,7)	67,8 - 77,4 (Ø 73,8)	70,8 - 72,9 (Ø 71,9)
P	3,8 - 4,6 (Ø 3,9)	2,4 - 4,3 (Ø 3,2)	4,1 - 5,2 (Ø 4,6)
K	21,9 - 30,2 (Ø 27,4)	20,2 - 27,9 (Ø 23,0)	22,9 - 24,0 (Ø 23,5)

5.3.2.5 Calcium

Die Ca-Blattspiegelwerte aller Eichenbestände liegen nach BERGMANN (1986) im Bereich der ausreichenden Ernährung (Abb. 64). Nach HEINSDORF (1996) sind die untersuchten Eichenbestände zumeist luxus- bis extremversorgt (Tab. 21). Die hohen Ca-Gehalte sind ein Indiz für bodenmeliorative Maßnahmen und die pflanzenphysiologische Wirksamkeit basischer Stoffeinträge.

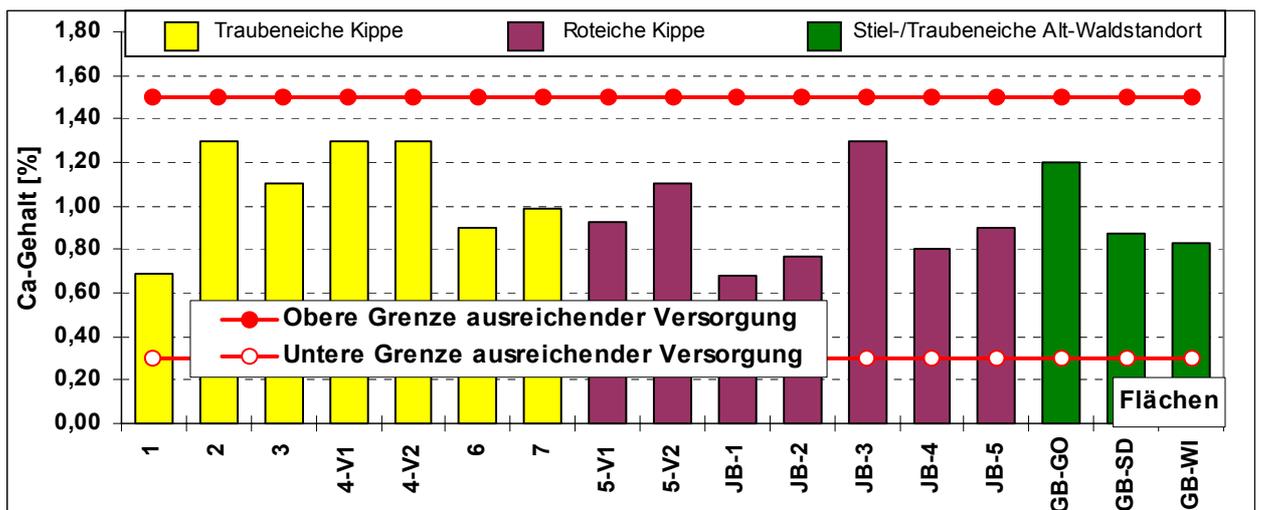


Abb. 64: Ca-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Die Ertragsleistungen der Eichen-Kippenbestände lassen vermuten, dass 0,50 bis 1,30 % Ca als optimal zu bewerten sind. Auf unverritzten Standorten liegt die Obergrenze optimaler Versor-

gung wahrscheinlich tiefer, da in den jungen Kippenböden die Wechselbeziehungen des Ca mit den Elementen der Kationengruppe (vor allem K und Mg) und der Anionengruppe (vor allem P und S) von größerer Bedeutung sind als in den „ausgereiften“ Alt-Waldböden.

Tab. 21: Ca-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
II	Unterversorgung	0,326 – 0,482	-	-	-	-
III	Optimalversorgung	0,482 – 0,713	1	14,3	2	28,6
IV	Überversorgung	0,713 – 1,054	2	28,6	3	42,8
V	Extremversorgung	1,054 – 1,560	4	57,1	2	28,6

5.3.2.6 Magnesium

Die Mg-Versorgung ist zumeist ausreichend (Abb. 65). Lediglich die Roteichenbestände JB-1 (0,12 % Mg) und JB-2 (0,10 % Mg) sind unterversorgt. Im arithmetischen Mittel enthalten die Traubeneichenblätter 0,23 % Mg und die Roteichenblätter 0,19 % Mg.

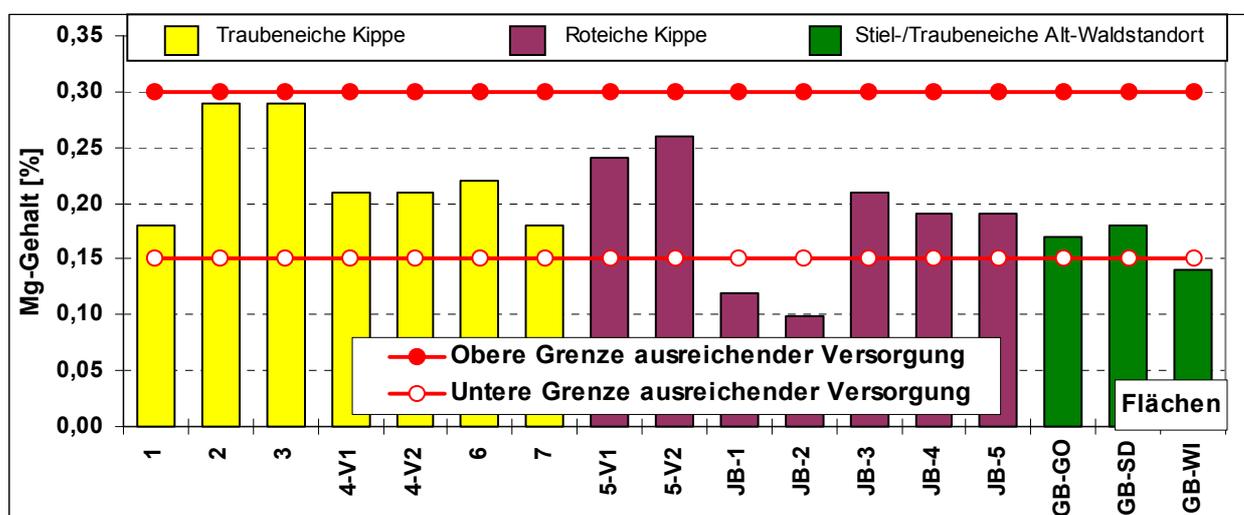


Abb. 65: Mg-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

Tab. 22: Mg-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
I	Mangelversorgung	0,055 – 0,086	-	-	-	-
II	Unterversorgung	0,086 – 0,133	-	-	2	28,6
III	Optimalversorgung	0,133 – 0,207	2	28,6	2	28,6
IV	Überversorgung	0,207 – 0,322	5	71,4	3	42,8
V	Extremversorgung	0,322 – 0,500	-	-	-	-

Die wachstumskundlichen Kenndaten rechtfertigen für eine ausreichende Versorgung geringere Mg-Bedarfswerte als bei BERGMANN (1986) angegeben und bestätigen weitgehend die Angaben von HEINSDORF (1996). Hiernach läge bei den TEI- und REI-Kippenbeständen zumeist Optimal- bis Überversorgung vor (Tab. 22). Da den schlechten Bonitäten der Bestände JB-1 (Ekl. 4,2) und JB-2 (Ekl. 5,2) die geringsten Mg-Blattgehalte zuzuordnen sind, sollte die Untergrenze einer optimalen Ernährung 0,13 % Mg nicht unterschreiten. Die Mg-Gehalte der Vergleichsbestände entsprechen nach HEINSDORF (1996) mit 0,14 bis 0,18 % Mg dem unteren bis mittleren Bereich optimaler Versorgung.

5.3.2.7 Schwefel, Eisen und Natrium

Die **Schwefel**-Gehalte der TEI-Kippenbestände liegen nach HEINSDORF (1996) (Tab. 23) in den Versorgungsstufen IV und V (0,20 bis 0,23 % S_t). Die REI-Reinbestände sind durch Schwefelgehalte im Bereich der Stufen III bis V gekennzeichnet. Sowohl in den Traubeneichen- als auch in den Roteichenbeständen wurden mittlere S_t -Blattspiegelwerte von 0,22 % ermittelt. Die S_t -Blattspiegelwerte der auf unverritzten Standorten stockenden Vergleichsbestände sind mit 0,20 bis 0,23 % S_t ebenfalls hoch. HEINSDORF und HEINSDORF (2001) sehen in Schwefel-Blattgehalten von $\geq 0,124$ % bei der Eiche eine atmogene S_t -Belastung. Demnach lassen die S_t -Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände auf einen deutlichen Einfluss von SO_2 -Immissionen schließen. S-Freisetzungen aus der Pyritverwitterung in den kohlehaltigen Substraten führten offensichtlich nicht zur Erhöhung der S_t -Blattgehalte, da die Eichenbestände auf den Kippenstandorten und den unverritzten Waldstandorten gleichermaßen hohe Blattspiegelwerte aufweisen. Vermutlich werden die in den kohlehaltigen Substraten freigesetzten S-Anteile schwer pflanzenverfügbar in andere Verbindungen eingebaut und/oder aufgrund deutlicher Überschreitung des essenziellen Bedarfs nicht aufgenommen.

Tab. 23: S_t -Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen		TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Spanne [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
II	0,123 – 0,151	-	-	-	-
III	0,151 – 0,185	-	-	2	28,6
IV	0,185 – 0,228	5	71,4	2	28,6
V	0,228 – 0,280	2	28,6	3	42,8

Es sind mittlere **Eisen**-Gehalte von 137 ppm bei den Traubeneichen und 115 ppm bei den Roteichen zu verzeichnen (Tab. 24). Sie entsprechen dem Bereich optimaler Ernährung.

Tab. 24: Fe-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [ppm]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
I	Mangelversorgung	45 – 66	-	-	-	-
II	Unterversorgung	66 – 96	2	28,6	2	28,6
III	Optimalversorgung	96 – 140	3	42,8	5	71,4
IV	Überversorgung	140 – 205	1	14,3	-	-
V	Extremversorgung	205 – 300	1	14,3	-	-

Die Fe-Blattgehalte zeigen, dass die Verwitterung des Pyrits (FeS_2) auch die Fe-Versorgung nicht zwangsläufig beeinflusst. Lediglich auf Fläche 7 (Kippe Laut; oj-ss) wurde ein exorbitant hoher Wert von 310 ppm Fe ermittelt. Er ist möglicherweise auf den steigenden Grundwasserspiegel bzw. auf die Zuleitung Fe-haltigen Grundwassers im ehemaligen Tagebaukomplex Tätzschwitz zurückzuführen. Bei Gruppierung der Fe-Blattspiegelwerte nach dem Bestandesalter zeichnet sich ein Anstieg der Gehalte mit dem Bestandesalter bzw. mit dem Zeitraum der standörtlichen Entwicklung ab:

Bestandesalter:	24 Jahre (n = 4)	Fe-Gehalt:	82 bis 93 ppm	↓
	29 Jahre (n = 2)		98 bis 100 ppm	
	34 bis 45 Jahre (n = 8)		100 bis 310 ppm	

Die Eisen-Blattgehalte der Vergleichsbestände auf gewachsenen Standorten liegen mit 130 bis 180 ppm Fe im Schwankungsbereich der 34- bis 45jährigen Eichen-Kippenbestände.

Die **Natrium**-Blattspiegelwerte entsprechen überwiegend der Stufe IV (Tab. 25). Es wurden mittlere Blattspiegelwerte von 91 ppm Na in den TEI- und 63 ppm Na in den REI-Kippenbeständen ermittelt. Die Vergleichsbestände weisen \varnothing 94 ppm Na auf.

Tab. 25: Na-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [ppm]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
II	Unterversorgung	13,5 – 28,0	-	-	-	-
III	Optimalversorgung	28,0 – 58,0	1	14,3	2	28,6
IV	Überversorgung	58,0 – 120,5	6	85,7	5	71,4
V	Extremversorgung	120,5 – 250,0	-	-	-	-

5.3.2.8 Mikronährstoffe und Schwermetalle

Der **Zink**-Gehalt beträgt bei den Traubeneichen durchschnittlich 22,4 ppm, bei den Roteichen 25,7 ppm und auf den unverritzten Standorten 30,3 ppm. Bemerkenswert ist der geringe Variationskoeffizient ($cv\%_{TEI} = 10,4$; $cv\%_{REI} = 11,9$). Nach HEINSDORF (1996) sind die untersuchten Bestände mit Zn teilweise optimal, zumeist aber überversorgt (Tab. 26).

Tab. 26: Zn-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [ppm]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
II	Unterversorgung	11,0 – 15,2	-	-	-	-
III	Optimalversorgung	15,2 – 21,0	2	28,6	1	14,3
IV	Überversorgung	21,0 – 29,0	5	71,4	6	85,7
V	Extremversorgung	29,0 – 40,0	-	-	-	-

Die **Mangan**-Blattgehalte schwanken bei den Roteichen mit einem Variationskoeffizienten von $cv\% = 72$ erheblich (Anlage 8.3). Nach HEINSDORF (1996) sind die Eichenbestände Mn-mangelernährt (Tab. 27; $\bar{\varnothing}$ TEI = 358 und $\bar{\varnothing}$ REI = 281 ppm Mn). BERGMANN (1986) sieht in Mn-Gehalten von 35 bis 100 ppm bereits eine gesicherte Ernährung. In diesem Falle wären alle Traubeneichen-Reinbestände und die meisten Roteichen-Kippenforsten deutlich Mn-überversorgt. Da auch die Vergleichsbestände auf unverritzten Standorten die BERGMANNsche Obergrenze um das 4- bis 5fache ($\bar{\varnothing}$ 487 ppm) überschreiten, ist der tatsächliche Sektor einer ausreichenden Mn-Versorgung wahrscheinlich bei > 400 ppm anzusetzen.

Tab. 27: Mn-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [ppm]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
I	Mangelversorgung	200 – 396	6	85,7	4	57,1
II	Unterversorgung	396 – 782	1	14,3	3	42,9
III	Optimalversorgung	782 – 1547	-	-	-	-

Die Trauben- und Roteichenbestände sind nach BERGMANN (1986) mit **Kupfer** unterversorgt bis ausreichend ernährt (Anlage 8.3). Der mittlere Cu-Gehalt beträgt bei den TEI- und REI-Beständen 6,2 bzw. 4,9 ppm und bei den Vergleichsbeständen auf unverritztem Standort 7,1 ppm. Die im Vergleich zu den Traubeneichen geringeren Cu-Blattspiegelwerte der Roteichen könnten einen vergleichsweise niedrigeren Cu-Bedarf der Roteichen signalisieren.

Die **Aluminium**-Blattspiegelwerte der untersuchten TEI- und REI-Kippenforsten liegen fast ausschließlich im Bereich der Stufen II und III (Tab. 28). Sie sind aufgrund der bodenmeliorati-

ven Maßnahmen mit $\bar{\varnothing}$ 46,2 ppm niedriger als bei den Vergleichsbeständen, die mit 57 bis 91 ppm den Stufen III und IV zuzuordnen sind.

Tab. 28: Al-Status der Trauben-/Stieleichenbestände nach HEINSDORF (1996)

Ernährungsstufen			TEI-Erstaufforstungen		REI-Erstaufforstungen	
Stufe	Definition	Spanne [ppm]	Anzahl (n)	Anteil [%]	Anzahl (n)	Anteil [%]
I	Mangelversorgung	15 – 25	1	14,3	-	-
II	Unterversorgung	25 – 42	2	28,6	4	57,1
III	Optimalversorgung	42 – 71	4	57,1	3	42,9
IV	Überversorgung	71 – 119	-	-	-	-

Bei **Cadmium**, **Blei** und **Nickel** ähneln die Gehalte der Kippenbestände denen unverritzter Standorte (Tab. 29). Es zeichnen sich keine kippenspezifischen Besonderheiten ab.

Tab. 29: Mittlere Cd-, Pb- und Ni-Gehalte der untersuchten Eichenbestände [ppm]

	TEI Kippe	REI Kippe	TEI/SEI Gew. Boden
Cadmium	0,07	0,05	0,09
Blei	0,83	1,27	1,03
Nickel	3,86	1,81	2,50

5.3.2.9 Jährliche Schwankungen der Roteichen-Blattgehalte

Der Roteichenbestand JB-3 auf der Domsdorfer Kippe wurde in den Jahren 1995, 1997 und 1998 beprobt. Die Auswertung der jahresweise zusammengestellten Blattspiegelwerte (Anlage 10) ergibt bei den Nährstoffen C, N, P, Ca, S_t, K und Mg vergleichsweise geringe Variationskoeffizienten (cv%). Die Mangan- und insbesondere die Al-Blattspiegelwerte weisen hingegen enorme Schwankungen auf, was sich auch in den Ca/Al- (cv% = 64,4) und den Mg/Al-Relationen (cv% = 73,8) widerspiegelt.

5.3.2.10 Wechselbeziehungen Boden-Pflanze

Die Stickstoff-Blattspiegelwerte der TEI-Reinbestände weisen auf eine hauptsächlich vom Bestandesalter abhängige Differenziertheit hin (Tab. 30). Ein Vergleich zwischen den 24- und 29jährigen Kippen-Erstaufforstungen deutet an, dass auch die in den kohligen Beimengungen der Kippsubstrate fixierten N_t-Mineralbodenvorräte die Blattspiegelwerte positiv beeinflussen können. Im höheren Bestandesalter (> 37 Jahre) wird dieser Einfluss durch die Etablierung ökosystemarer Nährstoffflüsse überprägt. Die N-Freisetzung aus den kohligen Beimengungen ist

belegt, ebenso wie der mikrobielle Abbau der kohligen Bestandteile tertiärer Sedimente (EMBACHER 2000, KATZUR und LIEBNER 2000).

In ähnlicher Weise wie die N_t -Gehalte sind die P_t -Blattspiegelwerte vom Alter des Forstökosystems und den C_t -Mineralbodenvorräten beeinflusst (Tab. 30). Die ≥ 29 jährigen TEI-Bestände haben höhere mittlere P-Blattspiegelwerte als die 24jährigen Erstaufforstungen. Die höchsten Phosphor-Blattgehalte wurden aber auf den C_t -reichsten Kippsubstraten ermittelt. Möglicherweise wird die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor durch hohe C_t -Mineralbodengehalte verbessert. Anionen der organischen Säure (niedermolekulare Phosphorsäure) lösen PO_4 -Ionen aus ihren Verbindungen heraus.

Tab. 30: N_t - und P_t -Blattspiegelwerte der TEI-Kippenbestände sowie mittlere C_t , N_t und P_t -Gehalte des nichthumosen Mineralbodens bis 100 cm Bodentiefe

Alter [Jahre]	Mittlere TEI-Blattspiegelwerte [%]		Boden-Nährstoffgehalte in der Tiefenstufe unterhalb Ah bis 100 cm [%]				
	N_t	P_t	C_t	N_t	C/N	P_t	C/P
24	1,82	0,084	1,57	0,038	41,32	0,0080	196,25
29	2,39	0,150	5,64	0,097	58,14	0,0089	633,71
37	2,24	0,140	1,40	0,040	35,00	0,0126	111,11
45	2,67	0,140	1,19	0,030	39,67	0,0159	74,84

In den Eichen-Referenzbeständen ($n = 7$) deutet sich ein Anstieg der P-Blattspiegelwerte mit steigenden P-Vorräten in der Humusauflage ($R^2 = 0,4663$, $r = 0,6829$, $r_{\max} = 0,7540$, $\alpha = 5\%$) und im Ah-Horizont an ($R^2 = 0,4049$, $r = 0,6363$, $r_{\max} = 0,7540$, $\alpha = 5\%$), was auf die Bedeutung der P-Nachlieferung aus der Streuzersetzung für die Waldentwicklung hinweist.

Im Unterschied zu den untersuchten Kiefern- und Birkenbeständen ist bei den TEI-Kippenerstaufforstungen eine schwache Abhängigkeit der Calcium-Blattspiegelwerte von den Ca-Gehalten der bodengeologischen Ausgangssubstrate feststellbar (Abb. 66).

Im Hinblick auf die Mg-Ernährung ergibt sich eine signifikante Abhängigkeit der Magnesium-Blattspiegelwerte von den Mg-Gehalten in den A-Horizonten (Abb. 67). Allerdings ist aufgrund des geringen Stichprobenumfangs ($n = 7$) und der Nichtbelegung des x-Wertebereiches von 0,024 bis 0,059 % nicht zwangsläufig von einem straffen Zusammenhang auszugehen. Zwischen den Mg-Blattspiegelwerten der Eichen und den Mg-Gehalten in den organischen Auflagen sowie in den C-Horizonten konnte keine Beziehung nachgewiesen werden.

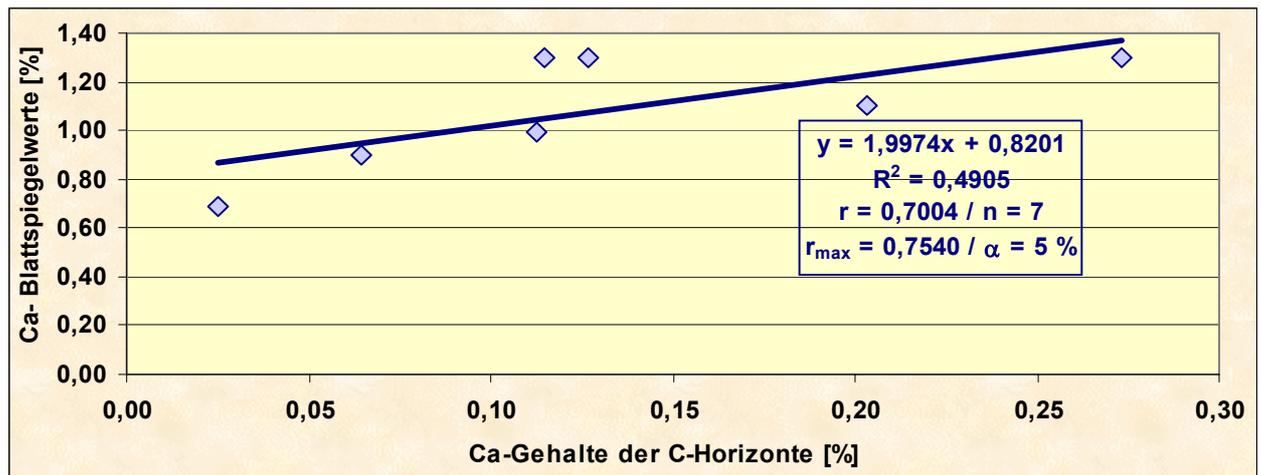


Abb. 66: Ca-Blattspiegelwerte der Traubeneichen-Kippenforsten in Abhängigkeit von den Ca-Gehalten der C-Horizonte

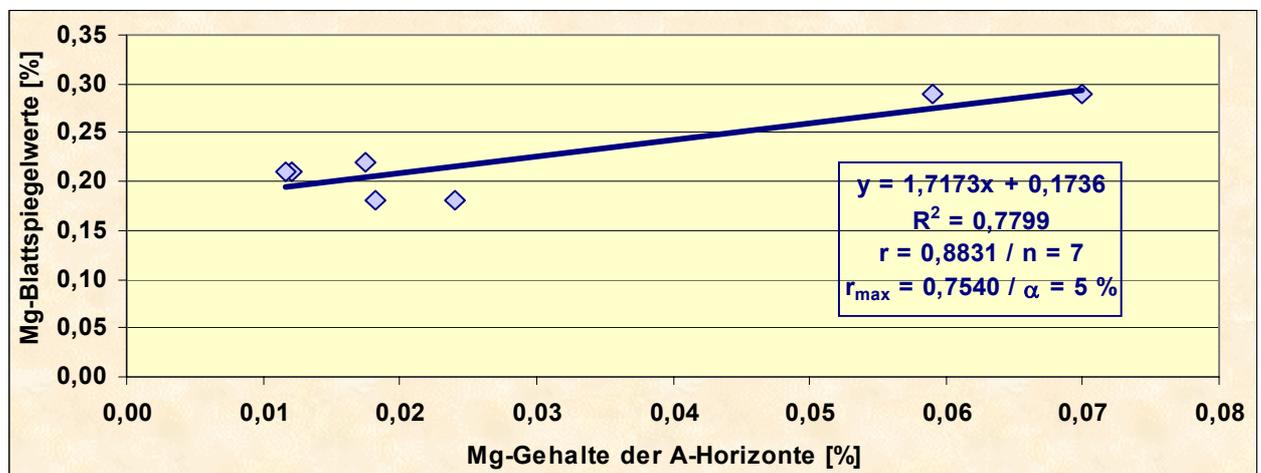


Abb. 67: Mg-Blattspiegelwerte der Traubeneichen-Kippenforsten in Abhängigkeit von den Mg-Gehalten der A-Horizonte

Zwischen den Kalium-Blattgehalten und den K-Gehalten in den organischen Auflagen, in den A-Horizonten und in den nichthumosen Mineralböden bestehen keine Zusammenhänge.

Während die Ca- und K-Blattgehalte der jungen Eichen-Kippenbestände weitgehend mit den auf unverritzten Standorten gewonnenen Elementgehalten vergleichbar sind (\emptyset Kippe: 0,99 % Ca; \emptyset Alt-Waldstandort: 0,97 % Ca und \emptyset Kippe: 0,89 % K; \emptyset Alt-Waldstandort: 0,88 % K), fallen die P-Blattspiegelwerte der Eichen-Kippenforsten im Durchschnitt niedriger aus (\emptyset Kippe: 0,117 % P; \emptyset Alt-Waldstandort: 0,154 % P). Die mittleren Mg-Blattgehalte der Kippenforsten überschreiten hingegen deutlich die Mg-Spiegelwerte der Bestände auf den Alt-Waldstandorten (\emptyset Kippe: 0,21 % Mg; \emptyset Alt-Waldstandort: 0,16 % Mg). Die Konstellation der Makronährstoffgehalte in den untersuchten Kippen-Erstaufforstungen der Baumarten Trauben- und Roteiche ist auf die geogene „Grundausstattung“, die Langzeitwirkung der substratangepassten Grundmelioration sowie atmogene Fremdstoffeinträge und deren Verwertung zurückzuführen.

5.4 Humusbildung und Bodenentwicklung in den Kippenforsten

5.4.1 Bildung der Humusauflage

5.4.1.1 Einfluss atmogener Flugascheinträge auf die organische Auflage

Der atmogene Eintrag basischer Flugaschen aus Braunkohlenverbrennungsanlagen in die Kippen-Waldökosysteme führte zur Aufbasung der Humusauflagen, die sich in der signifikanten Erhöhung der Basensättigungen und pH-Werte zeigt (Abb. 68.1 und 68.3, Anlage 11.1). Da die Flugaschen aufgebaste kohlige Bestandteile enthalten, steigt mit der Depositionshöhe bzw. -intensität und der daraus resultierenden magnetischen Suszeptibilität (MS) die Pufferung ($= \text{KAK}_{\text{pot}} \times \text{V-Wert} / 100$) (Abb. 68.2 und 68.4).

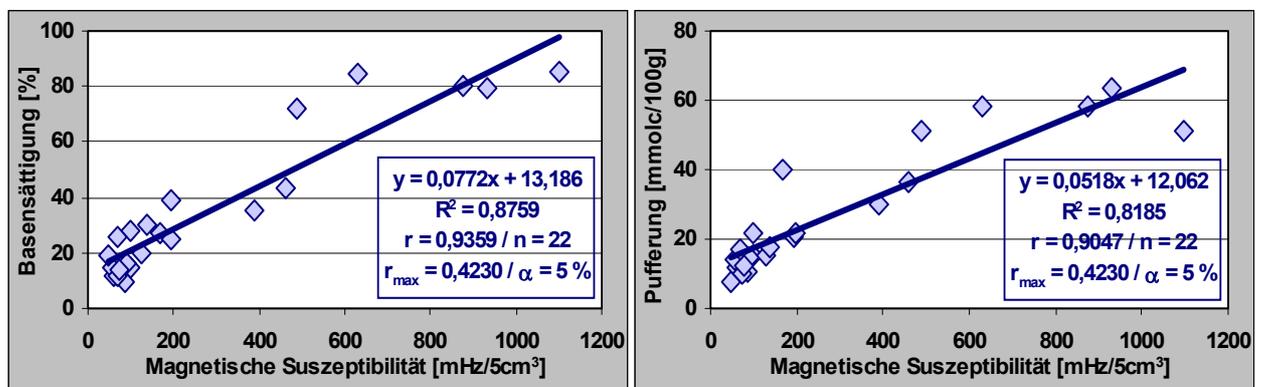


Abb. 68.1 und 68.2: Abhängigkeit der Basensättigung und der Pufferung in der Humusauflage von den basischen Stoffeinträgen in den Kiefern-Referenzbeständen

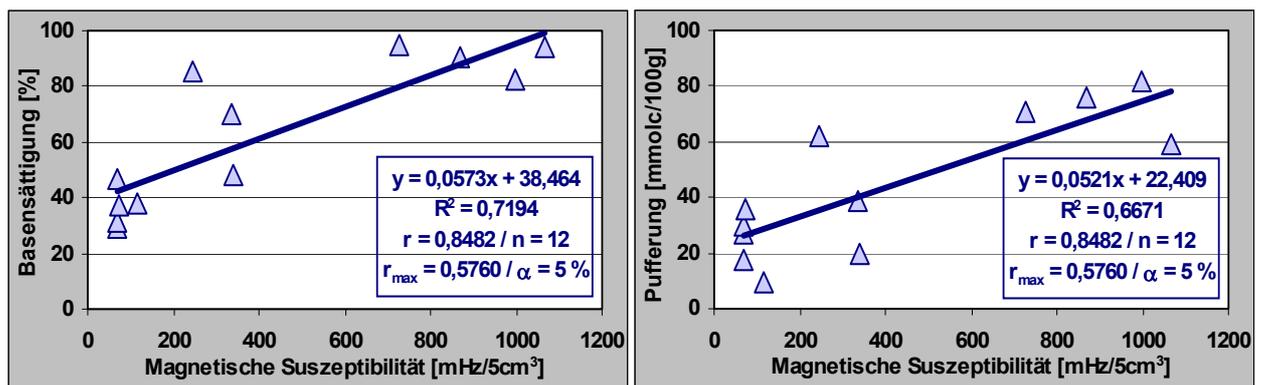


Abb. 68.3 und 68.4: Abhängigkeit der Basensättigung und der Pufferung in der Humusauflage von den basischen Stoffeinträgen in den Birken-Referenzbeständen

Am stärksten werden die Aciditätsweiser in den Humusauflagen der mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen beeinflusst. Die gegenüber den Birken-Erstaufforstungen straffere Korrelation bei den Kiefern-Kippenforsten lässt vermuten, dass die Flugaschenfängigkeit in den Kiefernbeständen höher ist als in den altersäquivalenten Birkenbeständen. In den jungen Eichenbeständen (Bestandesalter: 24 bis 45 Jahre) ist wegen der kürzeren Einwirkungszeit der Zusammenhang

zwischen den Flugascheeinträgen und der Basensättigung der Humusauflage lediglich angedeutet (Anlage 11.1).

Die MS-Messwerte in den organischen Auflagen schwanken sowohl zwischen den Kippenkomplexen (regionale Differenzierungen) als auch innerhalb derselben in Abhängigkeit von der Bestandeseexposition erheblich (Anlage 12.1). Auf den Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf sind nach HEINSDORF und TÖLLE (1993) die niedrigsten Depositionsstufen anzutreffen. Die Briesker Hochkippe ist hingegen der Depositionsstufe V zuzuordnen. Die Humusauflage der in unmittelbarer Nachbarschaft zur Domsdorfer Kippe auf unverritztem Standort gelegenen Vergleichsfläche GKI GB-SW (81 Jahre) weist mit $107,5 \text{ mHz}/5\text{cm}^3$ ebenfalls eine geringe Überprägung durch atmo-gen eingetragene basische Stäube auf.

Auf der Kippe mit den geringsten Stoffeinträgen (Kippe Tröbitz Nord) deutet sich an, dass aufgrund zunehmender Stoffakkumulation die magnetische Suszeptibilität mit dem Bestandesalter steigt (Abb. 69.1). Bei sehr hohen Fremdstoffeinträgen ist der temporale Zusammenhang kaum noch zu erkennen (Abb. 69.2).

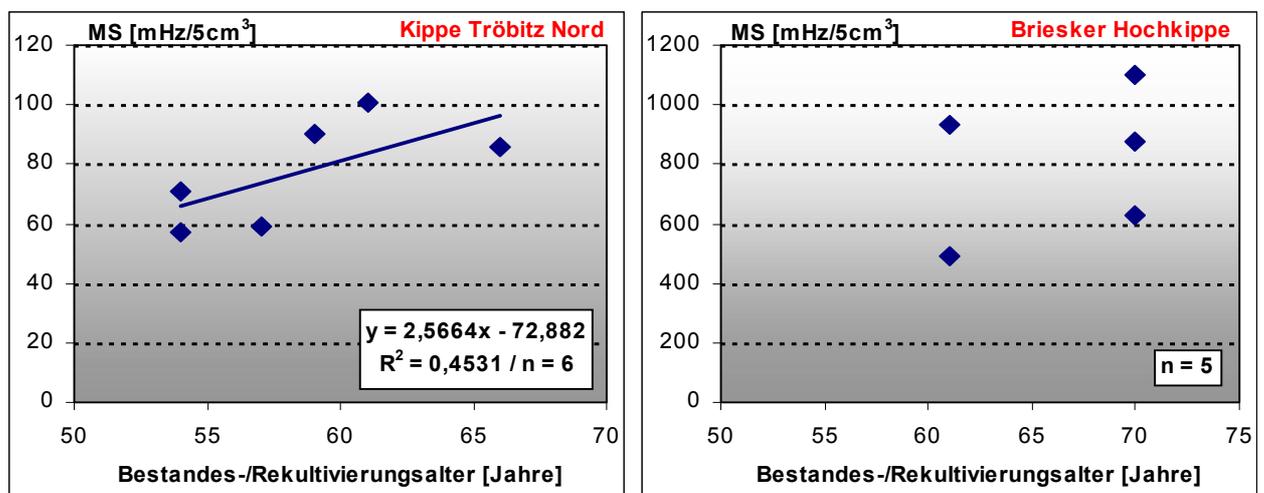


Abb. 69.1 und 69.2: Zusammenhang zwischen den Messwerten der magnetischen Suszeptibilität im Auflagehumus und dem Rekultivierungsalter in 54- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen auf Kippenkomplexen mit unterschiedlicher Depositionsintensität

5.4.1.2 Akkumulation der organischen Auflage und Humusformen

Die Bildung rezenter Humusstoffe ist als „Motor“ für die Etablierung ökosystemarer Stoffflüsse und für die Förderung bodenbiologischer Aktivitäten anzusehen und verbessert die physikalischen und chemischen Bodenkennwerte. Im Folgenden werden die Einflüsse der Baumarten und deren Alter auf Akkumulation (Tab. 31) und Qualität der Humusauflage durch Streufall dargestellt.

Tab. 31: Mittlere Humusmengen und Gehalte an organischer Substanz in der Humusauflage

Baumart	Altersbereich (Ø Alter) [Jahre] <i>Stichtag 1.1.1998</i>	Anzahl (n)	Gewicht der organischen Auflage (atro) [t/ha]	Glühverlust (GV) [% atro]	Organische Substanz (OS) [t/ha] [t/ha*a]
GKI	53 bis 70 (Ø 61,1)	22	164,83	62,98	93,92 1,52
GKI	24 bis 46 (Ø 35,7)	7	58,14	74,07	43,81 1,18
MW alle GKI	24 bis 70 (Ø 55,0)	29	139,07	65,60	81,83 1,44
GBI	44 bis 68 (Ø 56,6)	12	243,42	41,15	80,68 1,38
EI	24 bis 45 (Ø 30,3)	9	55,68	50,97	24,87 0,79

In den 53- bis 70jährigen Kiefernforsten zeichnet sich bei einer Gesamtakkumulation von ca. 94 t OS/ha und einer **Akkumulationsrate** von 1,52 t OS/ha*a eine relativ langsame Umsetzung der Kiefernstreu und eine dementsprechend hohe Anreicherung organischer C-Verbindungen im Auflagehumus ab. Gemessen an den in der Literatur ausgewiesenen mittleren Akkumulationsraten von 0,8 bis 3,0 t OS/ha*a (FIEDLER und REISSIG 1964, KOPP 1978, THOMASIIUS 1996) liegt die Anreicherung an organischer Substanz im unteren bis mittleren Bereich. In den 24- bis 46jährigen Jungbeständen sind wegen der kürzeren Entwicklungsdauer die OS-Gesamtakkumulation und die OS-Akkumulationsrate deutlich geringer. Die Abhängigkeit der Anreicherung organischer Substanz vom Bestandesalter der Kiefer zeigt Abb. 70. Weiterhin fällt in den Jungbeständen der gegenüber den mittelalten Kiefern höhere Glühverlust auf. Möglicherweise erfolgte ab etwa 1960 bis 1980 über Flugascheinträge eine stärkere C-Akkumulation im Auflagehumus. Dies bedeutet, dass in diesen Jahren höhere Kohlestaub- bzw. geringere mineralische Flugaschedepositionen vorlagen als in den Dekaden vor 1960 und/oder von einer langsameren biologischen Fremdstoffumsetzung und -verlagerung in den Jungbeständen auszugehen ist.

HEINSDORF (1984) ermittelte in ungedüngten mittelalten (50- bis 70jährigen) Kiefernforsten auf mäßig frischen Standorten mittlerer Trophie (M2 t, KOPP und SCHWANECKE 1994) eine Streuproduktion von 3,75 t TM/ha*a. Bei Bezugnahme auf die Akkumulationsrate der untersuchten mittelalten Kiefern-Kippenforsten verbleiben 2,23 t OS/ha*a als abgebaute Streumenge. Hierbei

ist zu berücksichtigen, dass sich in der ersten Lebensdekade ein nur minimaler Streuabbau vollzieht (HEINSDORF 1984), so dass ab der zweiten Lebensdekade ein durchschnittlicher Abbau der organischen Substanz von ca. 2,5 t OS/ha*a realistisch erscheint. Allerdings berücksichtigt diese Bilanz nicht den Einfluss standörtlicher Unterschiede und atmosphärischer C-Einträge.

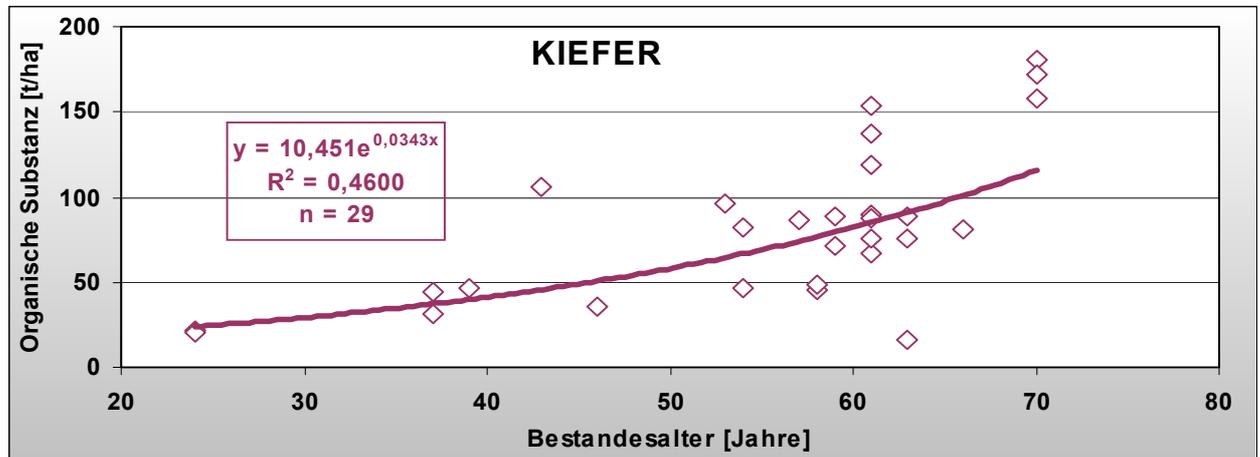


Abb. 70: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauf-
lage und dem Bestandesalter der Kiefernbestände

Auf dem unverritzten Waldstandort GB-SW (81 Jahre) überschreitet die OS-Akkumulationsrate mit 2,02 t OS/ha*a deutlich die der mittelalten Kiefernforsten auf der benachbarten Domsdorfer Kippe (n = 6; Ø 61 Jahre; Ø 1,00 t OS/ha*a).

Die 44- bis 68jährigen Birkenbestände weisen geringe Glühverluste auf. Da auf 50 % der Birkenflächen die Humusform Graswurzelfilzmoder vorliegt (Abb. 77), enthalten die Humusproben größere Anteile an mineralischen Partikeln. In den 44- bis 68jährigen Birken-Erstauf-
forstungen steigt die akkumulierte organische Substanz ebenfalls mit dem Alter an (Abb. 71).

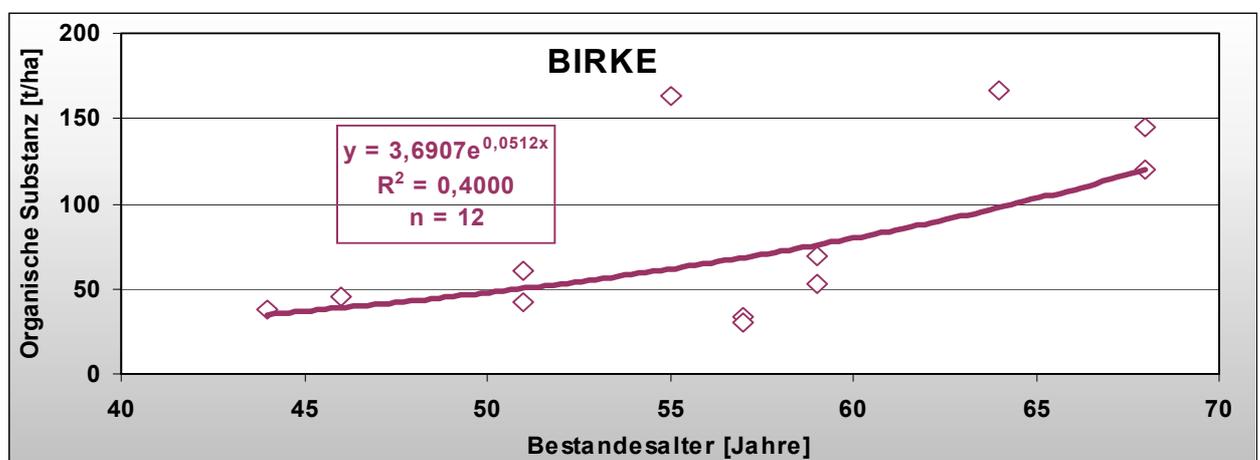


Abb. 71: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauf-
lage und dem Bestandesalter der Birkenbestände

In den Eichenbeständen werden geringere OS-Akkumulationsraten ermittelt (Tab. 31). Es zeichnet sich eine schwache Abhängigkeit der Anreicherung organischer Substanz vom Bestandesalter ab (Abb. 72).

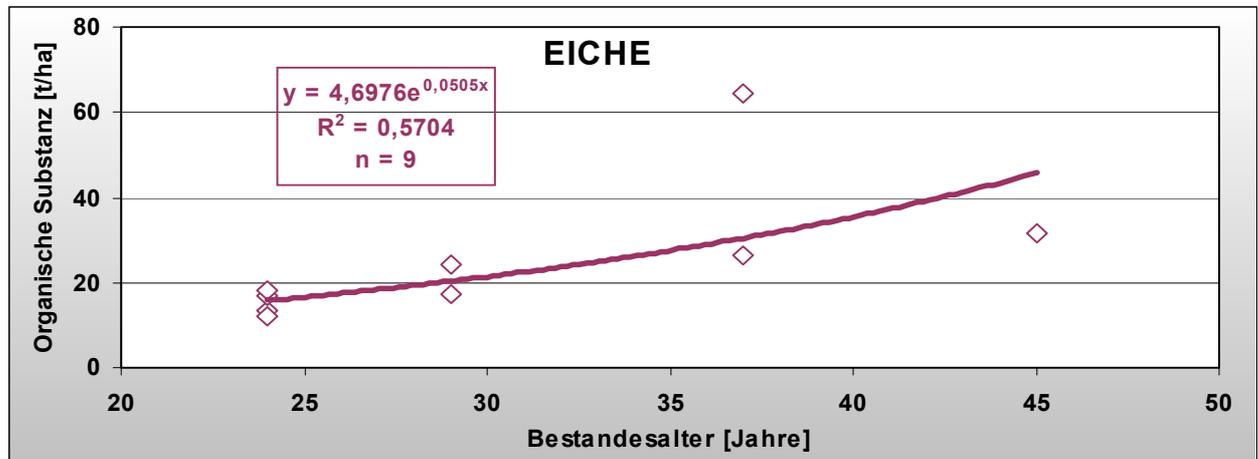


Abb. 72: Zusammenhang zwischen der Anreicherung organischer Substanz in der Humusauflage und dem Bestandesalter der Eichenbestände

Ausgehend von den Akkumulationsraten der organischen Substanz, erfolgt in den mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen eine höhere Stoffakkumulation als in den Birkenbeständen. Die geringsten OS-Akkumulationsraten sind in den noch jungen Eichenbeständen feststellbar. Sie resultieren vermutlich aus der vergleichsweise kurzen Entwicklungsdauer, der leichteren Streuzersetzung und eventuellen Laubauswehungen in der Kultur- und Jungwuchsphase.

Die **Mächtigkeit** der Humusauflagen und -horizonte ist stark differenziert und wird sowohl von der Baumart als auch vom Alter der Kippen-Erstaufforstungen beeinflusst. In Abhängigkeit von der Stärke der Oh-Horizonte wurden auf den Kippen-Waldstandorten Mineralboden-Humusformen (kein durchgehender Oh-Horizont > 0,5 cm Mächtigkeit) und Auflage-Humusformen (Oh > 0,5 cm; AG Boden 1996) vorgefunden.

Unter Kiefer scheint die Stärke des L-Horizontes bis zum Alter von 50 Jahren zuzunehmen (Abb. 73). In den > 50jährigen Beständen deutet sich wegen der durch verstärkten Lichteinfall und zunehmenden bodenbiologischen Aktivität erhöhten Zersetzungsintensität eine gleichbleibende bis geringfügig abnehmende L-Mächtigkeit an. Die Of-Mächtigkeit steigt bis zum Alter von 70 Jahren. Der in die Fermentationsschicht gelangende Streuanteil ist demnach größer als jener Substanzanteil, der in amorphen Dauerhumus übergeht. Allerdings lässt die Verteilung der Of-Einzeldaten im Alter von ca. 60 Jahren einen Gleichgewichtszustand zwischen Streuzufuhr und -fermentation vermuten. Der zunehmende Mächtigkeitsanstieg des Oh-Horizontes zeigt, dass die organische Feinsubstanz bisher schneller gebildet als in den Mineralboden, z.B. durch

Bioturbation, eingearbeitet wird. Möglicherweise ist das Fließgleichgewicht zwischen Streufall und Mineralisierung noch nicht erreicht. Der Zusammenhang zwischen Horizontmächtigkeit und Bestandesalter ist im Oh-Horizont straffer als im L- und Of-Horizont.

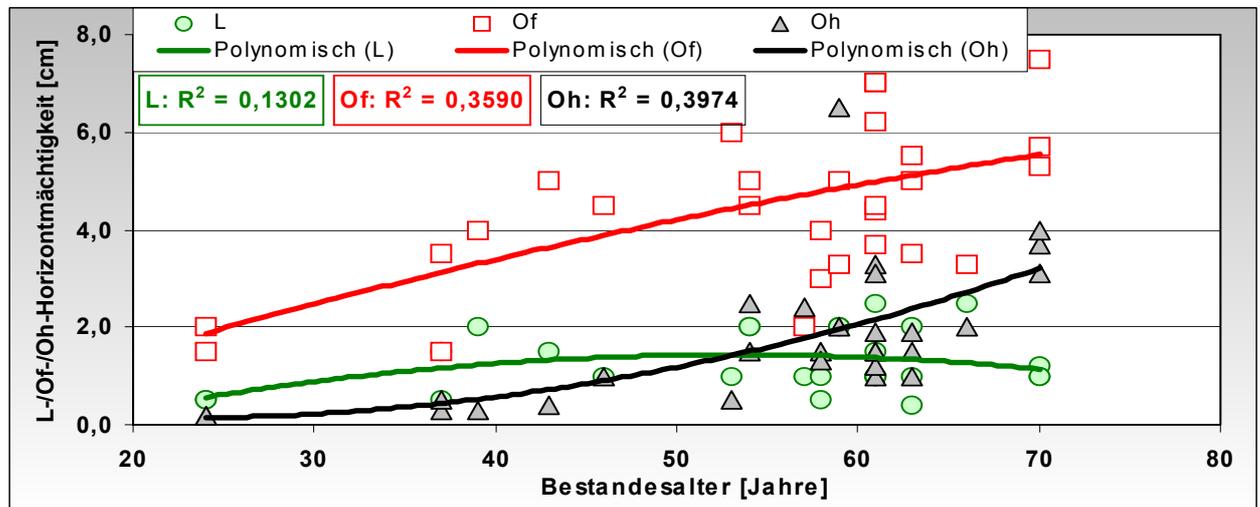


Abb. 73: Mächtigkeit der L-, Of- und Oh-Horizonte in Abhängigkeit vom Bestandesalter der Kiefern-Erstaufforstungen

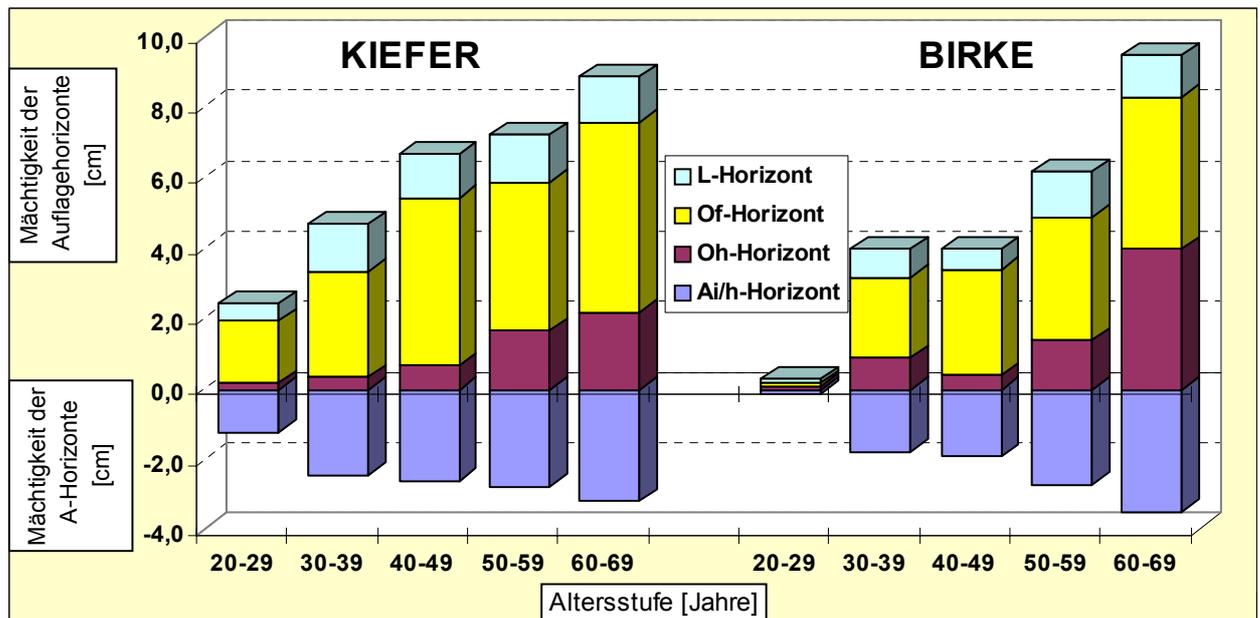


Abb. 74: Mächtigkeit der Humusauflagen und der A-Horizonte in den erfassten Altersstufen der Kiefern- und Birken-Kippenforsten

Aus Abb. 74 ist zu erkennen, dass die Mächtigkeit der Humusauflage, insbesondere des Oh-Horizontes, mit der Mächtigkeit des Ah-Horizontes korrespondiert, was für die bodentypologische Kennzeichnung der Kippenstandorte von wesentlicher Bedeutung ist. Unter den 24- bis 29jährigen Kiefern sind Mineralboden-Humusformen und ein geringmächtiger humoser Mineralbodenhorizont ($A_i < 2,0$ cm) ausgebildet. Frühestens ab Altersstufe 30 bis 39 Jahre können Auflage-Humusformen und eine über 2,0 cm starke humose Mineralbodenschicht (Ah) erwartet

werden. Der deutliche Anstieg der A-Horizontmächtigkeit in der Altersstufe 30 bis 39 Jahre lässt auf verstärkte biologische Aktivitäten (Bioturbation) und Stoffumsätze bzw. -verlagerungen und damit auf die Intensivierung bodengenetischer Prozesse (Horizontbildung) schließen. Die Messung im 81jährigen Vergleichsbestand (GB-SW) deutet darauf hin, dass die Kiefern-Erstaufforstungen ab einem Alter von 60 bis 70 Jahren einen den gewachsenen Böden vergleichbaren Humusstatus erwarten lassen (GKI GB-SW: L = 1,0; Of = 6,0; Oh = 2,5 cm).

Der Vergleich des durch Fremdstoffeinträge gering beeinflussten Kippenkomplexes Tröbitz Nord mit der durch exorbitant hohe basische Flugaschedepositionen gekennzeichneten Briesker Hochkippe veranschaulicht die flugascheinduzierte Veränderung der Horizonte (Tab. 32). In den mittelalten Kiefernbeständen der Briesker Hochkippe ist die Humusauflage um 2,9 cm stärker und der relative Anteil des L-Horizontes an der Humusstärke geringer, was auf eine beschleunigte Streuzersetzung schließen lässt. Insbesondere die Verbesserung der Aciditätsverhältnisse in der organischen Auflage durch Eintrag basischer Fremdstoffe wirkt offensichtlich begünstigend auf die Zersetzungsaktivität im L-Horizont. So liegen in Tröbitz Nord der mittlere pH_{KCl} -Wert bei 3,64 und die durchschnittliche Basensättigung bei lediglich 14,4 %. In Brieske hingegen beträgt der mittlere pH_{KCl} der Humusauflage 5,00; der mittlere V-Wert erreicht 80,4 %. Die atmosphären eingetragenen kohlehaltigen Stäube sind auf der Briesker Hochkippe vorwiegend im Oh-Horizont fixiert, dessen relative Mächtigkeit einen sprunghaften Anstieg gegenüber der Kippe Tröbitz Nord aufweist. Die beschriebene Verschiebung der Horizontmächtigkeiten in Abhängigkeit von der Flugstaubbelastung bestätigt Ergebnisse von KLOSE et al. (2001) und KOCH et al. (2002).

Tab. 32: Modifizierung der Horizontstruktur in den mittelalten Kiefern- und Birkenbeständen durch Stoffeinträge; Vergleich Kippe Tröbitz Nord und Briesker Hochkippe

Baumart	Kippenkomplex	Bezugnahme	Horizontstärke				Ø Alter [Jahre]
			L	Of	Oh	Gesamt	
Gemeine Kiefer	Tröbitz Nord	absolut [cm]	1,8	3,9	1,9	7,6	58,5
		relativ [%]	23,7	51,3	25,0	100,0	
	Briesker Hochkippe	absolut [cm]	1,3	5,8	3,4	10,5	66,4
		relativ [%]	12,4	55,2	32,4	100,0	
Gemeine Birke	Tröbitz Nord	absolut [cm]	1,7	3,4	1,3	6,4	57,7
		relativ [%]	26,6	53,1	20,3	100,0	
	Briesker Hochkippe	absolut [cm]	1,3	4,4	3,9	9,6	63,8
		relativ [%]	13,6	45,8	40,6	100,0	

Die Ansprache der Humusformen erfolgte lt. KA 4 (AG Boden 1996) und basiert somit vorwiegend auf morphologisch-strukturellen Merkmalen. Die dominierende Humusform unter den 53- bis 70jährigen Kiefern ist Moder, der in verschiedenen Modifikationen auftritt (Abb. 75). Lediglich auf einem Kippenstandort wurde Rohhumus vorgefunden. In den ergänzend aufgenommenen Kiefern-Jungbeständen ($n = 7$) ist eine Fläche dem Rohhumus zuzuordnen. Drei Bestände werden jeweils als rohhumusartiger Moder und typischer Moder bewertet (Anlage 13). Wegen des kürzeren Akkumulationszeitraumes sind in den Jungbeständen nur feinhumusarme Humusformen nachweisbar. Die drei als MOA eingestuften Jungbestände (JB-3, KL-V1 und KL-V2) wurden einer intensiven Melioration einschließlich NPK-Grunddüngung unterzogen (Kleinleipischer Meliorationsversuch).

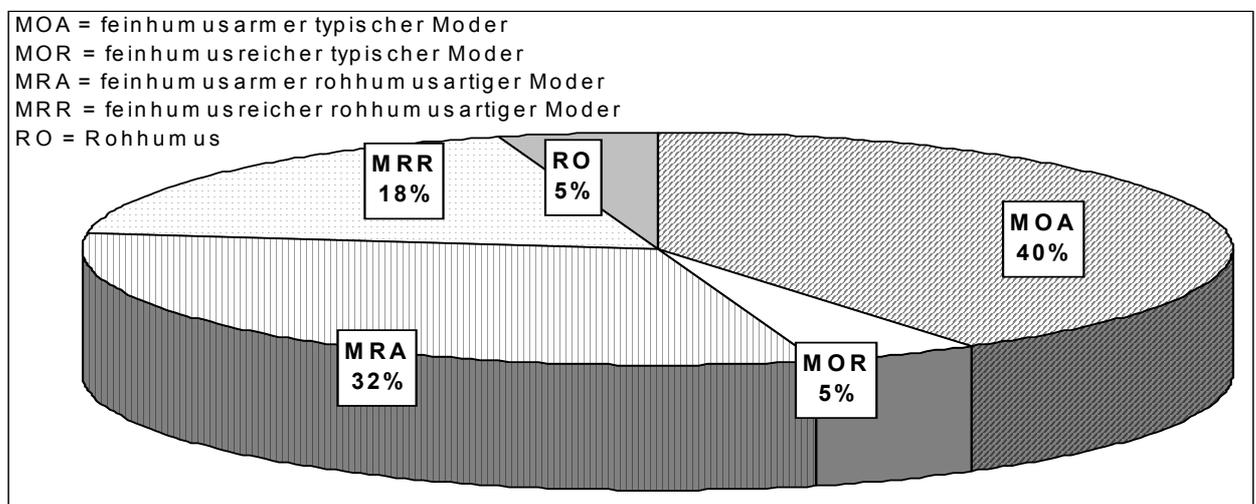


Abb. 75: Verteilung der Humusformen in den mittelalten Kiefern-Referenzbeständen ($n = 22$)

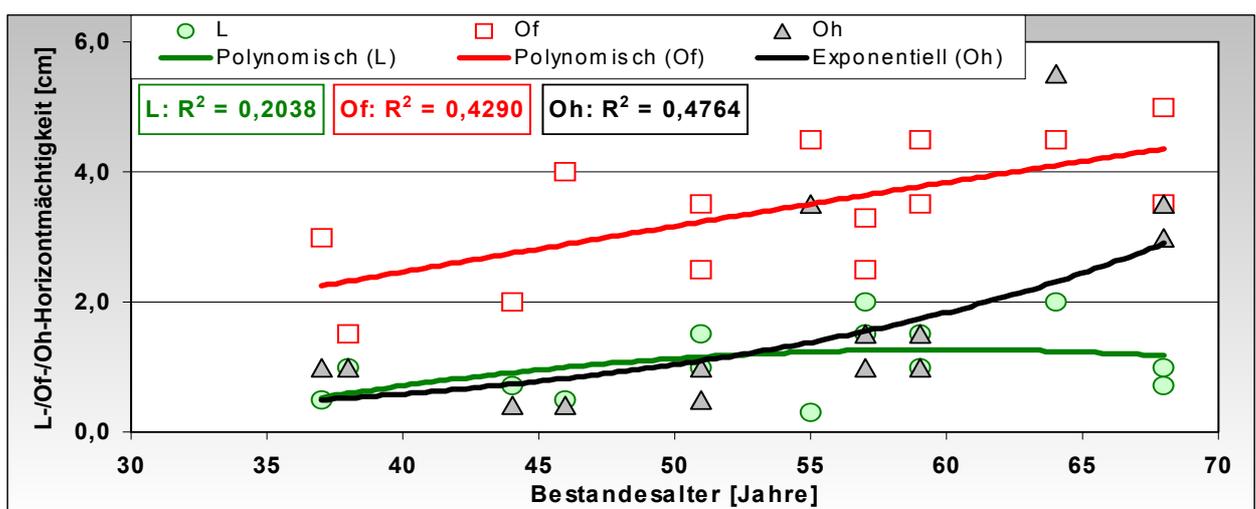


Abb. 76: Mächtigkeit der L-, Of- und Oh-Horizonte in Abhängigkeit vom Bestandesalter der Birken-Erstaufforstungen

Die Birken-Erstaufforstungen zeigen eine den Kiefern-Kippenforsten vergleichbare altersabhängige Differenzierung der Auflage-Mächtigkeit und horizontspezifische Anreicherungsdynamik

(Abb. 76). Der altersabhängigen Entwicklung der Horizontmächtigkeiten liegen die bei den Kiefernforsten diskutierten Ursachen zu Grunde. Der L-Horizont erreicht im Alter von 55 bis 60 Jahren seine maximale Mächtigkeit. Die Mächtigkeit des Of-Horizontes steigt nahezu linear und die des Oh-Horizontes exponentiell an. Die Bestimmtheitsmaße nehmen wiederum vom L- über den Of- zum Oh-Horizont stetig zu.

Aus der Tab. 32 ist zu erkennen, dass sich die Staubeinträge auf die Horizontmächtigkeiten in der Humusauflage unter Birke auswirken. Die Bestände der Briesker Hochkippe verfügen über eine um 3,2 cm höhere Gesamt-Humusauflage als die Bestände auf der Kippe Tröbitz Nord. Die relativen Mächtigkeiten der L-Horizonte sind auf der Briesker Hochkippe mit 13,6 % deutlich geringer und die der Oh-Horizonte mit 40,6 % der Humusauflagestärke deutlich höher. Das wird auf die Verlagerung nicht nur der zersetzten, sondern auch der eingetragenen organischen Fein- substanz aus dem Fermentationshorizont (Of) zurückgeführt. Demnach fungiert der Oh-Horizont als Speicher der eingetragenen Kohlestäube und der zersetzten organischen Substanz.

In den 44- bis 68jährigen Birkenbeständen überwiegen feinhumusarme Humusformen (Abb. 77). Die beginnende Auflichtung der über 50jährigen und vor allem der über 60jährigen Bestände führt zur Belichtung und Erwärmung des Waldbodens und fördert die flächenhafte Ausbreitung von *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis epigeios* und *Festuca tenuifolia*. Dadurch entwickelt sich aus typischem Moder ein Graswurzelfilzmoder (GMO). Das trifft auf der Hälfte der Birken-Referenzflächen zu. Durch die intensive Durchwurzelung und Belüftung des Oberbodens wird der Oh-Horizont aufgezehrt und/oder ist nur unscharf gegenüber dem Mineralboden abgrenzbar. Während die Horizontstruktur der „Normal“-Humusformen Rückschlüsse auf die Qualität zulässt, ist die Ansprache des GMO mit einer Nivellierung der Humusqualität verbunden.

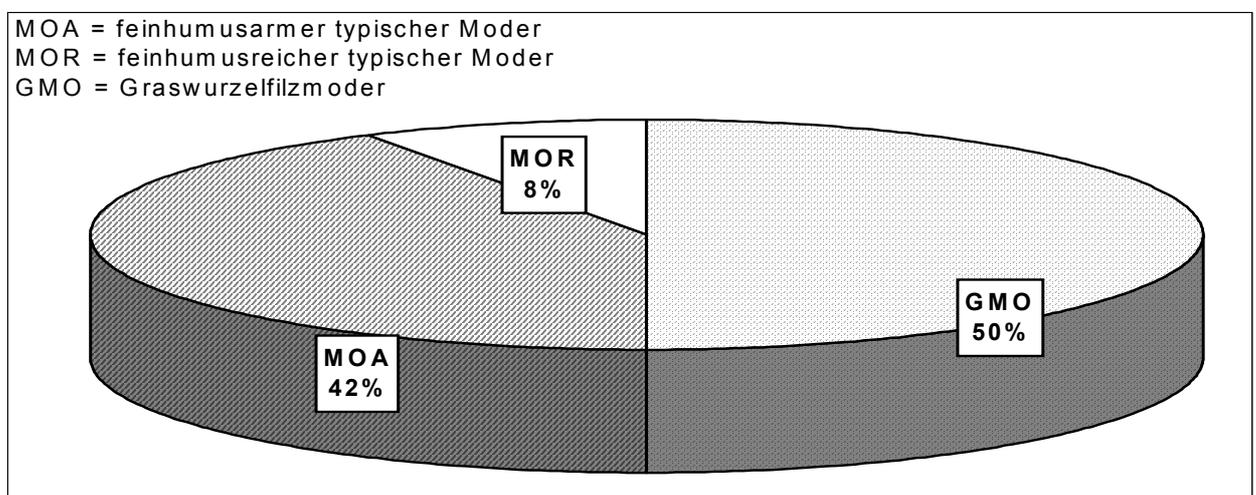


Abb. 77: Verteilung der Humusformen in den Birken-Referenzbeständen (n = 12)

Alters- und horizontspezifische Entwicklungsprozesse in den Humusaufgaben der Eichen-Kippenerstaufforstungen waren nicht zweifelsfrei nachweisbar. In den 24- bis 45jährigen Eichenbeständen liegen ausschließlich biologisch aktive Humusformen im Übergangsbereich zwischen Moder und Mull vor (Abb. 78).

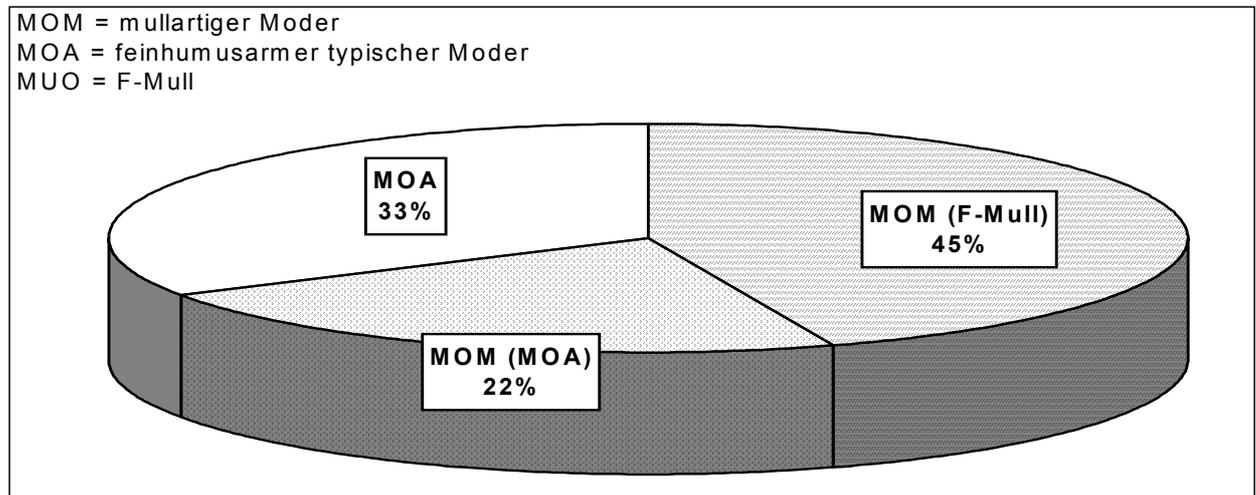


Abb. 78: Verteilung der Humusformen in den Eichen-Referenzbeständen (n = 9)

Insgesamt wird deutlich, dass die mittlere Gesamt-Humusaufgabe in den Kiefernforsten 1,3 cm mächtiger ist als in den nahezu gleichalten Birkenbeständen, wobei die Differenz primär aus der Anreicherung des organischen Materials im Of-Horizont resultiert (Abb. 79). In den Eichen-Jungbeständen sind wegen des geringeren Bestandesalters die geringsten Horizontmächtigkeiten feststellbar.

Aufgrund der vergleichsweise günstigeren Humusformen (Abb. 80) ist die Birke für die Bodenpflege und -entwicklung wertvoller als die Kiefer. Die günstigsten Humusformen werden in den 24- bis 45jährigen Eichenbeständen vorgefunden. Allerdings sind wegen der geringen Eichen-Bestandesalter qualitative Überbewertungen der Humusentwicklung möglich. In den Kiefernforsten liegen biologisch inaktivere Humusformen vor. Bei den Laubwald-Ökosystemen dominieren biologisch aktivere Humusformen mit engeren C/N-Verhältnissen (Tab. 33).

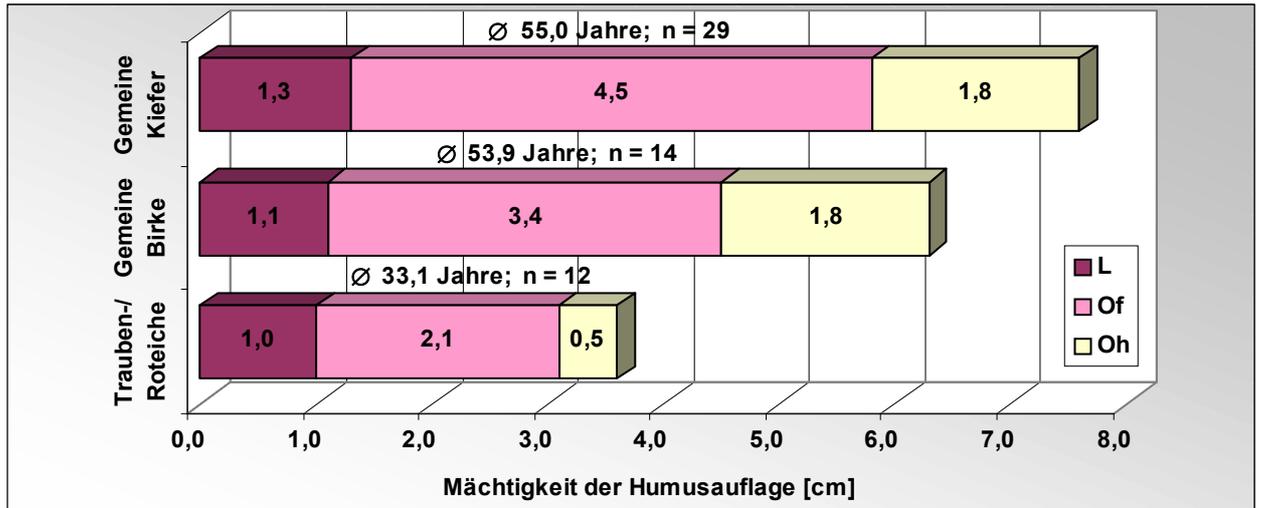


Abb. 79: Mächtigkeit der Humusauflage-Horizonte in Abhängigkeit von der Baumart; Angabe der mittleren Horizontmächtigkeit, des mittleren Bestandesalters und der jeweiligen Flächenzahl

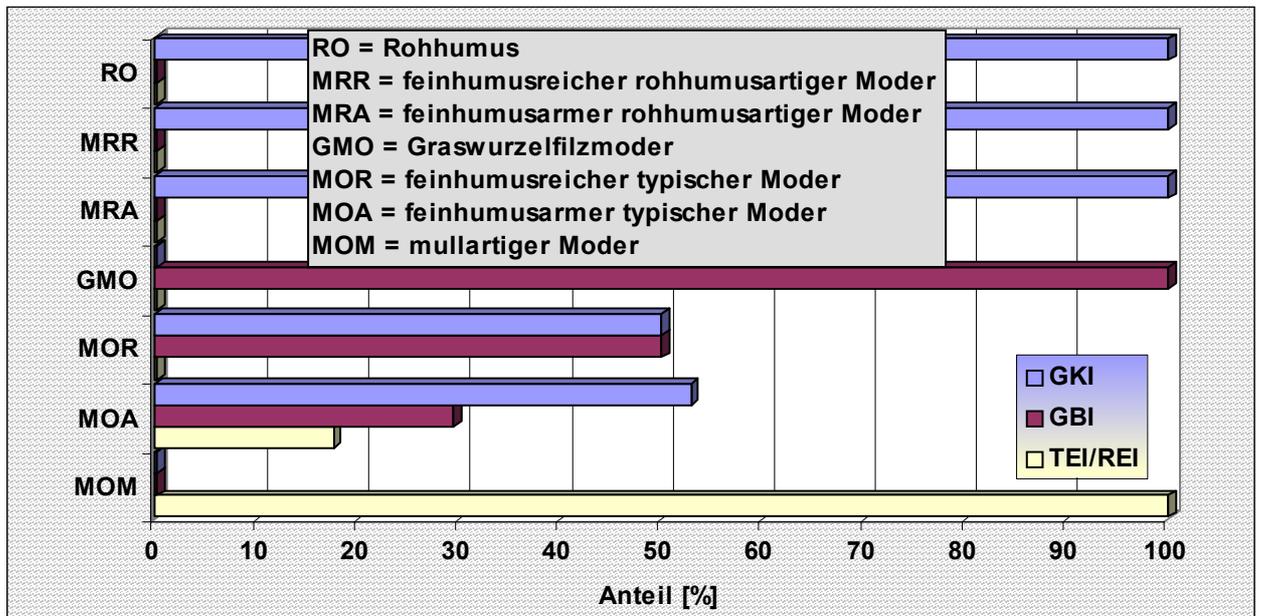


Abb. 80: Anteil der Rekultivierungsbaumarten an den ermittelten Humusformen

5.4.1.3 Chemische Kenndaten der Humusauflage

Die Flugascheeinträge (Kap. 5.4.1.1) beeinflussen die chemischen Kennwerte der Humusauflagen unter den Rekultivierungsbaumarten Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Eiche und verändern damit die Humusformen. Abb. 81 zeigt, dass die Humusformen mit den Daten der ferromagnetischen Suszeptibilität in der Humusauflage korrespondieren.

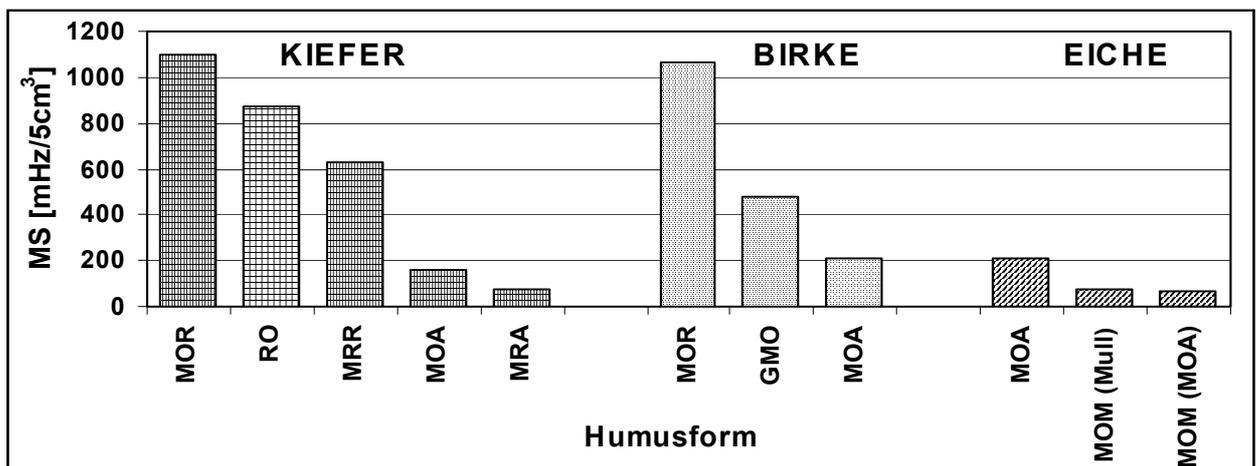


Abb. 81: Messwerte der ferromagnetischen Suszeptibilität (MS), gruppiert nach Baumarten und Humusformen

Die Humusformen unter Kiefer sind durch vergleichsweise weite C/N-Verhältnisse (27,1 bis 35,5) charakterisiert (Tab. 33). In den Kiefern-Kippenerstaufforstungen besitzen die weniger stark durch Staubeinträge geprägten, feinhumusarmen Humusformen (MRA, MOA) deutlich engere C/N- und C/P-Verhältnisse, niedrigere pH-Werte und Basensättigungen sowie höhere KAK_{pot} -Werte als die feinhumusreichen Ausprägungen der selben Humusform (MRR, MOR). Unter Birke sind insgesamt engere C/N-Verhältnisse (22,7 bis 26,5) in den Humusformen nachweisbar. Der stark flugstaubbeeinflusste, feinhumusreiche typische Moder (MOR) weist weitere C/N- und C/P-Verhältnisse, höhere pH-Werte und Basensättigungen sowie geringere KAK_{pot} -Werte auf als der feinhumusarme typische Moder (MOA).

Bei der Traubeneiche ist ein qualitativer Entwicklungsprozess des Humusauflagekörpers in Abhängigkeit vom Zeitfaktor erkennbar (KATZUR et al. 1999c). Während die 24jährigen TEI-Bestände der Humusform mullartiger Moder mit Tendenz zum F-Mull zugeordnet wurden, war in den 29jährigen TEI-Erstaufforstungen eine Tendenz zum typischen Moder (MOA) erkennbar. Die 40jährigen Eichenbestände wurden bereits als typischer Moder klassifiziert. Die von MOM (F-Mull) bis MOA fallenden pH-Werte und weiter werdenden C/N-Relationen weisen ebenfalls auf einen qualitativen, altersabhängigen Entwicklungsprozess hin.

Tab. 33: Chemische Kennwerte der Humusauflagen unter Kiefer, Birke, Trauben- und Roteiche

Baumart	Humusform	n	pH		KAK _{pot} [mmol _c /100g]	V-Wert [% KAK _{pot}]	P [%]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	C/P
			H ₂ O	KCl							
GKI	RO	1	5,60	5,00	73,00	80,15	0,04	26,80	0,83	32,29	687
	MRR	4	5,48	4,85	75,75	70,02	0,03	28,55	0,81	35,46	1071
	MRA	7	4,14	3,60	87,96	14,12	0,11	37,11	1,32	28,23	354
	MOR	1	5,70	5,00	60,00	85,40	0,04	23,10	0,70	33,00	660
	MOA	9	4,73	4,11	82,41	27,05	0,09	32,08	1,18	27,13	404
GBI	MOR	1	6,00	5,40	63,00	94,25	0,04	18,00	0,68	26,47	486
	MOA	5	5,52	5,14	64,64	57,40	0,06	23,56	1,07	22,74	448
	GMO	6	5,50	4,95	73,85	60,92	0,07	23,50	1,08	24,99	551
TEI/ REI	MOA	3	5,33	4,73	64,47	42,61	0,07	21,30	0,86	24,88	348
	MOM (MOA)	2	5,35	4,85	83,20	38,55	0,09	29,95	1,42	21,11	349
	MOM (F-Mull)	4	5,38	4,88	71,08	43,73	0,06	30,50	1,81	16,86	534

Die in Anlage 13 dargestellten C/N-, pH- und V-Werte zeigen, dass in den untersuchten Beständen disharmonische Humusformen (KOPP und SCHWANECKE 1994) dominieren.

Bei vergleichbarer Horizontstruktur und -morphologie im Auflagehumus sind unter Gemeiner Birke die pH- und V-Werte höher als unter Gemeiner Kiefer, da Birkenstreu leichter zersetzbar und nährstoffreicher ist. In den feinhumusreichen Humusformen erfolgt eine durch Flugstaubeinträge bedingte Annäherung der baumartenspezifischen Aciditätsunterschiede. Der feinhumusreiche typische Moder (MOR) weist unter Birke und Kiefer analoge P-Anteile (beide 0,04 %) und nahezu identische Stickstoffgehalte (beide 0,7 %) auf. Da die mittleren C/N- und C/P-Relationen der Kiefern deutlich über den entsprechenden Verhältnissen der Birken liegen, findet in der Kiefernstreu eine höhere C_t-Akkumulation bzw. ein wesentlich geringerer Kohlenstoffumsatz statt als in der Birkenstreu.

Tab. 34 stellt den Baumarten- und Altersbezug der Nährelementvorräte in den Humusauflagen der Versuchsflächen dar. Die sehr hohen C_t-Vorräte unter den 53- bis 70jährigen Kiefern (29,5 t C_t/ha) bestätigen den geringen C_t-Umsatz in der Humusauflage der Kiefern-Kippenforsten. In den Kiefern-Jungbeständen (Ø 35,7 Jahre) liegen höhere C_t-, N_t- und P_t- sowie niedrigere Ca-, Mg-, K- und S_t-Akkumulationsraten pro Jahr vor als in den mittelalten Kiefernbeständen (Ø 61,1 Jahre). Die C_t-, N_t- und P_t-Differenzen sind mit 12,37 kg/ha*a C_t, 2,92 kg/ha*a N_t und 0,11 kg/ha*a P_t insgesamt sehr gering. Demgegenüber erweisen sich die Unterschiede bei Ca, Mg, K und S_t als bemerkenswert (8,80 kg/ha*a Ca, 1,84 kg/ha*a Mg, 0,4 kg/ha*a K und 1,41 kg/ha*a S_t). Möglicherweise sind die geringfügig höheren C_t-, N_t- und P_t-Akkumulationsra-

Tab. 34: Durchschnittliche Nährelement-Akkumulation und -Gesamtvorräte sowie mittlere C/N- und C/P-Verhältnisse in der organischen Auflage

		Elementakkumulation und -vorräte sowie C/N- und C/P-Verhältnisse									
		Organische Substanz [t/ha*a]	C _t [kg/ha*a]	N _t [kg/ha*a]	P _t [kg/ha*a]	C/N	C/P	Ca [kg/ha*a]	Mg [kg/ha*a]	K [kg/ha*a]	S _t [kg/ha*a]
Gemeine Kiefer											
24 - 46 J. (Ø 35,7 J.) n = 7	MW jährlich	1,23	495,16	19,22	1,17	24,22	440,71	13,63	0,81	0,84	2,32
	MW gesamt	43,81	17684,35	686,55	41,80			486,72	28,84	29,95	83,03
53 - 70 J. (Ø 61,1 J.) n = 22	MW jährlich	1,54	482,79	16,30	1,06	28,96	399,66	22,43	2,65	1,24	3,73
	MW gesamt	93,92	29494,35	995,98	64,91			1370,13	161,71	75,78	227,81
24 - 70 J. (Ø 55,0 J.) n = 29	MW jährlich	1,44	477,33	16,92	1,07	28,74	517,57	18,99	2,11	1,12	3,32
	MW gesamt	81,83	26643,66	921,29	59,33			1156,89	129,64	64,72	192,86
81 Jahre GB-SW	MW jährlich	2,02	835,19	30,33	2,20	27,53	378,90	44,69	1,48	1,54	5,66
	MW gesamt	163,80	67650,52	2457,04	178,54			3620,04	119,58	124,49	458,65
Gemeine Birke											
44 - 68 J. (Ø 56,6 J.) n = 12	MW jährlich	1,43	324,37	13,17	0,71	22,20	372,54	31,47	3,34	1,50	3,03
	MW gesamt	80,68	18353,66	745,12	39,97			1780,86	189,24	84,79	171,69
Trauben-/Roteiche											
24 - 45 J. (Ø 30,3 J.) n = 9	MW jährlich	0,82	200,93	9,65	0,52	19,43	406,95	8,33	1,05	0,65	1,22
	MW gesamt	24,87	6095,02	292,59	15,63			252,63	31,75	19,76	36,92

ten in den jüngeren Kiefernforsten auf die insgesamt geringeren biologischen Stoffumsätze (Mineralisierung) zurückzuführen. Außerdem ist der nachhaltige Einfluss der NP-Grunddüngung auf die Stoffkonzentrationen in der Streu belegt (KRAUSS 2000). KRAUSS (2000) wies nach, dass der N-Gehalt der Humusauflage nur sehr schwer und erst nach längeren Zeiträumen verändert werden kann. Da die Kiefern-Jungbestände zumeist auf grundmeliorierten tertiären Kippsubstraten stocken, steht ihnen eine größere, durch oxidative Ammonolyse aus der Kohle freigesetzte N-Menge zur Verfügung als den auf kohlefreien bzw. -armen quartären Substraten wachsenden mittelalten Kiefernbeständen (KATZUR et al. 2002). Die Grundmelioration i.e.S. (Kalkung und NPK-Grunddüngung) und die höhere geogene N_t -Bereitstellung durch die kohlehaltigen Kippsubstrate steigern unter Umständen die Streuproduktion, was sich ebenfalls in der höheren C_t , N_t - und P_t -Akkumulation im Auflagehumus widerspiegeln könnte. Andererseits führt die Kalkung der tertiären Kippsubstrate aufgrund der Ausfällung von Calciumsulfat (Gips) zu geringeren S_t -Gehalten und wegen stärkerer Mg- und K-Auswaschung (Ca-Affinität der Huminstoffe) auch zu niedrigeren K- und Mg-Gehalten in der Humusauflage der jungen Kiefern-Kippenforsten. Darüber hinaus ist von einer höheren geogenen Ca-, Mg- und K-Grundausrüstung der Quartärssubstrate auszugehen, auf denen die 53- bis 70jährigen Kiefern begründet sind.

Auf dem unverritzten Alt-Waldstandort (GB-SW) liegen die Element-Akkumulationsraten in der organischen Auflage deutlich über den Werten der Kiefern-Kippenforsten, was aus Flugascheeinträgen und der wesentlich längeren Akkumulationsphase resultiert. Lediglich Magnesium bildet eine Ausnahme.

Die N_t - und P-Gehalte korrelieren signifikant mit den C_t -Humusgehalten (Abb. 82.1 und 82.2). Die Stickstoff- und Phosphorwerte steigen mit den Gehalten an organischer Substanz an.

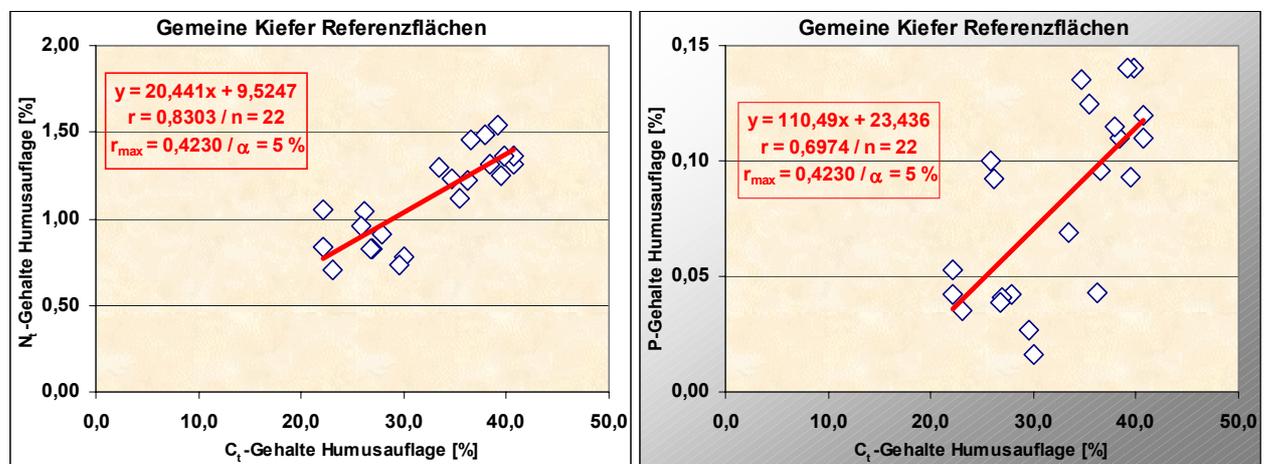


Abb. 82.1 und 82.2: Abhängigkeit der N_t - und P-Anteile von den C_t -Gehalten in den organischen Auflagen der Kiefernbestände

Ein Vergleich zwischen den GKI-Beständen auf Kippenkomplexen mit sehr geringer (Tröbitz Nord), geringer bis mäßiger (Kleinkoschen) und sehr hoher Flugaschebelastung (Brieske) zeigt, dass die Elementakkumulation in der organischen Auflage mit zunehmender Staubbelastung steigt (Tab. 35).

Tab. 35: Nährelement-Akkumulation im Auflagehumus unter mittelalten Kiefern-Kippenbeständen in Abhängigkeit von der Flugaschebelastung

Kippenkomplex	n	MS [mHz/5cm ³]	Nährelement-Akkumulation [kg/ha*a]				
			C _t	Ca	Mg	K	S _t
Tröbitz Nord	5	77,3	469,29	3,29	0,66	0,74	2,85
Kleinkoschen	3	133,7	520,92	12,44	2,14	1,44	4,70
Brieske	6	804,4 ▼	623,61 ▼	70,89 ▼	7,22 ▼	2,14 ▼	5,56 ▼

In den 44- bis 68jährigen Birken-Reinbeständen stehen die Stickstoff- und Phosphorgehalte in den Humusaufgaben ebenfalls in enger Beziehung zu den C_t-Gehalten (Abb. 83.1 und 83.2). In der Tendenz steigt die Elementakkumulation in der organischen Auflage wiederum mit zunehmender Flugaschebeeinflussung resp. mit steigenden Suszeptibilitätsdaten (MS) an (Tab. 36).

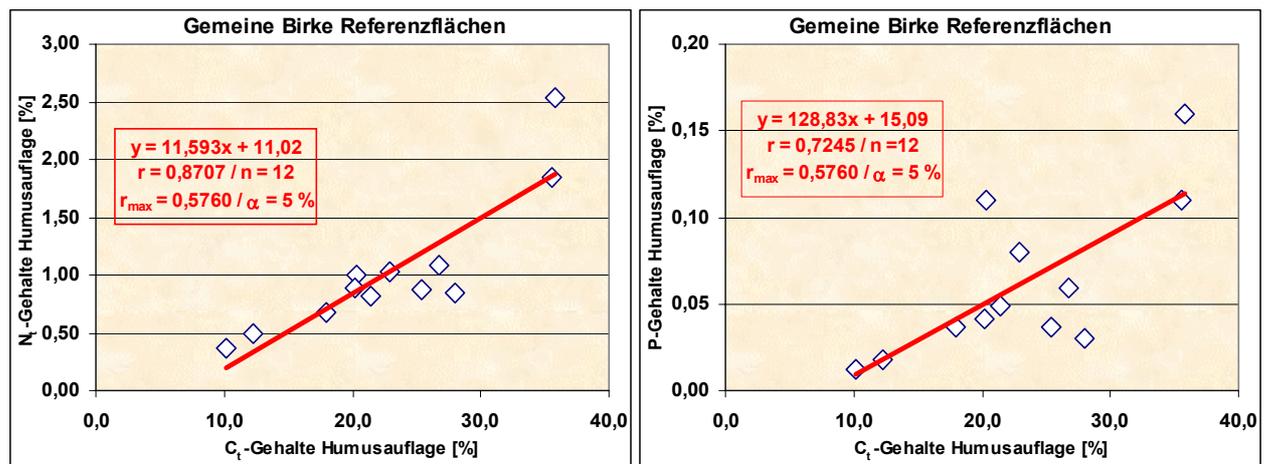


Abb. 83.1 und 83.2: Abhängigkeit der N_t- und P-Anteile von den C_t-Gehalten in den organischen Auflagen der Birkenbestände

Tab. 36: Nährelement-Akkumulation im Auflagehumus unter Birken-Kippenbeständen in Abhängigkeit von der Flugaschebelastung

Kippenkomplex	n	MS [mHz/5cm ³]	Nährelement-Akkumulation [kg/ha*a]				
			C _t	Ca	Mg	K	S _t
Tröbitz Nord	3	69,3	188,91	3,08	0,56	0,53	1,36
Kleinkoschen	3	263,7	260,02	7,07	1,11	1,16	1,94
Brieske	4	919,9 ▼	541,96 ▼	74,82 ▼	7,54 ▼	2,48 ▼	5,35 ▼

Die insgesamt niedrigen jährlichen Akkumulationsraten und Vorräte in den Eichen-Erstaufforstungen (Tab. 34) sind auf das geringe Alter der Bestände und eine geringere Flugaschebeeinflussung zurückzuführen.

Abb. 84.1 verdeutlicht, dass auch in den erst 24- bis 45jährigen Eichen eine straffe Abhängigkeit der N_t -Gehalte von der C_t -Anreicherung in der Humusauflage vorliegt. Im Hinblick auf die P-Gehalte der organischen Auflage deutet sich lediglich ein tendenzieller Zusammenhang mit den C_t -Gehalten an (Abb. 84.2).

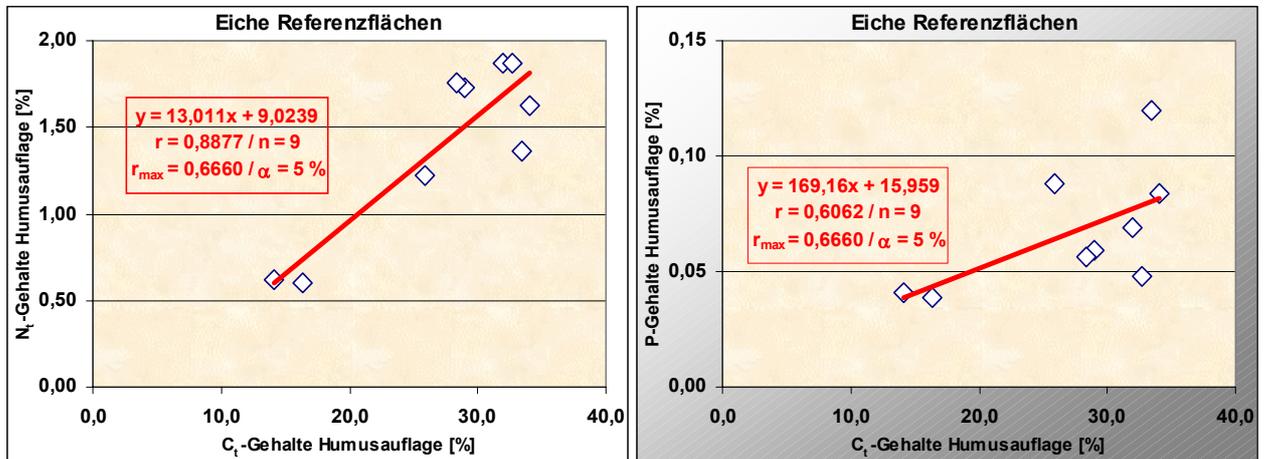


Abb. 84.1 und 84.2: Abhängigkeit der N_t - und P-Anteile von den C_t -Gehalten in den organischen Auflagen der Eichenbestände

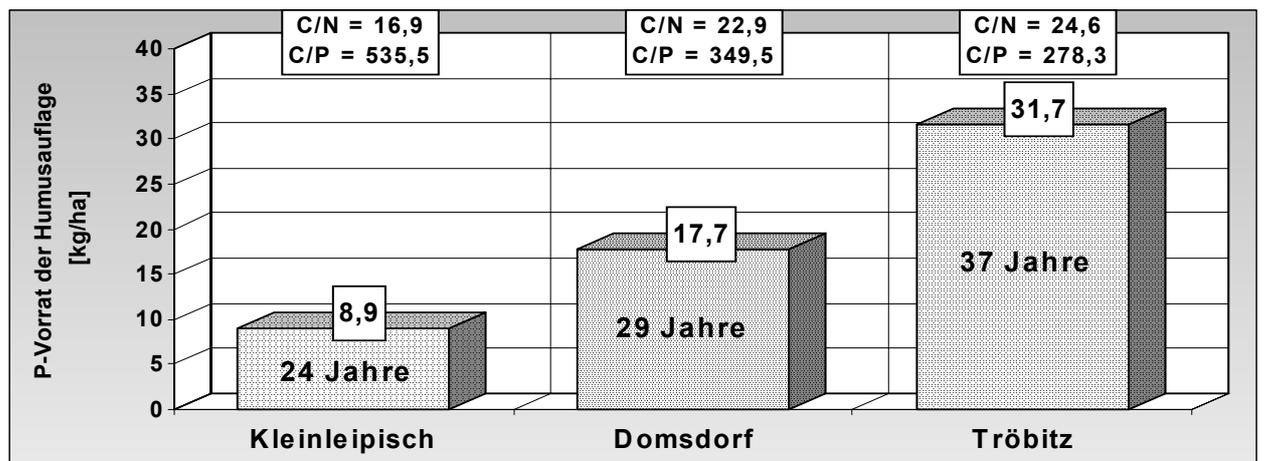


Abb. 85: Anreicherung des P-Vorrates im Auflagehumus unter Eiche in Abhängigkeit vom mittleren Eichen-Bestandesalter auf den Kippenkomplexen

Bei altersbezogener Betrachtung ist ein Anstieg der P-Vorräte im Auflagehumus unter Eiche mit zunehmendem Bestandes- bzw. Rekultivierungsalter feststellbar (Abb. 85). Er dokumentiert den vergleichsweise geringen Etablierungsgrad der Stoffflüsse in den jungen Eichen-Waldökosystemen. Weiterhin werden mit zunehmendem Alter die C/N-Verhältnisse weiter und die C/P-Relationen enger.

Der Vergleich zwischen den Baumarten zeigt, dass in den 44- bis 68jährigen Birkenforsten eine raschere Umsetzung der Elemente C_t und N_t erfolgt als in den 53- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen. Dies belegen die im Vergleich zur Kiefer geringeren N_t - und C_t -Elementvor-

räte und -akkumulationsraten im Auflagehumus der Gemeinen Birke (Tab. 34). Die engeren C/N- und C/P-Relationen in den GBI-Erstaufforstungen lassen auf intensivere bodenbiologische Aktivitäten und somit auf eine höhere ökologische Wertigkeit der Humusauflage unter der Baumart Birke schließen. In den jungen Eichenbeständen ist die Akkumulationsphase wesentlich kürzer (\varnothing 30,3 Jahre). Im Vergleich mit den nur \varnothing 5,2 Jahre älteren Kiefern-Jungbeständen deutet sich unter den Eichen eine wesentlich intensivere C_t-, N_t- und P_t-Umsetzung an.

Dem C/N-Verhältnis der Humusauflage wird neben der Humusmorphologie und dem pH-Wert eine Indikatorfunktion zugeschrieben (BUBERL et al. 1994). Allerdings entsprechen infolge atmosphärischer Stickstoff- und Säureeinträge in die Waldökosysteme und der damit verbundenen bodenchemischen Drift seit den 60er und 70er Jahren (RIEK und WOLFF 1998) die C/N-Verhältnisse örtlich nicht mehr den nach pH-Werten bzw. morphologischer Humusform zu erwartenden Relationen (ULRICH und MATZNER 1983, ZEJSCHWITZ 1985, BUBERL et al. 1994, RIEK und WOLFF 1998, WOLFF und RIEK 1998). Die mittleren C/N-Verhältnisse der Humusauflagen auf den untersuchten Flächen werden primär von der jeweiligen Rekultivierungsbaumart und sekundär von den anthropogen verursachten Flugascheeinträgen beeinflusst. Sie verengen sich in der Reihenfolge: GKI > GBI > EI. Die C/N-Verhältnisse der Kiefern-Erstaufforstungen (\varnothing C/N_{MAB} = 29,0; \varnothing C/N_{JB} = 24,2) sind erheblich enger als die Relationen der Kiefernbestände auf Alt-Waldstandorten (WITTICH 1952, SCHEFFER und ULRICH 1960). Nach LAATSCH (1954) wird Laub- bzw. Nadelstreu mit C/N-Werten < 30 rasch zersetzt. KUNTZE (1988) sieht C/N-Verhältnisse über 30 als Hinweis für eine langsame Abbaubarkeit der organischen Substanz infolge von N-Mangel. Werte zwischen 15 und 25 bilden hiernach den Optimalbereich.

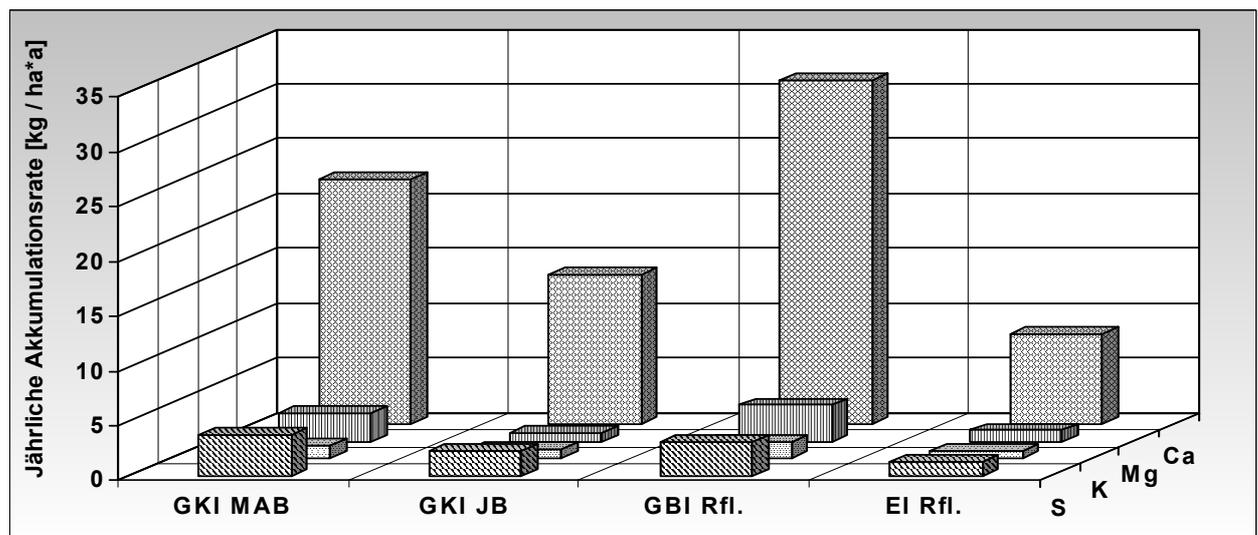


Abb. 86: Ca-, Mg-, K- und S-Akkumulationsraten in den Humusauflagen unter Kiefer, Birke und Eiche

Die Gegenüberstellung der Ca-, Mg-, K- und S-Gesamtvorräte und -Akkumulationsraten in den Humusauflagen der untersuchten Baumarten und Altersstufen belegt eine sehr hohe Akkumulation des Elementes Calcium (Abb. 86). Schwefel, Magnesium und Kalium werden demgegenüber deutlich geringer in der Humusauflage angereichert. Diese Reihung resultiert aus der Nährstoffzufuhr über Streufall, Bodenvegetation und Flugaschedeponation.

Die chemische Struktur der Humusauflage ist ein standörtlicher Etablierungsweiser und wirkt auf den Säure-Base-Status der Substrate zurück. Tab. 37 stellt baumartenabhängig die **Aciditätsverhältnisse** in den Humusauflagen dar.

Die pH-Werte der Humusauflage unter Kiefer liegen im stark bis sehr stark sauren Bereich. Wegen der höheren Stoffakkumulation und des längeren Entwicklungszeitraumes sind S-Wert und Basensättigung (V-Wert) in den mittelalten Kiefernbeständen höher als in den Kiefern-Jungbeständen. Offenbar sind in den Kiefernforsten die S- und V-Werte sensiblere Aciditätsweiser (größere Differenzen) als der pH-Wert. Bei Gruppierung nach Kippenkomplexen sind die S- und V-Werte auf den Kippen mit geringen Flugascheeinträgen (Tröbitz Nord, Domsdorf) niedriger. Auf der Briesker Hochkippe führen die enormen Staubeinträge zu höheren Basensummen und -sättigungen.

In den Humusauflagen unter Birke entsprechen die pH-Werte dem mittel bis stark sauren Bereich (AG Boden 1996). Der mittlere Anteil basischer Kationen am Sorptionskomplex liegt bei 62,2 %. Die Summe der austauschbar gebundenen basischen Kationen ist unter Birke am höchsten (44,0 mmol_c/100g), die KAK_{pot} hingegen vergleichsweise gering. Dem lokalen Flugaschedeponationsgeschehen folgend, erreicht wiederum die Basensättigung auf den Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf geringe, auf der Kippe Kleinkoschen hohe und auf der Briesker Hochkippe sehr hohe Werte.

Die pH-Werte im Auflagehumus der Eichen-Kippenforsten sind zumeist dem mittel bis stark sauren pH-Bereich zuzuordnen. Von den erst 24jährigen Eichen der Kippe Kleinleipisch über die 29jährigen Eichen auf der Domsdorfer Kippe bis zum 37jährigen Bestand auf der Kippe Tröbitz Nord ist eine stetige Abnahme der V-Werte feststellbar. Die relativ hohe Basensättigung auf der Kippe Laubusch ist auf basische Stoffeinträge zurückzuführen (MS = 294 mHz/5cm³). Die jüngsten Eichenforsten (24 und 29 Jahre) weisen die höchsten Basensummen auf. Die Differenzierungen der S- und V-Werte resultieren aus der Grundmelioration, die über physiologische Prozesse und Laubfall auf die Humusauflage zurückwirkt.

Tab. 37: Aciditätsverhältnisse und Basensättigungen in den Humusauflagen (L + Of + Oh) unter Kiefer, Birke und Eiche

Ø Alter [Jahre]	pH		Austauschkapazität [mmol _c /100g]					V-Wert [%KAK _{pot}]				
	H ₂ O	KCl	KAK _{pot}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		S-Wert	H-Wert		
Gemeine Kiefer												
Junge Bestände												
n = 7	Mittelwert (MW)	35,7	4,69	4,11	86,17	16,45	1,69	1,03	0,15	19,26	66,91	22,30
Mittellalte Bestände												
n = 22	Mittelwert (MW)	61,1	4,76	4,16	81,52	24,74	1,57	0,85	0,08	27,25	54,27	35,81
Unverritzter Standort												
	GB-SW	81,0	3,90	3,40	93,40	7,14	0,94	0,69	0,30	9,06	84,34	9,70
Alle Kiefernflächen nach Kippenkomplexen												
n = 8	MW Tröbitz N.	53,4	4,14	3,64	93,88	11,31	1,06	0,86	0,14	13,37	80,51	14,36
n = 9	MW Domsdorf	54,4	4,73	4,08	84,80	18,32	1,50	0,97	0,06	20,85	63,95	24,16
n = 2	MW Annahütte	61,0	4,75	4,25	84,00	23,48	1,09	0,72	0,08	25,36	58,64	30,08
n = 5	MW Brieske	66,4	5,66	5,00	70,60	53,19	2,68	0,66	0,09	56,63	13,97	80,40
n = 3	MW Kleinleip.	58,3	4,67	4,03	60,00	16,65	1,12	0,95	0,10	18,83	41,17	31,72
n = 2	MW Kleinleip.	24,0	5,05	4,50	90,70	20,61	2,76	1,30	n.b.b	24,67	66,03	27,18
Gemeine Birke												
n = 12	Mittelwert (MW)	56,6	5,55	5,07	69,11	39,34	3,50	1,11	0,07	44,02	25,09	62,23
Alle Birkenflächen nach Kippenkomplexen												
n = 3	MW Tröbitz N.	57,7	5,03	4,60	73,13	21,04	2,69	1,20	0,07	24,99	48,14	35,47
n = 1	MW Domsdorf	44,0	4,90	4,70	95,40	29,54	4,33	1,62	0,03	35,52	59,88	37,24
n = 1	MW Annahütte	51,0	5,80	5,40	73,00	54,89	5,02	2,17	0,16	62,24	10,76	85,26
n = 4	MW Brieske	63,8	6,03	5,40	80,25	66,12	4,79	1,00	0,09	72,00	8,25	90,47
n = 3	MW Kleinleip.	52,0	5,57	5,10	40,17	20,03	1,81	0,62	0,03	22,49	17,68	51,98
Trauben-/Roteiche												
n = 9	Mittelwert (MW)	30,3	5,36	5,13	71,57	24,27	3,10	1,17	0,02	28,56	43,00	42,21
Alle Trauben- und Roteichenflächen nach Kippenkomplexen												
n = 1	MW Tröbitz N.	37,0	4,10	3,60	96,80	12,82	2,11	1,77	0,18	16,88	79,92	17,44
n = 2	MW Domsdorf	29,0	5,35	4,85	83,20	26,92	3,45	1,35	0,01	31,73	51,47	38,55
n = 4	MW Kleinleip.	24,0	5,38	4,88	71,08	26,31	3,11	1,34	0,00	30,76	40,32	43,73
n = 2	MW Laubusch	41,0	5,95	5,30	48,30	23,28	3,24	0,33	0,00	26,85	21,45	55,19

Zusammenfassend ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- (1) Die Basensättigung in der organischen Auflage ist in den 53- bis 70jährigen Kiefernbeständen wegen der längeren Beeinflussung der Humusauflage durch ökosystemare Stoffkreisläufe höher als in den 24- bis 46jährigen Kiefernbeständen. In den mittelalten Kiefernforsten scheinen Nährstoffaufnahme aus dem Substrat und Rückwirkung der Baumart auf den Standort durch Streufall und dessen biologische Umsetzung weiter entwickelt und einem Fließgleichgewicht stärker angenähert zu sein als in den Kiefern-Jungbeständen.
- (2) Die temporale Differenzierung ökosystemarer Kreislaufprozesse kann durch basische Stoffeinträge (Flugasche) und durch Grundmelioration bei Zufuhr hoher Ca-Gaben (Kesselhausasche und/oder Düngekalk) überlagert werden.
- (3) Bei annähernd gleichem Bestandesalter werden unter Birke höhere pH- und V-Werte und somit günstigere Aciditätsverhältnisse vorgefunden als unter Kiefer. Das deutet auf bessere humusökologische Bedingungen unter der Baumart Birke.
- (4) Gemessen an der mittleren Basensumme und -sättigung ist bei vergleichbaren Flugascheeinträgen die Rekultivierungsbaumart von dominantem Einfluss auf die Aciditätsverhältnisse in der Humusauflage. Bei den Baumarten Kiefer und Birke zeichnen sich in Abhängigkeit von den lokalen Fremdstoffeinträgen Modifikationen der Aciditätsweiser ab.
- (5) Im Vergleich zwischen den Rekultivierungsbaumarten Gemeine Kiefer und Gemeine Birke ist eine Abhängigkeit der Ca-, Mg- und K-Austauschkapazitäten (Tab. 37) von den entsprechenden Nährelementvorräten in der Humusauflage (Tab. 34) festzustellen. Die höheren Austauscher- bzw. Basenkapazitäten der Humusauflagen unter Birke bestätigen den für Pionierbaumarten typischen geringen Anspruch an die Güte des Kippenstandortes. Dies ist für die Primärbesiedlung unzureichend meliorierter Kippenstandorte mit Birke und die damit verbundene Initiierung von Stoffkreisläufen wesentlich.

5.4.2 Stand der Mineralbodenentwicklung

5.4.2.1 Bodenkundliche Kenndaten

5.4.2.1.1 Indikatoren für Fremdstoffeinträge

Die im Vorfeld der Aufforstung durchgeführten Maßnahmen der Grundmelioration und die in der Humusaufgabe nachgewiesenen basischen Flugascheeinträge (Kap. 5.4.1.1) lassen auf meliorations- und flugaschebedingte Veränderungen des Mineralbodens, vor allem im Hinblick auf die Aciditätsverhältnisse, schließen. Anlage 11.2 und Abb. 87 stellen den Einfluss der basischen Fremdstoffe, insbesondere der Flugstaubeinträge, auf die pH-Werte und die Basensättigung im Ah-Horizont der mittelalten Kiefern-Kippenforsten dar. Hierbei zeigt sich, dass die Basensättigung bei Suszeptibilitätswerten von $< 200 \text{ mHz}/5\text{cm}^3$ zumeist 10 % nicht überschreitet. Bei 200 bis $400 \text{ mHz}/5\text{cm}^3$ liegen die V-Werte bereits überwiegend im Bereich von 20 bis 50 %. Die Flächen GKI 15 bis 18 (Briesker Hochkippe; $\text{GKI } 15 = 1109,5 \text{ mHz}/5\text{cm}^3$) weisen im Ah-Horizont Basensättigungen $> 66 \%$ auf.

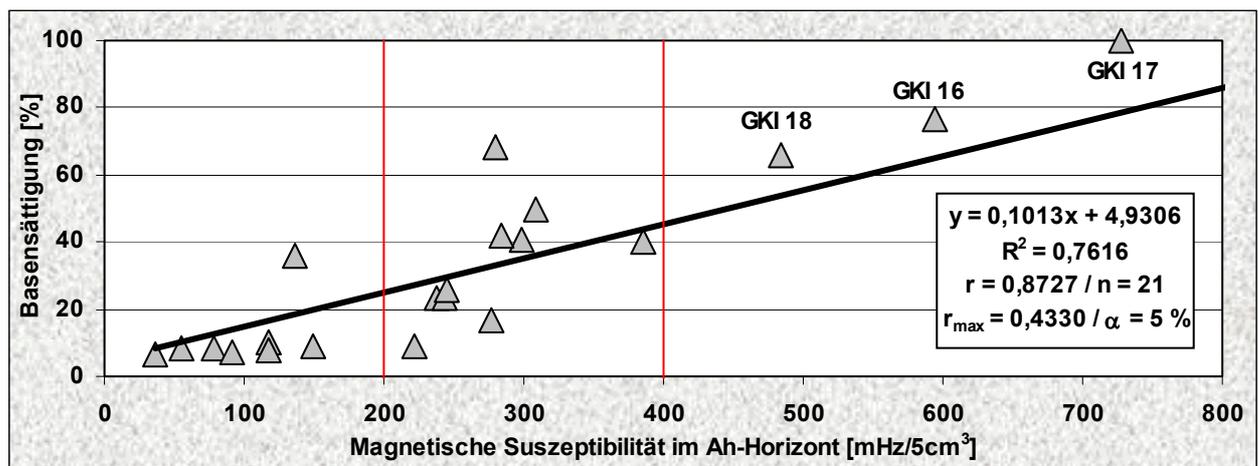


Abb. 87: Korrelation zwischen ferromagnetischer Suszeptibilität und Basensättigung des Ah-Horizontes in den mittelalten Kiefernbeständen

Im nichthumosen Mineralboden der 53- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen waren Zusammenhänge zwischen der meliorativen und atmogenen Zufuhr basischer Stoffe einerseits und den Aciditätsparametern andererseits bis in 100 cm Bodentiefe nicht zweifelsfrei nachweisbar (Anlage 11.3, Abb. 88). Die Kiefernforsten mit den höchsten Suszeptibilitätsdaten befinden sich in unmittelbarer Nähe ehemaliger Brikettfabriken ($\text{GKI } 12 = 40$ und $\text{GKI } 20 = 30 \text{ mHz}/5\text{cm}^3$). Sie stocken auf ton- und schluffreichen Bodenarten (SI3 und SI4; AG Boden 1996). Die eingebrachten Stoffe werden deshalb nur langsam in die Tiefe verlagert, so dass die pH-Werte und Basensättigungen nicht in gleichem Maße wie die Stoffeinträge ansteigen.

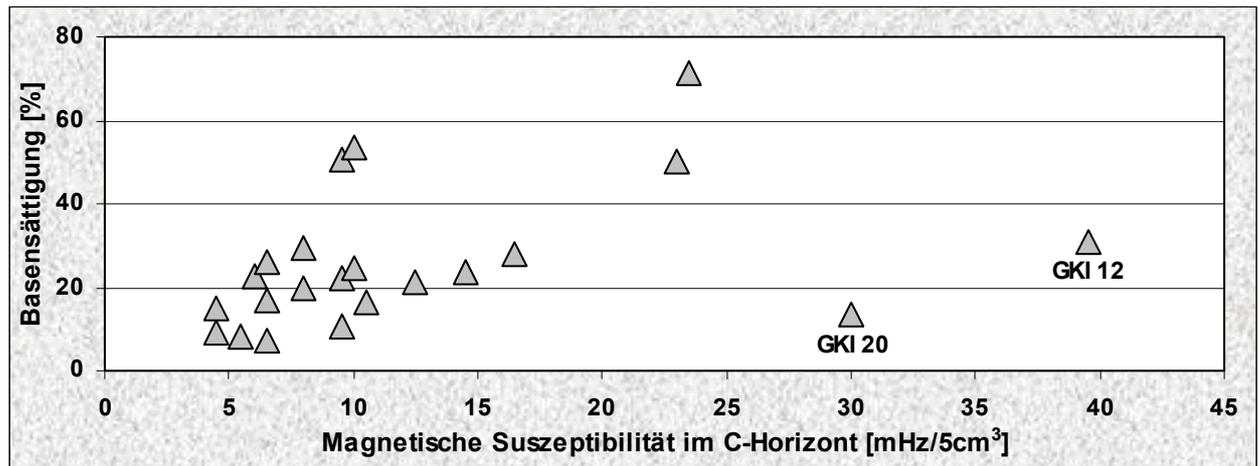


Abb. 88: Verteilung der V-Werte in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität im C-Horizont (bis 100 cm Tiefe) der mittelalten Kiefernbestände

In den Birken-Erstaufforstungen besteht ebenfalls ein straffer Zusammenhang zwischen den pH-Werten bzw. den Basensättigungen der Ah-Horizonte und der magnetischen Suszeptibilität (Anlage 11.2, Abb. 89).

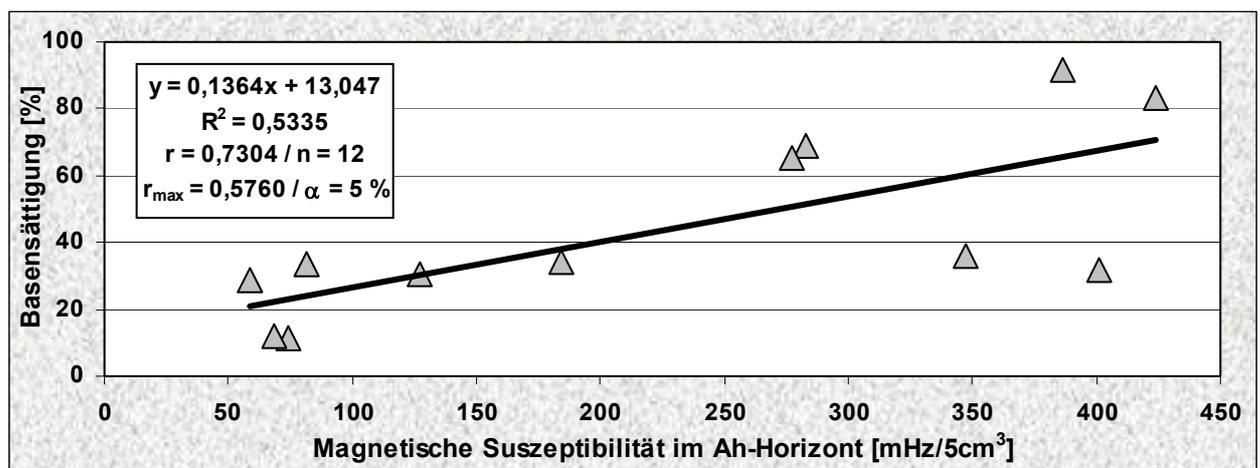


Abb. 89: Korrelation zwischen ferromagnetischer Suszeptibilität und Basensättigung des Ah-Horizontes in den Birkenbeständen

Eine signifikante Beeinflussung der Aciditätsparameter bis in 100 cm Bodentiefe durch basische, atmostogen eingetragene Stäube war auch auf den Birkenflächen nicht nachweisbar (Anlage 11.3). Unterhalb 30 mHz/5cm³ kristallisieren sich jedoch zwei Gruppen heraus (Abb. 90). Die Flächen mit Suszeptibilitätswerten zwischen 5,0 und 12,5 mHz/5cm³ weisen meist < 10 % und die Flächen im Bereich 21,5 bis 28,5 mHz/5cm³ zwischen 19 und 33 % Basensättigung auf. Da in beiden Gruppen fast ausschließlich Reinsande vorliegen, scheint sich eine Einflussnahme der Fremdstoffeinträge anzudeuten.

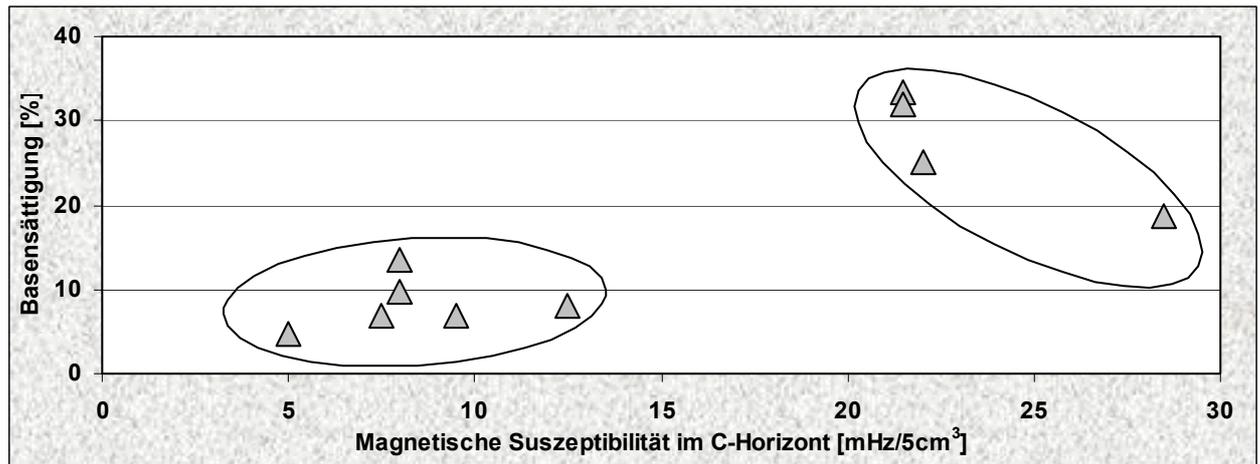


Abb. 90: Verteilung der V-Werte in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität im C-Horizont (bis 100 cm Tiefe) der Birkenbestände

In den Eichen-Kippenforsten ist kein gesicherter Zusammenhang zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten bzw. Basensättigungen in den A- und C-Horizonten der 24- bis 45jährigen Eichen-Erstaufforstungen feststellbar (Anlage 11.2 und 11.3).

Die Messungen der ferromagnetischen Suszeptibilität (MS) lassen in den Ah-Horizonten baumartenspezifische Unterschiede erkennen (Anlage 12.2). Die MS-Werte unter Kiefer sind höher als unter den etwa gleichalten und räumlich vergleichbaren Birkenforsten. Sie deuten auf eine höhere Filterwirkung (Fängigkeit) der Kiefernforsten hin. Im C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe werden die Werte der ferromagnetischen Suszeptibilität durch meliorative Maßnahmen (Aschemelioration), durch texturbedingte Unterschiede in der Basen-Tiefenverlagerung und durch Unterschiede im Bodenchemismus beeinflusst. Deshalb sind für eine kippenspezifische Charakterisierung der Flugaschedepositionen die Suszeptibilitätsdaten in der Tiefenstufe C-Horizont bis 100 cm wenig geeignet.

Der Zusammenhang zwischen ferromagnetischer Suszeptibilität (Flugascheeintrag) und dem Bestandesalter wurde am Beispiel der GKI-Kippenforsten auf den Komplexen mit den geringsten (Kippe Tröbitz Nord) und den höchsten (Briesker Hochkippe) Einträgen untersucht. Auf der Kippe Tröbitz Nord deutet sich ein Anstieg der magnetischen Suszeptibilität im Ah-Horizont mit steigendem Rekultivierungsalter an (Abb. 91.1). Am Beispiel der Briesker Kippe (Abb. 91.2) wird deutlich, dass sich bei sehr hohen Staubeinträgen der Zusammenhang zwischen den MS-Daten im Ah-Horizont und dem Bestandesalter umkehren kann.

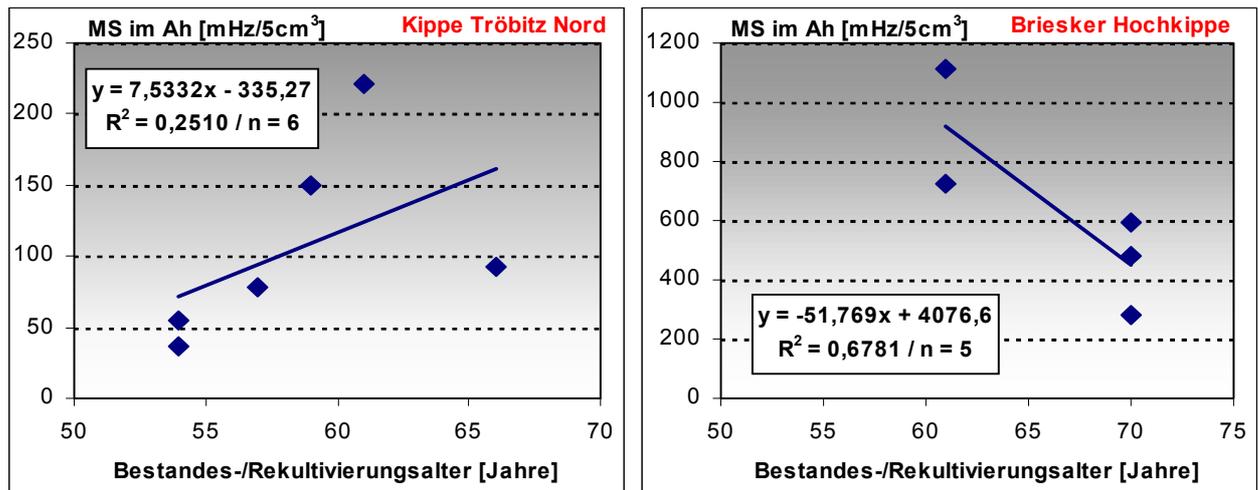


Abb. 91.1 und 91.2: Zusammenhang zwischen den Messwerten der magnetischen Suszeptibilität im Ah-Horizont und dem Rekultivierungsalter in 54- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen auf Kippenkomplexen mit unterschiedlich hohen Flugascheeinträgen

5.4.2.1.2 Textur und Bodendichte

Die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen und Wasser wird durch die Textur, die pedogenen Nährstoffvorräte, den CaCO₃-Gehalt und den Gehalt an rezentem sowie fossilem Humus beeinflusst. Bei den Kippenstandorten sind zusätzlich der Schwefelgehalt und die Basensättigung im Unterboden von besonderer Bedeutung (KATZUR et al. 1998b).

Im Ah-Horizont unter den 53- bis 70jährigen Kiefernbeständen liegt zu 59 % Reinsand (Ss; AG Boden 1996) und zu 41 % Lehmsand (Su2, St2, Sl2 und Sl3) und Sandlehm (Sl4) vor (Abb. 92.1). Im C-Horizont (bis 100 cm Bodentiefe) weisen hingegen 91 % der Flächen Kipp-Reinsand (Ss) und 9 % Kipp-Lehmsand (Sl3) auf (Abb. 92.2). Der erheblich geringere Anteil an Reinsand-Flächen bzw. der deutlich höhere Anteil an Schluff- und Tonfraktionen im A-Horizont resultiert zum einen aus den Staubeinträgen und zum anderen aus den Verwitterungs- sowie Mineralneubildungsprozessen in den aschemelierten Kippenböden.

Die Ah-Horizonte unter Birke weisen gegenüber den humusfreien Mineralbodenhorizonten einen Anstieg der Lehmsand- und Sandlehmanteile von 24 auf 67 % auf. Im C-Horizont dominieren bei den 44- bis 68jährigen Birken-Erstaufforstungen ebenfalls die Reinsande (76 %); zwei Substrate sind kiesführend. Auf den Kippen Domsdorf (Sl3), Annahütte (Sl3) und Kleinkoschen (St2) wurden die höchsten Ton- und Schluffanteile im C-Horizont der mit Birke bestockten Standorte festgestellt.

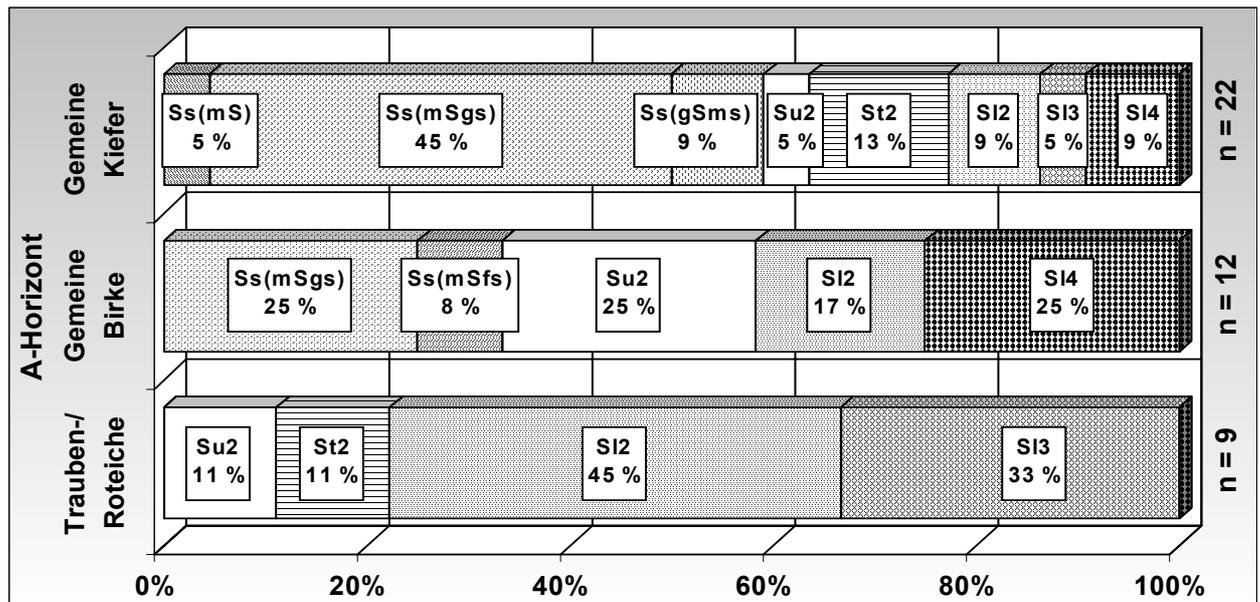


Abb. 92.1: Anteile der Bodenartenuntergruppen nach AG Boden (1996) im A-Horizont der untersuchten Kiefern-, Birken- und Eichen-Referenzflächen

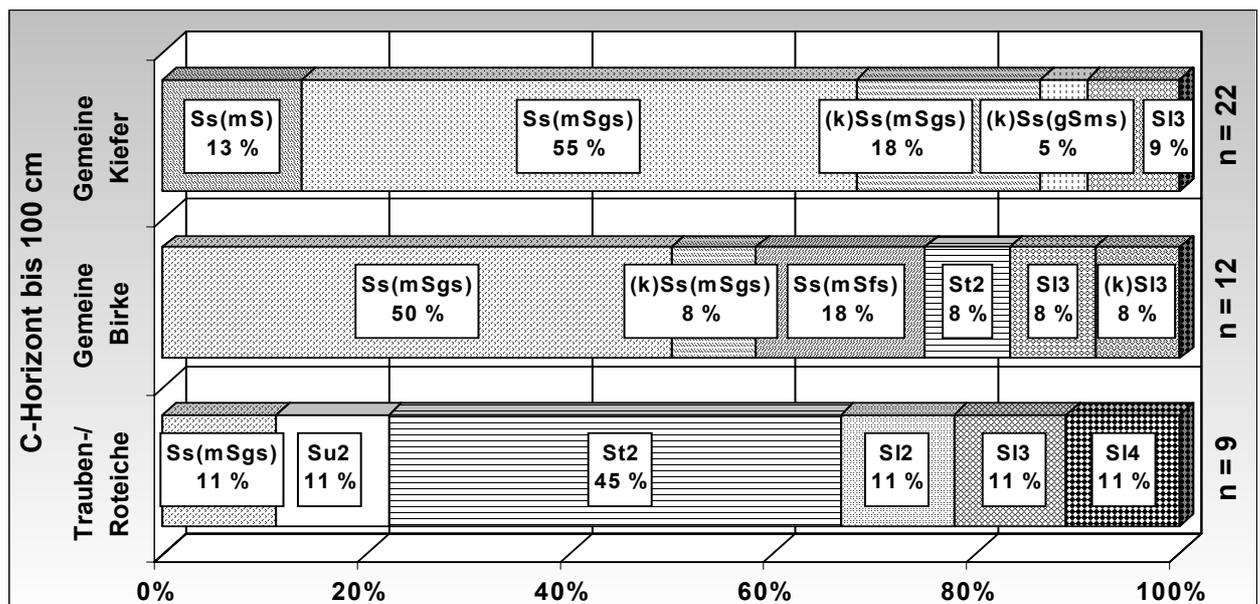


Abb. 92.2: Anteile der Bodenartenuntergruppen nach AG Boden (1996) im C-Horizont (bis 100 cm Bodentiefe) der untersuchten Kiefern-, Birken- und Eichen-Referenzflächen

Völlig anders stellt sich die Verteilung der Bodenarten bei den mit Trauben- (n = 7) und Roteichen (n = 2) aufgeforsteten Kippenstandorten dar (Abb. 92.1 und 92.2). Die Eichen-Erstaufforstungen stocken zumeist auf Lehmsanden. Die Texturänderungen im A-Horizont fallen deshalb relativ gering aus. Bemerkenswert sind der Anstieg an schwach bis mittel lehmigen Sanden (SI2 und SI3) von 22 % im C-Horizont auf 78 % im A-Horizont und das Fehlen der Reinsande im A-Horizont. Das geringe Alter der Traubeneichenbestände kann als Beweis dafür gelten, dass erst nach der Klärung grundsätzlicher Fragen der meliorativen Vorbereitung kohlehaltiger Substrate in den 60er Jahren die kohle- und schwefelhaltigen Anlehmsande, Lehmsande und

Lehme verstärkt mit der Traubeneiche aufgeforstet wurden (ILLNER und KATUR 1964b, ILLNER und LORENZ 1965, KATUR 1971, 1977c, 1993, KATUR et al. 1992, KATUR und HAUBOLD-ROSAR 1996).

Um die kippen spezifische Bodenartenverteilung zu erfassen, werden die Flächenanteile der Bodenarten auf den Referenzstandorten den jeweiligen Kippenkomplexen zugeordnet (Abb. 93). Danach liegt auf den Kippen, die vor > 50 Jahren rekultiviert wurden, der Anteil der Reinsande (Ss) zwischen 44 % (Domsdorf) und 100 % (Brieske). Beträchtliche Anteile lehmiger und toniger Substrate (SI3 und St2) sind auf den Kippen Annahütte (33 %) und Domsdorf (56 %) vorzufinden. Die durchgängig schluffigen und lehmigen Substrate auf der Kippe Kleinleipisch lassen hier auf eine selektive Verkippung sorptionsstärkerer Abraummassen schließen.

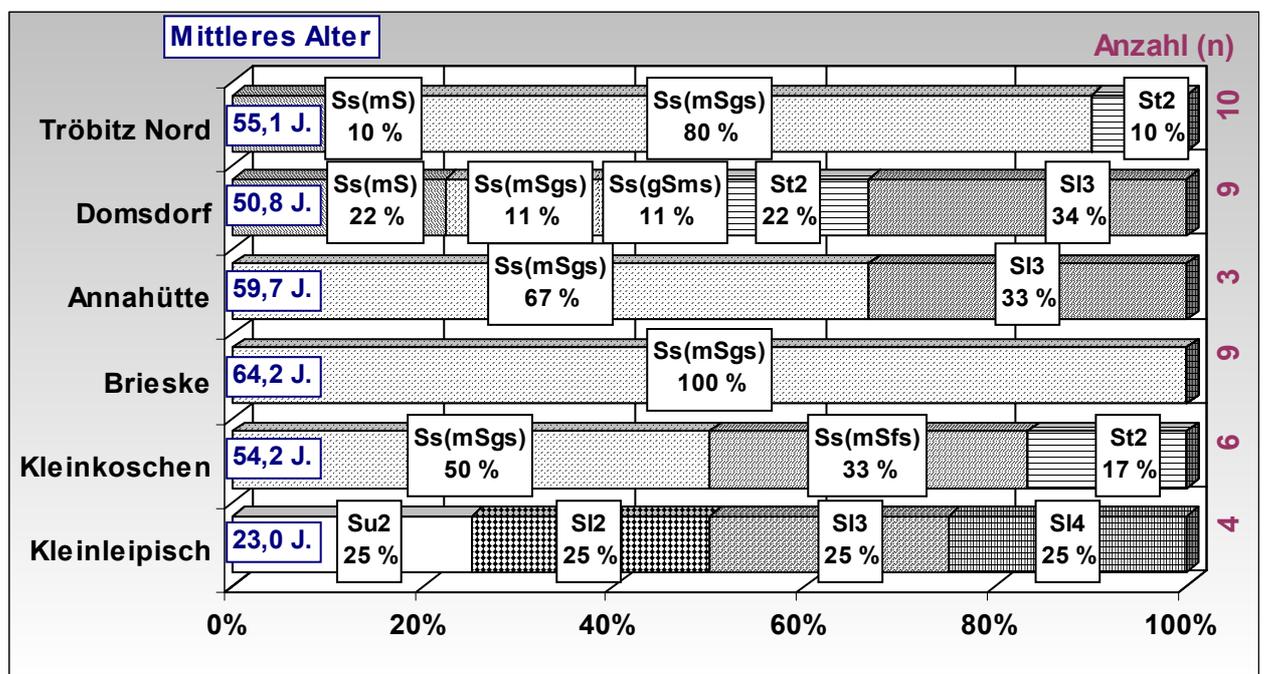


Abb. 93: Verteilung der Bodenarten im C-Horizont nach Kippenkomplexen, incl. mittleres Alter der in den Kippenkomplexen erfassten Bestände

Abb. 94.1 gibt baumartenspezifisch einen Überblick über die Änderungen der Ton-Schluff-Summen im A- gegenüber dem C-Horizont (bis 100 cm). Sie bestätigt, dass die Kiefernbestände auf Reinsanden, die Eichenbestände hingegen auf ton- und schluffreicheren Kippsubstraten stocken. Der Einfluss der regionalen Staubdepositionen auf die Textur des Ah-Horizontes wurde unter Kiefer und Birke untersucht (Abb. 94.2). Mit einem Durchschnittsalter von 61,1 Jahren in den Kiefern- und 56,6 Jahren in den Birkenbeständen liegen die nach Kippenkomplexen gruppierten Referenzflächen dieser Baumarten in vergleichbaren Altersbereichen.

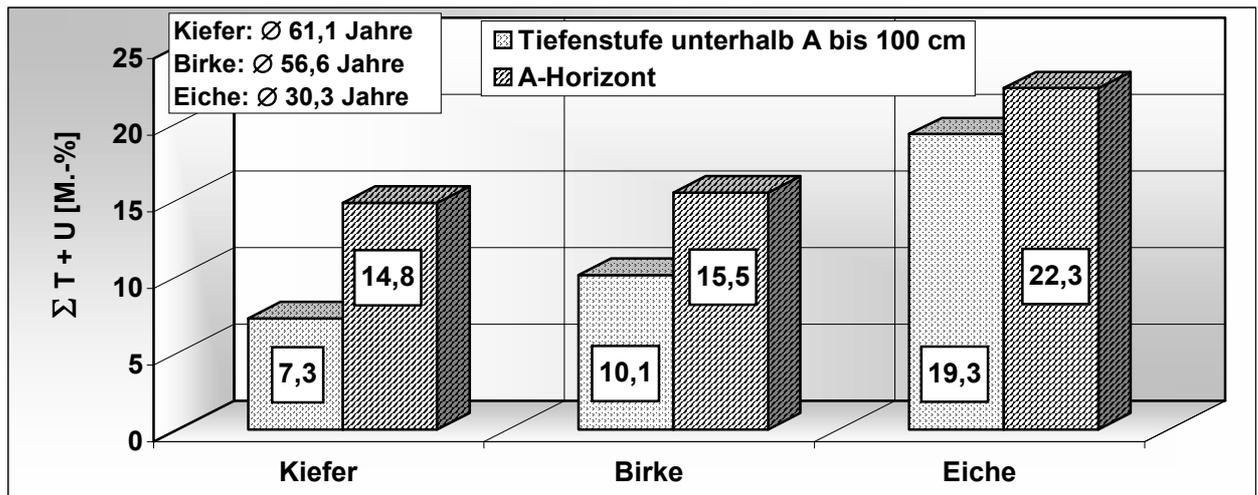


Abb. 94.1: Ton- Schluff-Summen in den C- und A-Horizonten nach Rekultivierungsbaumarten

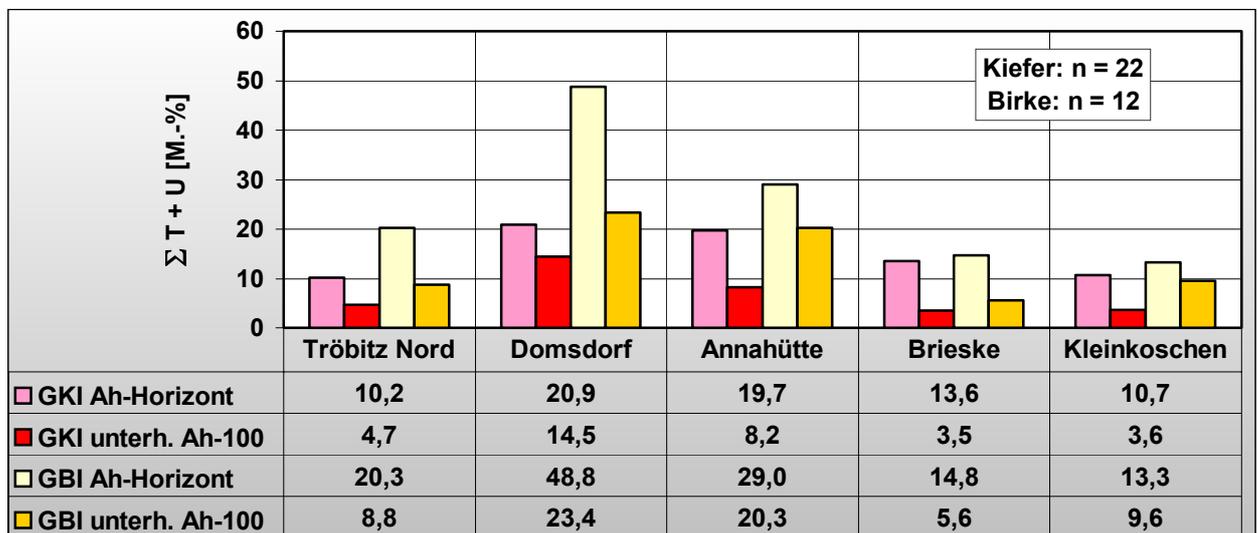


Abb. 94.2: Nach Kippenkomplexen geordnete Ton-Schluff-Summen in den Mineralbodenhorizonten unter Kiefer und Birke

Tab. 38: Anstieg der Ton- und Schluffanteile im Ah-Horizont gegenüber dem C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe unter Kiefer und Birke

Kippenkomplex	Kiefer T + U [M.-%]	Birke T + U [M.-%]	Ø Kiefer und Birke T + U [M.-%]
Tröbitz Nord	+ 5,5	+ 11,5	+ 7,5
Domsdorf	+ 6,4	+ 25,4	+ 9,1
Annahütte	+ 11,5	+ 8,7	+ 10,6
Brieske	+ 10,1	+ 9,2	+ 9,7
Kleinkoschen	+ 7,1	+ 3,7	+ 5,4

Die Differenzwerte (Tab. 38) sind unter Kiefer auf den Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf am geringsten. Hier erfolgte zu Rekultivierungsbeginn eine besonders intensive Grundmelioration, die zu einer Erhöhung des Schluffpartikelanteils, je nach Meliorationstiefe, in den Bodentiefen unterhalb Ah-Horizont bis 60 cm bzw. unterhalb Ah-Horizont bis 100 cm führte. Im Zusammenhang mit der Verkipfung kohleschluffreicherer Kippsubstrate, insbesondere auf der Kippe

Domsdorf, ist die geringe Differenz zwischen der Ton-Schluff-Summe im Ah-Horizont und in der Tiefenstufe unterhalb Ah bis 100 cm plausibel. Hinzu kommen die vergleichsweise geringen Staubdepositionen auf diesen beiden Komplexen (Anlagen 12.1 und 12.2), so dass die flugascheinduzierten Modifikationen der Ah-Textur gering sind. Auf den Kippenkomplexen Annahütte, Brieske und Kleinkoschen sind demgegenüber hohe Staubeinträge und somit eine Anreicherung schluffiger Partikel im Oberboden feststellbar (Anlage 12). Außerdem war offenbar die Meliorationsintensität geringer und/oder der Reinsandanteil der Kippen vor Meliorationsbeginn höher. Die T+U-Differenz zwischen Ah- und C-Horizont ist deshalb größer als in Domsdorf und Tröbitz Nord.

Unter Birke weisen die Kippenkomplexe Domsdorf und Tröbitz Nord die höchsten Summendifferenzen auf. Die Birke stockt hier meist auf Kipp-Reinsanden und Kipp-Kohlereinsanden (Abb. 92.2, Abb. 93 und Anlage 14), die nicht oder aufgrund eines geringen Meliorationserfordernisses nur schwach melioriert wurden und deshalb keine meliorationsbedingte Veränderung der Körnungsart im C-Horizont erfuhren. Eine meliorationsinduzierte Annäherung der T+U-Differenzbeträge ist somit auszuschließen. Weiterhin sind die hohen T+U-Differenzen zwischen Ah- und C-Horizont von 11,5 bzw. 25,4 M.-% wahrscheinlich auf bodenerosive Prozesse vor Rekultivierungsbeginn zurückzuführen. Die im Vergleich zu den Kiefernflächen geringeren Summendifferenzen unter Birke auf den Kippen Annahütte, Brieske und Kleinkoschen deuten auf eine höhere Flugstaubfängigkeit der Kiefernforsten hin, so dass sich möglicherweise in den Ah-Horizonten unter Birke eine vergleichsweise geringere Fremdstoffakkumulation vollzieht.

Tab. 39 gibt einen Überblick über wesentliche unter den Baumarten ermittelte bodenphysikalische Parameter. Die im Vergleich zu den Birkenforsten geringeren R_f - sowie höheren GP- und GPV-Werte im C-Horizont unter Kiefer sind auf den Geotop und die Grundmelioration zurückzuführen. Die 53- bis 70jährigen Kiefern stocken fast ausschließlich auf kohlefreien bis schwach kohlehaltigen Reinsanden (Anlage 14, Tab. 40), die zudem in Verbindung mit der Bodenmelioration mechanisch gelockert wurden. Die 44- bis 68jährigen Birken wachsen auf Rein- und Lehmsanden mit deutlich höheren C_t -Gehalten (Anlage 14, Tab. 41). Hier wurde keine oder geringe mechanisch-meliorative Bodenlockerung durchgeführt. Insgesamt liegen aber unter Kiefer und Birke sehr hohe mittlere Gesamtporenvolumina vor (Luftkapazität: Stufe LK 5), so dass von einer guten Durchwurzelbarkeit der Substrate, insbesondere der grundmeliorierten und mit Kiefer aufgeforsteten Substrate, auszugehen ist. Bei beiden Baumarten nehmen im C-Horizont mit steigenden Anteilen an Ton und Schluff die Gesamtporenvolumina zu und die Spezifische Dichte sowie die Rohdichte ab (Tab. 40 und 41). Gleiches gilt für steigende Anteile an kohligen

Beimengungen im C-Horizont, wenn die Ton- und Schluffanteile der Substrate weitgehend vergleichbar sind.

Tab. 39: Spezifische Dichte, Rohdichte (R_t), Grobporenanteil (GP) und Gesamtporenvolumen (GPV) im C-Horizont der Kippenböden nach Rekultivierungsbaumarten

Baumart	Anzahl (n)	Mittleres Alter [Jahre] (01.01.1998)	Arithmetische Mittelwerte			
			Spezifische Dichte [g/cm^3]	Rohdichte [g/cm^3]	Grobporenanteil (GP) [Vol%]	Gesamtporenvolumen (GPV) [Vol%]
Kiefer	22	61,1	2,45	1,40	21,98	42,89
Birke	12	56,6	2,40	1,42	20,38	40,81
Eiche	9	30,3	2,42	1,20	17,17	50,34

Tab. 40: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t -Gehalt der Kippenböden (53- bis 70jährige Kiefernbestände)

Bodenartengruppe C_t -Gehalt	Anzahl (n)	Spezifische Dichte [g/cm^3]	Rohdichte (R_t) [g/cm^3]	Gesamtporenvolumen (GPV) [Vol%]
Reinsande (ss)	20	2,45 ↑	1,41 ↑	42,26 ●
Lehmsande (ls)	2	2,41 ●	1,22 ●	49,25 ↓
C_t bis 0,50 M.-%	11	2,47 ↑	1,44 ↑	41,72 ●
C_t 0,51 bis 1,00 M.-%	7	2,44 ●	1,38 ●	43,39 ↓
C_t 1,01 bis 1,57 M.-%	4	2,39 ●	1,31 ●	45,24 ↓

Tab. 41: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t -Gehalt der Kippenböden (44- bis 68jährige Birkenbestände)

Bodenartengruppe C_t -Gehalt	Anzahl (n)	Spezifische Dichte [g/cm^3]	Rohdichte (R_t) [g/cm^3]	Gesamtporenvolumen (GPV) [Vol%]
Reinsande (ss)	9	2,39 ↑	1,45 ↑	39,30 ●
Lehmsande (ls)	2	2,31 ●	1,39 ●	39,86 ↓
C_t bis 0,50 M.-%	2	2,44 ↑	1,56 ↑	36,18 ●
C_t 0,51 bis 1,00 M.-%	3	2,42 ●	1,52 ●	37,17 ↓
C_t 1,01 bis 2,00 M.-%	2	2,35 ●	1,41 ●	40,30 ↓
C_t 2,01 bis 4,09 M.-%	4	2,33 ●	1,34 ●	42,24 ↓

Der positive Einfluss einer tiefreichenden Grundmelioration auf die Porenvolumina im C-Horizont (bis 100 cm) wird durch die bodenphysikalischen Kennwerte der mit Eiche bestockten Standorte bestätigt. Hier ist die Rohdichte niedriger und das Gesamtporenvolumen deutlich höher als unter Kiefer und Birke (Tab. 39 bis 42), obwohl die Eiche zumeist auf zur Verdichtung neigenden Lehmsanden und Sandlehmen angebaut wurde (Anlage 14). Die Kippenböden unter Eiche sind durch einen hohen Grobporenanteil (Stufe LK 4) gekennzeichnet und weisen infolge gefügemeliorativer Effekte der Grundmelioration überwiegend hohe Gesamtporenvolumina auf (Tab. 42). Vor allem bei 1,51 bis 2,00 M.-% C_t zeichnen sich bodenphysikalisch günstige Sub-

stratmerkmale ab, die auf die Grundmelioration nach dem Kleinleipischer Verfahren (KATZUR und HEISKE 1974, KATZUR et al. 1998b, 1999a) zurückzuführen sind. Das mittlere Gesamtporenvolumen steigt wiederum deutlich mit zunehmenden Ton-/Schluffanteilen im Kippsubstrat und bis 2,00 M.-% mit zunehmenden C_t-Gehalten an. Baumarten- und altersspezifische Rückwirkungen auf bodenphysikalische Substratmerkmale waren nicht nachweisbar.

Tab. 42: Spezifische Dichte, Rohdichte und Porenvolumen im C-Horizont, gruppiert nach Bodenart und C_t-Gehalt der Kippenböden (24- bis 45jährigen Eichenbestände [incl. JB-1 und JB-2])

	Anzahl (n)	Spezifische Dichte [g/cm ³]	Rohdichte (R _t) [g/cm ³]	Gesamtporenvolumen (GPV) [Vol%]
Reinsande (ss)	3	2,45 ↑	1,48 ↑	39,65 ●
Lehmsande + Sand- lehme (ls + sl)	8	2,42 ●	1,15 ●	51,97 ↓
C _t bis 1,00 M.-%	2	2,45	1,46	40,41 ●
C _t 1,01 bis 1,50 M.-%	3	2,47	1,33	46,52 ↓
C _t 1,51 bis 2,00 M.-%	3	2,55	1,14	55,17 ↓
C _t 2,01 bis 5,65 M.-%	3	2,24	1,17	47,80 ●

5.4.2.1.3 Bioelement- und Schadstoffgehalte

Die Nährstoffgehalte der Böden sind ein wichtiges Merkmal zur Kennzeichnung der Bodenfruchtbarkeit (KOPP 1969, 1970).

Bei der Kiefer wurden die Elementgehalte nach dem Bestandesalter gruppiert (Tab. 43.1). In den 24- bis 46jährigen GKI-Jungbeständen zeichnet sich ein deutlicher C- und N-Tiefengradient vom A-Horizont bis in die Tiefenstufe 61 bis 100 cm ab. Das tiefenstufenbezogene mittlere C/N-Verhältnis im nichthumosen Mineralboden (bis 100 cm) schwankt zwischen 39,6 und 42,6 und ist weiter als im A-Horizont (33,8). Bei den 53- bis 70jährigen Kiefernforsten nehmen die C- und N-Gehalte zunächst bis in 60 cm Bodentiefe ab und steigen danach wieder an. Mit $\bar{\varnothing}$ 32,0 bis 33,3 ist das tiefenstufenbezogene C/N-Verhältnis im C-Horizont geringfügig enger als im Ah-Horizont (36,6), was auf N-Tiefenverlagerung hindeuten könnte. Die im Vergleich zu den mittelalten Kiefernforsten höheren C- und N-Gehalte im A-Horizont der Jungbestände sind auf höhere geotopbedingte C_t- und N_t-Gehalte sowie möglicherweise eine langsamere biologischen Stoffumsetzung zurückzuführen. Dies korrespondiert mit den Aussagen zur Akkumulation der organischen Auflage (Kap. 5.4.1.2). Tab. 43.1 zeigt, dass auch der C-Horizont der Kiefern-Jungbestände in allen untersuchten Bodentiefenstufen über eine deutlich höhere geotopbedingte C_t- und N_t-Ausstattung verfügt.

Bei den mittelalten GKI-Beständen sind die Beziehungen zwischen den N_t - und C_t -Gehalten der Kippsubstrate in allen untersuchten Tiefenstufen hochsignifikant (Abb. 95.1 bis 95.4). Mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,91 und 0,99 zeichnet sich bei den jungen Kiefern-Kippenforsten ebenfalls ein sehr enger Zusammenhang zwischen N_t - und C_t -Bodengehalten ab. Allerdings ist der Stichprobenumfang sehr gering ($n = 7$).

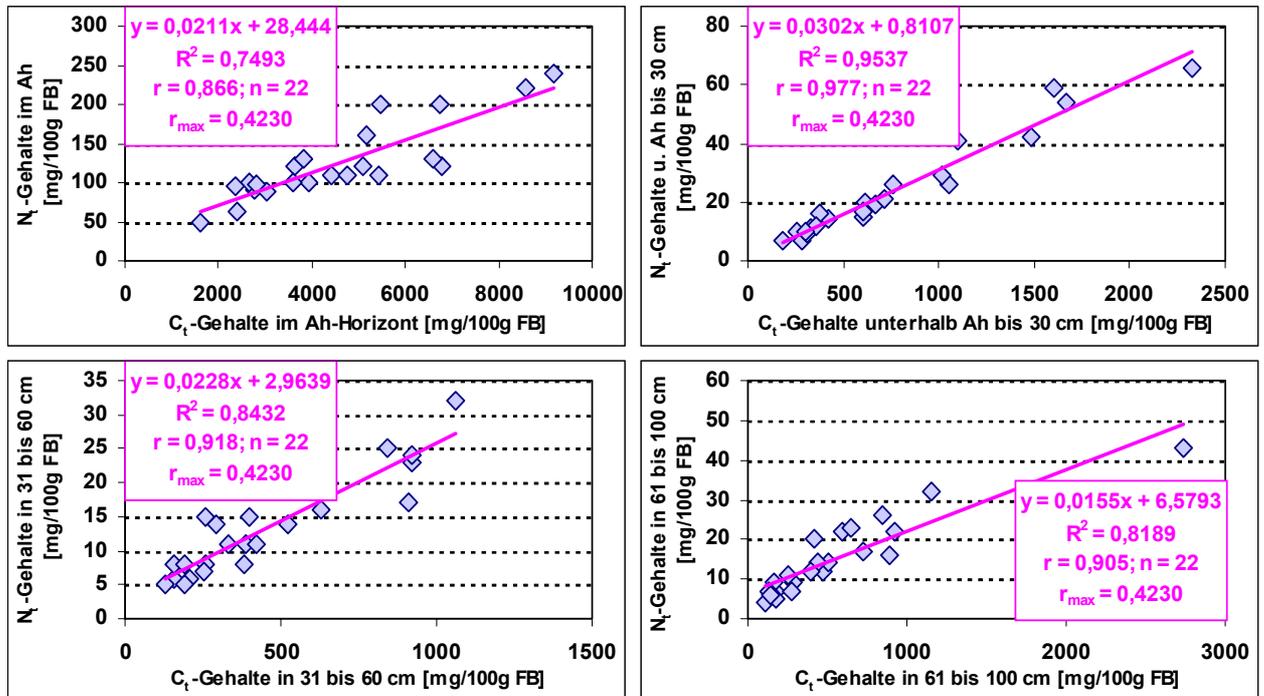


Abb. 95.1 bis 95.4: Korrelationen zwischen C_t - und N_t -Gehalt in den untersuchten Bodentiefenstufen der mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen ($\alpha = 5\%$)

Die Makronährstoffe K, Ca, Mg und P schwanken in Abhängigkeit von Art und Umfang der Grundmelioration, den verwendeten Bodenverbesserungsmitteln und der Substrat-, „Grundgüte“. Die K-Gehalte weisen geringe Variationskoeffizienten auf ($cv\%_{Ah-Horizont}$ JB: 16,1 / MAB: 23,6; $cv\%_{C-Horizont}$ JB: 15,3 bis 17,1 / MAB: 22,1 bis 23,8) und differieren kaum zwischen den Ah- und C-Horizonten (Tab. 43.1). Demgegenüber zeigen sich bei den Elementen Ca, Mg und P aufgrund der Substratmerkmale (Geotopspezifität) und bodenmeliorativer Maßnahmen alters- und tiefenspezifische Unterschiede. Hervorzuheben sind die sehr hohen Variationskoeffizienten der Ca-Gehalte in den untersuchten Tiefenstufen ($cv\%$ JB: 56,1 bis 121,6 / $cv\%$ MAB: 60,4 bis 127,5). Die mittleren Ca-, Mg- und P-Gehalte im Ah-Horizont der mittelalten Kiefern-Kippenforsten liegen deutlich unter denen im Ah der Jungbestände. Ebenso sind die Ca-Gehalte der Tiefenstufen in den mittelalten Beständen bis 60 cm Bodentiefe wesentlich geringer als in den Tiefenstufen der jungen Kiefern-Erstaufforstungen. Der Phosphorgehalt bleibt im gesamten C-Horizont relativ konstant. In den Jungbeständen weist hingegen der P-Gehalt einen geringen Tiefengradienten auf.

Tab. 43.1: Bioelement- und Schadstoffgehalte der Kippsubstrate [mg/100g FB] - Kiefernbestände

Element	Ah-Horizont				C-Horizont				
	<i>unterhalb Ah bis 30 cm</i>		<i>31 bis 60 cm</i>		<i>61 bis 100 cm</i>		<i>C-Horizont bis 100 cm</i>		
	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	
Jungbestände (JB) 24 bis 46 Jahre									
C	6368,57	1310 - 14000	2812,86	380 - 8030	1538,57	60 - 6280	1362,14	50 - 5240	1904,52
N	201,00	46 - 570	82,71	13 - 290	35,00	5 - 149	29,86	5 - 118	49,19
C/N	33,79	24,6 - 41,0	39,86	21,6 - 51,2	42,58	8,6 - 53,8	39,59	10,0 - 54,5	40,68
K	644,29	520 - 810	689,86	530 - 847	613,86	500 - 770	644,79	520 - 840	649,50
Ca	428,66	59 - 1735	291,14	39 - 908	197,86	59 - 480	97,36	31 - 196	195,45
Mg	35,66	11,0 - 95,0	19,29	7,4 - 42,0	21,16	9,4 - 44,0	12,97	4,1 - 22,2	17,80
P	16,29	7,3 - 30,0	9,64	4,3 - 20,0	8,10	4,2 - 16,0	7,36	4,0 - 15,5	8,37
Cu	0,59	0,31 - 1,10	0,33	0,07 - 0,88	0,16	0,08 - 0,26	0,17	0,09 - 0,29	0,22
Pb	2,17	1,00 - 3,40	0,33	0,30 - 0,40	0,27	0,20 - 0,30	0,30	0,30	0,30
Zn	1,10	0,60 - 1,90	0,57	0,30 - 0,70	0,53	0,30 - 0,70	0,67	0,30 - 1,10	0,59
Cd	0,007	0,002 - 0,013	0,003	0,001 - 0,004	0,002	0,001 - 0,003	0,002	0,001 - 0,003	0,002
Mittellate Bestände (MAB) 53 bis 70 Jahre									
C	4582,27	1610 - 9160	773,64	180 - 2330	446,36	130 - 1060	567,27	110 - 2740	595,76
N	125,14	48 - 240	24,14	7 - 66	13,14	5 - 32	15,36	6 - 43	17,55
C/N	36,59	24,6 - 56,5	32,04	23,8 - 40,4	33,12	17,3 - 53,5	33,34	18,6 - 63,7	32,83
K	648,18	330 - 840	646,36	350 - 960	662,27	370 - 1000	682,73	380 - 1000	663,79
Ca	238,86	35 - 1000	95,77	11 - 330	107,82	28 - 620	132,64	30 - 790	112,08
Mg	25,19	6,1 - 120,0	11,35	1,8 - 58,0	12,97	2,2 - 85,0	14,00	1,9 - 78,0	12,77
P	13,22	7,0 - 24,0	7,08	3,1 - 17,0	6,81	3,0 - 17,0	7,54	3,5 - 17,0	7,14
Cu	0,81	0,30 - 5,50	0,27	0,10 - 0,50	0,25	0,10 - 0,60	0,26	0,10 - 0,60	0,26
Pb	1,64	0,90 - 2,40	0,50	0,10 - 1,40	0,37	0,10 - 1,10	0,34	0,10 - 1,10	0,40
Zn	2,22	0,70 - 6,30	0,85	0,30 - 2,90	0,75	0,30 - 2,50	0,77	0,20 - 2,50	0,79
Cd	0,021	0,003 - 0,072	0,003	0,001 - 0,014	0,002	0,001 - 0,008	0,002	0,001 - 0,007	0,003

Im Vergleich mit den Kiefern-Jungbeständen liegen im A- und C-Horizont der mittelalten Referenzbestände höhere mittlere Cu-, Pb- (nur unterhalb A bis 100 cm), Zn- und Cd-Gehalte vor (Tab. 43.1). Ursache ist der mit dem Bestandesalter zunehmende immissionsbedingte Eintrag von Schwermetallen in die Kiefernökosysteme. Diese Elemente werden in der Nadelstreu akkumuliert und/oder als mobile Schwermetallfraktionen in den Untergrund verlagert. Die Kupfer-, Blei-, Zink- und Cadmiumgehalte sind in den Ah-Horizonten der Kiefernforsten erheblich höher als in den C-Horizonten. Dies bestätigt die an den Streufall gekoppelten Akkumulationseffekte. Innerhalb des C-Horizontes, insbesondere ab 31 cm Bodentiefe, zeichnet sich eine weitgehend tendenzlose und gleichmäßige Tiefenverteilung der Schwermetalle ab.

In den Mineralböden der Birken-Erstaufforstungen nehmen die C- und N-Gehalte bis zur Tiefenstufe 31 bis 60 cm sprunghaft ab und bleiben danach weitgehend konstant (Tab. 43.2). Das C/N-Verhältnis des Ah-Horizontes (31,6) wird bis zur Tiefenstufe 31 bis 60 cm weiter (43,2). Bei den Makronährstoffen fällt die sehr gleichmäßige und schwankungsarme Verteilung der K-Gehalte im Profil auf (666,4 bis 705,4 mg/100g FB). Die Nährstoffe Ca, Mg und P sowie die Elemente Cu, Pb, Zn und Cd zeigen in den Substraten der Birkenbestände einen deutlichen Tiefengradienten bis zur Stufe 31 bis 60 cm. Im darunterliegenden Material sind gleichbleibende oder leicht ansteigende Gehalte dieser Elemente feststellbar.

Auch in den Eichen-Kippenforsten (Tab. 43.2) nehmen die C- und N-Gehalte vom A-Horizont bis zur Stufe 31 bis 60 cm ab, die C/N-Verhältnisse werden bis 100 cm Bodentiefe weiter. Kalium ist wiederum schwankungsarm (599,7 bis 623,8 mg/100g FB) in den einzelnen Tiefenstufen vorhanden. Demgegenüber zeichnet sich für Calcium und Magnesium vom A-Horizont bis in die Tiefenstufe 61 bis 100 cm eine stetige Verringerung der Gehalte ab. Innerhalb der Tiefenstufe unterhalb A bis 100 cm wurde eine tendenzlose Verteilung der P-Gehalte ermittelt. Allerdings ist der Phosphorgehalt im C-Horizont deutlich geringer als im A-Horizont. Die Schwermetalle Cu, Zn und Cd weisen nach deutlicher Abnahme vom A-Horizont zur Stufe unterhalb A bis 30 cm ebenfalls relativ konstante Gehalte im C-Horizont auf. Lediglich die Bleigehalte nehmen mit zunehmender Tiefenstufe stetig ab.

Tab. 43.2: Bioelement- und Schadstoffgehalte der Kippsubstrate [mg/100g FB] - Birken- und Eichenbestände

Element	Ah-Horizont						C-Horizont					
	unterhalb Ah bis 30 cm		31 bis 60 cm		61 bis 100 cm		unterhalb Ah bis 30 cm		31 bis 60 cm		61 bis 100 cm	
	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite	MW	Streu.-breite
Birkenbestände 44 bis 68 Jahre												
C	5424,17	2600 - 17400	1709,17	450 - 6410	1385,83	250 - 3140	1366,67	240 - 2720	1487,22			
N	196,67	94 - 920	40,33	17 - 100	29,83	10 - 66	30,08	8 - 55	33,42			
C/N	31,64	18,9 - 47,6	37,61	25,0 - 64,1	43,18	25,0 - 71,4	42,94	22,7 - 64,8	41,24			
K	666,42	440 - 780	692,67	470 - 800	705,42	600 - 890	698,25	500 - 880	698,78			
Ca	191,08	81 - 312	126,12	48 - 250	93,55	41 - 156	108,23	48 - 150	109,30			
Mg	20,64	8,8 - 38,0	12,08	2,9 - 44,0	9,17	3,0 - 19,0	9,45	2,5 - 22,0	10,23			
P	16,24	8,9 - 41,0	7,21	3,5 - 15,0	6,64	3,8 - 10,0	6,51	3,7 - 11,8	6,79			
Cu	0,70	0,35 - 1,30	0,36	0,20 - 1,40	0,28	0,20 - 0,60	0,30	0,20 - 0,60	0,31			
Pb	1,64	0,80 - 4,90	0,60	0,10 - 1,30	0,46	0,10 - 1,10	0,47	0,20 - 1,20	0,51			
Zn	1,96	0,80 - 6,40	0,71	0,30 - 2,80	0,57	0,26 - 2,10	0,57	0,22 - 2,10	0,62			
Cd	0,015	0,006 - 0,040	0,004	0,001 - 0,010	0,002	0,001 - 0,006	0,002	0,001 - 0,006	0,003			
Eichenbestände 24 bis 45 Jahre												
C	4542,50	1920 - 10400	2860,8	370 - 8040	2250,8	350 - 4610	2380,4	140 - 7550	2497,36			
N	161,33	61 - 520	63,67	18 - 141	44,67	21 - 80	45,33	10 - 130	51,22			
C/N	31,38	17,9 - 51,5	41,10	19,5 - 57,4	46,65	16,7 - 62,2	46,86	14,0 - 61,2	44,87			
K	623,82	440 - 790	599,73	461 - 730	613,00	483 - 773	601,77	379 - 740	604,83			
Ca	183,01	33 - 780	132,93	24 - 454	108,36	21 - 272	66,36	29 - 106	102,55			
Mg	23,13	9,6 - 70,0	16,93	8,1 - 30,3	15,18	3,7 - 29,0	12,63	5,6 - 27,3	14,91			
P	20,04	9,6 - 55,0	8,89	5,2 - 15,0	11,31	4,9 - 27,7	8,73	5,0 - 19,2	9,64			
Cu	0,56	0,32 - 1,10	0,28	0,14 - 0,46	0,29	0,15 - 0,41	0,27	0,15 - 0,49	0,28			
Pb	2,01	0,48 - 4,70	0,91	0,20 - 2,40	0,79	0,14 - 1,90	0,55	0,13 - 1,20	1,06			
Zn	1,70	0,90 - 4,20	0,75	0,28 - 1,50	0,76	0,45 - 1,30	0,66	0,27 - 1,50	0,97			
Cd	0,010	0,004 - 0,030	0,003	0,000 - 0,007	0,003	0,000 - 0,007	0,002	0,000 - 0,003	0,005			

Bei den Rekultivierungsbaumarten **Kiefer**, **Birke** und **Eiche** liegen im Ah-Horizont weitaus höhere Nährelementmengen vor als in den Tiefenstufen des C-Horizontes. Die aus Streufall, Bodenvegetation und Depositionsgeschehen zugeführten und aus dem Auflagehumus in den Mineralboden verlagerten Nährstoffe werden demnach zunächst im Ah-Horizont infolge des hohen Sorptionspotenzials angereichert und allmählich tiefenverlagert. Eine Ausnahme bildet Kalium, das in den C-Tiefenstufen z.T. höhere Gehalte aufweist als im Ah-Horizont.

Die Kohlenstoff-Akkumulation ist im Ah-Horizont der 53- bis 70jährigen Kiefernökosysteme niedriger (4582,3 mg/100g FB) als in den Birken-Forstökosystemen mit vergleichbaren Bestandesaltern. Während das durchschnittliche C/N-Verhältnis im Ah-Horizont der mittelalten Kiefernforsten geringfügig weiter ist als auf den Birkenflächen, fallen die C/N-Relationen der Kiefern im C-Horizont enger aus. Das ist wahrscheinlich zum einen auf das höhere N-Aneignungsvermögen der Birke und die daher höhere Stickstoffzufuhr durch Streuzersetzung zurückzuführen ($\bar{\text{N}}$ -Blattspiegelwert Birke: 2,76 %; $\bar{\text{N}}$ -Nadelspiegelwert mittelalte Kiefer: 1,86 %). Zum anderen bestätigen die geringeren C-Gehalte im Ah-Horizont der mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen den niedrigen Kohlenstoffumsatz resp. das höhere C-Speichervermögen der Humusaufgaben unter Kiefer (Tab. 34).

Weiterhin liegen in den Ah- und C-Horizonten der mittelalten Kiefernforsten geringfügig höhere Ca- und Mg-Gehalte sowie geringfügig niedrigere K-Gehalte vor als bei den Birkenbeständen. Der mittlere P-Gehalt differiert kaum. Die Ca- und Mg-Gehalte lassen auf den mittelalten Kiefernflächen einen ansteigenden Tiefengradienten von der Tiefenstufe unterhalb Ah bis 30 cm bis zur Tiefenstufe 61 bis 100 cm erkennen. Während die mittelalten Kiefernforsten zumeist auf sorptionsschwachen Sanden stocken, wachsen die 44- bis 68jährigen Birken vorwiegend auf C-reicheren, unzureichend meliorierten Kippsubstraten (Kap. 5.4.2.1.2 und 5.4.2.1.4). Möglicherweise werden deshalb Ca und Mg in den Kiefern-Forstökosystemen stärker tiefenverlagert als auf den mit Birke bestockten Flächen.

Die Gehalte an Cu, Zn und Cd sind im Ah-Horizont der Kiefernbestände höher als im Ah der Birken-Erstaufforstungen. Demnach kommt es im Ah-Horizont unter Kiefer zu einer höheren Schwermetallakkumulation als unter Birke.

Zur Bewertung der Nährelementausstattung der Kippenböden wurden ihre Makronährstoffgehalte mit den KMgCaP-Serien von KOPP (1970) verglichen und **Nährkraftstufen** zugeordnet. Die Serien III (Substrate nordischer Herkunft aus Vorweichsel-Kaltzeiten) und VIII (tertiäre Substrate einschließlich ihrer pleistozänen und holozänen Umlagerungen) sind besonders bedeutend, da sie im Untersuchungsgebiet dominieren (Tab. 44). Die Serie VIII entspricht der Trophiestufe „arm“ (A) und weist die geringste Nährstoffausstattung auf. Die Serie III entspricht bei der Bodenartengruppe Reinsande (ss) der Trophiestufe „ziemlich arm“ (Z) und bei der Bodenartengruppe Lehmsande (ls) der Trophiestufe „mittlere Nährstoffversorgung“ (M).

Tab. 44: K-, Mg-, Ca- und P-Gehalte der Serien III und VIII des Tieflandes, nach HF-Aufschluss [mg/100g FB] (KOPP 1970)

Symbol der Serie	Kalium	Calcium	Magnesium	Phosphor
III	593 (450 – 850)	78 (30 – 160)	31 (20 – 80)	10 (5 – 15)
VIII	633 (450 – 850)	19 (< 40)	19 (< 40)	9 (5 – 15)
Ø	613 (450 – 850)	25 (< 80)	25 (< 80)	9,5 (5 – 15)

Ein Vergleich der Tab. 44 mit den Makronährstoff-Gehalten in den Tab. 43.1 und 43.2 belegt für Kalium und Calcium eine durchschnittlich höhere, für Phosphor eine weitgehend vergleichbare und für Magnesium eine geringere Ausstattung der Kippenstandorte im Vergleich zu unverritzten und adäquat klassifizierbaren Waldstandorten des nordostdeutschen Tieflandes. Die geringeren Mg-Gehalte werden von KOPP (1970) als charakteristisch für tertiäre Substrate beschrieben. Die Zuordnung der vorgefundenen Kippbodenformen zu den Nährkraftstufen zeigt, dass sich mit steigenden Ton-/Schluffgehalten eine Zunahme der Ca-, Mg-, P- und K-Gehalte andeutet (Tab. 45).

Tab. 45: Zuordnung der Kippbodenformen des Lausitzer Braunkohlenrevieres zu den Nährkraftstufen der forstlichen Standortserkundung nach KOPP (1970)

Kippbodenform (1996) und WÜNSCHE et al. (1981) (oj-)	Bodenartengruppen / Bodenartenundergruppen nach AG Boden (1996)	n	Nährelementgehalte im HF-Aufschluss [mg/100g FB]				Zuordnung der Nährkraft
			K	Ca	Mg	P	
ss	ss / Ss(mS)	2	648,95 (366,7 - 803,3)	112,87 (41,3 - 327,0)	8,68 (2,9 - 30,0)	5,29 (3,6 - 12,9)	Z (ziemlich arm)
	ss / Ss(mSgs)	11					
ss + (k) ss	ss / Ss(mS)	2	655,40 (366,7 - 803,3)	105,92 (41,3 - 327,0)	8,06 (2,8 - 30,0)	5,96 (3,6 - 12,9)	Z (ziemlich arm)
	ss / Ss(mSgs)	13					
	ss / Ss(gSms)	1					
(x) ss	ss / Ss(mS)	2	652,31 (463,3 - 793,3)	96,15 (32,7 - 224,3)	11,23 (2,0 - 31,3)	6,40 (3,7 - 12,1)	Z (ziemlich arm)
	ss / Ss(mSfs)	1					
	ss / Ss(mSgs)	10					
(k)(x) ss	ss / Ss(mSgs)	3	575,00 (523,3 - 653,3)	58,50 (36,7 - 86,0)	9,65 (3,3 - 12,0)	7,43 (7,13 - 7,93)	Z (ziemlich arm)
	ss / Ss(gSms)	1					
x ss	ss / Ss(mSfs)	1	615,56 (556,7 - 676,7)	136,67 (96,7 - 166,7)	20,32 (12,1 - 28,3)	8,17 (5,43 - 11,00)	Z / M
	ss / Ss(mSgs)	2					
(x) uls	ls / Su2	1	670,23 (484,8 - 986,7)	96,27 (53,2 - 198,0)	17,52 (9,3 - 31,0)	10,45 (6,53 - 15,90)	M (mittel)
	ls / St2	1					
	ls / Sl2	3					
	ls / Sl3	3					
x uls + (k)x uls	ls / St2	4	737,39 (534,3 - 886,7)	139,72 (25,3 - 273,0)	13,19 (6,0 - 20,9)	10,74 (5,6 - 17,7)	M+ (mittel)
	ls / Sl3	2					
(c)(x) uls	ls / Sl3	1	936,67	580,00	73,67	17,00	K (kräftig)
	sl / Sl4	3	701,39 (562,7 - 865,0)	330,44 (127,0 - 488,7)	29,06 (18,7 - 44,0)	14,42 (8,5 - 20,3)	

5.4.2.1.4 Acidität und Basensättigung

Die Aciditätsverhältnisse werden im Wesentlichen durch die pH-Werte und die Basensättigung (V-Wert) charakterisiert.

Bei der Kiefer wurden die Analyseergebnisse getrennt für die Jungbestände und die mittelalten Kippen-Erstaufforstungen ausgewertet.

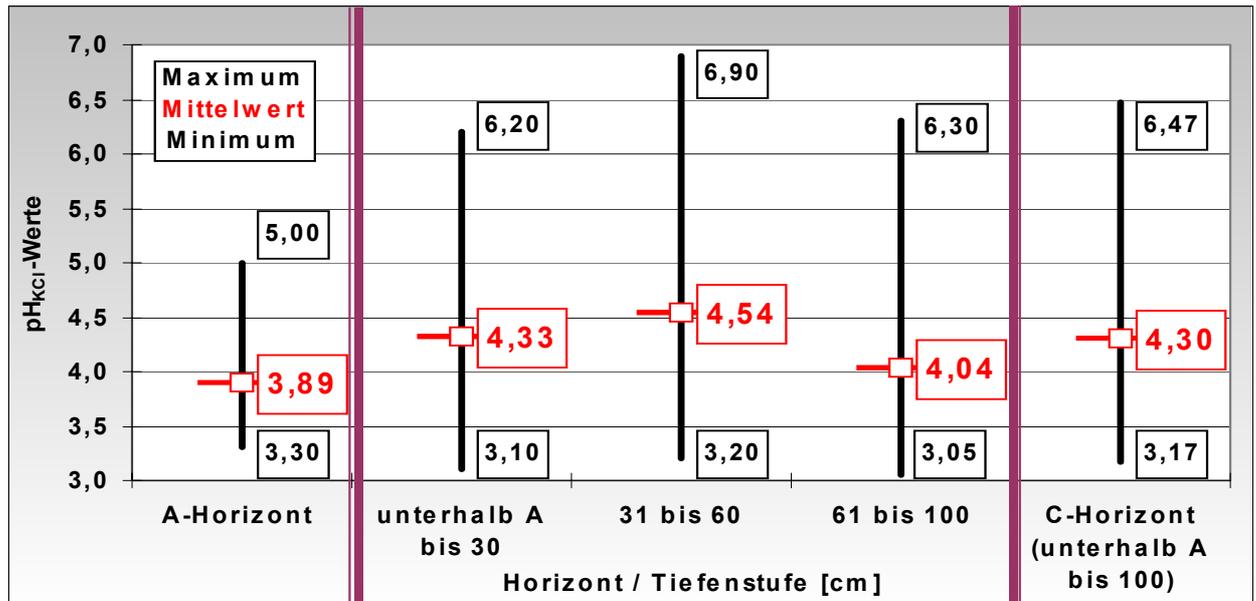


Abb. 96.1: pH_{KCl}-Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der jungen Kiefernbestände (n = 7)

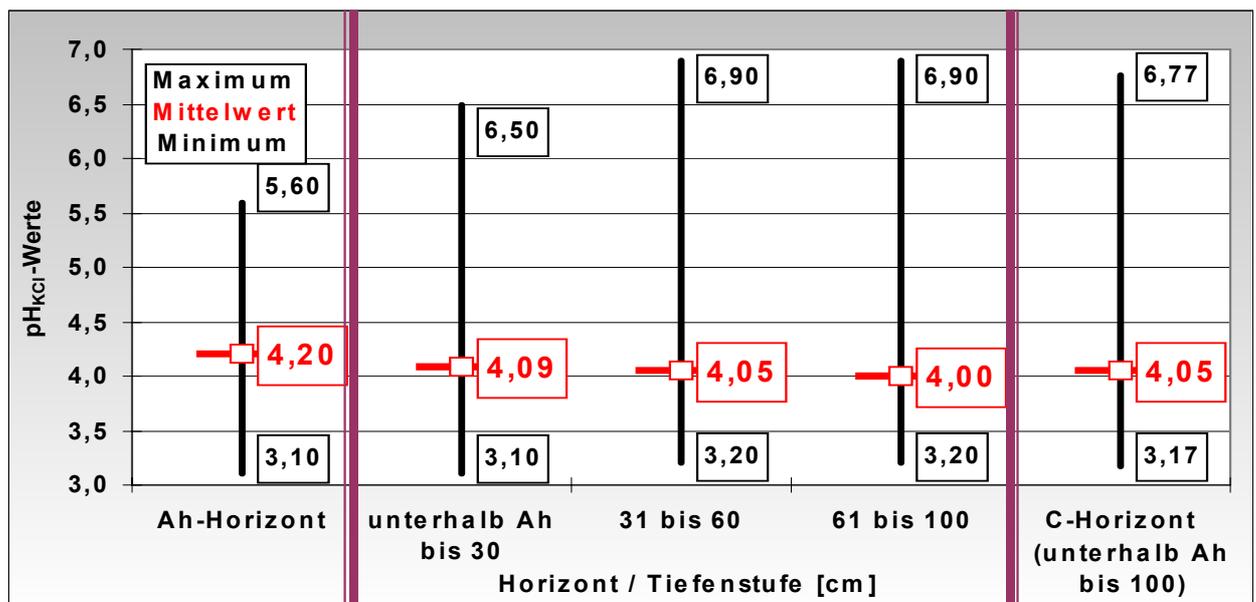


Abb. 96.2: pH_{KCl}-Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der mittelalten Kiefernbestände (n = 22)

Tab. 46: Mittlere Basensättigung in den Bodenhorizonten bzw. -tiefenstufen der Kiefern-, Birken- und Eichen-Erstaufforstungen

Bestände	Alter [Jahre]	n	Mittlerer V-Wert [%]				
			im Bodenhorizont / in der Bodentiefe [cm]				
			A-Horizont	unterhalb A bis 30	31 bis 60	61 bis 100	unterhalb A bis 100
GKI - jung	24 bis 46	7	49,56	44,76	48,86	23,80	39,57
GKI - mittelalt	53 bis 70	22	43,31	27,74	27,45	27,11	27,62
GBI	44 bis 68	12	45,19	25,34	14,37	14,75	18,53
EI	24 bis 45	11	25,77	28,26	23,32	14,51	22,18

In den 24- bis 46jährigen Kiefern-Jungbeständen liegt meliorations- und substratbedingt im C-Horizont (bis 100 cm Tiefe) insgesamt eine tendenzlose Verteilung der Aciditätsparameter vor (Abb. 96.1 und Tab. 46). Die deutliche Abnahme des pH_{KCl} -Wertes auf 4,04 und der Basensättigung auf 23,8 % in der Tiefenstufe 61 bis 100 cm ist wahrscheinlich auf die Meliorationstiefe zurückzuführen, die auf diesen Flächen zumeist bei 60 cm lag.

In den mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen zeichnet sich hingegen eine geringfügige aber stetige Zunahme der Versauerung im Bodenprofil bis in 100 cm Tiefe ab (Abb. 96.2 und Tab. 46). Die geringe Differenzierung der mittleren pH- und V-Werte im C-Horizont lässt vermuten, dass die Aciditätsverhältnisse der 53- bis 70jährigen Kippenstandorte stärker durch ökosystemare Kreislaufprozesse und geringer durch meliorative Effekte geprägt sind als die noch jungen Kiefernforsten. Die durchschnittlichen V-Werte der mittelalten Bestände fallen im A-Horizont um 6,25 % und im C-Horizont um 11,95 % geringer aus als in den GKI-Jungbeständen, was auf eine anhaltende Wirkung meliorativer Bodenverbesserung bis in die Jungbestandesphase hinweisen könnte. Die starke Variabilität der Aciditätsindikatoren in den einzelnen Tiefenstufen beider Altersgruppen steht in ursächlichem Zusammenhang mit der Variabilität der Kippsubstrate, der meliorativen Düngekalk- oder Braunkohlenaschegabe und der Meliorationstiefe. Auch in den kohlefreien Sanden ($C_t < 0,5 \text{ M.-%}$) sind bei zu gering bemessenen CaO-Gaben Versauerungstendenzen im Ah- und im C-Horizont erkennbar (Abb. 96.2 und Abb. 97).

Abb. 97 zeigt, dass die kohlehaltigen Reinsande ($> 0,5 \text{ M.-% } C_t$) im Ergebnis der Grundmelioration nur geringfügig niedrigere pH-Werte aufweisen als die kohlefreien Kippsande. Auch die Basensättigung liegt im Durchschnitt nur um 7 % unter dem V-Wert der kohlefreien Sande. In beiden Substratgruppen sind die analysierten Kippenforsten in vergleichbarem Alter (kohlefreie Reinsande: \varnothing 62 Jahre; kohlehaltige Reinsande: \varnothing 60 Jahre). Die jeweils höchsten pH- und V-Werte wurden in den schluff- und tonreicheren Sedimenten ermittelt (kohlehaltige Lehmsande:

Ø 61 Jahre). Wesentlich ist, dass mit der Grundmelioration die Reaktionsverhältnisse der extrem sauren, kohle- und schwefelhaltigen Kippenböden (nach KATZUR 1998a meist pH_{KCl} 2,0 bis 3,5) an die der quartären Sedimente (vorwiegend Sande) angeglichen werden.

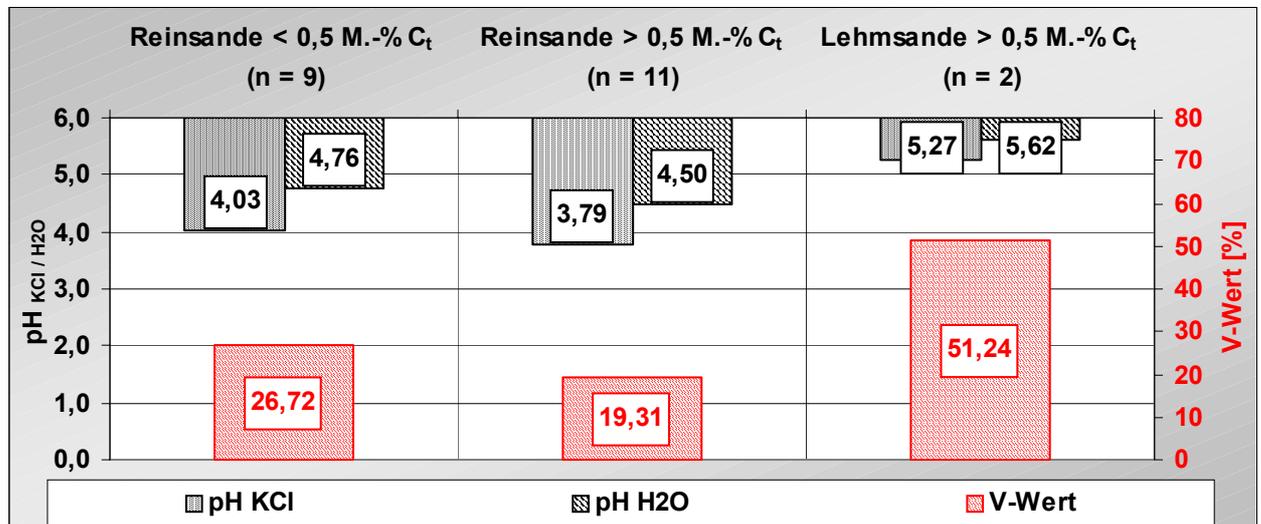


Abb. 97: Mittlere pH-Werte und Basensättigungen unterhalb des Ah-Horizontes bis 100 cm Tiefe der Substratgruppen ‚kohlefreie Reinsande‘, ‚kohlehaltige Reinsande‘ und ‚Lehmsande‘ in den 53- bis 70jährigen Kiefern-Erstaufforstungen

Den Birken waren vielfach die werksnahen, immissionsbeeinflussten und am schwierigsten zu rekultivierenden Kippenflächen vorbehalten (KATZUR et al. 1999b). Meist stocken die Birken auf nicht bzw. nur flach meliorierten tertiären Standorten (Anlage 14). Die starke Tiefendifferenzierung der pH- und V-Werte in den Birkenbeständen ist deshalb plausibel (Abb. 98 und Tab. 46). Vor allem in der Bodentiefenstufe unterhalb Ah bis 30 cm ist eine sprunghaft ansteigende Versauerung erkennbar. Den relativ geringen pH-Schwankungen ($\text{cv}\%$ pH_{KCl} im C-Horizont: 15,5) stehen hohe Schwankungen in der Basensättigung gegenüber ($\text{cv}\%$ V-Wert im C-Horizont: 76,3). Mit zunehmendem C_t -Gehalt ist eine deutliche Verringerung der Basensättigung von 32,7 auf 6,4 % und der pH_{KCl} -Mittelwerte von 4,40 auf 3,05 innerhalb der Bodenartengruppe ‚Reinsande‘ erkennbar (Abb. 99). Bei C_t -Gehalten > 2,0 M.-% liegt die Basensättigung in den Kohlelehmsanden nur 4 % unter der Basensättigung kohlefreier Reinsande ($C_t < 0,5$ M.-%), was auf die vergleichsweise hohe sorptive Basenbindung in den ton- und schluffreichen Substraten hinweist.

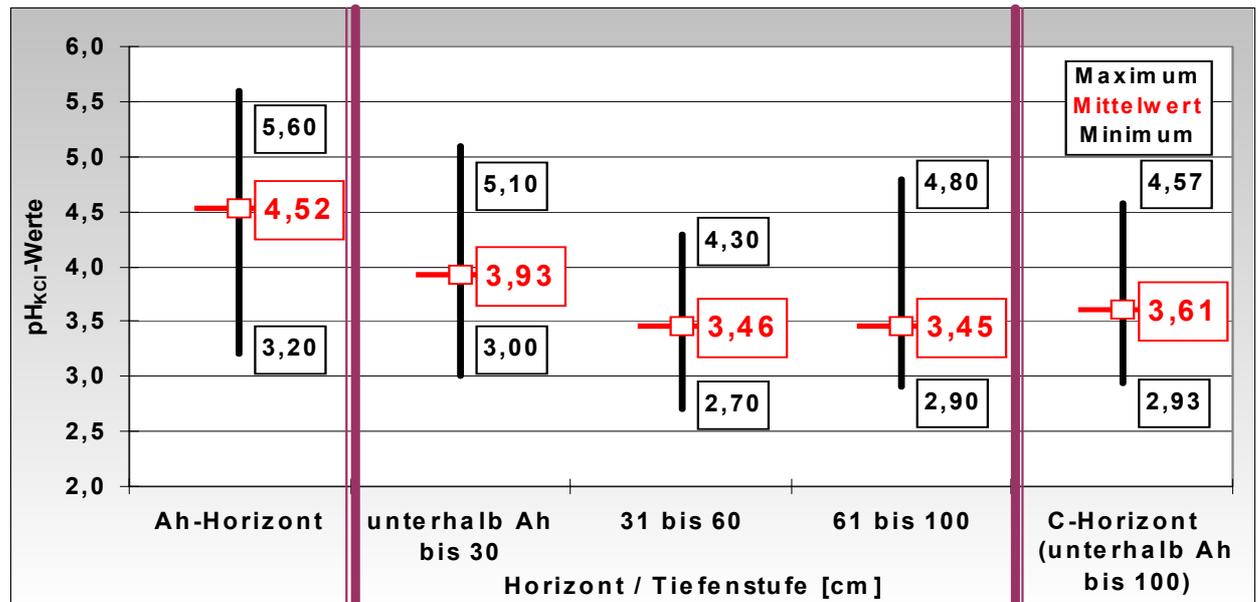
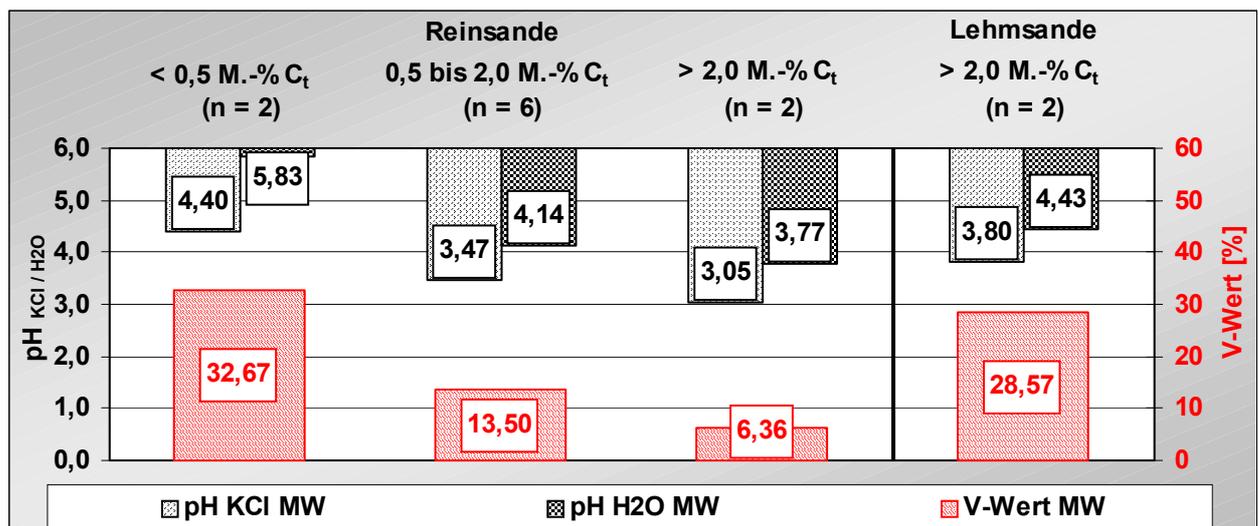
Abb. 98: pH_{KCl}-Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der Birkenbestände (n = 12)

Abb. 99: Mittlere pH-Werte und Basensättigungen unterhalb des Ah-Horizontes bis 100 cm Tiefe der Substratgruppen 'kohlefreie Reinsande', 'kohlehaltige Reinsande', 'Kohlesande' und 'Kohlelehmsande' in den 44- bis 68jährigen Birken-Erstaufforstungen

Die Eiche wurde oftmals auf quartären und tertiären Lehmsanden und Sandlehmen begründet. Die Meliorationstiefe lag zumeist bei 60 cm (KATZUR et al. 1999a) und ist anhand der pH- und V-Werte nachvollziehbar. Während die Mittelwerte bis in 60 cm Bodentiefe nur eine geringe Differenzierung aufweisen, nimmt die Versauerung in der Tiefenstufe 61 bis 100 cm sprunghaft zu (Abb. 100 und Tab. 46). Auffallend ist die Spannweite der Messwerte in allen Tiefenstufen des C-Horizontes. Offensichtlich wurden bei pH_{KCl}-Werten von 2,8 bis 3,1 (pH_{H₂O} 3,1 bis 3,7) sowie Basensättigungs-Minimumwerten von 2,31 und 2,61 % unmeliorierte Bodenbereiche miterfasst.

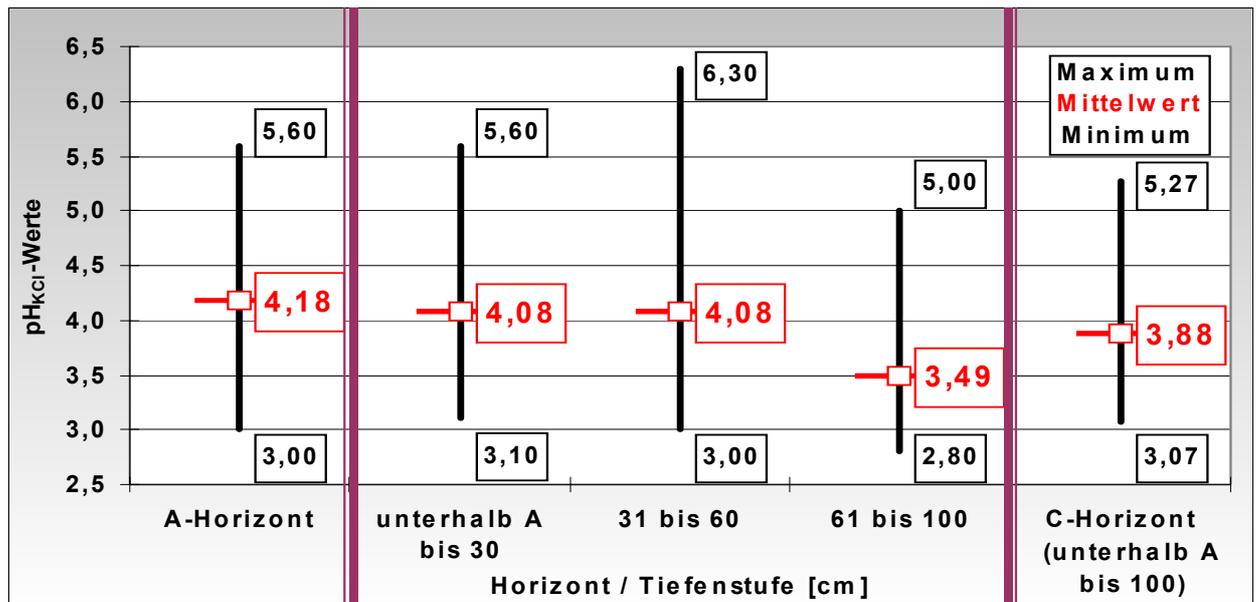
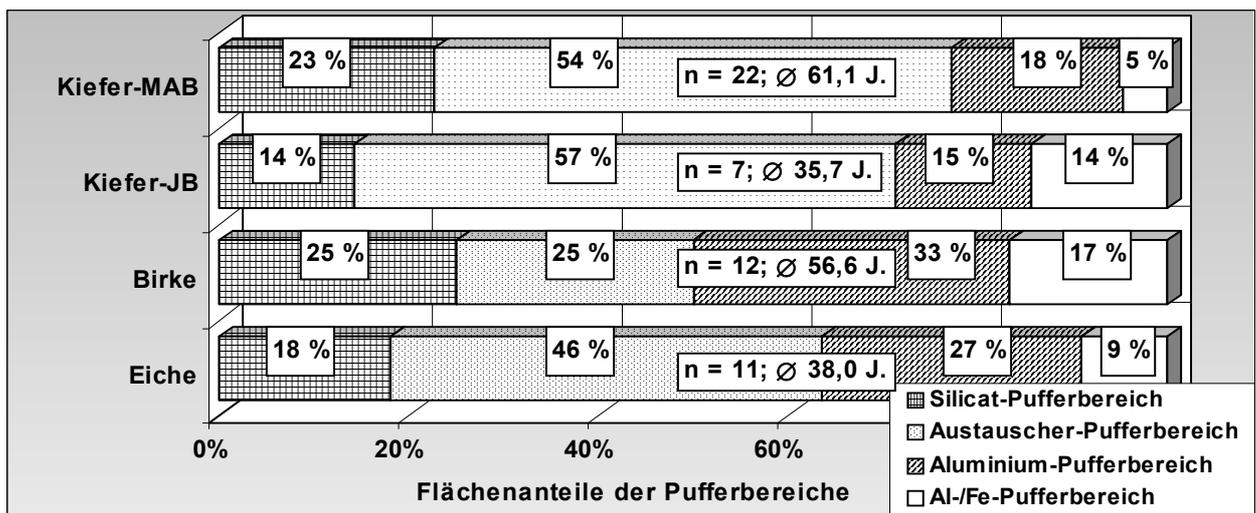
Abb. 100: pH_{KCl}-Werte in den Bodenhorizonten/-tiefenstufen der Eichenbestände (n = 11)

Abb. 101: Verteilung der Baumarten auf die im C-Horizont (unterhalb des A-Horizontes bis 100 cm Tiefe) ermittelten Pufferbereiche (nach SCHWERTMANN et al. 1987 und UL- RICH 1981, 1983, 1990)

Beachtenswert sind die Flächenanteile der Pufferbereiche an der Aufforstungsfläche (Abb. 101). Im C-Horizont der mittelalten Kiefern-Kippenbestände wurden der für das Wachstum optimale Silicatpufferbereich (pH 5,0 bis 6,2) und der pflanzenphysiologisch ungünstige Al- sowie Al-/Fe-Pufferbereich (pH 3,0 bis 4,2) auf je 23 % der Flächen ermittelt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass zwischen den Pufferbereichen fließende Übergänge bestehen. Der Flächenanteil im Austauscherpufferbereich (pH 4,2 bis 5,0) beträgt 54 %, bei den Kiefern-Jungbeständen 57 %. Hier liegen die Flächenanteile des Silicatpufferbereiches bei nur 14 %, die des Al- und Al-/Fe-Pufferbereiches bei 29 %. Die pflanzenphysiologisch günstigere Flächenverteilung der 53- bis 70jährigen Kiefernforsten resultiert offenbar aus günstigeren bodenchemischen Bedingungen

(Geotop). Aufgrund der gegenüber den Jungbeständen längeren Entwicklungsphase sind aber in den mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen auch bodenchemische Angleichungsprozesse an waldökosystemspezifische Aciditäts-, „Normalverhältnisse“ nicht auszuschließen.

Bei den überwiegend auf tertiären, kohle- und schwefelhaltigen Kippsubstraten stockenden Birkenbeständen ist der Al- und Al-/Fe-Pufferbereich mit einem Flächenanteil von insgesamt 50 % erwartungsgemäß am stärksten vertreten. Im Silicat- und Austauscherbereich liegen alle Birkenstandorte mit C_t -Gehalten $< 1,0$ M.-% in der Bodentiefe unterhalb Ah-Horizont bis 100 cm (GBI 1, 6 bis 9) und ein Kohlelehmsand-Substrat (GBI 5). Demnach hat der C_t -Substratgehalt kardinalen Einfluss auf die Zuordnung zu den Pufferbereichen und damit auf den Bodenchemismus der Birken-Waldökosysteme. Dies wiederum verdeutlicht die Notwendigkeit der Grundmelioration zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Obwohl die Birkenstandorte nicht oder nur unzureichend melioriert wurden, fällt der Silicatpufferbereich mit 25 % geringfügig höher aus als bei den altersäquivalenten Kiefernstandorten (23 %), was positive Rückwirkungen der Baumart auf die Aciditätsverhältnisse indizieren kann. Die relativ hohen Ca-Blattspiegelwerte (Kap. 5.2.2.5) und die hohen Ca-Vorräte in der organischen Auflage unter Birke (Tab. 34) bestätigen diese Aussage.

Die grundmeliorierten Eichenstandorte sind vorwiegend dem Austauscher- (46 %) und Al-Pufferbereich (27 %) zuzuordnen. Der relativ geringe Silicat- und hohe Al- sowie Al-/Fe-Anteil ist vermutlich auf den C_t -Gehalt im C-Horizont zurückzuführen, der zumeist ($n = 10$) zwischen 1,0 und 5,7 M.-% beträgt.

Die Übersicht zur Austauscherbelegung in den untersuchten Kippenböden (Anlage 15) zeigt, dass in den Kiefern-Jungbeständen aufgrund der Substrat-Grundausrüstung, der bodenmeliorativen Maßnahmen und der kürzeren Entwicklungsdauer höhere Basensummen (S-Werte) im A- und C-Horizont nachweisbar sind als in den mittelalten Kiefern-Kippenforsten. Im A-Horizont liegt eine flugaschebedingte Nivellierung der Altersunterschiede vor. Die Tiefendifferenzierung der S- und KAK_{pot} -Werte vom A-Horizont zur Tiefenstufe unterhalb A bis 30 cm ist in den mittelalten Kiefernbeständen wesentlich ausgeprägter. Die mittelalten Kiefernforsten stocken überwiegend auf kohlefreien und schwach kohlehaltigen Reinsanden, während die Kiefern-Jungbestände zumeist auf Rein- und Lehmsanden mit höheren C_t -Gehalten wachsen (Kap. 5.4.2.1.2, Tab. 43.1, Anlage 14). Demzufolge resultieren auch die höheren KAK_{pot} - und H-Werte im C-Horizont der Jungbestände aus der Variabilität der Substrate und ihrer meliorativen Bodenfruchtbarkeitsverbesserung.

Infolge atmosphärischer Flugstaubeinträge ist im Ah-Horizont eine Nivellierung baumartenspezifischer Differenzen im Hinblick auf die Beeinflussung der S-, KAK_{pot} -, H- und V-Werte zwischen den Birken- und den mittelalten Kiefernbeständen festzustellen (Anlage 15). Die mit 44- bis 68jährigen Birken bestockten Substrate verfügen im C-Horizont über eine annähernd gleichhohe Basensumme (S-Wert) wie die Kiefernbestände vergleichbaren Alters (53 bis 70 Jahre). Aufgrund der höheren C_t -Substratgehalte sind im C-Horizont der Birkenstandorte KAK_{pot} - und H-Werte höher, die Basensättigung hingegen niedriger als bei den altersäquivalenten Kiefern.

In den Eichenbeständen zeichnen sich bei den S-, KAK_{pot} -, H- und V-Werten Tiefengradienten ab (Anlage 15). Die KAK_{pot} - und H-Werte im C-Horizont der mit Eichen bestockten Standorte liegen über jenen der mittelalten Birken- und Kiefernbestände und sind mit denen der GKI-Jungbestände vergleichbar. Dies ist teilweise auf die hohen C_t - und Ton-/Schluffgehalte in den Kippsubstraten der Eichen-Waldökosysteme zurückzuführen (Abb. 92.2, Tab. 43.2).

5.4.2.2 Profildifferenzierung und Bodentypen

Die Ausprägung des mineralischen Oberbodenhorizontes mit Akkumulation organischer Stoffe (A-Horizont) ist für die Einschätzung der Pedogenese und der Rückwirkung der Aufforstungsbaumarten auf den Standort von besonderer Bedeutung. Weitere genetische Differenzierungen (Horizontierung) wie Anzeichen einer Podsolierung sind bislang nicht erkennbar.

Der Abb. 74 (Kap. 5.4.1.2) ist ein altersabhängiger Anstieg der A-Horizontmächtigkeit unter Kiefer und Birke zu entnehmen; beide Baumarten stocken zumeist auf Sanden (Anlage 14). In den 24jährigen GKI-Jungbeständen auf der Kippe Kleinleipisch ist mit einer A-Mächtigkeit von 1,0 und 1,4 cm lediglich ein Ai-Horizont ($< 2,0$ cm) erkennbar. Die ≥ 37 jährigen Bestände verfügen über Aih- (= 2,0 cm) oder Ah-Horizonte ($> 2,0$ cm). Abb. 102 bestätigt den straffen Zusammenhang zwischen dem Bestandesalter (bis 60 Jahre) und der Gesamtmächtigkeit der A-Horizonte.

Da die Anreicherung organischer Stoffe im Oberboden u.a. von der Textur der Ausgangssubstrate abhängt, wird im humosen Oberbodenhorizont (A-Horizont) und im Cv-Horizont (unterhalb A bis 30 cm) der Bezug zur jeweiligen Bodenart hergestellt. Anlage 16 zeigt, dass bei den Lehmsand- und Sandlehm-Kiefernstandorten der jährliche Mächtigkeitsanstieg der A-Horizonte höher ist als bei den Reinsand-Kiefernstandorten. Das kann aus einer verlangsamten Einarbeitung (Bioturbation) der im Oh-Horizont fixierten organischen Stoffe bei niedrigerem Ton- und

Schluffanteil im Oberboden resultieren. Hinzu kommt, dass die im Vergleich zu den Reinsanden meist höheren Nährelementgehalte der Lehmsande und Sandlehme (Tab. 45) eine höhere Streuproduktion initiieren, die bei intakter (mikro)biologischer Stoffumwandlung und -verlagerung letztendlich eine höhere Stoffzufuhr zum A-Horizont und damit eine höhere A-Horizontmächtigkeit je Zeiteinheit bewirkt. Der 81jährige Kiefernbestand auf unverritztem Alt-Waldstandort (GB-SW) weist mit 1,2 mm/a eine wesentlich höhere jährliche Zunahme des A-Horizontes auf als die mittelalten Kiefern-Erstaufforstungen ($\bar{\varnothing}$ 61,1 Jahre). Offensichtlich ist die Entwicklung der A-Horizonte auf den Kippenstandorten noch nicht abgeschlossen. Außerdem könnte auf den gewachsenen Waldstandorten eine höhere Bioturbation und/oder intensiverer Wurzelaufschluss die bodengenetische Entwicklung begünstigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf dem unverritzten Waldstandort nur der Einfluss der gegenwärtigen Waldgeneration erfasst werden konnte.

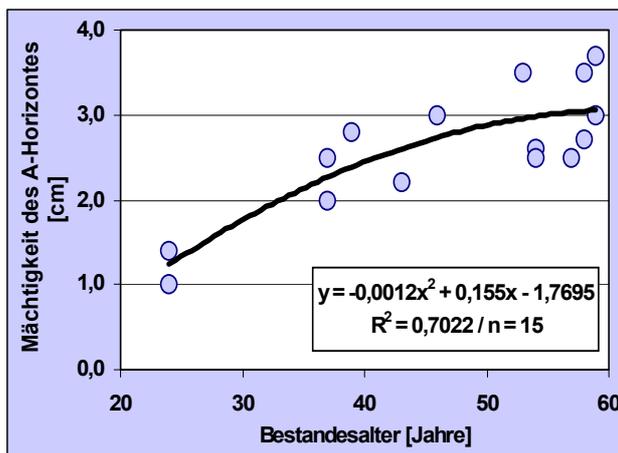


Abb. 102: Entwicklung der Gesamtmächtigkeit der A-Horizonte unter Kiefer in Abhängigkeit vom Bestandesalter (≤ 60 Jahre)

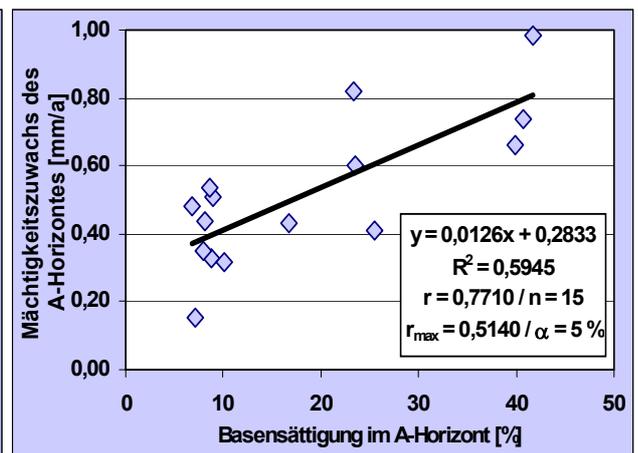


Abb. 103: Korrelation zwischen dem Zuwachs an Mächtigkeit in den Ah-Horizonten der mittelalten, nicht extrem flugaschebeeinflussten Kiefernforsten auf Reinsand und der Basensättigung der A-Horizonte

Bei Gruppierung der Kiefern-Kippenerstaufforstungen auf Reinsandstandorten, die nicht extrem flugaschegeprägt sind, zeigt sich, dass die Mächtigkeit der A-Horizonte signifikant von der Basensättigung im mineralischen Oberbodenhorizont abhängt (Abb. 103). Weiterhin deutet sich an, dass von den Quartärsubstraten über die Tertiärsubstrate bis zu den quartär-tertiären Mischsubstraten und mit zunehmendem C_t -Substratgehalt der jährliche Mächtigkeitzuwachs der Ah-Horizonte bei den 53- bis 70jährigen Kiefernbeständen ansteigt (Abb. 104.1 und 104.2). Die Ursache für diese Entwicklung könnte in der Grundmelioration der C_t -haltigen Kippsubstrate liegen. Die dadurch besser nährstoffversorgten, vitaleren Kiefernbestände bilden eine größere Na-

delmasse, so dass hier auch die Nadelstreumasse höher ist. Dies wiederum führt in Abhängigkeit von der Säure-Basen-Stufe der Humusformen zu einer stärkeren Verlagerung der Humifizierungsprodukte (incl. Bioturbation).

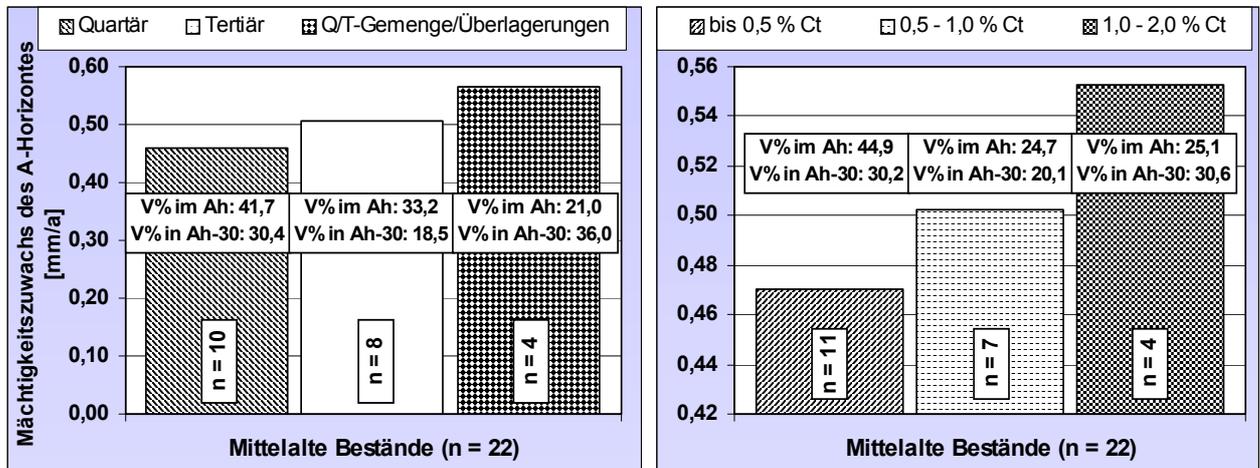


Abb. 104.1 und 104.2: Mächtigkeit der A-Horizonte unter Kiefer in Abhängigkeit vom geologischen Alter und dem C_t-Gehalt der Kippsubstrate

In den 37- bis 46jährigen Birken-Erstaufforstungen liegen Ai- und Aih-Horizonte, in den ≥ 50 jährigen Beständen fast ausschließlich Ah-Horizonte vor. Allerdings können die Ah-Horizonte unter Birke aufgrund der häufig auftretenden Humusform Graswurzelfilzmoder teilweise aufgezehrt sein.

Schlüssige Zusammenhänge zwischen den Bodenartengruppen und der Mächtigkeit der A-Horizonte kristallisieren sich bei den Birkenstandorten nicht heraus (Anlage 16). Die Birken stocken überwiegend auf nur unzureichend mit Basen versorgten Kippsubstraten (Kap. 5.4.2.1.4 und Anlage 15). Dies spiegelt sich in der altersabhängigen Anreicherung des A-Horizontes wider (Abb. 74 und Tab. 47). Die beiden Ergänzungsbestände der Altersstufe 30 bis 39 Jahre (Domsdorfer Kippe) weisen trotz des hohen C_t-Gehaltes wegen der durchgeführten Grundmelioration hohe Basensättigungswerte und eine für diese Altersstufe hohe jährliche A-Horizont-Zuwachsrate auf. Bei den nicht bzw. unzureichend grundmeliorierten ≥ 40 jährigen Birken-Kippenstandorten zeichnet sich im A-Horizont und in der Bodentiefenstufe unterhalb A bis 30 cm eine durch Stoffkreisläufe initiierte, allmähliche Basenanreicherung ab, die mit dem Anstieg der jährlichen Zuwachsrate im Ah-Horizont korrespondiert. In diesen Birkenbeständen ist der zeitabhängige Etablierungsgrad ökosystemarer Stoffflüsse der kardinale Einflussfaktor für die Entwicklung der Mineralbodenhorizonte.

Tab. 47: Jährlicher Mächtigkeitzuwachs des A-Horizontes auf den Birkenstandorten in Abhängigkeit von der Basensättigung (V-Werte) im A-Horizont und in der Bodentiefe unterhalb A bis 30 cm nach Altersstufen

Altersstufe [Jahre]	n	C _t [M.-%]	V im A-Horizont [%KAK _{pot}]	V unterhalb A bis 30 cm [%KAK _{pot}]	Akkumulationsrate [mm/a]
30 – 39 GM	2	6,74	60,53	45,03	0,466
40 – 49 uGM	2	1,79	33,30	9,86	0,423
50 – 59 uGM	7	1,81	36,28	21,12	0,482
60 – 69 uGM	3	0,52	68,73	43,78	0,521

GM = Grundmelioration durchgeführt

uGM = keine oder unzureichende Grundmelioration durchgeführt

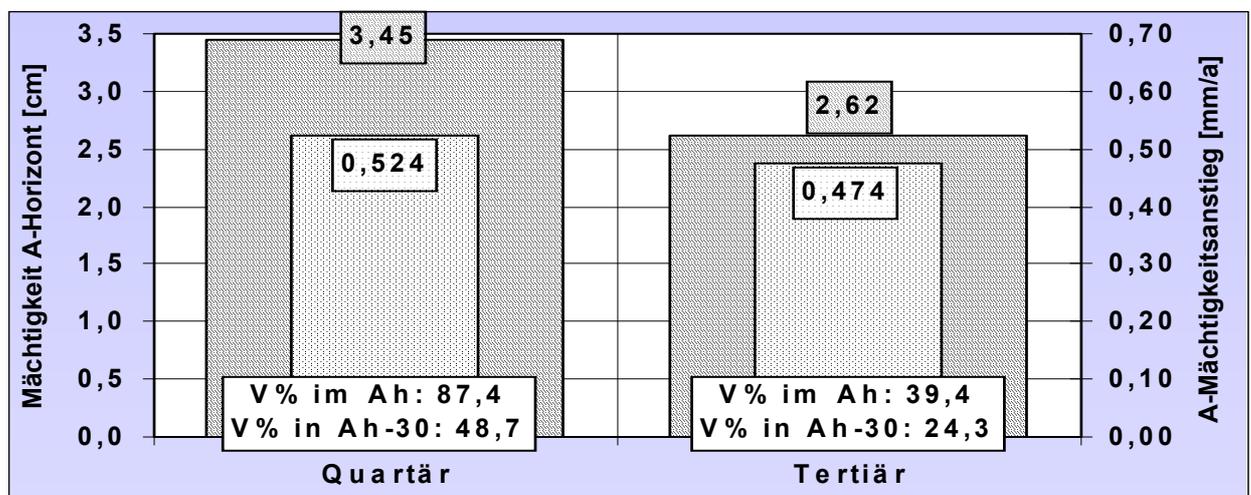


Abb. 105: Gesamtmächtigkeit und jährlicher Mächtigkeitserhöhung der A-Horizonte auf quartären und tertiären Birken-Kippenstandorten

Die Gruppierung der 44- bis 68jährigen Birken-Referenzbestände nach dem geologischen Alter der Kippsubstrate bestätigt den basenabhängigen Mächtigkeitserhöhung der A-Horizonte (Abb. 105). Die mittlere Gesamtmächtigkeit und der mittlere jährliche Mächtigkeitserhöhung des A-Horizontes sind in den quartären Kippsubstraten deutlich höher als in den tertiären. Dies spricht für eine verlangsamte bodengenetische „Reifung“ der tertiären Substrate im Vergleich zu den quartären, wenn die Grundmelioration nicht oder unzureichend ausgeführt wurde. Stark saure Bodenreaktionen wirken sich demzufolge nachteilig auf die Bodengenese aus.

Bei den mit Eiche bestockten Standorten liegt die Mächtigkeit der A-Horizonte meist im Bereich der Ai- bis Aih-Definition (AG Boden 1996). In den Altersstufen der untersuchten Eichenbestände wurden folgende A-Horizontmächtigkeiten ermittelt:

- 20 bis 29 Jahre (n = 6): 1,93 cm
- 30 bis 39 Jahre (n = 4): 2,25 cm
- 40 bis 49 Jahre (n = 2): 2,70 cm

Die Zuordnung des jährlichen Anstieges der A-Horizontmächtigkeit zu den Bodenarten im A-Horizont und in der Tiefenstufe unterhalb A bis 30 cm (Anlage 16) ergab auch bei den Eichenflächen keine schlüssige Aussage. Demgegenüber ist wiederum ein bodengenetischer Einfluss der Aciditätsverhältnisse feststellbar. Zwischen dem jährlichen Mächtigkeitsanstieg des A-Horizontes in den 24- bis 45jährigen Eichenbeständen und der Basensättigung im A-Horizont und in der Tiefenstufe unterhalb A bis 30 cm besteht ein durch hohe Bestimmtheitsmaße belegter, sehr straffer, logarithmischer bzw. polynomischer Zusammenhang (Abb. 106.1 und 106.2).

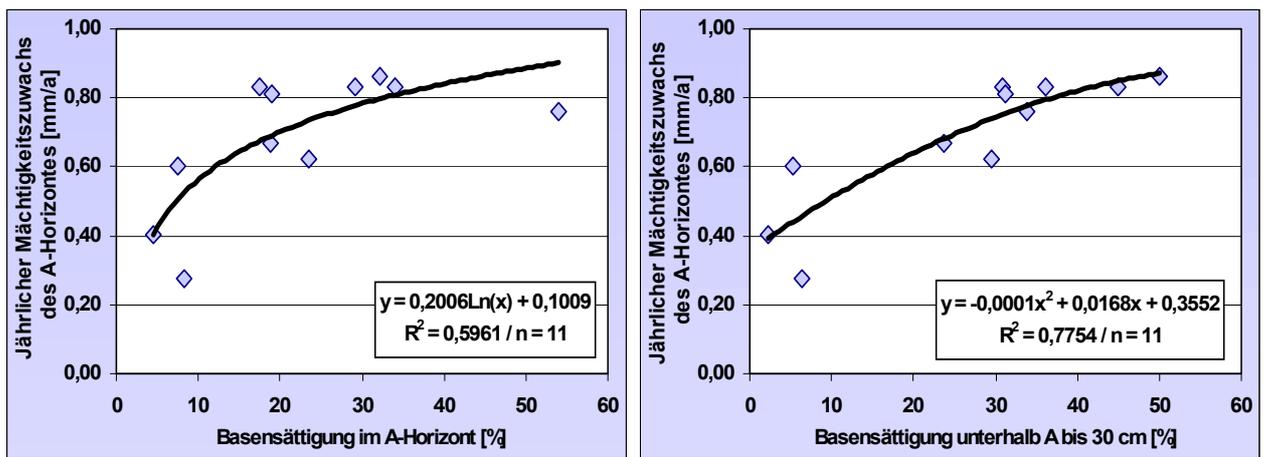


Abb. 106.1 und 106.2: Korrelationen zwischen der jährlichen Zunahme der A-Horizontmächtigkeit und der Basensättigung im A-Horizont sowie in der Tiefenstufe unterhalb A bis 30 cm unter Eiche

Zusammenfassend ist feststellbar, dass die Entstehung eines Ah-Horizontes (Mächtigkeit > 2 cm) und des Bodentyps „Regosol“ unter Kiefer nach 35 bis 40 Jahren, unter Birke nach 40 bis 45 Jahren und unter Eiche nach 25 bis 40 Jahren einsetzt. In jüngeren Beständen der jeweiligen Rekultivierungsbaumart sind „Syrosem“ ($A_i < 2$ cm) oder „Lockersyrosem-Regosole“ (A_{ih} ca. 2 cm mächtig) ausgebildet. Nach KATZUR und HAUBOLD-ROSAR (1997) erfolgt im Lausitzer Braunkohlenrevier die Entwicklung vom Lockersyrosem zum Regosol unter Wald bei Lehmsanden in 20 bis 25 Jahren und bei nährstoffarmen Sanden in 30 bis 35 Jahren. Die Ausbildung der A-Horizonte kann in Abhängigkeit von der Bodenart und der Basensättigung im A- sowie im C-Horizont variieren. Demnach ist die Bodengenese nicht nur ein substratabhängiger Prozess, sondern wird maßgeblich von der Eingriffsstärke zur Behebung fruchtbarkeitsbegrenzender Bodeneigenschaften (Grundmelioration) beeinflusst. Daraus ergibt sich bei allen drei Baumarten die Notwendigkeit, eine tiefgreifende Grundmelioration kohle- und/oder schwefelhaltiger Kippenböden nach der Säure-Base-Bilanz (SBB) im Vorfeld der biologischen Rekultivierung zu realisieren (ILLNER und KATZUR 1964a, KATZUR 1971). Weitere Einflussfaktoren auf die Mächtigkeit der mineralischen, humusangereicherten Oberbodenhorizonte können das geologische Alter und der C_T -Gehalt der Kippsubstrate sein.

5.5 Waldbauliche Empfehlungen für die forstwirtschaftliche Folgenutzung

Auf den kohle- und schwefelhaltigen Kippsubstraten ist grundsätzlich eine substratangepasste, tiefreichende Grundmelioration notwendig, um Wüchsigkeit und Stabilität der Kippenbestände zu gewährleisten (ILLNER und KATZUR 1964a+b, KATZUR 1998a). Der insgesamt gute bis sehr gute Ernährungszustand der Kippenbestände zeigt, dass nach der Grundmelioration mit NPK-Mineraldüngergaben im Laufe des weiteren Bestandeslebens keine weiteren Kalk- bzw. Düngemittelgaben erforderlich sind. Ausnahmen sind in extrem depositionsbeeinflussten Beständen möglich, da hier Nährstoffungleichgewichte auftreten können. Allerdings sollte auf den unzureichend grundmeliorierten mittel bis stark kohle- und schwefelhaltigen Kippenstandorten (C_t 2 bis 15 M.-%) der Waldumbau mit einer Kalkgabe kombiniert werden, um den Silicatpufferbereich zu erreichen und die Etablierung der zweiten Waldgeneration zu begünstigen.

Wuchsleistung und Ernährungsstatus der 53- bis 70jährigen Kiefern belegen, dass die Primäraufgaben der **ersten Waldgeneration** weitgehend erfüllt werden. Hierbei sind insbesondere die Bodenbedeckung und der für die Etablierung ökosystemarer Stoffflüsse bedeutsame Aufbau eines Humuskörpers durch Streufall, Akkumulation von Nährstoffen in der organischen Bodensubstanz und Bildung von rezenten Humusstoffen zu nennen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen aber auch, dass die Kiefernforsten der ersten Waldgeneration das standörtliche Leistungspotenzial vielfach nicht ausschöpfen. Das ist zumeist auf die Unterschätzung des trophischen Potenzials der Kippenböden und den unzureichenden Kenntnisstand über die standortaufwertende Wirkung kohlgiger Beimengungen (Verbesserung des Nährstoff- und Wasserspeichervermögens, erhöhte N-Freisetzung) aber auch auf die ökonomischen Zwänge zum Rekultivierungszeitpunkt zurückzuführen. Die untersuchten grundmeliorierten kohlefreien bis kohlehaltigen Kipp-Reinsande und Kipp-Lehmsande ($\leq 5,0$ M.-% C_t) sind demnach auch für eine Begründung von Mischbeständen aus Baumarten mit vorzugsweise naturalwirtschaftlichen (GKI, EI, ELA) und bodenökologisch-meliorativen Effekten (WLI, HBU, RER) geeignet. Die Baumartenkombinationen ELA-WLI(-RER) und EI-WLI(-HBU) haben sich als geeignete waldbauliche Alternativen zu den Kiefern-Reinbeständen erwiesen. Sie gewährleisten eine vertikale Strukturierung, erhöhen die Baumartendiversität und verbessern die Bestandesstabilität.

Die ernährungs- und bodenkundlichen Befunde in den Birken-Kippenbeständen lassen darauf schließen, dass die Gemeine Birke auf den unzureichend meliorierten tertiären Kippsubstraten aufgrund ihres ausgeprägten Pioniercharakters als Rekultivierungsbaumart geeignet ist. Sie erfüllt auf diesen Standorten in hohem Maße bodenökologische Funktionen. Jedoch dokumentie-

ren die wachstumskundlichen Kenndaten einen unbefriedigenden Produktivitätsstatus. Deshalb ist grundsätzlich die substratangepasste Grundmelioration nach SBB (ILLNER und KATZUR 1964a+b, KATZUR 1971) und anschließende Erstaufforstung mit multifunktional befriedigenden Baumartenkombinationen der unzureichenden meliorativen Verbesserung der Aciditätsverhältnisse und anschließenden Begründung mit Birke vorzuziehen. SCHÄLICHE (1960) empfiehlt, bei der Neuaufforstung von Rohkippen keine GKI- und GBI-Reinbestände anzulegen.

Die Untersuchungsergebnisse in den 24- bis 45jährigen TEI-Kippenbeständen, vor allem ihre sehr guten Wuchsleistungen, zeigen, dass die Traubeneiche in ihren Standortsansprüchen oft überschätzt wird. Die Eiche ist demnach nicht nur auf sorptionsstarken Lehmsanden und Sandlehmen begründbar. Bei meliorativer Kompensation der leicht beeinflussbaren fruchtbarkeitsbegrenzenden Bodeneigenschaften (Säurezustands- und Humusform) erbringt sie wahrscheinlich bereits auf schwach bis mittel kohlehaltigen tertiären sowie quartären und tertiär-quartären, schwach lehmigen, schwach tonigen und schwach schluffigen Sanden akzeptable bodenökologische und wachstumskundliche Leistungen bei zugleich gutem Vitalitäts- und Stabilitätszustand.

Insgesamt gilt, dass sich die forstliche Rekultivierungspraxis strikt am standörtlichen Leistungspotenzial der Kippenstandorte orientieren muss. Bei der Baumartenwahl ist jedoch der kleinflächige Substratwechsel zu beachten. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Kippenstandorte zumeist ein höheres standörtliches Leistungspotenzial besitzen als lithofaciell vergleichbare altdiluviale Waldstandorte. Allerdings ist derzeit nicht abschätzbar, wie lange das relative Nährstoff-Mehrangebot der Kippsubstrate und die Vorteilswirkungen kohlgiger Beimengungen anhalten werden.

Bei den untersuchten Kiefern- und Birkenbeständen kristallisieren sich als waldbauliche Schwerpunktaufgaben retrospektiv die Notwendigkeit kontinuierlicher, stabilitätserhaltender bzw. -erhöhender Erziehungs- und Pflegemaßnahmen (insbesondere in der Jungbestandesphase) und perspektivisch der Waldumbau (insbesondere der Birken-Erstaufforstungen), d.h. die Einleitung der **zweiten Waldgeneration** heraus. Die Dringlichkeit des Waldumbaus ergibt sich aus der unzureichenden funktionalen Nutzung (z.B. Bodenschutz, Naturschutz, Erholung, Produktivität) der standörtlichen Potenziale durch die aufstockenden Kiefern- und Birken-Kippen-erstaufforstungen.

Im Hinblick auf den Umbauzeitpunkt muss zwischen den beiden Rekultivierungsbaumarten differenziert werden. Von den 53- bis 70jährigen Kiefernbeständen sollten nur jene auf Laub- bzw.

Laubmisch-Folgegenerationen aktiv verjüngt werden, die durch biotische oder abiotische Schadereignisse auf Schlussgrade $< 0,70$ aufgelichtet wurden. Da die Kiefern dieser Altersspanne über positive Vitalitätsmerkmale (Kap. 5.1.2), beachtliche Ertragsleistungen (Kap. 5.1.1.1) und oftmals sehr gute Schaftqualitäten verfügen, liegt der waldbauliche Handlungsschwerpunkt auf dem Oberstand. Die über das Maß einer straffen Durchforstung hinausgehende Auflichtung würde im Kiefernoberstand zu Massenleistungs- und Werteinbußen führen. Der Waldumbau der Kiefern-Kippenforsten ist deshalb in Abhängigkeit von der Bestandesvitalität und -qualität (je schlechter desto früher) sowie unter Berücksichtigung der Standortsgüte erst ab einem Bestandesalter von ca. 80 bis 90 Jahren einzuleiten. Hierbei kann die Verjüngung künstlich (Voranbau), natürlich oder natürlich und künstlich kombiniert (z.B. Trupppflanzungen) erfolgen. LANDECK et al. (2000) verweisen auf die beachtlichen Naturverjüngungspotenziale unter Kiefer auf den Kippenstandorten der Lausitz. Vor allem die Baumarten Trauben-/Stieleiche, Eberesche, Winterlinde, Gemeine Birke und Gemeine Kiefer konnten individuenreich in der Naturverjüngung nachgewiesen werden. Die höchsten Individuendichten wurden auf Standorten mit hoher bis sehr hoher Basensättigung im Ah-Horizont vorgefunden. Die Rotbuche ist aufgrund fehlender Samenbäume in der Naturverjüngung nicht nachweisbar. Europäische Lärche spielt ebenfalls in der Naturverjüngung keine Rolle und verjüngt sich selbst unter Lärchenschirm nicht. Bei der Baumart Gemeine Birke setzt in der Altersstufe 60 bis 69 Jahre eine zunehmende natürliche Mortalität ein, die zur Auflichtung des Oberstandes und zu verjüngungshemmender flächendeckender Vergrasung führt. Viele der Birken-Kippenbestände aus der sogenannten „Birkenzeit“ sind qualitativ und funktional nicht befriedigend und bedürfen daher einer waldbaulichen Neustrukturierung. Deshalb ist ab der Altersstufe IVj (60 bis 69 Jahre) die Einbringung der zweiten Waldgeneration zu empfehlen. Wegen der meist unbefriedigenden natürlichen Verjüngung ist unter Birke vorzugsweise künstlich zu verjüngen (Voranbau).

Voranbauversuche von KATZUR et al. (1999b+d) unter Kiefer und Birke mit 2- bis 5jähriger Beobachtungsdauer auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres und eigene Untersuchungen deuten darauf hin, dass auf den grundmeliorierten, mit Kiefern bestockten kohlefreien bis schwach kohlehaltigen Reinsanden Mischungen aus Traubeneiche als Hauptbaumart und Winterlinde, Hainbuche oder Spitz-/Bergahorn als Nebenbaumart geeignete Baumartenmischungen der zweiten Waldgeneration sind. Auf grundwassernahen ton- und schluffreichen Böden ist die Stieleiche zu bevorzugen. Darüber hinaus kann Spitzahorn auch als führende Baumart in Mischung mit Winterlinde oder Hainbuche begründet werden (SAH-WLI, SAH-HBU). Voranbauversuche mit Rotbuche und Douglasie unter Kiefer und Birke lassen ebenfalls eine ausreichende Nährelementversorgung, zufriedenstellende Wuchsleistungen und sehr hohe An-

wuchsprozente von 99 % (RBU nach fünf Vegetationsperioden) und 97 % (DG nach drei Vegetationsperioden) erkennen (KATZUR et al. 1999b), wenn das Pflanzenmaterial von guter Qualität ist. Allerdings befindet sich die Buche in der Lausitz am Rande ihres Verbreitungsgebietes, was durch die im Vergleich mit den übrigen Baumarten unterdurchschnittlichen Höhenzuwächse bestätigt wird. Sie ist deshalb nur auf den hydrotrophisch günstigsten Standorten anzubauen. Die umgebauten Birken-Kippenforsten stocken auf grundmeliorierten schwach bis mittel kohlehaltigen Rein- und Lehmsanden. Insgesamt erwiesen sich auch hier die Baumartenkombinationen TEI-WLI und TEI-HBU sowie VKB-WLI und SAH-WLI als vielversprechend für die folgende Waldgeneration. Wesentlich ist, dass der aktive Waldumbau wegen des hohen Wilddruckes in den Kippengebieten (LANDECK et al. 2000) Zaunschutz voraussetzt.

Infolge der schwierigen Kippen-Standortsbedingungen muss grundsätzlich Pflanzenmaterial verwendet werden, das standörtlich adaptiert ist. Nach KATZUR et al. (1999b) und HEINZEL et al. (2000) sind die Pflanzensortimente 2/0, 1/1 und 1/2 mit Höhen zwischen 40 und 60 cm für die Begründung der zweiten Waldgeneration auf Kippenstandorten geeignet. Sie zeigen gute Anwuchserfolge und gewährleisten, dass in der Regel nach zwei Vegetationsperioden die Kulturpflege nicht mehr notwendig ist. Die Anlage von Saaten zwecks Umbau der ersten Kippen-Waldgeneration ist im Lausitzer Braunkohlenrevier weitgehend unerforscht. Jedoch wurden von GRÜNING in den 60er Jahren mit gutem Erfolg REI-Saaten auf grundmeliorierten Kippenstandorten der ehemaligen Tagebaue Kleinleipisch und Grünwalde bei Lauchhammer angelegt (KATZUR 2002, mdl. Mitt.).

Für den Waldumbau der Kippenreinbestände in artenreichere, strukturierte und stabile Folgebestände sind gruppen-, horst- und/oder streifenweise Baumartenmischungen zu präferieren. Sie kombinieren die produktive Funktion der Forstökosysteme mit den protektiven und infrastrukturellen Leistungen der Bestockung. Außerdem gewährleisten flächenweise Mischungen einen vertikal differenzierten Wurzelauflauf der Substrate und bestmögliche Wuchsbedingungen für die jeweilige Baumart. Da kleinstflächige interspezifische Konkurrenzwirkungen minimiert werden, verringert sich der Pflegeaufwand für die Mischungsregulierung bei gleichzeitiger Sicherung der erwünschten Baumartenmischung in der Bestandeszielstruktur. Baumartenmischungen von Rotbuche und Edellaubhölzern bedürfen aufgrund der RBU-Konkurrenzstärke einer mindestens horstweisen Flächentrennung. Letztendlich bieten flächige Baumartenmischungen die Option, einige Teilflächen für eine spätere Naturverjüngung vorzubehalten.

6. Zusammenfassung

Auf repräsentativen Kippenstandorten des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres wurden typische Forstökosysteme der ersten Generation analysiert. **Gegenstand** der Untersuchung waren mittelalte Bestände (46- bis 70 Jahre) der Rekultivierungsbaumarten Kiefer und Birke sowie 24- bis 45jährige Jungbestände der Baumarten Trauben- und Roteiche. Für altersspezifische und standortsvergleichende Betrachtungen erfolgte eine zusätzliche Einbeziehung von Ergänzungsbeständen auf Kippenstandorten und Vergleichsbeständen auf unverritzten Waldstandorten. Die untersuchten Erstaufforstungen stocken auf Kippenkomplexen, die klimatisch, hydrologisch und geomorphologisch vergleichbar sind und baumartenweise weitestgehend identischen bodenmeliorativen Maßnahmen sowie waldbaulichen Behandlungsverfahren unterzogen wurden.

Ziel der Untersuchung war die Qualifizierung der Wechselwirkungen zwischen Kippenstandort und aufstockendem Bestand. Als Leitgrößen für die Wirkung standörtlicher Merkmale auf die Baumarten dienten wachstums- (Leistungsparameter) und ernährungskundliche Kenndaten (Vitalitätsweiser). Quantität und Qualität der Humusaufgabe sowie die bodengenetische Entwicklung wurden als Indikatoren für die Rückwirkungen der bestandesbildenden Rekultivierungsbaumarten auf den Standort verwendet. Besondere Berücksichtigung fand das lokale Depositionsgeschehen.

6.1 Auswirkungen des Standortes auf die Kippen-Forstökosysteme

Die mittelalten **Kiefern**-Erstaufforstungen stocken auf kohlefreien und schwach kohlehaltigen Reinsanden und die Kiefern-Jungbestände auf schwach bis mittel kohlehaltigen Rein- und Lehmsanden.

Die Kiefern-Kippenforsten erreichen überwiegend gute bis sehr gute Bonitäten. Die Wuchsleistungen der 53- bis 70jährigen GKI-Erstaufforstungen übertreffen deutlich die Leistungen gleichaltriger Kiefernbestände auf lithofaciell vergleichbaren Alt-Waldstandorten. Erwartungsgemäß sind die Ertragsleistungen auf den Standorten mit hohen Schluff- und Tonanteilen tendenziell besser als auf den Reinsanden. Auf den grundmeliorierten Kippenstandorten erhöhen kohlige Beimengungen bis 2,0 M.-% C_t das standörtliche Leistungspotenzial. Als Ursachen sind vor allem das höhere Wasserspeicherungs- und -transformationsvermögen sowie die höhere N-Freisetzung aus der fossilen organischen Substanz zu nennen. Die besten Bonitäten erreicht die

Kiefer auf den Gemenge-Kippbodenformen und den zumeist 40 bis 60 cm mächtigen tertiären Abraums substraten über quartärem Untergrund (Substratschichtung).

Die Höhenwachstumskurven der Kiefern-Kippenforsten zeigen einen kippenspezifischen Verlauf mit drei Entwicklungsphasen. Nach anfänglich depressivem Wachstum und der darauffolgenden progressiven Entwicklungsphase nähert sich das Wachstum der Kippenforsten an das der Ertragstafelbestände an.

Die ernährungskundlichen Befunde der Kiefern-Erstaufforstungen belegen eine ausreichende Stickstoffversorgung und geringe atmogene N-Belastung. Mit zunehmenden N_t -Bodenvorräten steigen die N-Nadelspiegelwerte tendenziell an und die C/N-Verhältnisse werden enger. Von besonderer Bedeutung für die N-Versorgung sind offenbar die N-Gehalte im Ah-Horizont. Die P-Ernährung verbessert sich mit der Bildung und Akkumulation N- und P-reicher rezenter Humusstoffe und daher mit zunehmendem Bestandesalter. Weiterhin sind die Kiefernbestände mit Calcium, Magnesium und Kalium überwiegend optimal bis luxuriös versorgt. Die hohen Ca-Nadelspiegelwerte und die günstigen Mg-Gehalte sind auf meliorative Düngekalk- und/oder Aschegaben, den Einsatz Mg-haltiger Mineraldüngemittel sowie basische Stoffeinträge zurückzuführen. Die S_t -Nadelspiegelwerte der untersuchten Kiefern-Erstaufforstungen lassen auf atmogene Schwefeleinträge schließen.

Die 44- bis 68jährigen **Birken**-Erstaufforstungen stocken zumeist auf tertiären, schwach bis stark kohlehaltigen Rein- und Lehmsanden, die nicht ausreichend in ihren Aciditätsverhältnissen verbessert wurden. Sie weisen 3. bis 4. Ertragsklassen (LOCKOW 1996) und Zuwachsleistungen bis $4,7 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ auf. Der laufende jährliche Derbholzzuwachs wird mit zunehmender Altersstufe geringer. Er ist ein Indiz für den Pioniercharakter der Birke. Bei den Birken-Kippenbeständen ist eine signifikante Verschlechterung der Ertragsklasse mit zunehmendem geogenen C_t -Gehalt (bis $C_t = 2,32 \text{ M.-%}$) nachweisbar. Der durchschnittliche Gesamtwuchs (DGZ_{100}) nimmt signifikant mit steigenden Basensättigungs- und pH_{KCl} -Werten zu.

Die Birkenbestände vollziehen auf den Kippenstandorten zwei Entwicklungsphasen. Nach der überwiegend im Jungwuchsstadium ablaufenden depressiven Anpassungsphase zeichnet sich eine Phase nahezu ertragstafelgerechter Höhenzuwachsentwicklung ab. Sie belegen, dass die Birke nach einer gewissen Wachstumszeit verhältnismäßig gut an die schwierigen Kippen-Standortsverhältnisse angepasst ist.

Die N_t -Blattspiegelwerte der Birken-Erstaufforstungen liegen im Optimalbereich. Tendenziell erhöhen sich die N_t -Blattspiegelwerte mit zunehmendem Bestandesalter sowie mit steigenden N_t -Gehalten bzw. -Vorräten im Auflagehumus und im Ah-Horizont. Die ernährungskundlichen Kenndaten deuten auf eine Stabilisierung bzw. Etablierung ökosystemarer N-Kreisläufe in den über 50- bis 60jährigen GBI-Reinbeständen hin. Die P-Spiegelwerte steigen tendenziell mit zunehmenden P-Vorräten in der Humusauflage an. Bei P-Gehalten $< 0,02$ % im Ah-Horizont und $< 0,01$ % im C-Horizont ist eine signifikante Zunahme der P-Blattspiegelwerte mit den Phosphor-Gehalten der jeweiligen Bodentiefe nachweisbar. In den untersuchten Birkenbeständen erwiesen sich N-, P- und K-Blattgehalte von 2,2 bis 3,0 % N_t , 0,15 bis 0,30 % P_t und 0,80 bis 1,20 % K_t als günstig für Wuchsleistung und Ernährungsstatus. Sie ergeben Anteile von 65 bis 74 % N_t , 4 bis 7 % P_t und 22 bis 28 % K_t an der NPK-Nährstoffsumme. Die Ca- und Mg-Versorgung entspricht ebenfalls dem Optimal- bis Luxusbereich. Atmosphärisch eingetragene Fremdstoffe erhöhen die Calcium- und Magnesium-Blattspiegelwerte. Der obere Schwellenwert des physiologischen Ca-Bedarfs beträgt ca. 1,20 %. Bei Nährstoffgehalten des C-Horizontes von $> 0,015$ % Phosphor, $> 0,15$ % Calcium und $> 0,03$ % Magnesium wird der Ernährungsstatus der Birken-Kippenforsten nicht weiter verbessert. Die Elementfreisetzung durch Pyritverwitterung (Fe und S_t) hatte bislang keine erkennbaren phytotoxischen Folgen.

Die Rekultivierungsbaumart **Eiche**, insbesondere die Traubeneiche, wurde erst ab den 60er Jahren, nachdem die wissenschaftlichen Grundlagen für die nachhaltige Verbesserung der Aciditätsverhältnisse schwefelhaltiger Kippenböden geschaffen und in die Rekultivierungspraxis eingeführt waren, verstärkt auf den Kippen begründet. Die untersuchten Trauben- und Roteichen-Referenzbestände sind deshalb erst 24 bis 45 Jahre alt.

Die exzellenten Wuchsleistungen der **Traubeneichen**-Reinbestände auf den schwach bis mittel kohlehaltigen Lehmsanden und Sandlehmen (Ekl. -0,3 bis 1,4) sind in erster Linie auf das hohe Leistungspotenzial der kohlehaltigen, schwach bis stark lehmigen tertiären Sedimente zurückzuführen. Das bestätigt einerseits die Eignung dieser Baumart für die Kippen-Erstaufforstung und andererseits die Eignung grundmeliorierter Kippenstandorte für den Anbau anspruchsvoller Baumarten. Es deutet sich eine Verbesserung der Bonitäten und Zuwächse mit zunehmendem Bestandesalter an. Die vergleichsweise geringen Ertragsleistungen der **Roteichen**-Erstaufforstungen belegen, dass die Roteiche, vor allem in den letzten 40 Jahren, auf sorptionsschwachen, unzureichend meliorierten Substraten angebaut wurde. In diesen REI-Beständen sind die Aciditätsweiser Basensättigung und pH-Wert die das Wachstum begrenzenden Bodenfruchtbarkeits-

kennziffern. Deshalb ist auch bei der als anspruchslos geltenden REI im Vorfeld der Begründung eine nachhaltige Verbesserung der Aciditätsverhältnisse erforderlich.

Bei einer an den Standort angepassten und bis in 60 cm Bodentiefe reichenden Grundmelioration weisen die Eichenbestände auf den zumeist tertiären Substraten einen Wuchsgang auf, der mit dem unverritzter Waldstandorte vergleichbar ist (keine Kippenspezifität).

Die N_t -Blattspiegelwerte der Eichen-Jungbestände dokumentieren einen im Vergleich zu den unverritzten Waldstandorten geringeren Kulturzustand der Kippen-Neulandwaldböden. Mit zunehmendem Bestandesalter deutet sich ein Anstieg der N_t - und P-Blattspiegelwerte an. Der optimale N_t -Versorgungsbereich liegt offenbar bei 2,0 bis 2,8 %. Die REI-Bestände haben auf vergleichbaren Substraten geringere P- und K-Blattspiegelwerte als die Traubeneichen. Insgesamt ist in den Eichen-Jungbeständen bei P-Blattspiegelwerten $> 0,25$ % von einer Überschreitung des tatsächlichen P-Bedarfes auszugehen. Auf den Alt-Waldstandorten sind die mittleren NPK-Summen sowie die relativen N- und P-Anteile an der NPK-Nährelementsumme der Eichenblätter höher, die relativen K-Anteile hingegen niedriger als auf den mit Traubeneiche aufgeforsteten Kippenstandorten.

Bedingt durch den kurzen „Einwirkungszeitraum“ der meliorativen Asche- und/oder Düngerkalkgaben liegen die Calcium-Blattgehalte der Eichen im Bereich einer Optimal- bis Extremversorgung. Unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen den Nährelementen der Kationen- und Anionengruppe können in den untersuchten EI-Beständen die ermittelten Ca-Blattspiegelwerte von 0,6 bis 1,3 % als optimal bewertet werden. Die Magnesium-Blattgehalte steigen mit zunehmenden Mg-Gehalten in den Ah-Horizonten. Die Ca- und K-Blattspiegelwerte der jungen Eichenbestände sind weitgehend mit den auf unverritzten Waldstandorten ermittelten Spiegelwerten vergleichbar. Im Unterschied hierzu fallen im Durchschnitt bei den Kippenbeständen die P-Blattspiegelwerte niedriger und die Mg-Gehalte höher aus als auf den Alt-Waldstandorten. Die Verwitterung des Pyrits (FeS_2) in den kohlehaltigen tertiären Sedimenten führt nicht zwangsläufig zur Erhöhung der S_t - und Fe-Gehalte der Eichenblätter. Die waldwachstums- und ernährungskundlichen Erhebungen in den Eichenökosystemen lassen insgesamt darauf schließen, dass es sich um „unreife“ Waldökosysteme handelt.

Die Mikronährstoff- und Schwermetall-Blattspiegelwerte aller untersuchten Rekultivierungsbaumarten weisen erhebliche Schwankungen auf. Es liegen aber keine Hinweise für negative physiologische Wirkungen vor.

In den GKI-, TEI- und REI-Reinbeständen des „Kleinleipischer Meliorationsversuches“ konnte nachgewiesen werden, dass Meliorationen bis 60 cm Tiefe günstige Wachstumsbedingungen bieten. Eine Vertiefung des Meliorationshorizontes auf 100 cm bewirkt keine weitere Verbesserung der Ertrags- und Ernährungssituation. Wesentlich bedeutsamer ist die richtige Bemessung der meliorativen Düngekalk- bzw. Aschegaben nach der Säure-Base-Bilanz (SBB).

6.2 Rückwirkungen der Baumarten auf den Kippenstandort

6.2.1 Bestandesdepositionen

Das Depositionsgeschehen im Untersuchungsgebiet weist erhebliche regionale Differenzierungen auf. Auf der Briesker Hochkippe wurden extrem hohe Suszeptibilitätswerte ermittelt. Demgegenüber war die atmogene Fremdstoffbeeinflussung auf den Kippen Tröbitz Nord und Domsdorf vergleichsweise gering. Die Suszeptibilitätswerte der Kippenkomplexe Annahütte und Kleinkoschen liegen im mittleren Bereich. Auf Kippenkomplexen mit geringer Fremdstoffbelastung ist ein straffer Zusammenhang zwischen der Fremdstoffakkumulation im Auflagehumus bzw. im Ah-Horizont und dem Bestandesalter nachweisbar.

Die pH-Werte, die Basensättigung und der für den Säureaustausch verfügbare Basengehalt (Pufferung) in den Humusauflagen der Kiefern- und Birken-Referenzbestände belegen eine deutliche Verbesserung der Aciditätsverhältnisse durch den atmogenen Eintrag basischer Fremdstoffe. In den jungen Eichen-Waldökosystemen ist wegen des kürzeren Entwicklungs- und Beeinflussungszeitraumes lediglich ein tendenzieller Zusammenhang zwischen den Aciditätsweisern in der Humusaufgabe und den deponierten basischen Flugstaubeinträgen festzustellen.

Die C_t -, Ca-, Mg-, K- und S_t -Elementvorräte in den Humusauflagen der Kiefern- und Birken-Kippenbestände wurden durch die Depositionen erhöht. Im Ah-Horizont unter Kiefer und Birke führte der atmogene Eintrag von Kohlestäuben zur Erhöhung der Schluffanteile und zu Aufbaungen. Alters-, entwicklungs- und baumartenbedingte Aciditätsunterschiede wurden, vor allem im Ah-Horizont, durch atmogene Stoffdepositionen nivelliert.

6.2.2 Quantitative und qualitative Entwicklung der Humusaufgabe

Die Anreicherung der organischen Substanz ist in den Humusaufgaben unter Kiefer, Birke und Eiche signifikant vom Bestandesalter abhängig und wird durch den atmosphärischen Fremdstoffeintrag modifiziert. Die Akkumulationsrate der organischen Substanz ist in den Kiefernforsten (\varnothing 1,52 t/ha*a) höher als in den Birkenbeständen (\varnothing 1,38 t/ha*a) vergleichbaren Alters.

Eine altersabhängige Horizontentwicklung ist unter mittelalter Kiefer und Birke am deutlichsten im Oh-Horizont nachweisbar. Unter beiden Baumarten -insbesondere unter Birke- führen basische Fremdstoffeinträge zu geringmächtigeren L-Horizonten und zu einem Mächtigkeitsanstieg der Oh-Horizonte. Somit fungiert die Oh-Schicht als Fremdstoffspeicher (KLOSE et. al 2001). Die Humusaufgabenschicht ist unter den mittelalten Birken 1,3 cm geringer als unter den Kiefernbeständen vergleichbaren Alters.

Die Kiefernbestände weisen zumeist Modifikationen der Auflagehumusform Moder auf. Ab Alter 60 bis 70 Jahre deutet sich bei den GKI-Kippenbeständen eine den gewachsenen Böden vergleichbare Horizontstruktur im Auflagehumus an. Unter der Baumart Birke überwiegen die Humusformen Graswurzelfilzmoder und feinhumusarmer typischer Moder. In den 24- bis 45jährigen Eichen-Erstaufforstungen haben sich qualitativ hochwertige Humusformen im Übergangsbereich zwischen Mull und Moder entwickelt.

Feinhumusreicher rohhumusartiger und feinhumusreicher typischer Moder unter Kiefer und Birke haben infolge der Anreicherung basischer kohlehaltiger Flugstäube höhere pH-Werte und Basensättigungen, geringere KAK_{pot} -Werte sowie weitere C/N- und C/P-Verhältnisse als feinhumusarme Ausprägungen derselben Humusform. Bei gleicher morphologischer Struktur findet in der Kiefernstreu eine höhere C_t -Akkumulation bzw. ein geringerer Kohlenstoffumsatz statt als in der Birkenstreu.

Die N_t - und P_t -Gehalte der organischen Auflage steigen signifikant mit den C_t -Gehalten im Auflagehumus resp. mit den Gehalten an organischer Substanz. In den 44- bis 68jährigen Birkenforsten erfolgt eine geringere Akkumulation der Elemente N_t und P_t als in den 53- bis 70jährigen Kiefernbeständen. Die engeren C/N- und C/P-Relationen in den Birken-Erstaufforstungen lassen auf intensivere bodenbiologische Aktivitäten unter der Birke im Vergleich zur Kiefer schließen. Unter den Eichen deutet sich im Vergleich mit den Kiefern-Jungbeständen eine intensivere C_t -, N_t - und P_t -Umsetzung an. Die Nährstoffanreicherung in der Humusaufgabe (insbesondere bei P) lässt auf einen geringen Entwicklungsstand der Stoffflüsse in den jungen Eichen-Waldökosys-

temen schließen. Es zeigt sich, dass die mittleren C/N-Verhältnisse der Humusauflage sowohl von der Rekultivierungsbaumart als auch von den anthropogen bedingten Stoffeinträgen beeinflusst werden. Sie verengen sich in der Reihenfolge: GKI > GBI > EI. Die C/N-Verhältnisse der Kiefern-Erstaufforstungen sind deutlich enger als auf dem mit Gemeiner Kiefer bestockten Alt-Waldstandort. Die sehr hohe Akkumulation des Elementes Calcium und die demgegenüber deutlich geringere Anreicherung der Elemente Schwefel, Magnesium und Kalium in den Humusauflagen der untersuchten Baumarten und Altersstufen resultieren aus der Nährstoffzufuhr über Streufall, Bodenvegetation und Flugaschedeposition.

Bei vergleichbarem Depositionsgeschehen und Bestandesalter ist die Rekultivierungsbaumart von dominantem Einfluss auf die Aciditätsverhältnisse in der Humusauflage. Ausgehend von den pH-, S- und V-Werten zeigt sich, dass bei annähernd gleichem Bestandesalter in der Humusauflage unter Birke günstigere Aciditätsverhältnisse vorliegen als unter Kiefer. Die höheren Austauscher- bzw. Basenkapazitäten der Birkenbestände bestätigen die Eignung der Birke für die Primärbesiedlung der Kippenstandorte (Pioniercharakter). In den Eichen-Jungbeständen bildet das Bestandesalter den bedeutendsten Einflussfaktor für die humuschemischen Merkmale. Die jüngsten Eichen-Erstaufforstungen (24 und 29 Jahre) weisen wegen der durchgeführten Grundmelioration die höchsten Basensummen auf.

6.2.3 Eigenschaften und Entwicklung der Mineralböden

Mit steigenden Ton- und Schluffanteilen nehmen die Porenvolumina zu und Spezifische Dichte sowie Rohdichte ab. Das gilt analog für steigende Anteile an kohligen Beimengungen im C-Horizont, wenn die Ton- und Schluffanteile der Substrate weitgehend vergleichbar sind. Grobporenanteil und Rohdichte sind bei den mit Eiche bestockten Standorten deutlich niedriger als bei den mit Gemeiner Kiefer und Gemeiner Birke bestockten Referenzstandorten.

Bei den mittelalten Kiefernbeständen sind die Beziehungen zwischen den N_T - und C_T -Gehalten der Kippsubstrate in den untersuchten Tiefenstufen hochsignifikant. Die Ca-, Mg-, P-, Cu-, Pb-, Zn- und Cd-Gehalte der mit Kiefern, Birken und Eichen bestockten Standorte sind im A-Horizont deutlich höher als in der Tiefenstufe unterhalb A bis 100 cm. Die aus dem Auflagehumus in den Mineralböden verlagerten Nährstoffe werden zunächst im Ah-Horizont infolge des hohen Sorptionspotenzials angereichert und allmählich tiefenverlagert. Durch die höhere OS-Anreicherung im Auflagehumus unter Kiefer ist das durchschnittliche C/N-Verhältnis der mittelalten GKI-Erstaufforstungen im Ah-Horizont geringfügig weiter und in der Tiefenstufe unter-

halb Ah bis 100 cm (C-Horizont) enger als bei den altersäquivalenten Birkenflächen. Weiterhin sind in den Ah- und C-Horizonten der mittelalten Kiefernforsten, in erster Linie geotopbedingt, die Ca- und Mg-Gehalte geringfügig höher und die K-Gehalte geringfügig niedriger als bei den Birkenbeständen.

Mit der Grundmelioration wurden die Reaktionsverhältnisse der extrem sauren, kohle- und schwefelhaltigen Kippenböden (pH_{KCl} 1,7 bis 3,0) an die der quartären Sedimente (vorwiegend Sande) angeglichen. Bei den zumeist nicht oder unzureichend meliorierten tertiären und mit Birke bestockten Kippenstandorten ist, vor allem in der Tiefenstufe unterhalb Ah bis 30 cm, eine deutliche Abnahme der pH- und V-Werte mit zunehmender Bodentiefe und eine Verschlechterung der Aciditätsverhältnisse mit zunehmendem C_t -Substratgehalt festzustellen. Die 60 cm tief reichende Melioration der mit Eiche bestockten Kippenstandorte spiegelt sich in der sprunghaften Verringerung der pH_{KCl} - und V-Werte ab 60 cm Bodentiefe wider.

Von den pH-Werten im C-Horizont ausgehend, sind die Substrate der Kiefern-Erstaufforstungen mehrheitlich dem Austauscherpufferbereich (ULRICH 1990) und die Hälfte der untersuchten Birkenflächen dem Al-Pufferbereich zuzuordnen. Die Eichenflächen verteilen sich trotz Grundmelioration überwiegend auf den Austauscher- und den Aluminium-Pufferbereich.

Die Kippsubstrate der mit mittelalten Birken (44 bis 68 Jahre) bestockten Standorte sind erheblich C_t -reicher als die mit altersäquivalenten Kiefern bestockten Kippenstandorte. Deshalb sind die H-Werte der mit Birke aufgeforsteten Kippenböden höher und die Basensättigungswerte niedriger als in den Kippsubstraten der Kiefernforsten. Die KAK_{pot} - und H-Werte der 24- bis 45jährigen Eichen-Kippenbestände liegen aufgrund der hohen C_t - und Ton-/Schluffgehalte über denen der 44- bis 70jährigen Birken- und Kiefern-Erstaufforstungen und ähneln den Werten der 24- bis 46jährigen Kiefern-Jungbestände.

Der jährliche Mächtigkeitanstieg der A-Horizonte nimmt mit steigender Basensättigung und (vor allem bei den Kiefernstandorten) mit steigenden Ton-/Schluffgehalten im verkippten Substrat zu. Die bodenmeliorativen Maßnahmen, das geologische Alter und der C_t -Gehalt der Kippsubstrate beeinflussen ebenfalls die A-Horizontentwicklung.

Unter den 24- bis 29jährigen Kiefern ist ein geringmächtiger humoser Mineralbodenhorizont (Ai) ausgebildet. Die 53- bis 70jährigen GKI-Bestände weisen überwiegend Ah-Horizonte auf. In den 37- bis 46jährigen Birken-Erstaufforstungen wurden Ai- und Aih-Horizonte, in den älteren GBI-Beständen zumeist Ah-Horizonte ermittelt. In den 24- bis 45jährigen Eichen-Erstauf-

forstungen liegen zumeist Ai- oder Aih-Horizonte vor. Es zeigt sich, dass die Entstehung eines Ah-Horizontes (Mächtigkeit > 2 cm) und somit des Bodentyps „Regosol“ unter Kiefer nach 35 bis 40 Jahren, unter Birke nach 40 bis 45 Jahren und unter Eiche nach 25 bis 40 Jahren einsetzt. In jüngeren Beständen der jeweiligen Baumart sind „Syroseme“ ($Ai < 2$ cm) oder „Lockersyrosem-Regosole“ ($Aih = 2$ cm) ausgebildet.

6.3 Wald(um)bau

Bei den untersuchten Erstaufforstungsbaumarten Gemeine Kiefer, Gemeine Birke sowie Trauben- und Roteiche kristallisiert sich die Notwendigkeit kontinuierlicher und stabilitätserhaltender bzw. -erhöhender Erziehungs- und Pflegemaßnahmen, vor allem in der Jungbestandesphase, heraus.

Der Aufbau naturnaher, stabiler und leistungsfähiger Mischbestände bildet die Grundlage für die nachhaltige Erfüllung aller Waldfunktionen. Deshalb sind die auf den Kippenstandorten großflächig angelegten, einschichtigen Kiefern- und Birken-Reinbestände mittel- bis langfristig in standortsgerechte Mischwälder umzubauen. Hierfür sind auf den grundmeliorierten kohlefreien bis mittel kohlehaltigen Kippenböden insbesondere Trauben- und Stieleiche mit Edellaubholzbeimischungen (vorzugsweise Winterlinde, Hainbuche, Kirsche) geeignet. Spitz- und Bergahorn können als Haupt- oder Nebenbaumarten künstlich und natürlich verjüngt werden. Diese Baumarten sollten auch bei der Erstaufforstung der Kippenstandorte stärker berücksichtigt werden. Darüber hinaus bildet die Baumartenkombination Europäische Lärche-Winterlinde eine sinnvolle Alternative zur Erstaufforstung mit Kiefer oder Birke. Im Zuge des Waldumbaus der Kippen-Erstaufforstungen sind gruppen-, horst- und streifenweise Baumartenmischungen zu bevorzugen.

Insgesamt ist festzustellen, dass eine strikte Orientierung der forstlichen Rekultivierungspraxis an den standörtlichen Rahmenbedingungen grundlegende Voraussetzung für Baumartenwahl, Bestandesstrukturierung und -stabilität und somit letztendlich für die Erfüllung der gesellschaftlichen Anforderungen an die Kippen-Waldökosysteme ist (Rückgewinnung „natürlicher“ Lebensqualität).

7. Summary

Typical first generation forest ecosystems were analysed on representative post-mining sites of the brown coal region Niederlausitz. The **subjects** of the research were middle-aged stands (46 to 70 years old) of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and European (white) birch (*Betula pendula* Roth) reforestation trees, as well as young stands (45 years old) of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) and northern red oak (*Quercus rubra* L.). For age-specific and site-comparative reflections, supplementary stands on post-mining sites and stands on forest sites without the influence of mining („natural“ sites) were included in the study. The first generation reforestations grow on mining sites that are climatically, hydrologically, and geo-morphologically comparable, and that were treated as far as possible with the same measures of soil amelioration and identical silviculture methods of treatment according to the tree species.

The **aim** of the research was to qualify the interaction between mining sites and recruiting stands. Performance parameters and vitality indicators were used as main data to investigate the influence of the site character on the tree species. Quantity and quality of the ectohumus (forest floor) as well as the genetical development of the soil, were utilized as indicators for the recultivation reaction of the stand-forming tree species upon the forest site. The local deposition was taken into special consideration.

The Effects of the Forest Site on Post-Mining Forest Ecosystems

Middle-aged **Scotch pine** post mining reforestations stock on coal-free and poor coal-bearing pure sands, and the young stands of Scotch pine stock on poor to middle coal-bearing pure and loam sands.

For the most part, the post-mining pine forests reach good to very good growth classes. The growth performance of the 53 to 70 year-old pine reforestations are noticeably higher than the productivity of pine stands of the same age on lithofacial comparable mature forest sites. As expected, the yield performance on sites with a high portion of silt and clay are better than on pure sands. Carbon admixtures up to 2.0 M.-% C_t on basically ameliorated mining sites increase the performance potential of the site. This is caused mainly by the higher ability of storage and transformation of water, as well as by the higher releasing of N out of the fossil organic matter. Pine reaches the best growth classes on mixed post-mining soil types (Gemenge-Kippboden-

formen) and on the 40 to 60 cm huge tertiary mine-spoil substrates over quarternary subsoil (substrate layering).

The height growth curves of post-mining pine forests show a three-stage development course specific to mining stands. After depressive growth in the beginning, followed by a progressive development stage, the growth of pine on mining stands approaches the growth found in forest yield tables.

The findings concerning the nutrition of pine reforestations give evidence of a sufficient supply of nitrogen and a slight atmogen N pollution. With increasing supply of N_t in the soil, the value of N_{needle} shows an upward tendency and the C/N relation get closer. The contents of nitrogen in the Ah-horizon are evidently of particular importance for the N supply. The P nutrition improves in connection with the development and accumulation of humus substances rich in nitrogen and phosphorus, and with increasing age of the forest stands. Furthermore, most of the pine stands are supplied optimally to luxuriously with calcium, magnesium, and potassium. The high calcium contents and the favourable magnesium contents in the needles are results of meliorative applications of calcium fertilizer and/or ash as well as the use of magnesium fertilizer and they are influenced by emissions of alkaline dusts. The $S_{t \text{ needle}}$ -content of the studied pine reforestations points to atmogen supply of sulphur.

The 44 to 68 year-old **European (white) birch** post mining reforestations stock mostly on tertiary, poor to rich in coal pure and loam sands, that were not improved sufficiently in their acidity ratio. They are in the 3rd and 4th growth classes (LOCKOW 1996) and have a growth increment up to 4.7 m³/ha*a. The continual yearly growth increment of large timber decreases with increasing age class. This is a sign of the pioneering character of birch. On post-mining birch stands, a significant deterioration of the growth class with increasing C_t -soil content (up to $C_t = 2.32$ M.-%) is verifiable. The average total increment (DGZ_{100}) rises significantly with increasing data of base saturation and pH_{KCl} .

Birch stands on mining sites develop in two phases. After a depressive phase of adaptation taking place mainly during young growth stadium, a phase of height increment almost identical with the yield table is seen to emerge. These two phases verify that birch, after a certain growing time, is adapted quite well to the hard conditions of mining sites.

The value of $N_{t \text{ leaf}}$ of birch-reforestations is of an optimal level. The value of $N_{t \text{ leaf}}$ content tends to rise with increasing stand-age, as well as with increasing N_t -content and N_t -store respectively

in the ectohumus and the Ah-horizon. The parameters concerning the nutrition indicate a stabilisation and establishment respectively of ecosystem N-cycles in 50–60-year-old birch pure stands. The P_{leaf} -content tends to rise with increasing store of P in the ectohumus. At a P-content $< 0,02$ % in the Ah-horizon and $< 0,01$ % in the C-horizon, a significant increase of the P_{leaf} -content value in connection with phosphorus-contents of the particular soil depth level is verifiable. In the investigated birch-stands, N_{leaf} -, P_{leaf} -, and K_{leaf} -contents of 2.2 to 3.0 % N_t , 0.15 to 0.03 % P_t and 0.80 to 1.20 % K_t turned out to be favourable for growth performance and nutritional status. They result in 65 to 74 % of N_t , 4 to 7 % of P_t , and 22 to 28 % of K_t in the NPK-nutrient sum. The supply of Ca and Mg is also optimal to luxurious. Foreign materials assimilated from the atmosphere increase the calcium and magnesium contents in the leaves. The highest threshold of the physiological calcium requirement amounts to approximately 1.20 %. With nutrient contents in the C-horizon of phosphorus > 0.015 %, calcium > 0.15 %, and magnesium > 0.03 %, the nutritional status of post-mining birch forests is not further improved. The releasing of elements due to pyrite weathering (Fe and S_t) did not show any perceptible phytotoxic effects.

The **oak** reforestation tree species, in particular sessile oak, has been planted increasingly on mining sites only since the nineteen-sixties after basic science for sustained improvement of the acidity ratio of sulphur-containing mining soils were created and adopted into reforestation practice. Therefore, the investigated sessile and red oak reference stands are only 24 to 45 years old.

The excellent growth performances of **sessile oak** pure-stands on poor to middle coal-containing loam-sands and sand-loams (yield class -0.3 to 1.4) are mainly explained by the high performance ability of the coal-containing, low to high loamy tertiary sediments. On the one hand, this fact proves the suitability of this tree species for first reforestation on post-mining sites and on the other hand, the suitability of ameliorated post-mining sites for cultivation of demanding tree species. With the increase of the age of the stand, an improvement of growth class and growth increment is indicated. The relatively small yield performance of reforestations with **northern red oak** (first generation) prove that northern red oak has been planted, particularly during the last 40 years, on low-sorption, insufficiently ameliorated substrates. The acidity indicators, base saturation and pH-value, are the growth-inhibiting soil fertility parameters on these pure red oak stands. Because of this fact, sustained improvement of the acidity ratio is necessary before establishing red oak, although it is considered to be hardy.

With an amelioration adapted to the mine site and reaching to a soil depth of 60 cm, oak stands on mainly tertiary substrates have growth dynamics that are comparable to those of „natural“ forest sites (not post-mining specific).

The $N_{t\ leaf}$ -content of young oak stands documents a lower soil tilth of reforested post-mining soils in comparison with that of „natural“ forest sites. With increasing age of the stand, an increase of $N_{t\ leaf}$ and P_{leaf} is indicated. The optimum N_t -supply seems to be between 2.0 and 2.8 %. Northern red oak stands have smaller leaf-contents of phosphorus and potassium than sessile oak on comparable substrates. A phosphorus content > 0.25 % in the leaves of young oak stands indicates that the true phosphorus needs have been exceeded. The average NPK-sums, the relative shares of N and P of the NPK-nutrient element sum of oak leaves on „natural“ forest sites are higher, and the relative shares of K are lower than on sessile oak post mining reforestation.

Because of the short period of influence of applications of ash and/or lime fertilizer, the supply of oak with calcium is optimum to extremely high. Taking into account the inter-relations between the nutrient elements of the cation and the anion group, the Ca_{leaf} -content of 0.6 to 1.3 % of the investigated oak stands can be evaluated as optimal. The leaf-content of magnesium rises in connection with increasing Mg-content in the Ah-horizon. The Ca_{leaf} - and K_{leaf} -contents are comparable to a large extent to those determined on „natural“ forest sites. In contrast to this fact, the P_{leaf} -content of oak stands on post-mining sites turns out lower, and the Mg-content higher, than on „natural“ forest sites. The weathering of pyrite (FeS_2) in coal-containing tertiary sediments does not lead inevitably to increased S_t - and Fe-contents of oak leaves. The forest growth and nutritional science data collection from oak ecosystems indicates that these stands are „immature“ forest ecosystems.

The leaf-contents of micro-nutrients and heavy metals of all investigated post mining reforestation tree species shows considerable variation. However, there are no indications of negative physiological influences.

On the Scotch pine, sessile oak, and northern red oak pure stands of the experiment „Kleinleipischer Meliorationsversuch“, the fact could be proved, that amelioration up to a depth of 60 cm presents favourable growing conditions. Increasing the amelioration horizon up to 100 cm does not cause further improvement of the yield and nutritional situation. The right calculation of ameliorative lime fertilizer and ash applications according to the acid-base balance are of much higher importance (KATZUR 1977b, KATZUR et al. 1998b and 1999b).

Reactions of the Tree Species on the Post-Mining Sites

Stand Deposition

The fly ash deposition in the research area shows considerable regional differences. On the Briesker Hochkippe post-mining site, extremely high values of susceptibility were determined. In contrast, the atmogen influence of foreign material on the Tröbitz Nord and Domsdorf post-mining sites was comparatively low. The values of susceptibility on the Annahütte and Kleinkoschen post-mining sites are average. On mine dump areas with low pollution, a tight connection is verifiable between accumulation of foreign material in the ectohumus or Ah-horizon and the stand age.

The pH-value, the base saturation, and the base content available for acid exchange (buffering) in the ectohumus of pine and birch reference stands prove a clear improvement of the acidity relations resulting from the atmogen deposition of alkaline foreign material. On the young oak ecosystems, only a trend toward a connection between the acidity indicators in the ectohumus and the deposited basic airborne dust can be detected because of the shorter development and influence period.

The supply of C_t , Ca, Mg, K, and S_t in the ectohumus of the pine and birch mining stands were increased because of the depositions. The atmospheric depositions of coal-dust in the Ah-horizon under pine and birch resulted in an increase of alkalinity and shares of silt. Differences in acidity due to age, development, and tree species levelled off, particularly in the Ah-horizon, through the atmogen depositions of substances.

Humus Quantity and Quality

The fortification of organic substances in the ectohumus under pine, birch, and oak depends significantly on the stand age and is modified through the atmospheric deposition of foreign materials. The accumulation rate of the organic substance in the pine forests (\varnothing 1.52 t/ha*a) is higher than that in birch stands (\varnothing 1.38 t/ha*a) of comparable age.

An age-dependent development of the horizons is demonstrated the best in the H-horizon under middle-aged pine and birch. Under both tree species, but particularly under birch, deposition of alkaline foreign materials lead to thinner L-layers and to increased thickness of H-horizons. The

H-horizon serves as a store for foreign materials (KLOSE et. al 2001). The ectohumus-layer under middle-aged birch stands is 1.3 cm less thick than under pine stands of comparable age.

Scotch pine stands mostly show modifications of the moder ectohumus form. At the age of 60 to 70, a comparable to „natural“ humus horizon sequence under pine is indicated in the ectohumus layer on post-mining pine stands. Humus forms like grassmoder (Graswurzelfilzmoder) and typical fine humus poor moder are predominate under birch. Humus forms of high quality between mull and moder developed on 24 to 45 year-old oak post mining reforestations.

Because of the enrichment of coal-containing alkaline airborne dusts, fine humus rich moder similar to raw humus (mormoder) and typical fine humus rich moder under pine and birch have higher pH and base saturation values, lower CEC_{pot} -values as well as broader C/N and C/P ratios than fine humus poor variations of the same humus form. In pine litter, the C_t -accumulation is higher and the carbon turnover is lower than in birch litter, though the morphological structure is the same.

The N_t - and P_t -contents of the organic layer increase significantly with the C_t -content in the ectohumus and the content of organic matter respectively. The accumulation of the elements N_t and P_t is lower in the 44 to 68 year-old birch forests than in the 53 to 70 year-old pine stands. The closer C/N and C/P ratios in the birch reforestations indicate more intensive soil pedological activities under birch in comparison to pine. The C_t , N_t , and P_t cycle suggests to be somewhat more intense under young oak stands than in pine stands of comparable age. The eutrophication in the ectohumus (particularly with P) indicates a poor establishment of nutrient cycle in the young oak ecosystems on the post-mining sites. The middle C/N ratios of the ectohumus are influenced by the reforestation tree species as well as by the anthropogenic conditioned resorption of substances (amelioration, deposition). They approach one another in following order: Scotch pine > European (white) birch > sessile oak. The C/N ratio of the pine reforestations is much closer than that of „natural“ forest sites stocked with Scotch pine. The very high accumulation of calcium and the contrasting clearly lower enrichment of sulphur, magnesium, and potassium in the ectohumus of the investigated tree species and age classes results from nutrient supply by litterfall, ground vegetation, and fly ash deposition.

With comparable deposition and stand age, the recultivation tree species dominantly influence the acidity relations of the ectohumus. From the pH-, S-, and V-values, it turns out that with almost the same stand age, there are more favourable acidity relations in the ectohumus under birch than under pine. The higher exchange and alkaline capacity respectively of the first gen-

eration birch stands prove the suitability of birch for reforestation of post-mining sites (pioneer characteristic). In young oak stands on mine soil, the stand age is the most important factor, having an effect on the chemical features of the ectohumus. The youngest oak reforestations (24 to 29 years old) show the highest base sums because of the realized amelioration.

Characteristic and Development of Mineral Soil

At rising clay and silt portions, the pore volume increase and specific density, as well as the bulk density decrease. This is valid by analogy with rising portions of coal-containing foreign materials in the C-horizon when the clay and silt portions are, to a great extent, comparable. The portion of macropores and the bulk density are clearly lower in the oak-stocked mine soil than in the studied mine soils stocked by pine and birch.

In the middle-aged pine stands, the relations between N_t - and C_t -contents of the dump substrates in the investigated sub-surface layers are highly significant. The Ca, Mg, P, Cu, Pb, Zn, and Cd contents of the sites stocked by pine, birch, and oak, are noticeable higher in the A-horizon than in the sub-surface layer under A to 100 cm. First, the nutrients moved from the ectohumus into the mineral soil are being enriched in the Ah-horizon as a result of the high exchange capacity, then they are gradually moved into deeper layers. Because of the greater enrichment of organic substance in the ectohumus under pine, the average C/N ratio of the middle-aged pine reforestations is slightly broader in the Ah-horizon but closer in the sub-surface layer under Ah up to 100 cm (C-horizon) than under birch stands of equivalent age. In addition, the Ca- and Mg-contents of the Ah- and C-horizon are slightly higher and the K-content are slightly lower in middle-aged pine stands than in birch ecosystems, mainly because of the geotope.

The reaction relations of the extremely acidic, rich in coal and sulphur mining-soils (pH_{KCL} 1,7 to 3,0) became more similar to the quarternary sediments (mainly sands) by basic amelioration. A clear decrease of the pH- and V-values with increasing soil depth and a deterioration in the acidity ratio with an increasing content of C_t in the soil was detected on, for the most part, unameliorated or insufficiently ameliorated tertiary post-mining sites stocked by birch, particularly in a depth below Ah to 30 cm. The amelioration reaching a soil depth of 60 cm on the oak-stocked post-mining sites is reflected by the sharp decrease of the pH_{KCl} - and V-values under a depth of 60 cm.

Assuming the pH-values of the C-horizon, the substrates of the pine reforestations have to be classified by a majority as belonging to the exchanger buffer range (ULRICH 1990), but half of the investigated mine soils stocked by birch to the aluminium buffer range. Despite basic amelioration, the oak stands belong to the exchanger or the aluminium buffer range.

The substrates of the post-mining sites, that are stocked by middle-aged birch (44 to 68 years) are considerably richer in C_t than those stocked by pine of comparable age. That is why the H-value of the post-mining soil afforested with birch are higher and the base saturation value is lower than in the mining substrates of pine forests. Because of the high contents of C_t and clay/silt, the CEC_{pot} - and H-values of the 24 to 45 year-old oak ecosystems are higher than those of the 44 to 70 year-old birch and pine reforestations, and similar to the values of the 24 to 46 year-old young pine stands.

The yearly increase of the thickness of the A-horizons grows with rising base saturation and (particularly in pine stands) with rising contents of clay/silt in the mining substrate. As well, the soil amelioration, the geological age, and the C_t -content of the mining substrates influence the development of the A-horizon.

Under the 24 to 29 year-old Scotch pines, a thin humic mineral horizon (Ai) developed. The 53 to 70 year-old Scotch pine stands show mainly Ah-horizons. In the 37 to 46 year-old European (white) birch reforestations, Ai- and Aih-horizons were determined, in the older birch stands for the most part Ah-horizons. Ai- and Aih-horizons dominate also in the 24 to 45 year-old oak reforestations. It turns out, that the origin of an Ah-horizon (thickness > 2 cm) and, therefore, of the soil-type „Regosol“ begins after 35 to 40 years under pine, after 40 to 45 years under birch, and after 25 to 40 years under oak. The soil-types „Syrosem“ (Ai < 2 cm) or „Loose syrosem-regosol“ (Aih = 2 cm) are developed in younger stands of the particular tree species.

Silvi(re)culture

For the investigated reforestation tree species Scotch pine, European (white) birch, sessile and northern red oak, the continuous realization of preserving as well as increasing the stability measures of cultivation is necessary, particularly in young stands.

The cultivation of near-natural, stable, and efficient mixed stands is the basis for sustainable performance of all functions of the forest. That means, that the large scale pure pine and birch stands on post-mining sites should be recultivated into site-appropriate mixed forests on a middle to long term basis. For this, sessile and northern red oak in mixture with valuable broad-leaved tree species (especially lime [*Tilia cordata* Mill], hornbeam [*Carpinus betulus* L.], cherry [*Prunus avium* L.]) are particularly suitable on ameliorated coal-free to middle coal-containing mine soils. Norway maple (*Acer platanoides* L.) and sycamore maple (*Acer pseudo-platanus* L.) can be regenerated naturally or artificially as main or ancillary tree species. These tree species should be taken more into consideration, also at the reforestation of post-mining sites (forests of first generation). In addition, the combination of European (common) larch (*Larix decidua* Mill.) and lime forms a sensible alternative to the reforestation with pine and birch pure stands. During the course of the restructuring of the post-mining reforestations, tree species mixtures in groups, hursts or strips should be favoured.

All in all, a strict orientation of the forest recultivation towards the local site conditions is the fundamental basis for the choice of tree species, the structure of the stands, as well as their stability, and in the end, for the realization of the social demands on the post-mining forest ecosystems (recovery of „natural“ quality of life).

8. Literatur

AL NAIMI, K. 1989: Die forstlich genutzten Kippen des Braunkohlenbergbaues der DDR und ihre nachhaltige Bewirtschaftung. Diss. A, TU Dresden, Fakultät Bau-, Wasser- und Forstwesen, Tharandt

AMIN, M. H. G., CHORLEY, R. J., RICHARDS, K. S., HALL, L. D., CARPENTER, T. A., CISLEROVA, M. und VOGEL, T. 1997: Study of infiltration into a heterogeneous soil using magnetic resonance imaging. *Hydrologic. Processes*, **11**, S. 471-483

ANDERSON, H. W. und ZSUFFA, L. 1980: Hybrid poplar plantation biomass: A potential source of energy in Ontario. *Can. Int. Pop. Com.* 16th Sess., Izmir, Turkey

Arbeitsgemeinschaft (AG) Boden 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Hrsg.: Bundesanstalt für Geowiss. u. Rohstoffe und Geolog. Landesämter d. BRD, Hannover, 392 S.

Autorenkollektiv 1979: Böden. Atlas DDR, Karte 6

Autorenkollektiv 1986: Naturräume der sächsischen Bezirke. *Sächs. Heimatblätter* 4/5

Autorenkollektiv 1993: Hydrologische Komplexstudie – Niederlausitzer Braunkohlenrevier. Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Senftenberg

BAIRLEIN, F., FOLLMANN, G., MÖHLENBRUCH, N. und GOTTHARD, W. 1989: Aufgaben und Ziele der heutigen forstlichen Rekultivierung von Tagebauflächen. *Natur und Landschaft*, **64**, H. 10, S. 462-464

BALLASCHK, W. 1955: Forstliche Kippenrekultivierung im Senftenberger Raum. In: *Rat d. Bez. Cottbus, AG Bergbau- und Energiewirtsch.* (Hrsg.): Die Wiederurbarmachung der Kippen und Halden im Senftenberger Braunkohlenrevier, VEB Graph. Werkstätten Zittau-Görlitz, Cottbus, S. 40-47

BARTHEL, H., SCHUBERT, A. und WÜNSCHE, M. 1965: Zur Wiederurbarmachung und Begrünung der Kippe Espenhain. *Wiss. Zeitschr. d. TU Dresden*, Bd. 14, S. 505-520 und 833-842

BARTHEL, M. 1970: Untersuchungen über die Bewurzelungsverhältnisse von Gehölzen auf meliorierten Kippenstandorten der Niederlausitz. *Dipl.-arb.*, Humboldt-Univ., Berlin

BAUER, E. 1953: Roteichen-Ertragstafel für gestaffelte Durchforstung. In: *ERTELD, W. 1962:* Ertragstafelauszüge - Für den Gebrauch in der Praxis, 2. Aufl., Neumann Verlag, Radebeul, S. 131-137

BBergG 1980: Bundesberggesetz vom 13.08.1980 (zul. geä. durch G. vom 12.02.1990). *BGBI.* I S. 1310

BENS, O. und HÜTTL, R. F. 1999: Energetische Nutzung von Holz aus Bergbaufolgelandschaften. *AFZ/Der Wald*, **54**, S. 1333

BERGMANN, W. 1986: Farbatlas: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, 2. erweit. Aufl., Jena, 306 S.

BERTHOLD, H. J. 1957: Begrünung und Aufforstung von Halden im Ruhrgebiet. AFZ, **12**, S. 166

BG-DDR 1969: Berggesetz der Deutschen Demokratischen Republik vom 12.05.1969.

BLOCK, J., BOPP, O., GATTI, M., HEIDINGSFELD, N. und ZOTH, R. 1991: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz. Mitt. aus der FVA RLP, Nr. 17, 237 S.

BLOCK, J. und NIESAR, M. 1989: Waldbodenversauerung durch Luftverunreinigungen. AFZ, **44**, S. 954-956

BÖCKER, L., KATZUR, J. und STÄHR, F. 2001: Beziehungen zwischen ausgewählten Bodenkennwerten und Waldwachstum der Kippen-Erstaufforstungen am Beispiel der Baumarten Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Traubeneiche. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Waldökosysteme auf Kippenstandorten – Wissenschaft und Praxis der forstlichen Rekultivierung in der Lausitz, Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1999, Regionalverband „Lausitz“, Senftenberg, S. 5-9

BÖCKER, L., STÄHR, F. und KATZUR, J. 1998: Waldwachstum auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres - Am Beispiel der Kiefer. AFZ/Der Wald, **53**, S. 691-694

BOHNENS, J. 1991: Perspektiven des Einsatzes von schnellwachsenden Baumarten zur umweltfreundlichen Produktion von Zellstoffen. Die Holzzucht, **3**, S. 33-34

BRUMME, R., LEIMCKE, U. und MATZNER, E. 1992: Interception and uptake of NH_4 und NO_3 from wet deposition by above-ground parts of young beech (*Fagus sylvatica* L.) trees. Plant and Soil, **142**, S. 273-279

BRÜNING, E. 1959: Untersuchungen zur Frage der Begrünung tertiärer Rohbodenkippen des Braunkohlentagebaues, dargestellt am Beispiel der Hochabsetzerkippe 18 Böhlen. Diss., K.-M.-Univ., Leipzig

BRÜNING, E. 1962: Zur Frage der Rekultivierbarkeit tertiärer Rohbodenkippen des Braunkohlentagebaues. Wiss. Zeitschr. K.-M.-Univ., Leipzig, **11**, S. 325-329

BUBERL, H. G., WILPERT, K. v., HILDEBRAND, E. E. 1994: Beziehungen zwischen Waldhumusformen und ihren chemischen Kennwerten auf der Basis der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) in Baden-Württemberg. Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch., **74**, S. 57-60

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF) 1994: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) – Arbeitsanleitung. 2. Aufl., Bonn, 158 S.

BUNGART, R. 1998: Neue Landnutzungssysteme in der Bergbaufolgelandschaft des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres – Anbau schnellwachsender Baumarten auf kohlefreien Kippsubstraten im Tagebau Welzow-Süd zur thermischen Verwertung unter Berücksichtigung der Boden-Pflanze-Beziehung. In: BUNGART, R. und HÜTTL, R. F. (Hrsg.): Landnutzung auf Kippenflächen – Erkenntnisse aus einem anwendungsorientierten Forschungsvorhaben im Lausitzer Braunkohlenrevier. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 2, BTU Cottbus, S. 79-124

BUNGART, R. 1999: Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlenrevieres. Diss., Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 7, BTU Cottbus, 159 S.

BUNGART, R. und ENDE, H.-P. 1998: Untersuchungen zur Entwicklung von Forstbeständen auf Kippsubstraten des Bergbaugesbietes Welzow unter Berücksichtigung bodenchemischer, -physikalischer, ernährungs- und wachstumskundlicher Parameter. In: BUNGART, R. und HÜTTL, R. F. (Hrsg.): Landnutzung auf Kippenflächen – Erkenntnisse aus einem anwendungsorientierten Forschungsvorhaben im Lausitzer Braunkohlenrevier. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 2, BTU Cottbus, S. 3-46

CEPEK, A. G. 1980: Geologie-Quartär. Atlas DDR, Karte 5

COPIEN, J. H. 1942: Über die Nutzbarmachung der Abraumkippen auf Braunkohlenwerken und die dabei gewonnenen Erfahrungen, insbesondere bei Forstkulturen in der Niederlausitz. Z. f. Forst- und Jagdwesen, Bd. 47, S. 43-77 und 81-126

COPIEN, J. H. 1950: Über die Möglichkeiten einer landwirtschaftlichen Nutzung der Abraumhalden und -kippen im Braunkohlentagebau. Braunkohle, Wärme und Energie, H. 23/24, S. 414-420

DARMER, G. 1955: Biologische Grundlagen zur Wiederurbarmachung von Kippen und Halden. In: Rat d. Bez. Cottbus, AG Bergbau- und Energiewirtschaft. (Hrsg.): Die Wiederurbarmachung der Kippen und Halden im Senftenberger Braunkohlenrevier, VEB Graph. Werkstätten Zittau-Görlitz, Cottbus, S. 30-34

DEARING, J. A., LEES, J. A., WHITE, C. 1995: Mineral magnetic properties of acid gleyed soils under oak and corsican pine. Geoderma, **68**, S. 309-319

DIMITRI, L. 1988: Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. Schr. d. Forschungsinst. f. schnellwachsende Baumarten, Bd. 4, Hann. Münden

DREBENSTEDT, C. 1998: Planungsgrundlagen der Wiedernutzbarmachung. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 487-512

DUNGER, W. 1998a: Ergebnisse langjähriger Untersuchungen zur faunistischen Besiedlung von Kippböden. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 625-634

DUNGER, W. 1998b: Immigration, Ansiedlung und Primärsukzession der Bodenfauna auf jungen Kippenböden. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 635-644

EILERS, G., BRUMME, R. und MATZNER, E. 1992: Above-ground N-uptake from wet deposition by Norway spruce (*Picea abies* KARST.). Forest Ecol. and Manag., **51**, S. 239-249

EMBACHER, A. 2000: Wasser- und Stoffhaushalt einer Eichenchronosequenz auf kohle- und schwefelhaltigen Kippsubstraten der Niederlausitz. Diss., Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 10, BTU Cottbus, 214 S.

- ENDERLEIN, H. und STEIN, G., 1964:** Der Säurezustand der Humusaufgabe in den rauchgeschädigten Kiefernbeständen des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Dübener Heide. Arch. f. Forstwes., Bd. 13, H. 11, S. 1181-1191
- ERTELD, W. 1961:** Eichen-Ertragstafel für Hochdurchforstung. In: ERTELD, W. 1962: Ertragstafelauszüge - Für den Gebrauch in der Praxis, 2. Aufl., Neumann Verlag, Radebeul, S. 9-25
- EVERS, F.-H. 1986:** Die Blatt- und Nadelanalyse als Instrument der Bioindikation. AFZ, **41**, S. 6-9
- FERM, M. 1993:** Throughfall measurements of nitrogen and sulphur compounds. Intern. J. Anal. Chem., **50**, S. 29-43
- FIEDLER, H. J. 1988:** Die Wirkung qualitativ unterschiedlicher Immissionen auf Bodenfruchtbarkeit und Bestandesernährung. Soz. Forstwirtsch., **38**, S. 331-333
- FIEDLER, H. J. 1990:** Bodennutzung und Bodenschutz. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 268 S.
- FIEDLER, H. J. und HÖHNE, H. 1984:** Das NPK-Verhältnis in Kiefernadeln als arteigene Erscheinung und Mittel zur Ernährungsdiagnose. Beitr. Forstwirtsch., **18**, H. 3, S. 128-132
- FIEDLER, H. J., NEBE, W. und HOFFMANN, F. 1973:** Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 481 S.
- FIEDLER, H. J. und REISSIG, H. 1964:** Lehrbuch der Bodenkunde. Jena
- FIEDLER, H. J. und THAKUR, S. 1984:** Zur Schwefelernährung der Waldbäume und blattanalytischen Bewertung ihres Ernährungszustandes. Beitr. Forstwirtsch., **18**, H. 2, S. 81-86
- FLEISCHER, E. 1962:** Großversuch zur Rekultivierung von Kohleletten und vegetationsfeindlichen Sanden auf der Kortitzmühlenkippe mit Hilfe von Müll. unveröff. 2. Teilabschlussber., Inst. f. Forstpflanzenzüchtung, Graupa
- FREESE, D. 1988:** Einfluß verschiedener Meliorationsmittel und -verfahren auf den P-Zustand und andere Fruchtbarkeitskennziffern rekultivierter Braunkohlen-Kippsubstrate. Diss. A, Humboldt-Univ., Berlin
- FREESE, D., PAGEL, H. und KATZUR, J. 1989:** P-Zustand und P-Dynamik rekultivierter Kippenböden. Wiss. Zeitschr. Humboldt-Univ., R. Agrarwiss., Berlin, **38**, H. 1, S. 33-38
- GANGLOFF, W. J., GHODRATI, M., SIMS, J. T. und VASILAS, B. L. 1997:** Field study: Influence of fly ash on leachate composition in an excessively drained soil. J. Environ. Qual., **26**, S. 714-723
- GÄRTNER, E. J., URFER, W., EICHHORN, J., GRABOWSKI, H. und HUSS, H. 1990:** Mangan – Ein Bioindikator für den derzeitigen Schadzustand mittelalter Fichten in Hessen. Forstarchiv, **61**, S. 229-233

- GÄTH, S., ABITZ, C. A., WESSOLEK, G. und RENGER, M. 1989:** Bestimmung der Kalium-Anlieferung an die Pflanzenwurzeln bei Ackerstandorten mit Hilfe von Simulationsmodellen. Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch., **59**, S. 705-710
- GHODRATI, M., SIMS, J. T. und VASILAS, B. L. 1995:** Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic Coastal Plain: I. Soil hydraulic properties and elemental leaching. J. Water Soil Air Pollut., **81**, S. 349-361
- GROBER, K. H. 1998:** Der Naturraum und seine Umgestaltung. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 461-474
- GUNSCHERA, G. 1979:** Landwirtschaftliche Rekultivierungsmaßnahmen auf quartären bindigen Kippsubstraten in der Niederlausitz. Diss., AdL, Berlin
- GUNSCHERA, G., SCHWABE, H. und WIEDEMANN, D. 1992:** Richtlinien für die Rekultivierung der Neulandböden in den Braunkohlenplanungsgebieten. unveröff. Arb.-material, Finsterwalde
- GÜNTHER, H. 1956:** Leitfaden für den Pappelanbau. Deutscher Bauernverlag Berlin, 199 S.
- HARTGEN, V. 1942:** Untersuchungen über die Entwicklung der Aufforstung im nordwestsächsischen Braunkohlengebiet unter Berücksichtigung eines Waldgürtels für Leipzig. Tharandter Forstl. Jb., Tharandt, S. 253-278
- HAUBOLD, W., KATZUR, J. und OEHME, W.-D. 1998:** Das Lausitzer Braunkohlenrevier - Standortkundliche Grundlagen. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 536-558
- HAUBOLD, W., OEHME, W.-D., FRANZKE, F. und MARKMANN, M. 1995:** Deckgebirgsgeologische Verhältnisse in den Braunkohlenabbaugebieten Ostdeutschlands und die Kennzeichnung der Kippsubstrate im Lausitzer Braunkohlenrevier. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Workshop Rekultivierung 1991/1992, Finsterwalde und Senftenberg, S. 14-20
- HAUBOLD-ROSAR, M. 1994:** Bodenphysikalische und -mechanische Eigenschaften landwirtschaftlich rekultivierter Böden aus Löß und Geschiebemergel/-lehm sowie Möglichkeiten ihrer Melioration. Diss., Univ. Trier, Shaker Verlag, Aachen, 185 S.
- HAUBOLD-ROSAR, M. 1998:** Bodenentwicklung. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 573-583
- HEINSDORF, D. 1964:** Über die Zusammenhänge des Nährstoffgehaltes in Böden und Nadeln und des Wachstums von Kiefernkulturen auf grundwasserfernen Sanden. Arch. f. Forstwes., **13**, S. 865-888
- HEINSDORF, D. 1981:** Düngung von Kippenstandorten als Beitrag zur Steigerung und zur Verbesserung der landeskulturellen Wirkungen der Wälder in Bergbaufolgelandschaften. Beitr. Forstwirtsch., **15**, S. 182-185
- HEINSDORF, D. 1982:** Bedeutung des Einsatzes mineralischer Düngemittel bei der forstlichen Rekultivierung von Kippen des Braunkohlenbergbaus im Bezirk Cottbus, Spez. Agrochem., Bd. 10, S. 34-40

HEINSDORF, D. 1983: Wirkung der Mineraldüngung auf Ernährung und Wachstum von Roteichen (*Quercus rubra* L.) auf unterschiedlichen Kippbodenformen der Niederlausitz. Beitr. Forstwirtsch., **17**, S. 75-83

HEINSDORF, D. 1984: Untersuchung der Entwicklung der Humus- und N-Vorräte des Bodens in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung. Forsch.-ber., Inst. f. Forstwiss. Eberswalde, Eberswalde, 37 S.

HEINSDORF, D. 1988: Ergebnisse boden- und nadelanalytischer Untersuchungen in durch Fremdstoffeinflüsse vitalitätsgeminderten Fichten- und Kiefernbeständen und Folgerungen für Düngemaßnahmen. Soz. Forstwirtsch., **38**, S. 33-335

HEINSDORF, D. 1992: Untersuchungen zur Düngebedürftigkeit von Forstkulturen auf Kipprohböden der Niederlausitz. Habil., TU Dresden, Fakultät f. Bau-, Wasser- und Forstwesen, Dresden

HEINSDORF, D. 1994: Entwicklung und Zustand von Forstbeständen auf verschiedenen Kippsubstraten der Niederlausitz nach standort- und baumartenangepaßter Mineraldüngung. Der Wald, **44**, S. 403-407

HEINSDORF, D. 1996: Boden- und ernährungskundliche Untersuchungen in geschädigten Eichenbeständen des nordostdeutschen Tieflandes. Mitt. an Biol. Bundesanst. f. Land- und Forstwirtsch., Berlin, H. 318, S. 79-98

HEINSDORF, D. 1998: Erarbeitung von praxisnahen Vorschlägen für das Anwachsen und die Weiterentwicklung von standortgerechten Waldaufbauformen – dargestellt auf der Grundlage von boden-, ernährungs- und ertragskundlichen Auswertungen langfristig angelegter Düngeversuche. Abschlussber., LFE, Eberswalde

HEINSDORF, D. 1999: Düngung von Forstkulturen auf Lausitzer Kippen - Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Düngeversuche zu Forstkulturen auf den Kipp-Rohböden der Lausitz und ihre praktische Anwendung auf der Grundlage von Boden- und Blatt-/Nadelanalysen, unter Berücksichtigung eines optimalen Düngereinsatzes. Hrsg.: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Eberswalde und Senftenberg, Sonderheft, 42 S.

HEINSDORF, D. und HEINSDORF, M. 2001: Zur Entwicklung der Schwefelernährung der Wälder des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985 bis 2000. Forst und Holz, **56**, 22, S. 715-719

HEINSDORF, D. und TÖLLE, H. 1991: Bodennährstoffe und Ernährung der Kiefer im nordostdeutschen Tiefland. In: Berichte aus Forschung und Entwicklung, Eberswalde, **25**, S. 20-35

HEINSDORF, D und TÖLLE, H. 1993: Eine rationelle Methode zur Abgrenzung und Kartierung von Flugascheinträgen in Forstbeständen. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol., **27**, H. 4, S. 161-164

HEINZEL, K.-U., KATZUR, J., BÖCKER, L., STÄHR, F. und LANDECK, I. 2000: Erste Ergebnisse zum Umbau von Kiefern-, Birken- und Pappelreinbeständen. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1999, Regionalverband „Lausitz“, S. 28-33

HEUSON, R. 1929: Praktische Kulturvorschläge für Kippen, Bruchfelder, Dünen und Ödländereien. Verlag Neumann-Neudamm, 78 S.

HILDMANN, E. und WÜNSCHE, M. 1995: Bergbau, Wiedernutzbarmachung und Landentwicklung im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung*, **37**, S. 227-232

HIPPELI, P. 1967: Der Einfluß wiederholter NPKCaMg-Düngung auf die Ernährung mittelalter Kiefernbestände auf verbreiteten grundwasserfernen Standorten des nordostdeutschen Tieflandes. *Arch. f. Forstwes.*, **16**, S. 1073-1086

HOFMANN, G. 1995: Kiefernökosysteme im Wandel – Vegetationswandel in nordostdeutschen Kiefernwaldungen durch atmosphärischen Eintrag von Stickstoffverbindungen. *Der Wald*, **45**, S. 262-267

HOFMANN, G. und HEINSDORF, D. 1990: Depositionsgeschehen und Waldbewirtschaftung. *Der Wald*, **40**, S. 208-213

HOFMANN, G., HEINSDORF, D. und KRAUSS, H.-H. 1990: Wirkung atmogener Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefernökosystemen. *Beitr. Forstwirtschaft.*, **24**, H. 2, S. 59-73

HOFMANN, G., HEINSDORF, D. und PIESNACK, J. 1988: Ausscheidung und Abgrenzung von Immissions-Depositionstypen als wichtige Grundlage für die waldbauliche Bewirtschaftung immissionsbeeinflusster Waldbestände. *Soz. Forstwirtschaft.*, **38**, S. 244-245

HOFMANN, G. und KRAUSS, H.-H. 1988: Die Ausscheidung von Ernährungsstufen für die Baumarten Kiefer und Buche auf der Grundlage von Nadel- und Blattanalysen und Anwendungsmöglichkeiten in der Überwachung des ökologischen Waldzustands. *Soz. Forstwirtschaft.*, **38**, S. 272-273

HOMUTH, O. 1961: Die Umwandlung von Vorwaldbeständen auf Hochhalden des Braunkohlebergbaus. *Z. f. Braunkohle, Wärme und Energie*, **12**, S. 506-509

HÜTTL, R. F. 1985: „Neuartige“ Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) in Südwestdeutschland. *Freiburger Bodenkundl. Abh.*, Freiburg, H. 16, 195 S.

HÜTTL, R. F. 1986: Forest fertilization: Results from Germany, France and the Nordic countries. *The Fertiliser Society*, 250, S. 1-40

HÜTTL, R. F. 1991: Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. *Habil.*, *Freiburger Bodenkundl. Abh.*, **28**, 440 S.

HÜTTL, R. F. 1998: Vier Jahre BTU Innovationskolleg Bergbaufolgelandschaften - Stand der Arbeiten. *Forum der Forschung*, **7**, S. 73-78

HÜTTL, R. F. und MAYER, S. 1996: Wiederherstellung ökologischer Bodenfunktionen in den Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlenrevieres – Anmerkungen zum unvollständigen Wissensstand. *Bodenschutz*, **1**, S. 21-26

- ILLNER, K. und KATZUR, J. 1964a:** Betrachtungen zur Bemessung der Kalkgaben auf schwefelhaltigen Tertiärkippen. Zeitschr. f. Landeskultur, S. 287-297
- ILLNER, K. und KATZUR, J. 1964b:** Zur Wiedernutzbarmachung kulturfeindlicher Kippen und Halden der Braunkohlentagebaue. Bergbautechnik, **14**, S. 522-524
- ILLNER, K. und KATZUR, J. 1964c:** Über die Verwendung von industriellen Produktionsabfällen bei der Rekultivierung von kulturfeindlichen Tertiärkippen. Wiss. Zeitschr. Humboldt-Univ., R. Agrarwiss., Berlin, **13**, H. 3, S. 479-490
- ILLNER, K. und KATZUR, J. 1968:** Der Einfluß der Wiederurbarmachung auf den Erfolg der Rekultivierung. Bergbautechnik, **18**, S. 423-426
- ILLNER, K., KATZUR, J. und RAASCH, H. 1970:** Die Bestimmung des Kalkgehaltes von Braunkohlenaschen zur Melioration von Kippprohböden. Bergbautechnik, **20**, 1, S. 46-49
- ILLNER, K., KAWELKE, C. und RAASCH, H. 1968:** Über einheitliche Verfahren der Bodenuntersuchung für die Kartierung von Kippprohböden. Humboldt-Univ., Inst. f. Landschaftspflege, Berlin, 24 S.
- ILLNER, K. und LORENZ, W.-D. 1965:** Das Domsdorfer Verfahren zur Wiederurbarmachung von Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues. Wiss. Zeitschr. Humboldt-Univ., R. Agrarwiss., Berlin, **14**, S. 1-23
- IVANOVA, Z. V. und LAVRICENKO, V. M. 1980:** Bestimmung des Nährstoffbedarfes eines Bestandes nach der Methode der Pflanzendiagnostik. Lesnoe chozjajstvo, Moskva, S. 22-24
- JUNGK, A. 1993:** Die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe im Boden: chemische und räumliche Aspekte. In: Bundesministerium f. Ernährung, Landwirtsch. und Forsten (Hrsg.): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 5: Nährstoffhaushalt, Ber. über Landwirtsch., 207. Sonderheft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 70-84
- KALLWEIT, R. 1990:** Klassifizierung und Kartierung von Typen der Fremdstoffbelastung der Wälder der DDR als Teilaufgabe der ökologischen Waldzustandskontrolle. Forstwirtsch., **40**, S. 35-39
- KATZUR, J. 1965:** Untersuchungen über die Rekultivierung von schwefelhaltigen Tertiärkippen unter der Verwendung phenolhaltiger Kokereiabwässer. Diss., Humboldt-Univ., Berlin
- KATZUR, J. 1971:** Die Bodenmelioration extrem saurer Kippprohböden. Diss. B, Humboldt-Univ., Berlin
- KATZUR, J. 1977a:** Wiedernutzbarmachung von Filterascheflächen und der Einsatz von Braunkohlenaschen als Bodenverbesserungsmittel auf den Kippenflächen des Braunkohlenbergbaus. In: Kommiss. für Umweltschutz beim Präsidium der Kammer der Technik (Hrsg.): Wiedernutzbarmachung devastierter Böden, Technik und Umweltschutz, Leipzig, **17**, S. 113-117
- KATZUR, J. 1977b:** Die Grundmelioration von schwefelhaltigen, extrem sauren Kippprohböden. In: Kommiss. für Umweltschutz beim Präsidium der Kammer der Technik (Hrsg.): Wiedernutzbarmachung devastierter Böden, Technik und Umweltschutz, Leipzig, **18**, S. 52-61

KATZUR, J. 1977c: Einsatz von Industrieabwässern der braunkohlenveredelnden Industrie bei der Wiedernutzbarmachung von Kippenflächen des Braunkohlenbergbaues. In: Kommiss. für Umweltschutz beim Präsidium der Kammer der Technik (Hrsg.): Wiedernutzbarmachung devastierter Böden, Technik und Umweltschutz, Leipzig, 18, S. 63-72

KATZUR, J. 1987: Zur Entwicklung der Humusverhältnisse auf den meliorierten schwefelhaltigen Kippböden. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., **31**, S. 239-247

KATZUR, J. 1993: Bodenmelioration und forstliche Rekultivierung auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus unter besonderer Berücksichtigung der extrem sauren schwefel- und kohlehaltigen Kippböden. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1993, Regionalverband „Lausitz“, Informationen, Senftenberg, H. 5/94, S. 32-36

KATZUR, J. 1995a: Flächenrecycling im Lausitzer Braunkohlenrevier - Wiedernutzbarmachung extrem saurer schwefel- und kohlehaltiger Kippböden. In: GANSKE, D. D., NOLL, H.-P.: Brachflächen und Flächenrecycling, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 237-244

KATZUR, J. 1995b: Nutzung und Typisierung der Kippenstandorte im Lausitzer Braunkohlenrevier. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Workshop 1991/92, Finsterwalde und Senftenberg, S. 72-77

KATZUR, J. 1995c: Erfahrungen und Probleme bei der Rekultivierung der Neulandböden und Gestaltung der Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlenrevier. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Workshop 1991/92, Finsterwalde und Senftenberg, S. 4-9

KATZUR, J. 1998a: Das Lausitzer Braunkohlenrevier - Grundmelioration schwefelhaltiger Kippböden. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 559-572

KATZUR, J. 1998b: Zur Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften – kontrovers diskutiert. In: Dachverband Bergbaufolgelandschaft e.V. und Stiftung Bauhaus Dessau (Hrsg.): Jahrbuch BFL, S. 69-77

KATZUR, J. und BÖCKER, L. 1998: Gutachterliche Stellungnahme zur Notwendigkeit aktiver Aufforstungen zur Herstellung von FN-Flächen in der Bergbaufolgelandschaft. Forschungsinst. f. Bergbaufolgelandsch., Finsterwalde, 26 S.

KATZUR, J., BÖCKER, L., KNOCHE, D. und MERTZIG, C.-C. 1999a: Untersuchungen zur Optimierung der Meliorationstiefe für die forstliche Rekultivierung schwefelsaurer Kippenböden. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol., **33**, H. 4, S. 172-179

KATZUR, J., BÖCKER, L., STÄHR, F. und MERTZIG, C.-C. 1998b: Zu den Auswirkungen der Meliorationstiefe auf das Waldwachstum der Kippen-Erstaufforstungen. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol., **32**, H. 4, S. 170-178

KATZUR, J., BÖCKER, L., STÄHR, F. und LANDECK, I. 1999b: Zustand, Entwicklung und Behandlung von Waldökosystemen auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres als Beitrag zur Gestaltung ökologisch stabiler, multifunktional nutzbarer Bergbaufolgelandschaften. Abschlussber., Forschungsinst. f. Bergbaufolgelandsch., DBU Förderkennz. 06733, Finsterwalde, 306 S.

- KATZUR, J., BÖCKER, L. und STÄHR, F. 1999c:** Humus- und Bodenentwicklung in Kippen-Forstökosystemen. *AFZ/Der Wald*, **54**, S. 1339-1341
- KATZUR, J., FISCHER, K., BÖCKER, L., LIEBNER, F. und SCHIENE, R. 2002:** Gefäss- und Freilandversuche zur Eignung von Braunkohle als Bodenverbesserungsmittel. *Arch. Acker- Pfl. Boden*, **48**, S. 241-255
- KATZUR, J. und GAST, M. 1998:** Auswirkungen der Struktur der Bodendecken und Bodennutzungsrichtung auf die Grundwassergüteentwicklung im Bereich der Schlabendorfer und Seeser Tagebaufelder - Teil 1: Untersuchungsmethodik und Typisierung der Kippenstandorte. *GBL*, H. 5, Vortragsbd. 4. *GBL-Kolloq.*, Cottbus und Stuttgart
- KATZUR, J. und HAUBOLD-ROSAR, M. 1996:** Amelioration and reforestation of sulfurous mine-soils in the „Lausitz“ (Eastern Germany). *Water, Air and Soil Pollution*, **91**, H. 1-2, S. 17-32
- KATZUR, J. und HAUBOLD-ROSAR, M. 1997:** Zum Kulturwert der Deckgebirgsschichten und zur Bodentypenentwicklung auf den Kippenstandorten. *Braunkohle*, **49**, H. 6, S. 587-594
- KATZUR, J., HAUBOLD, W., OEHME, W.-D., HANSCHKE, L. 1992:** Heterogenitätskennzeichnung, Strukturtypen der Bodendecken und Standortleistungstypen auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues. unveröff. Manuskri., Finsterwalde
- KATZUR, J., HEINZEL, K.-U. und LANDECK, I. 1999d:** Standort- und Bestandesentwicklung von forstlichen Ökosystemen auf Kippen des Braunkohlentagebaus im ostsächsischen Raum (Lausitz) als Beitrag zur Erhöhung der ökologischen Stabilität von Bergbaufolgelandschaften. Abschlussber. i. A. d. Sächs. Staatsminist. f. Umwelt u. Landwirtschaft., 110 S.
- KATZUR, J. und HEISKE, F.-K. 1974:** Das Kleinleipischer Meliorationsverfahren. *Neue Bergbautechnik*, **4**, S. 690-694
- KATZUR, J. und HERBERT, P 1980:** Die Bedeutung der Meliorationstiefe für die Fruchtbarkeit der meliorierten schwefelhaltigen Kippprohböden, dargestellt am Beispiel praktischer Großversuche. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **24**, S. 335-342
- KATZUR, J. und LIEBNER, F. 1995a:** Erste Ergebnisse eines Großlysimeterversuches zu den Auswirkungen der Abraumsstrate und Aschemelioration auf Sickerwasserbildung und Stofffrachten der Sickerwässer auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues. 2. Mitteilung: Schwermetall-, Arsen- und Stickstoffgehalte der Sickerwässer aus Kippböden. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **39**, S. 175-188
- KATZUR, J. und LIEBNER, F. 1995b:** Dreijährige Ergebnisse eines Großlysimeterversuches zu den Auswirkungen der Abraumsstrate und Aschemelioration auf Sickerwasserbildung und Stofffrachten der Sickerwässer auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **39**, S. 1-7
- KATZUR, J. und LIEBNER, F. 1996:** Stofffrachten der Sickerwässer und Entwicklung des Entsorgungspotentials landwirtschaftlich genutzter Kippenböden. Abschlussber., Forschungsinst. f. Bergbaufolgelandsch., BMBF-FKZ: 033 93 93C, Finsterwalde

- KATZUR, J. und LIEBNER, F. 2000:** Sickerwasserqualität und Stoffaustrag in den Kippen des Lausitzer Braunkohlenrevieres. *Wasser & Boden*, **52**, 11, S. 44-51
- KATZUR, J., LIEBNER, F., KNOCH, D. und GAST, M. 1995:** Leitbilder und Grundprobleme bei der Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften. *Exkursionsf. und Veröffentlichung der Gesellschaft für Geowissenschaften*, Berlin, **196**, S. 9-28
- KATZUR, J. und LORENZ, W.-D. 1976:** Die Fruchtbarkeit meliorierter schwefelhaltiger Kipp-
rohböden in Abhängigkeit von der Meliorationstiefe. *Neue Bergbautechnik*, Leipzig, **6**, 7, S. 541-545
- KATZUR, J., STRZYSZCZ, Z., TÖLLE, R. und LIEBNER, F. 1998a:** Magnetisches Eisen als Tra-
cer für die Bestimmung der Homogenität von Boden-Asche-Gemischen bei der Melioration ex-
trem saurer Kippböden. *Arch. Environm. Protect.*, **24**, 2, S. 83-93
- KATZUR, J. und ZEITZ, J. 1985:** Bodenfruchtbarkeitskennziffern zur Beurteilung der Qualität
der Wiederurbarmachung schwefelhaltiger Kippböden. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bo-
denkd.*, **29**, S. 195-203
- KHALDOUN, A.-N. 1989:** Die forstlich genutzten Kippen des Braunkohlenbergbaues der DDR
und ihre nachhaltige Bewirtschaftung. Diss. A, TU Dresden, Fakultät Bau-, Wasser- und Forst-
wesen, Tharandt
- KLEINSCHNIDT, L. 1994:** Schaffung ökologischer Vorrangflächen bei der Gestaltung der
Bergbaufolgelandschaft – Teilbericht Waldökosysteme. Abschlussber., Forschungsinst. f. Berg-
baufolgelandsch., BMBF Förderkennz. 033 9393 A, Finsterwalde
- KLEM, D. 1998:** Humusdynamik auf forstlich rekultivierten Kippsubstraten im Niederlausitzer
Braunkohlenrevier. In: BUNGART, R. und HÜTTL, R. F. (Hrsg.): *Landnutzung auf Kippenflächen
– Erkenntnisse aus einem anwendungsorientierten Forschungsvorhaben im Lausitzer Braunkoh-
lenrevier*. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 2, BTU Cottbus, S. 65-
78
- KLOSE, S., KOCH, J., BÄUCKER, E. und MAKESCHIN, F. 2001:** Indicative properties of fly-ash
affected forest soils in Northeastern Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, **164**, S. 561-568
- KNABE, W. 1952:** Wiedernutzbarmachung des Kippengeländes. SVT, Verlag Technik, Berlin,
S. 60-114
- KNABE, W. 1955a:** Der Kulturwert der Deckgebirgsschichten der Braunkohle in der Niederlau-
sitz. In: Rat d. Bez. Cottbus, AG Bergbau- und Energiewirtschaft. (Hrsg.): *Die Wiederurbarma-
chung der Kippen und Halden im Senftenberger Braunkohlenrevier*, VEB Graph. Werkstätten,
Zittau-Görlitz, Cottbus, S. 14-30
- KNABE, W. 1955b:** Pflanzenqualität und Pflanzmethode für Kippenaufforstungen. *Forst und
Jagd*, **5**, S.162-164 und 205-207
- KNABE, W. 1959a:** Vorläufige Richtlinien für die Bepflanzung und Melioration forstlicher Kip-
penstandorte in der Niederlausitz. *Forst und Jagd*, **9**, S. 229-239
- KNABE, W. 1959b:** Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin

- KNABE, W. 1959c:** Möglichkeiten der Wiedernutzbarmachung der vom Braunkohlenbergbau beanspruchten Flächen. *Bergbautechnik*, **9**, S. 173-182
- KNABE, W. 1984:** Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. *AFZ*, **39**, S. 847-848
- KNABE, W., COUSEN, G. und die Mitglieder des BML-AG „IWE“ 1988:** Regionale Verteilung einiger Nähr- und Schadstoffgehalte in Fichtennadeln. *Schr.-reihe d. Bundesminist. f. Ernähr., Landw. u. Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Landwirtsch.-Verlag, Münster-Hiltrup*, H. 360, 65 S.
- KNOCHE, D. und EMBACHER, A. 1999:** Wasser- und Stoffdynamik einer Eichenchronosequenz auf schwefelsauren Kippböden des Lausitzer Braunkohlenrevieres – Teil II: Sickerwasserchemismus und Stoffausträge. *Wasser & Boden*, **51**, H. 1+2, S. 67-70
- KNOCHE, D., EMBACHER, A. und KATZUR, J. 1996:** Die Entwicklung des Puffer-/Filtervermögens und der Stoffverlagerung in rekultivierten Böden aus tertiären Kippsubstraten unter besonderer Berücksichtigung von Eichenökosystemen. *BTUC Innovationskolleg „Ökologisches Entwicklungspotential von Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlenrevier“*, Sprechber. an DFG, Cottbus, S. 54-61
- KNOCHE, D., SCHAAF, W., EMBACHER, A., FAB, H.-J., GAST, M., SCHERZER, J. und WILDEN, R. 1998:** Wasser- und Stoffdynamik von Waldökosystemen auf schwefelsauren Kippsubstraten des Braunkohletagebaues im Lausitzer Revier. In: HÜTTL, R. F., KLEM, D. und WEBER, E. (Hrsg.): *Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften – Das Beispiel des Lausitzer Braunkohlenrevieres*. De Gruyter Verlag, Berlin und New York, S. 45-69
- KOCH, J., KLOSE, S. und MAKESCHIN, F. 2002:** Bioelementverteilung und Humusmorphologie in den flugaschebelasteten Oberböden der Dübener Heide. In: SCHOCK, J. und v. WILPERT, K.: *Chemische und physikalische Schlüsselprozesse der Speicher-, Regler- und Reaktorfunktionen von Waldböden*, Freiburger Forstl. Forschung, Ber., H. 33, S. 183-191
- KÖHLER, S. und LIEBER, H. 1968:** Zur Kartierung von Schadzonen im Rauchschaengebiet Dübener Heide mit Hilfe der Bodenvegetation. *Ing.-Arb.*, Schwarzburg
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G. und VOLESKE, P. 1995:** *Biostatistik: Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 285 S.
- KÖLLING, C. und NEUSTIFTER, H. 1997:** Stickstoffeintrag in Wälder und Nitratkonzentration im Sickerwasser. *AFZ/Der Wald*, **20**, S. 1107-1110
- KOLK, A., KEPLIN, B. und HÜTTL, R. F. 1997:** Untersuchungen zum Streuabbau, zur Mikrobiologie und zur Mesofauna auf forstlich rekultivierten Standorten einer Kiefernchronosequenz. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch.*, **85**, Bd. II, S. 537-540
- KOPP, D. 1969:** *Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der Deutschen Demokratischen Republik*. 1. Bd., 1. Liefg., VEB Forstprojektierung, Potsdam

- KOPP, D. 1970:** Der Gesamtgehalt an Kalium, Magnesium, Kalzium und Phosphor in den anhydromorphen Waldböden des Tieflandes und sein Einfluß auf die potentielle Produktionskraft. Dt. Akad. Landwirtsch. Wiss., Tag.-ber. 112, Berlin, S. 167-181
- KOPP, D. 1978:** Der Humusvorrat der Waldböden im Tiefland der DDR. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., **22**, S. 501-509
- KOPP, D. und RUHNAU, U. 1980:** Legende zu den Kippenstandorten des Tieflandes und des Braunkohlenrevieres südlich von Leipzig. unveröff., VEB Forstprojekt. Potsdam, BT Dresden
- KOPP, D. und SCHWANECKE, W. 1994:** Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologischer Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 248 S.
- KRAMER, H. 1988:** Waldwachstumslehre: Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandessicherheit. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 374 S.
- KRAMER, H. und AKCA, A. 1987:** Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 287 S.
- KRAUSS, H.-H. 1963:** Untersuchungen über die Melioration degradiertes Sandböden im Norddeutschen Tiefland. unveröff. Diss., Eberswalde
- KRAUSS, H.-H. 1967:** Kaliernährung und Wachstum von Kiefernkulturen und -beständen auf den verbreitetsten Standorten im nordostdeutschen Tiefland. Coll. For. Fertiliz. Iyvaskyla, Int. Potash-Inst., Bern, S. 206-226
- KRAUSS, H.-H. 2000:** Gedanken zum Waldumbau auf terrestrischen Grenzstandorten Brandenburgs. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol., **34**, H. 3, S. 97-101
- KRAUSS, H.-H., HEINSDORF, D., HIPPELI, P. und TÖLLE, H. 1986:** Untersuchungen zu Ernährung und Wachstum wirtschaftlich wichtiger Nadelbaumarten im Tiefland der DDR. Beitr. Forstwirtsch., **20**, H. 4, S. 156-164
- KRIVAN, V. und SCHALDACH, G. 1985:** Untersuchungen zur Rolle der Makro- und Mikromineralnährstoffe sowie anderer Elemente bei der Erkrankung von Waldbäumen. Projekt Europ. Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF), 1. Statuskolloquium März 1985, PEF-Berichte, S. 163-188
- KUNTZE, H. 1988:** Bodenkunde. 4. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart, 568 S.
- KURTH, H. 1994:** Forsteinrichtung – Nachhaltige Regelung des Waldes. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 592 S.
- LAATSCH, W. 1954:** Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Verlag Theodor Steinkopf, Dresden und Leipzig, 277 S.
- LANDECK, I., KATZUR, J., BÖCKER, L. und STÄHR, F. 2000:** Von der ersten zur zweiten Waldgeneration – Einfluß relevanter Bodenparameter und des Wildes auf die Naturverjüngung in Kippenforsten. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1999, Regionalverband „Lausitz“, S. 41-46

- LANDOLT, W., BUCHER, J. B. und KAUFMANN, E. 1984:** Waldschäden in der Schweiz – 1983 (2. Teil), Interpretation der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen aus der Sicht der forstlichen Ernährungslehre. Schweiz. Z. Forstwes., **135**, S. 637-653
- LANGE, S. 1990:** Forstwirtschaft in der Lausitz im Blickpunkt zeitweiliger Inanspruchnahme der Waldflächen durch den Braunkohlentagebau. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, **64**, 1, S. 3-6
- LANGE, S. 1992:** Rekultivierung bergbaugeschädigter Territorien. Der Wald, **42**, S. 48-50
- LANGE, S. 1998:** Kippenrekultivierung in nordostsächsischen Bergbaugebieten. AFZ/Der Wald, **53**, S. 1290-1291
- LANGE, S. und MÜHLE, W. 1983:** Erfahrungen und Ergebnisse bei der Aufforstung von Kippen im Braunkohlentagebau. Soz. Forstwirtsch., **33**, S. 213-215
- Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (LAUBAG) 1991:** Braunkohle und Umwelt im Lausitzer Revier. Senftenberg
- Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (LAUBAG) 1994:** Forstliche Rekultivierung durch die LAUBAG. Senftenberg
- LEMBCKE, G., KNAPP, E. und DITTMAR, O. 1975:** DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975. Inst. f. Forstwissenschaften Eberswalde, Abt. Waldbau/Ertragskunde, Eberswalde
- LIESS, G. 1956:** Ein Beitrag zur Untersuchung von Kippenböden in der Niederlausitz unter besonderer Berücksichtigung absterbender Roteichen. Dipl.-arb., Tharandt
- LINDBERG, S. E., LOVETT, G. M., RICHTER, D. D. und JOHNSON, D. W. 1986:** Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest. Science, Vol. 231, S. 141-145
- LOCKOW, K.-W. 1996:** Ertragstafel für die Sandbirke (*Betula pendula* Roth) in Mecklenburg-Vorpommern. Forstl. Forsch.-anstalt Eberswalde, Fachgebiet Waldwachstum, Eberswalde
- LOCKOW, K.-W. 1997:** Die neue Ertragstafel für Sandbirke – Aufbau und Bestandesbehandlung. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol., **31**, H. 2, S. 75-84
- LORENZ, W. D. 1967:** Untersuchungen über die Wiederurbarmachung von kulturfeindlichen Kippen nach dem Domsdorfer Verfahren. Diss., Humboldt-Univ., Berlin
- LORENZ, W. D. und KOPP, D. 1968:** Zur Bildung von Standortgruppen und zur Baumartenwahl auf Kippstandorten in der Niederlausitz, Inst. f. Landschaftspflege, Bd. II, Berlin
- LORENZ, W. D. und WÜNSCHE, M. 1969:** Zum Kulturwert der Deckgebirgsschichten im Bereich der Braunkohlentagebaue der DDR. Bergbautechnik, **19**, S. 471-475
- LOZAN, J. L. und KAUSCH, H. 1998:** Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. 2. Aufl., Parey Buchverl., Berlin, 287 S.
- MALCOLM, D. C. und GARFORTH, M. F. 1977:** The sulphur: nitrogen ratio of conifer foliage in relation to atmospheric pollution with sulphur dioxide. Plant and Soil, **47**, S. 89-102

- MEHLICH, A. 1960:** Charge characterization of soil. 7th Intern. Congr. Soil Sci., Transactions Vol. II, Madison/Wisc./USA, S. 292-302
- MAKESCHIN, F., REHFUESS, K. E., RÜSCH, I. und SCHÖRRY, R. 1989:** Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf ehemaligem Acker: Standörtliche Voraussetzungen, Nährstoffversorgung, Wuchsleistung und bodenökologische Auswirkungen. Forstw. Cbl., **108**, S. 125-143
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg (MELF) 1992/1995:** Wald- und Forstwirtschaft in Brandenburg – Landeswaldbericht. Potsdam
- MITSCHICK, G. und FIEDLER, H. J. 1991:** Vergleich verschiedener Reinigungsmethoden für Koniferennadeln aus Immissionsgebieten. Beitr. Forstwirtsch., **25**, H. 1, S. 1-7
- MÖCKEL, R. 1998:** Naturschutz auf Kippen des Braunkohlenbergbaues in der Niederlausitz. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 706-720
- MORGENEYER, W. 1961:** Zur Verwendungsmöglichkeit von Pappeln und Flechtweiden bei der Rekultivierung Niederlausitzer Braunkohlenkippen. Forst und Jagd, **11**, S. 344-347
- MÜLLER-WESTERMEYER, G. 1996:** Klimadaten Deutschland 1961-1990. Selbstverlag des Dt. Wetterdienstes
- MULLINS, C. E. 1977:** Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science - a review. Journal of Soil Science, **28**, S. 223-246
- MUTSCHER, K. 1963:** Die bisherigen Versuche zur Rekultivierung der Hochhalde Schwarzkollm und die daraus zu ziehenden Schlußfolgerungen für die künftige Kippenrekultivierung. Dipl.-arb., Humboldt-Univ., Institut f. Landschaftspflege, Berlin
- NEUMEISTER, H., FRANKE, C., NAGEL, C., PEKLO, G. und ZIERATH, R. 1991:** Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als geomorphologischer Faktor. Geodynamik, Bd. XII, 40 S., Bensheim
- NILLE, B. 1978:** Ertragskundliche Untersuchungen von Aufforstungsbeständen im Rekultivierungsgebiet der Bayerischen Braunkohlen-Industrie AG in Wackersdorf/Oberpfalz. Braunkohle, **30**, H. 6, S. 173-180
- NOWEL, W. 1992:** Geologische Übersichtskarte des Niederlausitzer Braunkohlenrevieres (1:200.000). Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Senftenberg
- NOWEL, W., BÖNISCH, R., SCHNEIDER, W. und SCHULZE, H. 1995:** Geologie des Lausitzer Braunkohlenrevieres. Senftenberg, 90 S.
- Oberbergamt des Landes Brandenburg (OLB) 2000:** Richtlinie des OLB für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen vom 26.10.2000 (Ord.-Nr. 28). Cottbus
- OTTO, H. J. 1994:** Waldökologie. UTB-Verlag, München, Wien und Zürich, 43 S.

- PARTON, W. J., OJIMA, D. S., VERNON COLE, C. und SCHIMMEL, D. S. 1994:** A general model of soil organic matter dynamics: Sensitivity to litter chemistry, texture and management. Soil Science Society of America, Soil Science Society of America Special Publications, **39**, S. 147-167
- PIETSCH, W. 1998a:** Besiedlung und Vegetationsentwicklung in Tagebaugewässern in Abhängigkeit von der Gewässergenese. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 663-676
- PIETSCH, W. 1998b:** Naturschutzgebiete zum Studium der Sukzession der Vegetation in der Bergbaufolgelandschaft. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 677-686
- PIETZSCH, W. 1970:** Ingenieurbiologie, Werner Verlag, Berlin/München/Düsseldorf
- PREUBNER, K. 1994:** Die forstliche Rekultivierung - ein wichtiger Beitrag zum Waldumbau in der Lausitz. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1993, Regionalverband „Lausitz“, Informationen, Senftenberg, H. 5/94, S. 32-36
- PREUBNER, K. 1996:** Die Strategie der forstlichen Rekultivierung in der LAUBAG auf dem Weg zur naturgemäßen Waldwirtschaft am Beispiel einer Rekultivierungsfläche im Tagebau Welzow-Süd. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Umweltverträglicher Braunkohlenbergbau in der Lausitz, Workshop 1996, Cottbus, S. 33-37
- PREUBNER, K. 1997:** Der Beitrag der forstlichen Rekultivierung zur Verringerung der Waldbrandgefahr in der Lausitz. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald, Regionalverband „Lausitz“, Senftenberg, S. 18-30
- PREUBNER, K. 1998:** Wälder und Forste auf Kippenstandorten. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 600-609
- PREUBNER, K. und KILIAS, G. 1992:** Erfahrungen bei der forstlichen Rekultivierung in der Lausitz. AFZ, **47**, S. 982-983
- RAUTENBERG, E. und BUSSLER, W. 1960:** Die Ermittlung der optimalen Nährstoffzusammensetzung für die Pflanze nach HOMES. Zeitschr. f. Pfl.-ernähr., Düng. u. Bodenkd., Bd. **90**, **119**, S. 5-17
- REHFUESS, K. E. 1990:** Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. 2. Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 294 S.
- REIGBER, E. und BRAUN, G. 1985:** Forstliche Bioindikatoruntersuchungen in Bayern – Methodik und erste Ergebnisse 1981/82. Forstliche Forschungsberichte, München, Nr. 68, 179 S.
- REMMY, K., KATZUR, J., KNOCHE, D. und LANDECK, I. 1994:** Standort- und Bestandesentwicklung von forstlichen Ökosystemen auf Kippen des Braunkohlentagebaues im ostsächsischen Raum (Lausitz) als Beitrag zur Erhöhung der ökologischen Stabilität von Bergbaufolgelandschaften. Abschlussber., Forschungsinst. f. Bergbaufolgelandsch., Finsterwalde

- RENGER, M., WESSOLEK, G. und GÄTH, S. 1993:** Nährstoffhaushalt des Unterbodens und seine Bedeutung für die Nährstoffversorgung der Pflanzen. In: Bundesministerium f. Ernährung, Landwirtsch. und Forsten (Hrsg.): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 5: Nährstoffhaushalt, Ber. über Landwirtsch., 207. Sonderheft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 121-140
- RIEK, W. und WOLFF, B. 1998:** Verbreitung von Nährstoffmangel bei Waldbäumen in Deutschland. *AFZ/Der Wald*, **53**, S. 507-510
- RYTTER, L. und ERICSSON, T. 1993:** Leaf nutrient analysis in salix viminalis (L.) energy forest stands growing on agricultural land. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, **156**, S. 349-356
- SCAMONI, A. 1954:** Waldgesellschaften und Waldstandorte. 2. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin
- SCAMONI, A. 1975:** Natürliche Vegetation, Karte 12, Atlas DDR. Akademie-Verlag, Berlin, 186 S.
- SCHAAF, W., WILDEN, R., SCHERZER, J. und GAST, M. 2000:** Dynamik von Stoffumsetzungsprozessen in zwei Kiefernökosystem-Chronosequenzen auf rekultivierten Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres. In: BROLL, G., DUNGER, W., KEPLIN, B. und TOPP, W. (Hrsg.): Rekultivierung in Bergbaufolgelandschaften – Bodenorganismen, bodenökologische Prozesse und Standortentwicklung. S. 223-237
- SCHÄLICHE, W. 1960:** Bericht über die Unterbauversuche auf den Kippen „Eva, Renate und Mexico“. Humboldt-Univ., Berlin, unveröff.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. 1998:** Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Aufl., Verlag F. Enke, Stuttgart, 494 S.
- SCHEFFER, F. und ULRICH, B. 1960:** Humus und Humusdüngung. Bd. 1, Verlag F. Enke, Stuttgart
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K. 1995:** Bodenkundliches Praktikum – Eine Einführung für pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. 2. Aufl., Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin und Wien, 295 S.
- SCHMIDT, P. A. 1995:** Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften Deutschlands. Schr.-reihe Sächs. Landesanstalt f. Forsten, Graupa, H 4/95
- SCHMIDT, R. und DIEMANN, G. 1981:** Erläuterungen zur mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung. Hrsg.: Akad. Landwirt.-Wiss. DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bodenkunde/Fermerkundung, Eberswalde, 78 S.
- SCHNEIDER, R., SCHRÖDER, D. und WEYERS, M. 1998:** Entwicklung, Sanierung und Schutz des Bodengefüges von Neulandböden. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 199-213
- SCHOLZ, E. 1962:** Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. Potsdam
- SCHRÖDER, D. 1975:** Auswirkungen von Lockerungsmaßnahmen auf das Bodengefüge von Pseudogleyen. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, **138**, S. 197-208

- SCHRÖDER, D., STEPHAN, S. und SCHULTE-KARRING, H. 1985:** Eigenschaften, Entwicklung und Wert rekultivierter Böden aus Löß im Gebiet des Rheinischen Braunkohlen-Tagebaues. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, **148**, S. 131-146
- SCHWABE, H. 1970:** Ergebnisse der forstlichen Rekultivierung auf vorwiegend kulturfreundlichem Abraummateriale des Braunkohlenbergbaues in der Niederlausitz. Diss., TU Dresden, Tharandt
- SCHWABE, H. 1973:** Zur Humusbildung auf forstlich genutzten Kippen und Halden in der Niederlausitz. 5. Symposium: Wiedernutzbarmachung durch Industrie devastierter Territorien, Leipzig
- SCHWABE, H. 1977:** Pflanzenbauliche Nutzung von Kraftwerksaschen. In: Kommiss. für Umweltschutz beim Präsidium der Kammer der Technik (Hrsg.): Wiedernutzbarmachung devastierter Böden, Technik und Umweltschutz, Leipzig, 18, S. 108-115
- SCHWABE, H. 1978:** Rekultivierung von Kippen des Braunkohlenbergbaues. In: THOMASIIUS, H. (Hrsg.): Landeskultur und Gesellschaft, 2. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 176-181
- SCHWANECKE, W. und KOPP, D. 1996:** Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen. Schr.-reihe Sächs. Landesanstalt f. Forsten, Graupa, H 8/96
- SCHWERTMANN, U., SÜSSER, P. und NÄTSCHER, L. 1987:** Protonenpuffersubstanzen in Böden. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, **150**, S. 174-178
- SIEGEL, H. 1967:** Bodenbildung auf Kippgestein. I. Teil: Bodengeologische Untersuchungen über den Kulturwert von stark kohligem, miozänen Lockergesteinen der Tagebaue Klettwitz und Großenhain sowie über den Verlauf der Bodenbildung auf ähnlichen Substraten der Halde Schwarzkollm und der Kippe Domsdorf unter der besonderen Berücksichtigung meliorativer Maßnahmen, F/E-Abschlussbericht, Zentr. Geolog. Institut, Berlin
- SIMON, K.-H. und WESTENDORFF, K. 1990:** Ergebnisse von Depositionsmessungen in Waldgebieten des Tieflandes der DDR. *Beitr. Forstwirtschaft*, **24**, H. 3, S. 109-112
- SIMON, K.-H. und WESTENDORFF, K. 1991:** Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985-1989. *Beitr. Forstwirtschaft.*, **25**, H. 4, S. 177-180
- SKAWINA, T. und WACHALEWSKI, T. 1970:** Die Bildung von Humus als Folge biologischer Rekultivierung von Böden im Bergbaugelände. 4. Symposium: Wiedernutzbarmachung durch Industrie devastierter Territorien, Leipzig
- SMIDT, S. und STEFAN, K. 1980:** Nadelanalytische Ergebnisse aus dem Raum Breitenau. *Mitt. d. Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien*, H. 131, S. 59-71
- STÄHR, F., KATZUR, J. und BÖCKER, L. 2000:** Untersuchungen zur Nährstoffversorgung der Kiefernforsten auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres. *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol.*, **34**, H. 2, S. 56-62
- STRATMANN, J. 1985:** Ertragskundliche Untersuchungen auf Rekultivierungsflächen im rheinischen Braunkohlenrevier. *Braunkohle - Tagebautechnik, Düsseldorf*, **37**, S. 484-491

STRZYSZCZ, Z., TÖLLE, R. UND KATZUR, J. 1988: Zur Anwendung eines hochfrequenten Meßverfahrens für den Nachweis von ferromagnetischen Eisen in der Umwelt. Archiw. Ochr. Srodow., H. 3-4, S. 137-143

TGL 6 157, BI 2 (1971): Fachbereichsstandard „Wiederurbarmachung von Kippen und Halden. Grundmelioration schwefelhaltiger Kippprohböden nach dem Domsdorfer und Koyne-Verfahren“. Berlin

TGL 26 157/02 (1984): Fachbereichsstandard „Wiedernutzbarmachung von Kippen und Halden. Grundmelioration tertiärer schwefelhaltiger Kippsubstrate“. Berlin

THOMAS, S. 1969: Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse von Kippprohböden des Braunkohlenbergbaues in der Niederlausitz. Diss., Humboldt-Univ., Berlin

THOMASIIUS, H. 1962: Über methodische Fragen bei der Anlage forstlicher Versuchsflächen. Arch. f. Forstwes., **11**, S. 436-453

THOMASIIUS, H. 1992: Naturgemäße Waldwirtschaft in Sachsen – gestern, heute und in Zukunft. Dauerwald, H. 6, S. 4-29

THOMASIIUS, H. 1996: Geschichte, Anliegen und Weg des Waldumbaus in Sachsen. Schr.-reihe Sächs. Landesanstalt f. Forsten, Graupa, H. 6/96, S. 11-52

THOMASIIUS, H. und SCHMIDT, A. 1996: Wald, Forstwirtschaft und Umwelt. Economica Verlag, In: BUCHWALD, K und ENGELHARDT, W. (Hrsg.): Umweltschutz - Grundlagen und Praxis, Bd. 10, Bonn

THOMASIIUS, H., SELENT, H. und WÜNSCHE, M. 1998: Zustand, Entwicklung und multifunktionale Wirkung von Wald- und Forstökosystemen auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus in Abhängigkeit vom Geotop, von der Rekultivierungsbaumart und der waldbaulichen Behandlung. Abschlussber., Steine u. Erden Planungsgesellschaft mbH, Dresden

THOMASIIUS, H., WÜNSCHE, M., BRÄUNING, A. und SELENT, H. 1996: Bewaldung von Kippen und Halden im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier. In: Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft (Hrsg.): Forstliche Rekultivierung in der Bergbaufolgelandschaft, Jahrestagung der Schutzgemeinschaft deutscher Wald 1999, Regionalverband „Lausitz“, Senftenberg, S. 19-33

THOMASIIUS, H., WÜNSCHE, M., SELENT, H. und BRÄUNING, A. 1999: Wald- und Forstökosysteme auf Kippen des Braunkohlenbergbaus in Sachsen – ihre Entstehung, Dynamik und Bewirtschaftung. Schr.-reihe Sächs. Landesanstalt f. Forsten, Graupa, H. 17/99

THUM, J. 1978: Humusakkumulation auf forstlich genutzten Kippböden des Braunkohlenrevieres südlich von Leipzig. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., **22**, S. 615-625

THUM, J., WÜNSCHE, M. und FIEDLER, H.-J. 1992: Rekultivierung im Braunkohlenbergbau der östlichen Bundesländer. In: ROSENKRAUT, D. et al. (Hrsg.): Bodenschutz, 10. Ergänzt., Nr. 7240, Berlin

THUN, R., HERRMANN, R. und KNICKMANN, E. 1955: Die Untersuchung von Böden. 3. Aufl., Neumann Verlag, Berlin und Radebeul, 271 S.

- TJURIN, A. W. und NAUMENKO, I. M. 1956:** Forstliches Hilfsbuch für Waldtaxation. Moskva
- TÖLLE, H. 1969:** Untersuchungen über Ernährung und Wachstum mittelalter Kiefernbestände auf grundwassernahen und -fernen Standorten im nordostdeutschen Tiefland. Diss, Dt. Akad. d. Landwirtschaftswiss., Berlin
- TÖLLE, H. 1970:** Versorgung grundwassernaher und -ferner Böden des nordostdeutschen Tieflandes mit PKMgCa. Arch. f. Forstwes., **19**, S. 705-728
- TÖLLE, R. und RAASCH, H. 1991:** Gerät zur Messung von Suszeptibilitätsdifferenzen von korn- oder pulverförmigen Stoffgemischen. Ausschließungspatent DD 291 644, Int. Cl. G 01 R 33/16, erteilt am 04.07.91 gem. § 17 Patentgesetz der DDR in Übereinstimmung mit den entsprechenden Festlegungen im Einigungsvertrag
- TÖLLE, R. und SAUPE, G. 1993:** Ferromagnetische Inhaltsstoffe staubbelasteter Böden belegen Stoffverlagerungsprozesse. Z. f. Kulturtechnik und Landesentwicklung, **33**, S. 183-186
- TRILLITZSCH, F. 1993:** Natur als Vorbild. Garten u. Landsch., **103**, H. 5, S. 13-17
- ULRICH, B. 1981:** Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenern. Bodenk., **144**, S. 289-305
- ULRICH, B. 1983:** Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des „sauren Regens“. AFZ, **38**, S. 670-676
- ULRICH, B. 1987:** Stoffhaushalt von Waldökosystemen – Bioelement-Haushalt. unveröff. Manuskript, Univ. Göttingen, Inst. für Bodenkunde u. Waldernährung, 7. Aufl., Göttingen
- ULRICH, B. 1990:** Stoffhaushalt von Wald-Ökosystemen – Bioelement-Haushalt. Vorles.-Manuskr. WS 1990/91, Univ. Göttingen, Inst. f. Bodenkunde und Waldernährung., 9. Aufl., Göttingen
- ULRICH, B. und MATZNER, E. 1983:** Abiologische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. In: Umweltbundesamt Bonn (Hrsg): Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren, Luftreinhaltung: Forsch.-ber. 104, 615 S.
- VETTER, H. und FRÜCHTENICHT, K. 1974:** Wege zur Ermittlung des Düngebedarfes mit größerer Treffsicherheit. Landw. Forsch., Kongreßband 31/I., S. 290-320
- VETTERLEIN, D., WASCHKIES, C. und WEBER, E. 1999:** Nutrient availability in the initial stages of surface mine spoil reclamation – Impact on plant growth. J. Plant. Nutr. Soil Sci., **162**, S. 315-321
- WEHRMANN, J. 1959:** Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. Forstw. Cbl., **78**, S. 129-149
- WEHRMANN, J. 1983:** Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. Landw. Forsch., H. 16, S. 130-145
- WEISDORFER, M. 1999:** Einfluß unterschiedlicher Schwefel- und Staubemissionen in der Vergangenheit auf die chemische Entwicklung von Humusaufgaben und Mineralböden in Kiefern-

waldökosystemen im nordostdeutschen Tiefland. Diss., Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 4, BTU Cottbus, 214 S.

WEISDORFER, M., SCHAAF, W und HÜTTL, R. F. 1995: Auswirkungen sich zeitlich ändernder Schadstoffdepositionen auf Stofftransport und -umsetzung im Boden. In: HÜTTL, R. F., BELLMANN, K. und SEILER, W. (Hrsg.): Atmosphärensanierung und Waldökosysteme, S. 56-74

WENK, G, ANTANAITIS, V. und SMELKO, S. 1990: Waldertragslehre. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 448 S.

WESSOLEK, G. und GÄTH, S. 1989: Integration der Wurzellängendichte in Wasserhaushalts- und Kaliumanlieferungsmodellen. Kali-Briefe, **19**, S. 491-503

WIEDEMANN, D. 1998: Naturschutz. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 520-530

WIEDEMANN, D., KATZUR, J. und LANDECK, I. 1995: Schaffung ökologischer Vorrangflächen bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft. Abschlussber., BMBF FKZ 033 93 93 A, Forschungsinst. f. Bergbaufolgelandsch., Finsterwalde

WITTICH, W. 1952: Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde. Sauerländer's Verlag, Frankfurt, 106 S.

WITTIG, H. 1998: Braunkohlen- und Sanierungsplanung im Land Brandenburg. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, S. 475-486

WOLFF, B. und RIEK, W. 1998: Chemischer Waldbodenzustand in Deutschland – Ergebnisse der Bodenanalysen im Rahmen der BZE. AFZ/Der Wald, **53**, S. 503-506

WÜNSCHE, M. 1976: Die Bewertung der Abraumsstrate für die Wiederurbarmachung im Braunkohlenrevier südlich von Leipzig. Neue Bergbautechnik, **2**, S. 382-387

WÜNSCHE, M., FIEDLER, H. J. und WERNER, K. 1990: Wiedernutzbarmachung von Rückgabeflächen des Bergbaus. In: FIEDLER, H. J. (Hrsg.): Bodennutzung und Bodenschutz, Birkhäuser Verlag, Basel, S. 202-227

WÜNSCHE, M., LORENZ, W.-D., OEHME, W.-D. und HAUBOLD, W. 1972: Die Bodenformen der Kippen und Halden im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. Hrsg.: Rat f. landwirtsch. Produktion u. Nahrungsgüterwirtsch. d. Bez. Cottbus, VEB GFE Halle, Mitteilg. 15/72, Freiberg

WÜNSCHE, M., OEHME, W.-D., HAUBOLD, W., KNAUF, C., SCHMIDT, K-E., FROBENIUS, A. und ALTERMANN, M. 1981: Die Klassifikation der Böden auf Kippen und Halden in den Braunkohlenrevieren der DDR. Neue Bergbautechnik, **11**, S. 42-48

WÜNSCHE, M., SCHMIDT, E. und OEHME, W.-D., 1966: Aufgaben und Ergebnisse bodengeologischer Untersuchungen für die Wiedernutzbarmachung der vom Braunkohlenbergbau beanspruchten Flächen. Bergbautechnik, **16**, S. 405-410

-
- WÜNSCHE, M. und SCHUBERT, A. 1966:** Untersuchungen über das Leistungsvermögen pleistozäner sowie tertiärer Abraummassen und den Erfolg der Aufforstung auf der Kippe Plateka, Krs. Borna. Bergbautechnik, **16**, S. 648-656
- WÜNSCHE, M., SCHUBERT, A. und HAUBOLD, W. 1967:** Das Leistungspotential pleistozäner und tertiärer Abraummassen auf älteren Kippflächen im Bereich des ehemaligen Braunkohlentagebaues Witznitz I, Kreis Borna. Bergbautechnik, **17**, S. 313-319
- WÜNSCHE, M. und THUM, J. 1990:** Bodensubstrate und Bodenentwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flurkippe Espenhain (Sachsen). Arch. f. Naturschutz und Landschaftsforschung, **4**, S. 217-229
- ZEZSCHWITZ, E. v. 1985:** Qualitätsänderungen des Waldhumus. Forstw. Cbl., **104**, Verlag Parey, Hamburg und Berlin, S. 205-220
- ZIMMERMANN, R.-D. 1990:** Erste Ergebnisse des Klon-Fichten-Meßnetzes Baden-Württemberg. AFZ, **45**, S. 281-284
- ZÖTTL, H. W. 1983:** Zur Frage der toxischen Wirkung von Aluminium auf Pflanzen. AFZ, **38**, S. 206-208
- ZÖTTL, H. W. und HÜTTL, R. F. 1985:** Schadsymptome und Ernährungszustand von Fichtenbeständen im südwestdeutschen Alpenvorland. AFZ, **40**, S. 197-199

Danksagung

Die Datenbasis der vorliegenden Arbeit bildeten die Erhebungen am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. Finsterwalde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Verbundprojektes „Zustand, Entwicklung und Behandlung von Waldökosystemen auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenrevieres als Beitrag zur Gestaltung ökologisch stabiler, multifunktional nutzbarer Folgelandschaften“ (Fkz. 06733). Deshalb sei den Kolleginnen und Kollegen am **Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. Finsterwalde** (FIB) für die Bereitstellung von Aufnahme- bzw. Analysedaten für die weiterführende Auswertung gedankt.

Für die Themenüberlassung und die kritische, konstruktive Begleitung der Arbeit danke ich meinen Betreuern an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Tharandt, **Herrn Prof. Dr. habil. Franz Makeschin** (Institut für Bodenkunde und Standortslehre) und **Herrn Prof. Dr. habil. Heinz Röhle** (Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik). Besonderer Dank gilt **Herrn Prof. Dr. sc. Joachim Katzur** (Leiter FIB bis Februar 2002), der die Promotion angeregt und mit hohem Zeit- und Energieaufwand maßgeblich betreut hat, für seine zahllosen wertvollen Hinweise.

Meinen Kollegen an der Landesforstanstalt Eberswalde danke ich für die Unterstützung bei fachlichen und technischen Fragen. Insbesondere sei **Frau Dr. Annett Degenhardt** für die unkomplizierte und kompetente Hilfe bei der mathematisch-statistischen Auswertung, **Herrn Prof. Dr. habil. Dieter Heinsdorf** für Hinweise zu kippenspezifischen Fragestellungen sowie den Kolleginnen und Kollegen des Dezernates Waldbau/Versuchsreviere **Frau Gudrun Lübge**, **Frau Kerstin Hainke**, **Herrn Torsten Haß** und **Herrn Thomas Peters** für die freundliche Hilfe bei technischen Problemen und bei der Textgestaltung gedankt. Für die Abstimmung der für die Dissertation erforderlichen Bearbeitungszeiten mit den Arbeitszeiten der Dienststelle danke ich **Herrn Prof. Dr. Klaus Höppner** (Leiter der Landesforstanstalt Eberswalde) sowie **Herrn Peter Allrich** (bis Januar 2002 Leiter der Abteilung Waldbau/Waldwachstum der Landesforstanstalt Eberswalde) und **Herrn Eckard Hafemann** (seit Juli 2002 Leiter der Abteilung Waldbau/Waldwachstum der Landesforstanstalt Eberswalde).

Mein Dank gilt außerdem meinen Eltern, **Johanna und Manfred Stähr**, für die organisatorische Unterstützung und sämtliche, sehr nützliche Korrekturlesungen.

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig bzw. ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als diese kenntlich gemacht worden.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zwecke der Promotion vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht worden.

Eberswalde, den 29.08.2003

Falk Stähr

**Interaktionen zwischen Boden und Bestockung
auf Kippenstandorten des Niederlausitzer Braunkohlen-
revieres am Beispiel der Rekultivierungsbaumarten
Gemeine Kiefer, Gemeine Birke und Traubeneiche**

- Wachstums-, ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen -

Anlagen der Dissertation

**zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum silvaticarum (Dr. rer. silv.)**

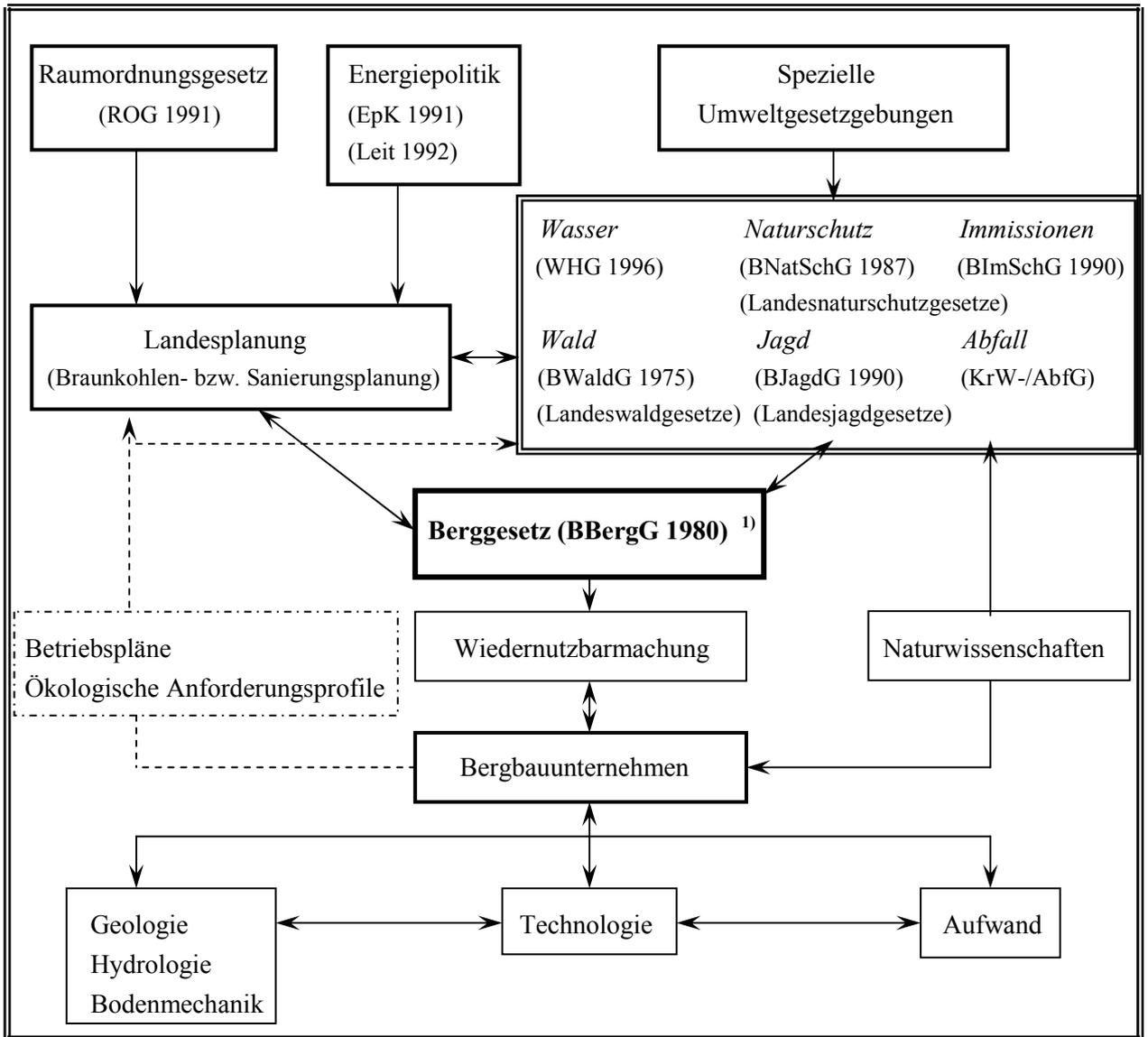
vorgelegt

**der Technischen Universität Dresden,
Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften,
Fachrichtung Forstwissenschaften**

von Dipl.-Ing. für Forstwirtschaft

Falk Stähr

Anlage 1: Gesetzliche und landesplanerische Grundlagen bei der Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften
(verändert nach DREBENSTEDT 1998)



Anm.: 1) bis 03.10.1990 Berggesetz der Deutschen Demokratischen Republik (BG-DDR 1969),
ab 03.10.1990 Bundesberggesetzes (BBergG 1980)

Anlage 2: Repertorium der Substratmerkmale und -anforderungen
(THOMASIVS et al. 1999)

Merkmale	Kipp - Substrate				
	<i>Kipp-Kohlesand</i>	<i>Kipp-Sand</i> <i>Kipp-Kiessand</i>	<i>Kipp-Lehmsand</i> <i>Kipp-Kalklehmsand</i>	<i>Kipp-Lehm</i> <i>Kipp-Kalklehm</i>	<i>Kipp-Ton</i>
Dominierende Bodenart	± kiesiger, kohlehaltiger, schwach lehmiger Sand, kohle- und tonbrockig	kiesiger bis stark kiesiger Sand	± kiesiger, stark lehmiger Sand, lehm-, schluff- oder kohlebrockig	± kiesiger, sandiger Lehm bis Lehm, schluff-, ton- und kohlebrockig	lehmiger bis schluffiger Ton, z.T. kohlebrockig
Lagerungsdichte, Gefüge	gering; Einzelkorn- und Bröckelgefüge	sehr gering; Einzelkorngefüge	mittel; Bröckel- bis Feinpolyederggefüge	mittel bis hoch; Polyeder-, Prismen- oder Plattengefüge	hoch; Polyeder- oder Klumpengefüge
Durchlüftung	mittel	stark	mittel	gering infolge niedrigen Grobbodenanteils	sehr gering wegen Mangel an Grobporen
Wasserdurchlässigkeit (kf)	gering bis mittel; oberflächiger Benetzungswiderstand	hoch	mittel	gering	sehr gering
Nutzbare Feldkapazität (nFK)	mittel; steigt mit dem Kohlegehalt	gering	mittel bis hoch	gering bis mittel	sehr gering
Mineral- und Nährstoffvorrat	arm; C _r -Gehalt mittel bis hoch; S-Gehalt mittel bis hoch, anorgan. (Pyrit) und organ. gebunden	arm	mittel bis reich; Feldspäte, Glimmer, Calcit	kräftig bis reich; Feldspäte, Glimmer, Calcit	arm
Sorption (KAK)	mittel bis hoch	sehr gering bis mittel	mittel	mittel bis hoch infolge 3-Schicht-Tonmineralien	mittel wegen Vorherrschaft von Kaolinit
Basensättigung	sehr basenarm	basenarm	mittelbasisch bis basenreich	mittelbasisch bis basenreich	basenarm
Bodenreaktion	sehr stark sauer	schwach sauer bis sauer	schwach sauer bis schwach alkalisch	schwach sauer bis schwach alkalisch	stark sauer

Anlage 2: Repertorium der Substratmerkmale und -anforderungen
(Fortsetzung)

Merkmale	Kipp - Substrate				
	<i>Kipp-Kohlesand</i>	<i>Kipp-Sand</i> <i>Kipp-Kiessand</i>	<i>Kipp-Lehmsand</i> <i>Kipp-Kalklehmsand</i>	<i>Kipp-Lehm</i> <i>Kipp-Kalklehm</i>	<i>Kipp-Ton</i>
Zusätzliche Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Schwefel mit hohem Säurepotenzial, freies Al und Fe am Sorptionskomplex • Schwermetalle können wirksam werden • C_t-Gehalt erhöht Sorptions- u. nutzbare Feldkapazität, Festlegung von N und P • Grundmelioration (Kalkung u. N-P-K-Düngung) kompensiert freie Säuren, verbessert Nährstoffgehalt, fördert Infiltration, Abbau kohligler Substanzen und Bodenleben 	<ul style="list-style-type: none"> • Trockenisgefahr • niedrige Pufferung • hohe Schadstoffempfindlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • ausgeglichene bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften • gut gepufferte Substrate, vor allem bei CaCO₃-Gehalt • geringe Schadstoffempfindlichkeit • günstige Voraussetzungen für Humusakkumulation und Edaphon • kaum verschlammungsgefährdet 	<ul style="list-style-type: none"> • Neigung zur Verdichtung und Verschlammung führt zu Haft- und Staunässe in ebenen Lagen • gefügelabil • starke Pufferung, damit geringe Schadstoffempfindlichkeit • erhebliche Anteile an leicht verwitterbaren Primärmineralien gewährleisten Nährstoffnachlieferung • geotopgerechte Baumarten lockern Substrat, führen zur Verbesserung bodenphysikalischer Merkmale und zur Erhöhung der biologischen Aktivität 	<ul style="list-style-type: none"> • Wechsel zwischen starker Oberbodenvernäsung (Regenperioden) und starker Austrocknung (Trockenzeiten) • Wasserführung in Schwundrisse • Verschlammungen • Gefügelabilität • Nährstoffe in kolloidreicher Substanz fest gebunden • bodenchemische Prozesse träge • geringe biologische Aktivität

Anlage 3: Historie der forstlichen Rekultivierung in Ostdeutschland (THOMASIU et al. 1998)

Epochen	Entwicklung der Wiedernutzbarmachung von Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus		Jüngere Forstgeschichte in Ostdeutschland (THOMASIU 1992)	
	Zeitraum	Bezeichnung und Merkmale	Zeitraum	Bezeichnung und Merkmale
Bis zum 1. Weltkrieg		1. Zeitepoche der spontanen Renaturierung (Sukzession von Grabelöchern und Tiefbauflächen)		1. Zeitepoche der Dominanz des schlagweisen Hochwaldsystems
1. Weltkrieg				
Nach dem 1. Weltkrieg bis zum Ausgang des 20. Jahrhunderts	1920-1935	2. Epoche planmäßiger Rekultivierungsmaßnahmen 2.1 Zeitabschnitt empirischer Aufforstungsversuche mit Zufallsauswahl der Baumarten sowie ziemlich willkürlichen Buntmischungen	1920-1935	2. Zeitepoche der Auseinandersetzungen zwischen den Systemen des schlagweisen und des schlagfreien Hochwaldes 2.1 Zeitabschnitt der Dauerwaldbewegung (HEUSON 1929)
	1935-1940	2.2 Zeitabschnitt planmäßiger Rekultivierungsarbeiten unter stärkerer Berücksichtigung neuer geowissenschaftlicher Erkenntnisse	1935-1940	2.2 Zeitabschnitt der ersten Ära standortgemäßer Forstwirtschaft (COPIEN 1942)
2. Weltkrieg				
	1945-1951	2.3 Zeitabschnitt der wiederum empirisch geprägten Rekultivierungsarbeiten	1945-1951	2.3 Zeitabschnitt der Nachkriegsforstwirtschaft
	1951-1961	2.4 Zeitabschnitt der von einem generellen Pappelanbauprogramm geprägten Rekultivierung	1951-1961	2.4 Zeitabschnitt der Vorratspflege
	1961-1981	2.5 Zeitabschnitt intensiver bodengeologischer und forstökologischer Forschungen mit Ausarbeitungen fundierter Rekultivierungsrichtlinien 2.6 Zeitabschnitt einer einseitigen Produktivitätsorientierung bei der Braunkohlenförderung und maximalen Holzproduktion der Kippenbestockungen (Pappelanbau)	1961-1971 1971-1985	2.5 Zeitabschnitt der zweiten Ära standortgemäßer Forstwirtschaft 2.6 Zeitabschnitt der industriemäßigen Produktionsmethoden mit einseitiger Produktivitätsorientierung der Forstwirtschaft
	1981-1989	2.7 Reformzeit mit Rückbesinnung auf Ökologie und Funktionsvielfalt der Kippen	1985-1989	2.7 Reformzeit mit Rückbesinnung auf Ökologie und Funktionsvielfalt der Wälder
Ausgang des 20. Jahrhunderts		3. Zeitepoche der ökologisch orientierten Wiedernutzbarmachung mit multifunktionalen Zielstellungen bei übergeordneter Raumplanung	nach 1989	3. Zeitepoche einer ökogerechten, multifunktionalen Forstwirtschaft

Anlage 4: Versuchsflächenübersicht

Anlage 4.1: Übersicht über die Referenz-, Ergänzungs- und Vergleichsflächen

Referenzflächen Gemeinde Kiefer (GKI)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Land:	Land Brandenburg																					
Landkreis:	Oberspreewald-Lausitz																					
Kippe:	Brieske / Meuro-Süd																					
Wuchsgebiet ¹⁾:	Boden-Relief-Kombination: Nordostdeutsches Altmoränenland																					
Wuchsbezirk ²⁾:	Ruhlander Niederung																					
Amtsbereich:	Amt für Forstwirtschaft Doberlug-Kirchhain																					
Oberförsterei:	Doberlug																					
Revier:	Weißhaus																					
Waldort / Abt.:	Schadewitz																					
Alter [Jahre] ³⁾:	56	60	58	65	53	53	62	57	57	62	62	58	60	60	60	69	60	69	69	60	60	52

Referenzflächen Trauben-/Roteiche (TEI/REI)												
	1	2	3	4-V1	4-V2	5-V1	5-V2	6	7			
Land:	Land Brandenburg									Freistaat Sachsen		
Landkreis:	Elbe-Elster									Kamenz		
Kippe:	Domsdorf									Laubusch		
Wuchsgebiet ¹⁾:	Düben-Niederlausitzer Altmoränenland / Nordostdeutsches Altmoränenland									Überg. Ruhl. Nied. zu Thiendorf. R.-Pl.		
Wuchsbezirk ²⁾:	Priebener Platte									Überg. Ruhl. Nied. zu Thiendorf. R.-Pl.		
Amtsbereich:	Amt für Forstwirtschaft Doberlug-Kirchhain									SäFoA Hoyersw.		
Oberförsterei:	Doberlug									Senftenberg		
Revier:	Weißhaus									Schadewitz		
Waldort / Abt.:	101 a ³ 102 a ¹ 104 a ⁵									1022 a ³ 1022 a ⁶ 1132 b ²		
Alter [Jahre] ³⁾:	56	58	56	43	50	67	63	67	54	58	50	45

Ann.:

- 1) Zuordnung nach SCHWANECKE und KOPP (1996)
- 2) Zuordnung nach aktualisiertem Kartenmaterial der Landesforstanstalt Eberswalde und der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Graupa (Stand 1998)
- 3) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1997

Anlage 4.1: Übersicht über die Referenz-, Ergänzungs- und Vergleichsflächen (Fortsetzung)

Baumart	Bezeichnung	Alter [Jahre]	Land / Freistaat	Landkreis	Kippe / Halde	Waldort			Durchgeführte Analytik				
						AF	Obf.	Revier	Abt.	Humus	Boden	Wachstum	SSA
Ergänzungs- und Vergleichsflächenpool													
GKI	JB-1	45	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	70 ³	X	X	X	X
	JB-2	42	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	64 ³	X	X	X	X
	JB-3	36	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	58 ⁹	X	X	X	X
	JB-4	36	Brandenburg	EE	Tröbitz Nord	Doberl.-Kh.	Doberlug	Doberlug	87 ²	X	X	X	X
	JB-5	38	Brandenburg	EE	Tröbitz Nord	Doberl.-Kh.	Doberlug	Doberlug	86 ⁴	X	X	X	X
	KL-V1	23	Brandenburg	OSL	Kleinleipisch	Doberl.-Kh.	Doberlug	Kleinleipisch	1703 ²	X	X	X	X
	KL-V2	23	Brandenburg	OSL	Kleinleipisch	Doberl.-Kh.	Doberlug	Kleinleipisch	1703 ²	X	X	X	X
	GB-SW ¹⁾	80	Brandenburg	EE	Gewachsener Boden	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	53 ⁵	X	X	X	X
	(01.01.1997)												
GBI	JB-1	37	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	65 ⁷	X	X	X	X
	JB-2	36	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	70 ¹²	X	X	X	X
	GB-BS ¹⁾	74	Brandenburg	EE	Gewachsener Boden	Doberl.-Kh.	Liebenwerda	Beutersitz	5226 ¹				X
	GB-WT ¹⁾	59	Brandenburg	EE	Gewachsener Boden	Doberl.-Kh.	Finsterwalde	Weberteich	28 ²				X
	(01.01.1998)												
TEI	GB-WI ¹⁾	52	Sachsen	Kamenz	Gewachsener Boden	SäFoA Hoyerswerda	Wittichenau		41 ⁹				X
	GB-GO ¹⁾	39	Brandenburg	EE	Gewachsener Boden	Doberl.-Kh.	Elsterwerda	Gorden	4201 ^{b1}				X
	GB-SD ¹⁾	47	Brandenburg	EE	Gewachsener Boden	Doberl.-Kh.	Elsterwerda	Schraden	4066 ^{b2}				X
(01.01.1997)													
REI	JB-1	39	Brandenburg	EE	Tröbitz Nord	Doberl.-Kh.	Doberlug	Doberlug	22 ^{b2}	X	X	X	X
	JB-2	35	Brandenburg	EE	Tröbitz Nord	Doberl.-Kh.	Doberlug	Doberlug	23 ^{b1}		X	X	X
	JB-3	37	Brandenburg	EE	Domsdorfer Kippe	Doberl.-Kh.	Doberlug	Schadewitz	66 ⁶		(X) ²⁾	X	X
	JB-4	41	Sachsen	Kamenz	Halde Schwarzkollm	SäFoA Hoyerswerda	Lauta	Lauta	387 ^{a8}	X	(X) ²⁾	X	X
	JB-5	41	Sachsen	Kamenz	Halde Schwarzkollm	SäFoA Hoyerswerda	Lauta	Lauta	387 ^{a9}	X	(X) ²⁾	X	X
	MAB-1	63	Brandenburg	OSL	Kippe Annahütte	Doberl.-Kh.	Senftenberg	Wormlage	1293 ^{f3}	X	X	X	X

Anm.: 1) GB (Gewachsener Boden) = Vergleichsflächen

2) Analyse der bodenkundlichen Kennwerte umfasst lediglich Textur, C_r, N_r und S_r-Gehalte der untersuchten Bodentiefenstufen

Anlage 5: Ausgewählte wachstumskundliche Kenndaten - Übersicht

Anlage 5.1: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Kiefernbestände

Anlage 5.1.1: Kiefern-Jungbestände

Flä.- Nr.	Alter ¹⁾ [Jahre]	N _{Sh} [Stck/ha]	DG [cm]	HG [m]	HG100 [m]	VD IST [Vfm/ha]	V°	G _{Dh} [m ²]	rel. MHB	HM ₁₀₀ [m]	HO ₁₀₀ [m]	DGZ ₁₀₀ ²⁾ [m ³ /ha*a]
JB-1	45	1648	15,98	16,48	19,08	251,3	0,9	33,0	1,1	27,7	30,3	9,64
JB-2	42	1832	14,68	15,79	17,20	220,5	1,0	31,0	1,1	28,1	28,7	8,74
JB-3	36	2411	13,02	12,28	13,80	179,0	1,2	31,9	1,7	25,5	27,1	7,90
JB-4	36	6840	7,29	7,59	10,72	84,2	1,0	22,0	3,7	17,8	22,4	5,59
JB-5	38	2472	12,57	13,58	14,95	184,5	1,0	30,4	1,4	26,6	27,8	8,24
KL-V1	23	9320	6,35	7,17	8,25	55,3	1,3	18,2	2,1	24,1	25,0	6,80
KL-V2	23	10920	6,27	6,93	8,47	53,5	1,1	19,0	2,2	23,5	25,4	7,04
Median		2472	12,57	12,28	13,80	179,00	1,03	30,40	1,70	25,50	27,10	7,90
Mittelwert		5063	10,88	11,40	13,21	146,90	1,07	26,50	1,90	24,76	26,67	7,71
Variationskoeffiz.		71,38	35,18	33,64	29,60	51,33	12,03	22,65	44,21	13,15	9,12	16,17

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1997

2) Entspricht dem DGZ des Gesamtbestandes
(bezogen auf die Derbholzdaten)

DG/HG = Durchmesser/Höhe des Grundflächenmittelstammes

HG100 = Höhe des ASSMANNschen Oberhöhenstammes

rel. MHB = relative Mittelhöhenbonität

HM₁₀₀/HO₁₀₀ = absolute Mittelhöhenbonität/absolute Oberhöhenbonität

Anlage 5.1.2: Mittlere Kiefernbestände

Flä.- Nr.	Alter ¹⁾ [Jahre]	N _{Sh} [Stck/ha]	DG [cm]	HG [m]	HG100 [m]	VD IST [Vfm/ha]	V°	G _{Dh} [m ²]	rel. MHB	HM ₁₀₀ [m]	HO ₁₀₀ [m]	DGZ ₁₀₀ ²⁾ [m ³ /ha*a]	VS _{tot} [Vfm/ha]	VD _{tot} [Vfm/ha]
1	56	1280	19,87	18,08	20,37	334,1	1,1	39,7	1,6	25,90	28,20	8,48	1,6	1,5
2	60	1988	14,85	16,62	18,73	258,6	1,0	34,3	2,4	23,00	25,00	6,82	18,8	12,0
3	58	1507	16,47	17,70	20,04	259,7	0,9	32,1	1,9	24,90	27,20	7,96	3,0	2,6
4	65	928	20,92	20,75	22,29	301,4	0,8	31,9	1,4	26,70	28,00	8,39	0,0	0,0
5	53	928	20,36	19,12	19,92	262,1	0,9	30,2	1,0	28,20	28,30	8,56	17,7	14,6
6	53	1300	18,88	18,41	19,41	304,3	1,1	36,4	1,2	27,30	27,70	8,23	12,3	9,5
7	62	844	22,06	19,84	21,78	294,9	0,9	32,2	1,5	26,40	28,00	8,35	8,7	8,0
8	57	1052	19,22	18,77	20,19	260,5	0,8	30,5	1,5	26,50	27,70	8,22	12,1	7,9
9	57	1084	20,71	20,37	23,08	343,8	0,9	36,5	0,9	28,50	31,10	10,12	1,5	1,4
10	62	740	23,36	21,42	24,07	316,0	0,8	31,7	1,0	28,30	30,50	9,80	5,5	5,4
11	62	844	21,19	22,13	24,30	300,4	0,7	29,8	0,8	29,10	30,80	9,95	0,0	0,0
12	58	756	22,79	22,30	23,80	312,4	0,8	30,8	0,6	29,90	30,80	9,96	n.b.	n.b.
13	60	844	19,76	18,32	21,34	222,5	0,7	25,9	1,8	25,10	28,00	8,38	0,6	0,6
14	60	712	23,13	20,75	22,34	285,6	0,8	29,9	1,1	27,80	28,70	8,77	3,5	3,0
15	60	2940	10,80	9,62	11,18	113,5	1,1	25,7	4,6	14,20	15,60	2,92	5,4	1,8
16	69	732	23,82	18,21	19,38	279,0	1,0	32,6	2,5	22,60	23,60	6,13	2,5	2,3
17	60	2736	11,67	10,59	13,08	141,0	1,0	28,2	4,3	15,40	17,90	3,74	8,8	3,6
18	69	532	25,11	18,42	20,62	231,3	0,7	26,3	2,4	22,80	24,90	6,79	2,2	2,0
19	69	672	22,81	17,95	19,43	229,2	0,8	27,5	2,5	22,30	23,60	6,16	1,8	1,6
20	60	1004	19,83	17,34	19,62	252,3	0,9	31,0	2,2	23,60	25,60	7,14	1,1	0,9
21	60	960	20,03	19,41	20,59	266,3	0,9	30,2	1,5	26,10	26,70	7,71	2,2	2,0
22	52	840	20,54	18,93	20,25	242,1	0,8	27,8	1,1	28,00	28,70	8,78	1,0	0,9
Median		928	20,45	18,60	20,31	264,20	0,90	30,65	1,50	26,25	27,85	8,29	2,50	2,00
Mittelwert		1147	19,92	18,41	20,26	264,14	0,88	30,96	1,81	25,12	26,66	7,79	5,25	3,89
Variationskoeffiz.		54,01	17,90	16,39	14,98	20,55	13,95	11,17	55,65	15,60	14,19	23,09	105,55	103,54

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1997
 2) Entspricht dem DGZ des Gesamtbestandes
 (bezogen auf die Derbholzdaten)

DG/HG = Durchmesser/Höhe des Grundflächenmittelstammes
 HG100 = Höhe des ASSMANNschen Oberhöhenstammes
 rel. MHB = relative Mittelhöhenbonität
 HM₁₀₀/HO₁₀₀ = absolute Mittelhöhenbonität/absolute Oberhöhenbonität

Anlage 5.2: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Birkenbestände

Flä.- Nr.	Alter ¹⁾ [Jahre]	N _{Sh/Dh} [Stck/ha]	DG [cm]	HG [m]	HG100 [m]	VD IST [Vfm/ha]	V° ²⁾	G _{Dh} [m ²]	rel. HBon (Ekl.) ²⁾	HO ₁₀₀ ²⁾ [m]	DGZ ₁₀₀ ³⁾ [m ³ /ha*a]	VS _{tot} [Vfm/ha]	VD _{tot} [Vfm/ha]
1	56	768	17,22	18,22	19,87	145,9	1,2	17,9	3,6	21,6	3,51	7,4	6,3
2	58	332 / 328	21,07	17,70	19,29	88,0	0,6	11,6	3,8	20,7	3,19	5,3	5,2
3	56	416	18,73	16,75	18,34	83,8	0,7	11,5	4,0	20,0	3,08	9,4	8,8
4	43	832 / 828	16,86	17,80	19,12	146,4	1,2	18,6	3,3	23,0	4,50	9,6	8,4
5	50	780 / 773	18,50	19,89	21,61	182,1	1,3	20,9	2,9	24,4	4,68	5,5	5,0
6	67	324	24,34	21,83	22,77	136,3	0,9	15,1	3,1	23,7	3,86	19,5	18,6
7	63	284	26,57	21,26	22,58	139,3	0,9	15,7	3,1	23,8	4,04	37,0	34,9
8	67	280 / 276	22,57	20,81	22,06	96,4	0,7	11,2	3,3	23,0	3,70	18,0	17,1
9	54	824	16,99	19,73	20,93	160,1	1,1	18,7	3,3	23,0	4,20	11,8	10,5
10	58	612	16,81	15,16	16,69	92,7	1,0	13,6	3,5	18,0	2,42	2,8	2,9
11	50	680	17,14	16,06	17,28	113,2	1,1	15,7	4,2	19,4	2,94	1,3	1,1
12	45	864 / 844	13,41	13,16	15,74	74,2	0,9	12,1	4,4	18,6	2,77	3,6	2,4
Median		646 / 646	17,86	18,01	19,58	124,75	0,94	15,40	3,39	22,26	3,61	8,40	7,35
Mittelwert		583 / 580	19,18	18,20	19,69	121,53	0,96	15,22	3,52	21,58	3,57	10,93	10,10
Variationskoeffizient		39,0 / 38,9	18,68	13,86	11,49	27,31	21,95	20,69	12,84	9,79	19,05	87,34	90,28
JB-1	37	1412 / 1284	11,97	12,76	14,94	92,0	0,9	15,5	4,13	19,48	3,00	7,5	2,9
JB-2	36	924 / 872	14,11	13,08	15,24	86,8	1,1	14,3	3,95	20,20	3,32	6,3	3,3
Median^{alle}		724 / 724	17,18	17,75	19,21	104,80	0,94	15,30	3,56	21,14	3,42	7,45	5,75
Mittelwert^{alle}		667 / 651	18,31	17,44	19,03	116,94	0,96	15,17	3,60	21,33	3,52	10,36	9,10
Variationskoeffiz.^{alle}		46,2 / 43,5	21,71	17,07	13,88	28,00	20,77	19,28	12,73	9,63	18,48	86,46	96,59

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1997

2) Bestimmung der Bonitäten und V°-Ermittlung nach Birken-Ertragstafel von LOCKOW (1996)

3) Entspricht dem DGZ des Gesamtbestandes (bezogen auf die Dertholzdaten)

DG/HG =

Durchmesser/Höhe des Grundflächenmittelstammes

HG100 =

Höhe des ASSMANNschen Oberhöhenstammes

rel. HBon =

relative Höhenbonität (Ertragsklasse)

HO₁₀₀ =

absolute Oberhöhenbonität

Anlage 5.3: Wachstumskundliche Kenndaten der untersuchten Eichenbestände

Baumart	Flä.-Nr.	Alter ¹⁾ [Jahre]	N _{Stk/Dh} [Stck/ha]	DG [cm]	HG [m]	HG100 [m]	VD IST [Vfm/ha]	V° ²⁾ [Vfm/ha]	VD _{tot} [Vfm/ha]	G _{Sh} [m ²]	G _{Dh} [m ²]	rel. MHB (Ekl.) ²⁾	HO ₁₀₀ ^{2),4)} [m]	DGZ ₁₀₀ ³⁾ [m ³ /ha*a]
Traubeneiche														
TEI	1	36	2862 / 1750	9,00	10,70	13,96	77,4	0,6	1,0	18,2	15,6	1,4	30,8	8,56
TEI	2	28	3046 / 2340	9,61	11,33	13,89	99,9	1,3	1,8	22,2	20,3	-0,3	30,2	8,14
TEI	3	28	4356 / 2111	7,95	9,20	12,70	73,3	1,2	0,0	21,6	17,0	0,6	29,1	7,49
TEI	4-V1	23	4280 / 880	5,66	5,81	7,09	12,0	1,5	0,1	10,8	5,1	1,4	22,1	3,96
TEI	4-V2	23	5060 / 880	5,54	6,11	7,37	12,3	1,4	0,2	12,2	5,1	1,2	22,4	4,06
TEI	6	44	908 / 908	17,42	16,58	18,84	179,5	1,0	n.b.	21,6	21,6	0,0	30,8	8,57
TEI	7	36	704 / 660	17,39	13,62	15,90	118,1	0,7	n.b.	16,7	16,6	0,4	33,0	10,06
Median _{TEI}			3046 / 908	9,00	10,70	13,89	77,40	1,15	0,20	18,20	16,60	0,60	30,20	8,14
Mittelwert _{TEI}			3030 / 1361	10,37	10,48	12,82	81,79	1,07	0,62	17,61	14,47	0,67	28,34	7,26
Variationskoeffiz. _{TEI}			51,99 / 46,72	45,07	34,29	31,02	66,95	30,47	111,00	24,44	43,13	94,44	14,12	29,99
Roteiche														
REI	5-V1	23	2640 / 900	6,21	7,33	8,69	11,6	0,6	0,1	8,0	4,6	3,2	22,3	4,25
REI	5-V2	23	6000 / 260	4,65	6,55	7,86	3,4	0,2	0,1	10,2	1,4	3,5	20,7	3,70
REI	JB-1	39	4650 / 1780	7,15	10,34	14,62	66,8	0,8	0,0	18,7	13,4	4,2	21,7	4,03
REI	JB-2	35	2050 / 820	7,21	6,30	10,48	20,2	0,5	0,0	8,4	6,2	5,2	17,5	2,75
REI	JB-3	37	1093 / 1019	14,70	16,09	18,23	141,6	1,1	0,0	18,5	18,3	2,1	27,1	6,06
REI	JB-4	41	2190 / 2019	14,19	18,91	20,01	303,3	1,9	7,4	34,6	34,1	1,7	27,2	6,08
REI	JB-5	41	1667 / 1617	14,79	17,22	18,38	234,4	1,8	0,0	29,3	29,2	2,2	25,1	5,27
REI	MAB-1	63	388 / 388	33,40	25,31	27,12	439,9	1,5	13,1	34,0	34,0	1,3	29,8	7,18
Median _{REI} ⁵⁾			2190 / 1019	7,21	10,34	14,62	66,80	0,79	0,00	18,50	13,40	3,20	22,30	4,25
Mittelwert _{REI} ⁵⁾			2899 / 1202	9,84	11,82	14,04	111,61	0,97	1,09	18,24	15,31	3,16	23,09	4,59
Variationskoeffiz. _{REI} ⁵⁾			56,47 / 48,01	42,29	42,69	33,18	98,61	62,94	237,46	53,09	76,06	36,97	14,32	25,31

Anm.: 1) Altersangaben zum Stichtag 01.01.1997

2) Bestimmung der Bonitäten und V°-Ermittlung nach Eichen-
Ertragstafel von ERTELD (1961) und BAUER (1953)3) Entspricht dem DGZ des Gesamtbestandes
(bezogen auf die Derbholzdaten)

4) Rechnerische Ableitung von der Bonitierung nach der Mittelhöhe

DG/HG = Durchmesser/Höhe des Grundflächenmittelstammes

HG100 = Höhe des ASSMANNschen Oberhöhenstammes

rel. MHB = relative Mittelhöhenbonität (Ertragsklasse)

HO₁₀₀ = absolute Oberhöhenbonität

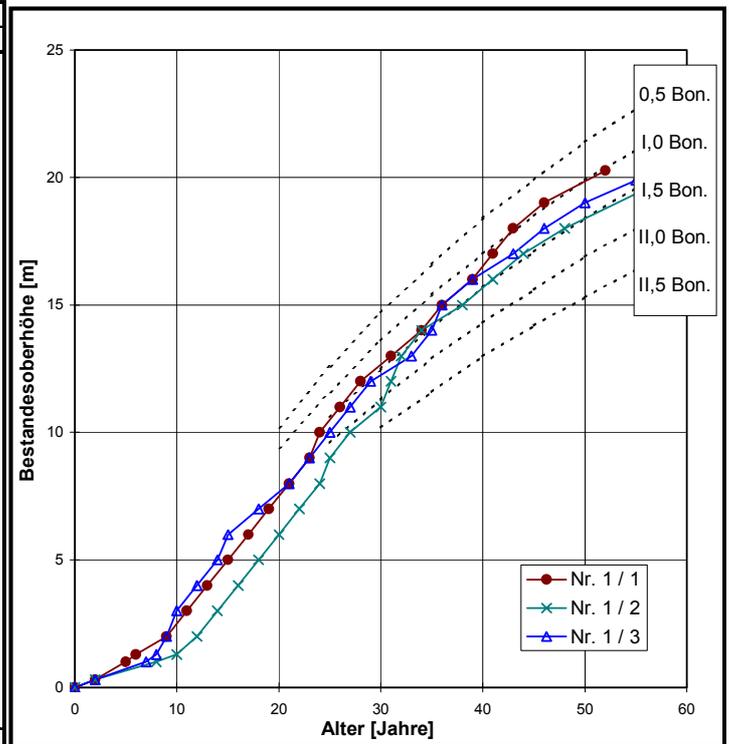
5) Berechnungen ohne MAB-1

Anlage 6: Stammscheibenanalysen

Anlage 6.1: Interpolation und Einzelkurven der Baumart Gemeine Kiefer

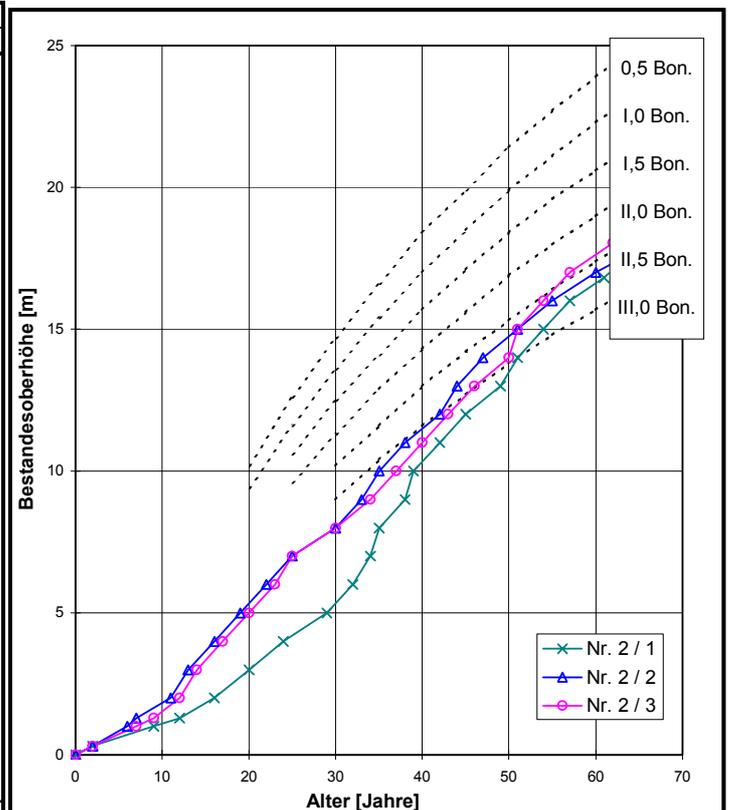
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 1

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 1 / 1	B 1 / 2	B 1 / 3	B Mw.
2	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,80	0,50	0,60	0,63
6	1,30	0,70	0,90	0,97
8	1,80	1,00	1,30	1,37
10	2,50	1,30	3,00	2,27
12	3,50	2,00	4,00	3,17
14	4,50	3,00	5,00	4,17
16	5,50	4,00	6,30	5,27
18	6,50	5,00	7,00	6,17
20	7,50	6,00	7,70	7,07
22	8,50	7,00	8,50	8,00
24	10,00	8,00	9,50	9,17
26	11,00	9,50	10,50	10,33
28	12,00	10,30	11,50	11,27
30	12,70	11,00	12,20	11,97
32	13,40	13,00	12,80	13,07
34	14,00	14,00	13,50	13,83
36	15,00	14,50	15,00	14,83
38	15,70	15,00	15,70	15,47
40	16,50	15,60	16,20	16,10
42	17,50	16,30	16,70	16,83
44	18,30	17,00	17,30	17,53
46	19,00	17,50	18,00	18,17
48	19,50	18,00	18,50	18,67
50	19,90	18,40	19,00	19,10
52	20,30	18,80	19,40	19,50
54	20,70	19,20	19,70	19,87
55	21,00	19,50	19,90	20,13



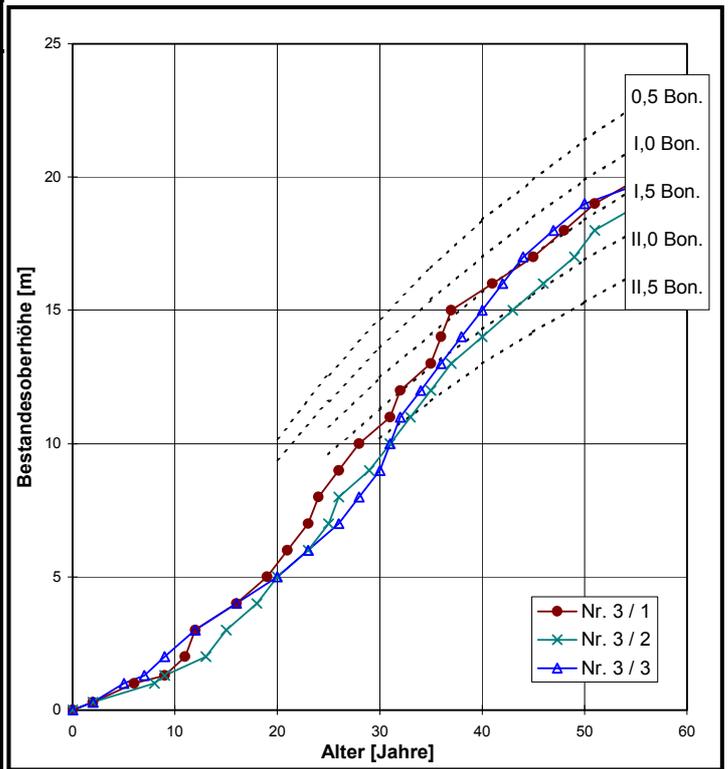
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 2

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 2 / 1	B 2 / 2	B 2 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,50	0,60	0,70	0,60
6	0,70	1,00	1,10	0,93
8	0,90	1,60	1,30	1,27
10	1,10	1,90	1,60	1,53
12	1,30	2,50	2,00	1,93
14	1,70	3,40	3,00	2,70
16	2,00	4,00	3,70	3,23
18	2,50	4,70	4,40	3,87
20	3,00	5,40	5,00	4,47
22	3,50	6,00	5,80	5,10
24	4,00	6,70	6,50	5,73
26	4,50	7,20	7,20	6,30
28	4,80	7,70	7,70	6,73
30	5,40	8,00	8,00	7,13
32	6,00	8,70	8,50	7,73
34	7,00	9,50	9,00	8,50
36	8,30	10,30	9,70	9,43
38	9,00	11,00	10,40	10,13
40	10,30	11,50	11,00	10,93
42	11,00	12,00	11,70	11,57
44	11,70	13,00	12,40	12,37
46	12,30	13,70	13,00	13,00
48	12,80	14,30	13,50	13,53
50	13,50	14,80	14,00	14,10
52	14,30	15,30	15,50	15,03
54	15,00	15,80	16,00	15,60
56	15,70	16,20	16,60	16,17
58	16,30	16,60	17,20	16,70
60	16,70	17,00	17,70	17,13
62	17,10	17,40	18,10	17,53



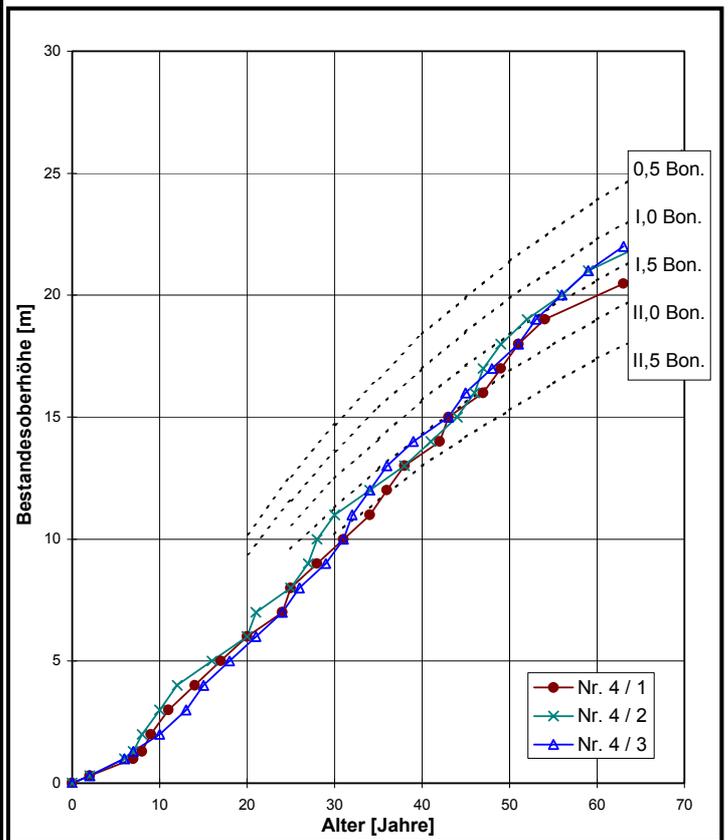
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 3

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 3 / 1	B 3 / 2	B 3 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,60	0,50	0,80	0,63
6	1,00	0,70	1,20	0,97
8	1,30	1,00	1,60	1,30
10	1,70	1,50	2,35	1,85
12	3,00	1,90	3,00	2,63
14	3,50	2,50	3,50	3,17
16	4,00	3,30	4,00	3,77
18	4,70	4,00	4,50	4,40
20	5,50	5,00	5,00	5,17
22	6,50	5,70	5,70	5,97
24	8,00	6,50	6,40	6,97
26	9,00	8,00	7,00	8,00
28	10,00	8,70	8,00	8,90
30	10,70	9,50	9,00	9,73
32	12,00	10,50	11,00	11,17
34	12,70	11,50	12,00	12,07
36	14,00	12,50	13,00	13,17
38	15,20	13,50	14,00	14,23
40	15,70	14,00	15,00	14,90
42	16,30	14,70	16,00	15,67
44	16,80	15,30	17,00	16,37
46	17,40	16,00	17,70	17,03
48	18,00	16,70	18,30	17,67
50	18,70	17,50	19,00	18,40
52	19,20	18,30	19,40	18,97
54	19,60	18,70	19,70	19,33
56	20,11	19,10	19,88	19,70
57	20,50	19,33	19,98	19,94



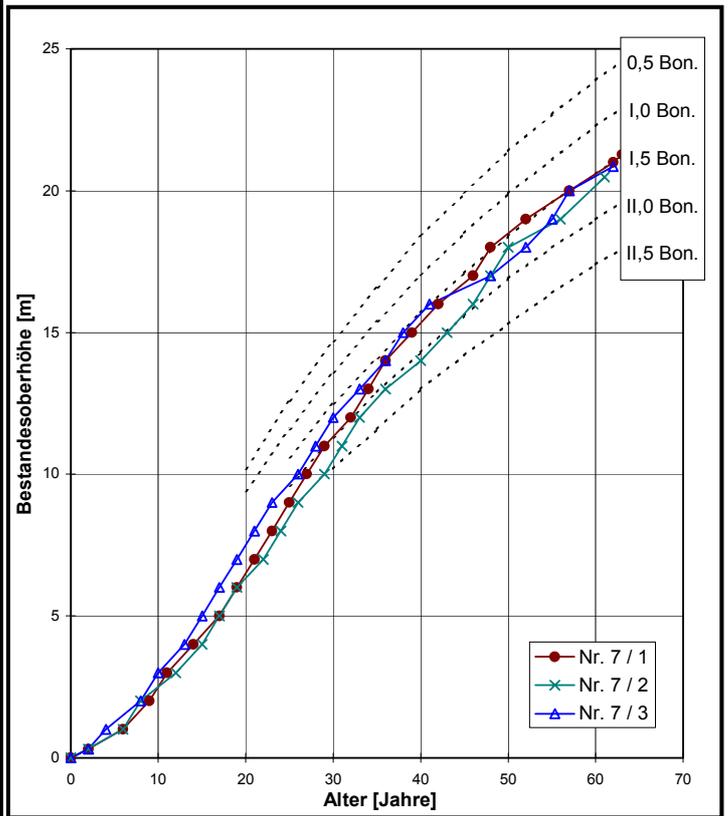
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 4

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 4 / 1	B 4 / 2	B 4 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,50	0,60	0,60	0,57
6	0,90	1,00	1,00	0,97
8	1,30	2,00	1,50	1,60
10	2,50	3,00	2,00	2,50
12	3,20	4,00	2,70	3,30
14	4,00	4,50	3,50	4,00
16	4,70	5,00	4,30	4,67
18	5,40	5,50	5,00	5,30
20	6,00	6,00	5,70	5,90
22	6,50	7,30	6,40	6,73
24	7,00	7,90	7,00	7,30
26	8,30	8,50	8,00	8,27
28	9,00	10,00	8,70	9,23
30	9,70	11,00	9,50	10,07
32	10,40	11,50	11,00	10,97
34	11,00	12,00	12,00	11,67
36	12,00	12,50	13,00	12,50
38	13,00	13,00	13,70	13,23
40	13,50	13,70	14,30	13,83
42	14,00	14,40	14,85	14,42
44	15,20	15,00	15,50	15,23
46	15,80	16,00	16,30	16,03
48	16,50	17,50	17,00	17,00
50	17,50	18,30	17,70	17,83
52	18,30	19,00	18,50	18,60
54	19,00	19,50	19,40	19,30
56	19,40	20,00	20,00	19,80
58	19,70	20,60	20,60	20,30
60	20,00	21,20	21,20	20,80
62	20,30	21,50	21,80	21,20
63	20,48	21,82	22,05	21,45



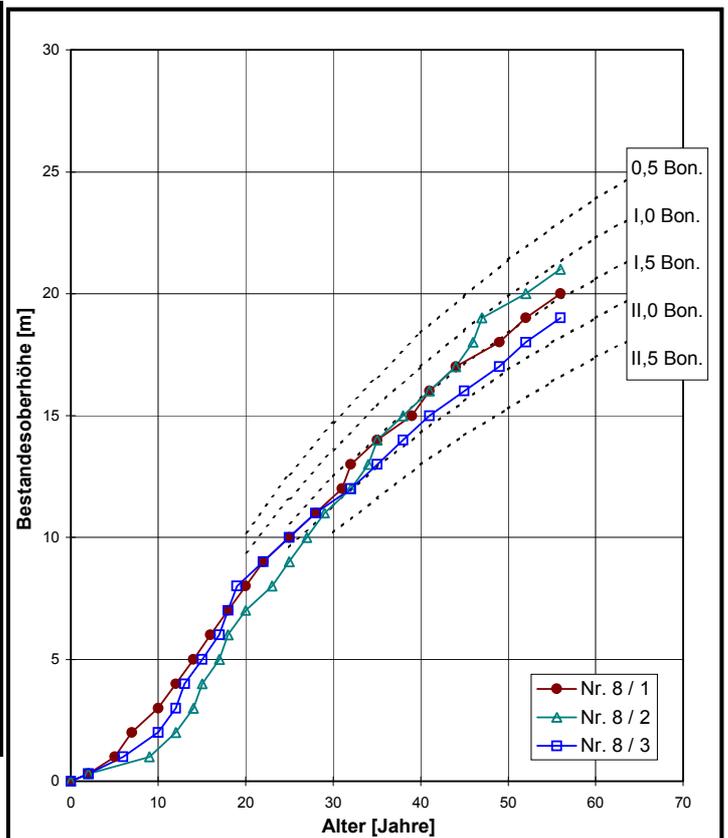
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 7

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 7 / 1	B 7 / 2	B 7 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,70	0,70	1,00	0,80
6	1,00	1,00	1,50	1,17
8	1,70	2,00	2,00	1,90
10	2,50	2,50	3,00	2,67
12	3,30	3,00	3,70	3,33
14	4,00	3,70	4,50	4,07
16	4,70	4,50	5,50	4,90
18	5,50	5,50	6,50	5,83
20	6,50	6,30	7,50	6,77
22	7,50	7,00	8,50	7,67
24	8,50	8,00	9,30	8,60
26	9,50	9,00	10,00	9,50
28	10,50	9,70	11,00	10,40
30	11,40	10,50	12,00	11,30
32	12,00	11,50	12,70	12,07
34	13,00	12,40	13,40	12,93
36	14,00	13,00	14,00	13,67
38	14,70	13,50	15,00	14,40
40	15,40	14,00	15,75	15,05
42	16,00	14,70	16,20	15,63
44	16,50	15,35	16,45	16,10
46	17,00	16,00	16,80	16,60
48	18,00	17,00	17,00	17,33
50	18,50	18,00	17,50	18,00
52	19,00	18,40	18,00	18,47
54	19,40	18,70	18,70	18,93
56	19,80	19,00	19,50	19,43
58	20,20	19,70	20,20	20,03
60	20,65	20,20	20,45	20,43
62	21,10	20,75	20,85	20,90



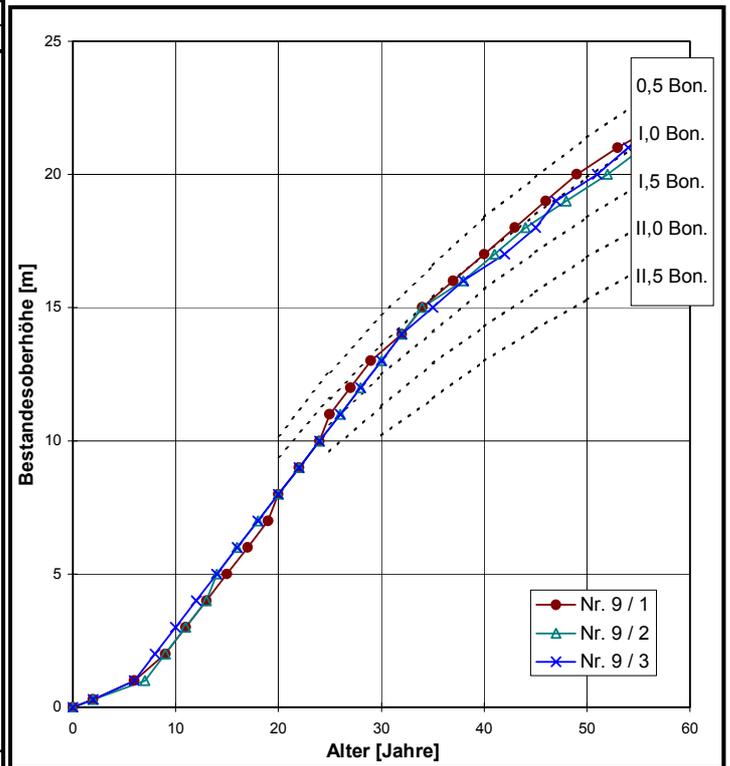
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 8

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 8 / 1	B 8 / 2	B 8 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	0,50	0,60	0,63
6	1,60	0,70	1,00	1,10
8	2,40	0,90	1,50	1,60
10	3,00	1,40	2,00	2,13
12	4,00	2,00	3,00	3,00
14	5,00	3,00	4,60	4,20
16	6,00	4,50	5,50	5,33
18	7,00	6,00	7,00	6,67
20	8,00	7,00	8,30	7,77
22	9,00	7,60	9,00	8,53
24	9,70	8,50	9,70	9,30
26	10,30	9,50	10,40	10,07
28	11,00	10,50	11,00	10,83
30	11,70	11,40	11,50	11,53
32	13,00	12,00	12,00	12,33
34	13,70	13,00	12,60	13,10
36	14,40	14,40	13,30	14,03
38	14,90	15,00	14,00	14,63
40	15,50	15,70	14,70	15,30
42	16,30	16,40	15,30	16,00
44	17,00	17,00	15,80	16,60
46	17,50	18,00	16,30	17,27
48	17,90	19,20	16,80	17,97
50	18,40	19,60	17,40	18,47
52	19,00	20,00	18,00	19,00
54	19,50	20,50	18,50	19,50
56	20,00	21,00	19,00	20,00



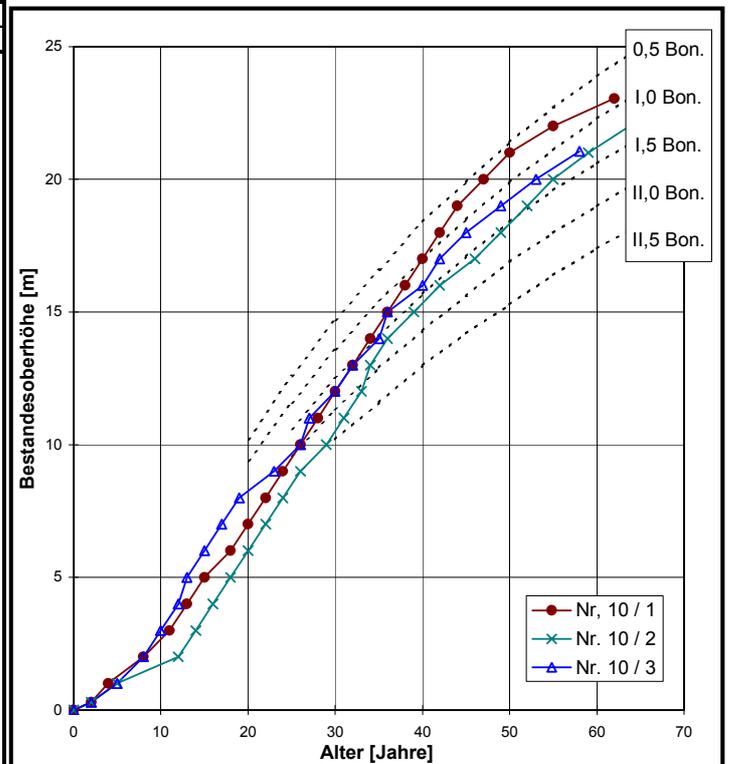
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 9

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 9 / 1	B 9 / 2	B 9 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,60	0,50	0,60	0,57
6	1,00	0,90	1,00	0,97
8	1,60	1,50	2,00	1,70
10	2,50	2,50	3,00	2,67
12	3,50	3,50	4,00	3,67
14	4,50	5,00	5,00	4,83
16	5,50	6,00	6,00	5,83
18	6,50	7,00	7,00	6,83
20	8,00	8,00	8,00	8,00
22	9,00	9,00	9,00	9,00
24	10,00	10,00	10,00	10,00
26	11,50	11,00	11,00	11,17
28	12,50	12,00	12,00	12,17
30	13,30	13,00	13,00	13,10
32	14,00	14,00	14,00	14,00
34	15,00	15,00	14,70	14,90
36	15,70	15,50	15,30	15,50
38	16,30	16,00	16,00	16,10
40	17,00	16,75	16,50	16,75
42	17,70	17,40	17,00	17,37
44	18,35	18,00	17,80	18,05
46	19,00	18,50	18,50	18,67
48	19,75	19,00	19,40	19,38
50	20,25	19,50	19,85	19,87
52	20,70	20,00	20,30	20,33
54	21,20	20,65	20,75	20,87
56	21,66	21,20	21,25	21,37
57	22,10	21,45	21,50	21,68



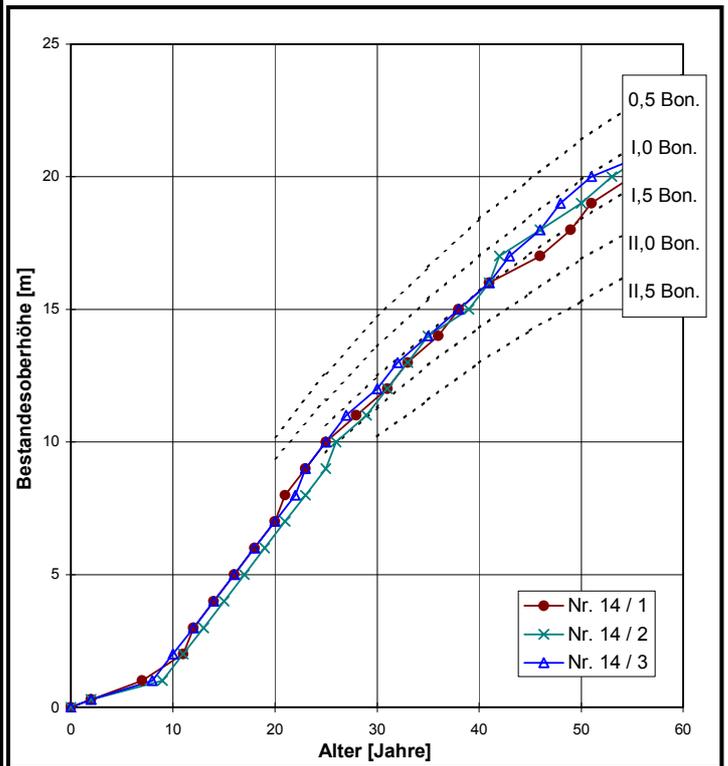
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 10

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 10 / 1	B 10 / 2	B 10 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	0,80	0,80	0,87
6	1,50	1,10	1,30	1,30
8	2,00	1,30	2,00	1,77
10	2,70	1,70	3,00	2,47
12	3,50	2,00	4,00	3,17
14	4,50	3,00	5,50	4,33
16	5,30	4,00	6,50	5,27
18	6,00	5,00	7,50	6,17
20	7,00	6,00	8,20	7,07
22	8,00	7,00	8,80	7,93
24	9,00	8,00	9,40	8,80
26	10,00	9,00	10,00	9,67
28	11,00	9,70	11,30	10,67
30	12,00	10,40	12,00	11,47
32	13,00	11,50	13,00	12,50
34	14,00	13,00	13,80	13,60
36	15,00	14,00	15,00	14,67
38	16,00	14,70	15,50	15,40
40	17,00	15,40	16,00	16,13
42	18,00	16,00	17,00	17,00
44	19,00	16,50	17,70	17,73
46	19,60	17,00	18,30	18,30
48	20,30	17,70	18,80	18,93
50	21,00	18,40	19,30	19,57
52	21,40	19,00	19,80	20,07
54	21,80	19,70	20,20	20,57
56	22,20	20,30	20,60	21,03
58	22,50	20,80	21,05	21,45
60	22,80	21,20	(21,40)	(21,80)
62	23,05	21,65	-	-
64	-	22,06	-	-



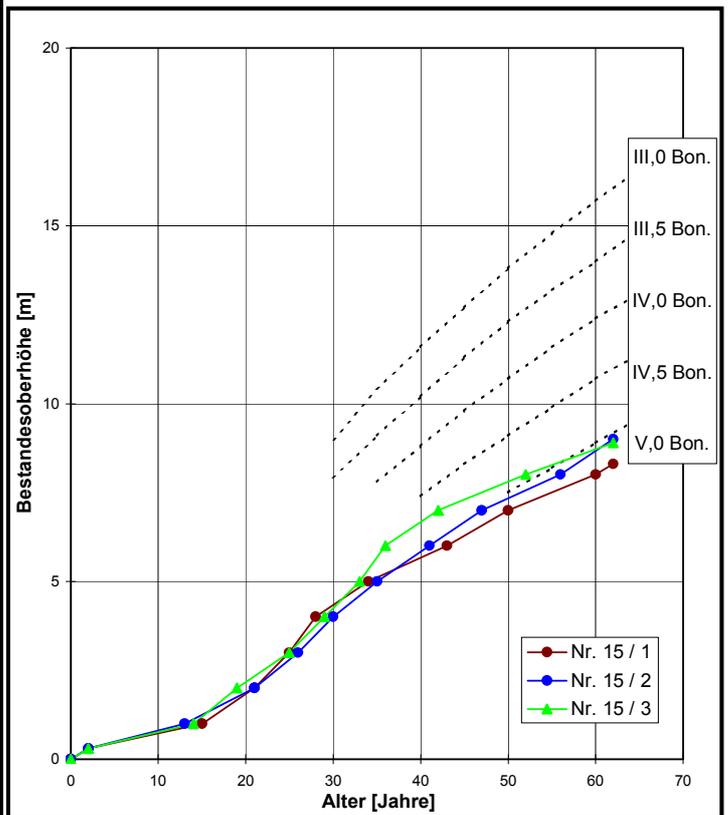
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 14

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 14 / 1	B 14 / 2	B 14 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,60	0,50	0,60	0,57
6	0,90	0,70	0,80	0,80
8	1,30	0,90	1,00	1,07
10	1,80	1,50	2,00	1,77
12	3,00	2,50	3,00	2,83
14	4,00	3,50	4,00	3,83
16	5,00	4,50	5,00	4,83
18	6,00	5,50	6,00	5,83
20	7,00	6,50	7,00	6,83
22	8,50	7,50	8,00	8,00
24	9,50	8,50	9,50	9,17
26	10,30	10,00	10,50	10,27
28	11,00	10,70	11,40	11,03
30	11,70	11,50	12,00	11,73
32	12,50	12,50	13,00	12,67
34	13,30	13,60	13,60	13,50
36	14,00	14,20	14,30	14,17
38	15,00	14,80	15,00	14,93
40	15,70	15,50	15,70	15,63
42	16,20	17,00	16,50	16,57
44	16,60	17,50	17,30	17,13
46	17,00	18,00	18,00	17,67
48	17,70	18,50	19,00	18,40
50	18,50	19,00	19,70	19,07
52	19,20	19,60	20,10	19,63
54	19,70	20,20	20,50	20,13
56	20,20	20,70	20,80	20,57
58	20,70	21,20	21,10	21,00



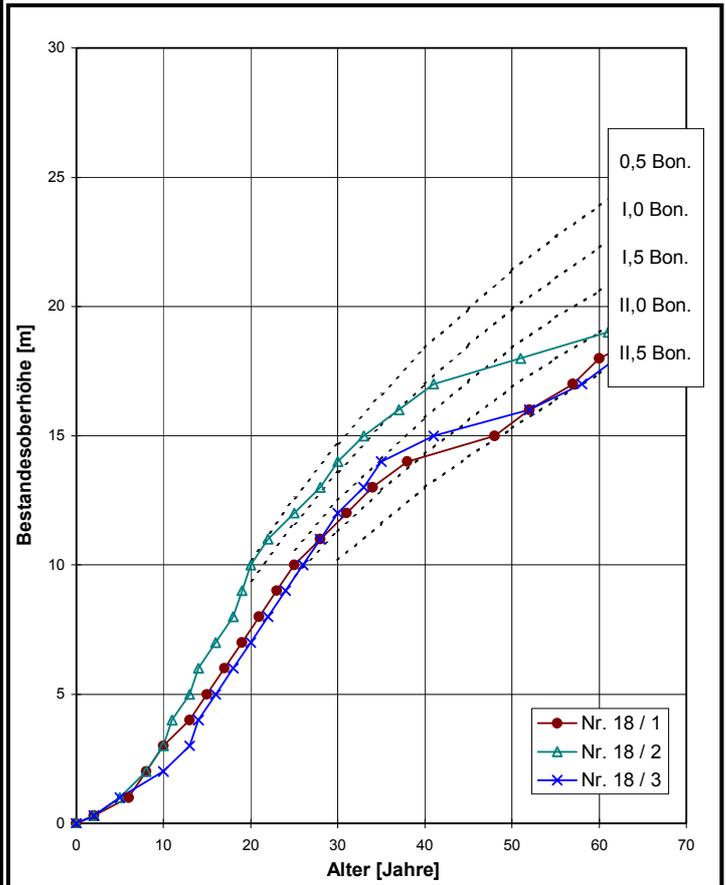
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 15

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 15 / 1	B 15 / 2	B 15 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,40	0,40	0,40	0,40
6	0,60	0,60	0,50	0,57
8	0,70	0,70	0,60	0,67
10	0,80	0,85	0,70	0,78
12	0,90	0,95	0,85	0,90
14	1,10	1,20	1,00	1,10
16	1,20	1,40	1,40	1,33
18	1,50	1,60	1,80	1,63
20	1,80	1,90	2,20	1,97
22	2,30	2,20	2,50	2,33
24	2,75	2,60	2,90	2,75
26	3,30	3,00	3,40	3,23
28	4,00	3,50	3,80	3,77
30	4,40	4,00	4,30	4,23
32	4,70	4,40	4,80	4,63
34	5,00	4,80	5,40	5,07
36	5,30	5,20	6,00	5,50
38	5,50	5,50	6,40	5,80
40	5,70	5,80	6,70	6,07
42	5,90	6,20	7,00	6,37
44	6,10	6,50	7,20	6,60
46	6,40	6,80	7,40	6,87
48	6,70	7,10	7,60	7,13
50	7,00	7,30	7,90	7,40
52	7,20	7,60	8,00	7,60
54	7,40	7,80	8,20	7,80
56	7,60	8,00	8,40	8,00
58	7,80	8,40	8,60	8,27
60	8,00	8,70	8,75	8,48
62	8,30	9,00	8,90	8,73



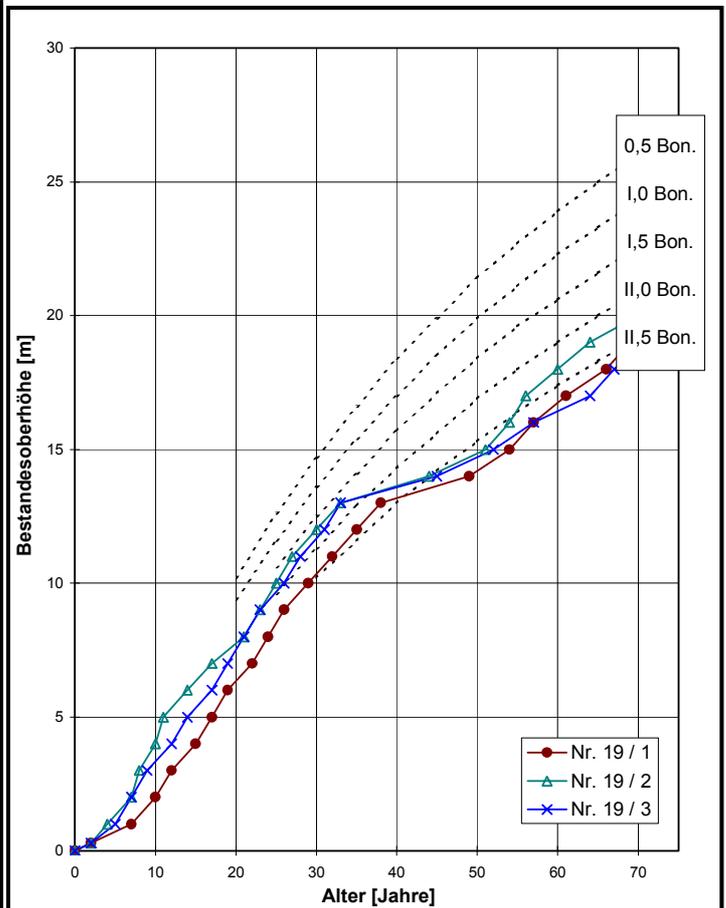
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 18

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 18 / 1	B 18 / 2	B 18 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,60	0,60	0,70	0,63
6	1,00	1,30	1,20	1,17
8	2,00	2,00	1,70	1,90
10	3,00	3,00	2,00	2,67
12	3,70	4,50	2,80	3,67
14	4,50	6,00	4,00	4,83
16	5,50	7,00	5,00	5,83
18	6,50	8,00	6,00	6,83
20	7,50	10,00	7,00	8,17
22	8,50	11,00	8,00	9,17
24	9,50	11,70	9,00	10,07
26	10,30	12,30	10,00	10,87
28	11,00	13,00	11,00	11,67
30	11,70	14,00	12,00	12,57
32	12,40	14,70	12,80	13,30
34	13,00	15,30	13,50	13,93
36	13,50	15,80	14,10	14,47
38	14,00	16,30	14,60	14,97
40	14,20	16,75	14,90	15,28
42	14,40	17,10	15,10	15,53
44	14,60	17,35	15,30	15,75
46	14,80	17,60	15,50	15,97
48	15,00	17,75	15,70	16,15
50	15,50	17,90	15,90	16,43
52	16,00	18,10	16,05	16,72
54	16,40	18,30	16,30	17,00
56	16,80	18,50	16,70	17,33
58	17,40	18,70	17,00	17,70
60	18,00	18,95	17,50	18,15
62	18,30	19,10	18,00	18,47
64	18,60	19,30	18,25	18,72
66	19,00	19,50	18,50	19,00
67	19,30	19,62	18,69	19,20



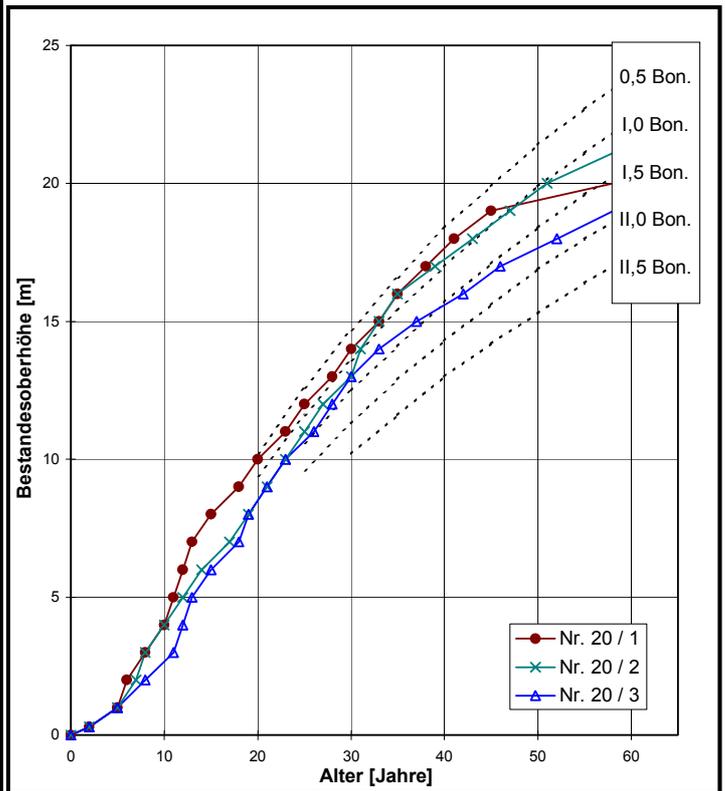
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 19

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 19 / 1	B 19 / 2	B 19 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,60	0,90	0,80	0,77
6	0,90	1,50	1,40	1,27
8	1,30	2,80	2,40	2,17
10	2,00	4,00	3,20	3,07
12	3,00	5,00	4,00	4,00
14	3,70	6,00	5,00	4,90
16	4,40	6,70	5,70	5,60
18	5,40	7,20	6,50	6,37
20	6,20	7,80	7,50	7,17
22	7,00	8,50	8,50	8,00
24	8,00	9,50	9,30	8,93
26	9,00	10,50	10,00	9,83
28	9,60	11,30	11,00	10,63
30	10,30	12,00	11,70	11,33
32	11,00	12,70	12,50	12,07
34	11,70	13,00	13,05	12,58
36	12,40	13,20	13,20	12,93
38	12,90	13,40	13,40	13,23
40	13,10	13,60	13,60	13,43
42	13,30	13,80	13,75	13,62
44	13,50	14,00	13,90	13,80
46	13,70	14,30	14,10	14,03
48	13,90	14,60	14,40	14,30
50	14,20	14,90	14,70	14,60
52	14,60	15,30	15,00	14,97
54	15,00	16,00	15,40	15,47
56	15,60	17,00	15,80	16,13
58	16,20	17,50	16,20	16,63
60	16,80	18,00	16,50	17,10
62	17,30	18,50	16,75	17,52
64	17,60	19,00	17,00	17,87
66	18,00	19,40	17,60	18,33
68	18,50	19,70	18,20	18,80
69	19,00	19,83	18,46	19,10



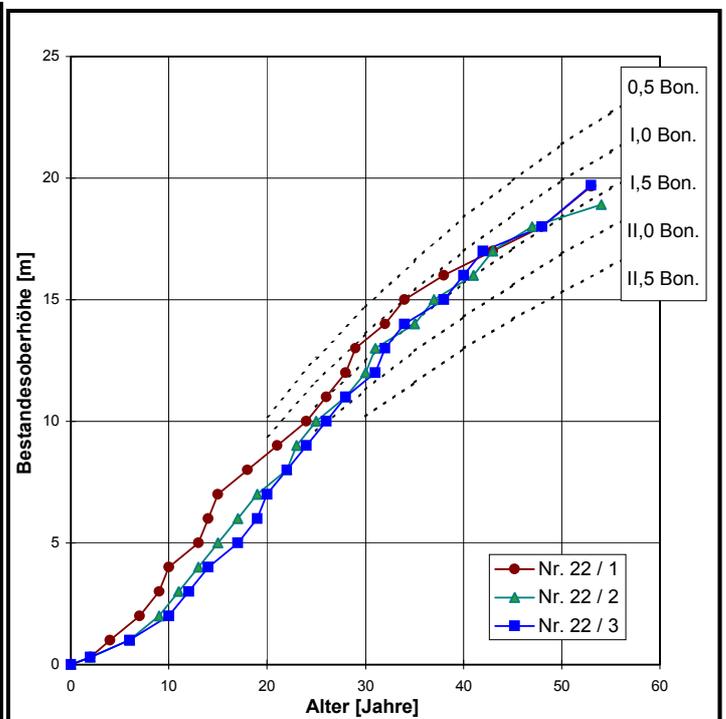
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 20

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 20 / 1	B 20 / 2	B 20 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	0,80	0,80	0,80
6	2,00	1,50	1,40	1,63
8	3,00	3,00	2,00	2,67
10	4,00	4,00	2,70	3,57
12	6,00	5,00	4,00	5,00
14	7,50	6,00	5,50	6,33
16	8,30	6,70	6,40	7,13
18	9,00	7,50	7,00	7,83
20	10,00	8,50	8,50	9,00
22	10,60	9,50	9,50	9,87
24	11,50	10,50	10,30	10,77
26	12,40	11,50	11,00	11,63
28	13,00	12,30	12,00	12,43
30	14,00	13,00	13,00	13,33
32	14,70	14,50	13,70	14,30
34	15,50	15,50	14,30	15,10
36	16,40	16,30	14,80	15,83
38	17,00	16,80	15,20	16,33
40	17,60	17,30	15,60	16,83
42	18,30	17,80	16,00	17,37
44	18,70	18,30	16,50	17,83
46	19,10	18,80	17,00	18,30
48	19,30	19,30	17,30	18,63
50	19,50	19,80	17,70	19,00
52	19,60	20,20	18,00	19,27
54	19,70	20,50	18,30	19,50
56	19,80	20,80	18,70	19,77
58	20,00	21,10	19,00	20,03
59	20,10	21,26	19,16	20,17



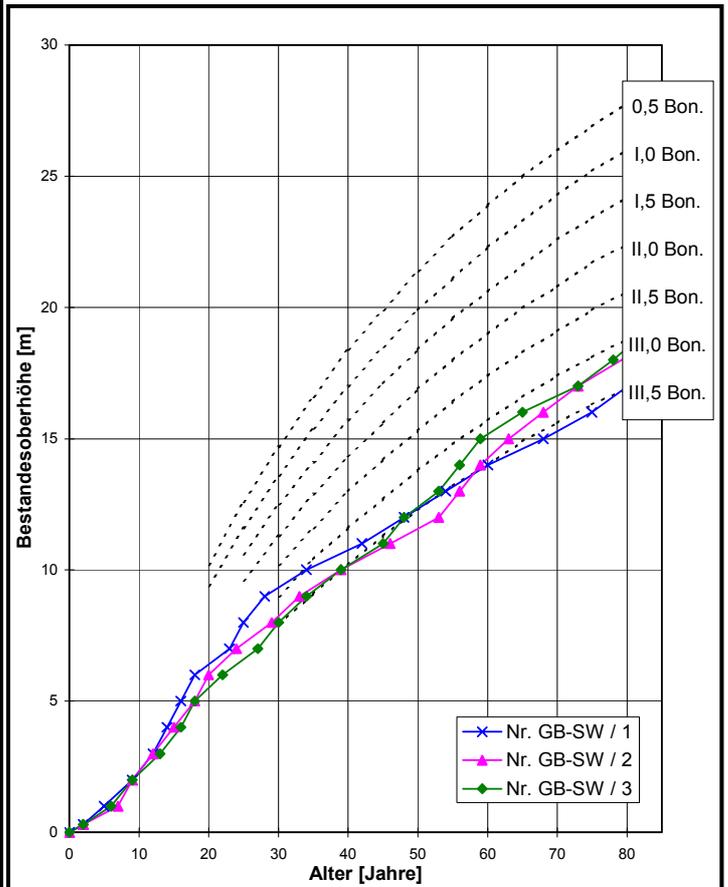
Altershöhenbeziehung Fläche GKI 22

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 22 / 1	B 22 / 2	B 22 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	0,60	0,60	0,73
6	1,70	1,00	1,00	1,23
8	2,50	1,70	1,50	1,90
10	4,00	2,50	2,00	2,83
12	4,70	3,50	3,00	3,73
14	6,00	4,50	4,00	4,83
16	7,40	5,50	4,70	5,87
18	8,00	6,50	5,50	6,67
20	8,70	7,30	7,00	7,67
22	9,30	8,00	8,00	8,43
24	10,00	9,50	9,00	9,50
26	11,00	10,30	10,00	10,43
28	12,00	11,00	11,00	11,33
30	13,30	12,00	11,80	12,37
32	14,00	13,30	13,00	13,43
34	15,00	13,80	14,00	14,27
36	15,60	14,50	14,50	14,87
38	16,00	15,20	15,00	15,40
40	16,40	15,70	16,00	16,03
42	16,80	16,50	17,00	16,77
44	17,30	17,20	17,40	17,30
46	17,70	17,80	17,70	17,73
48	18,00	18,20	18,00	18,07
50	18,60	18,40	18,70	18,57
52	19,20	18,60	19,40	19,07
53	19,66	18,80	19,70	19,39



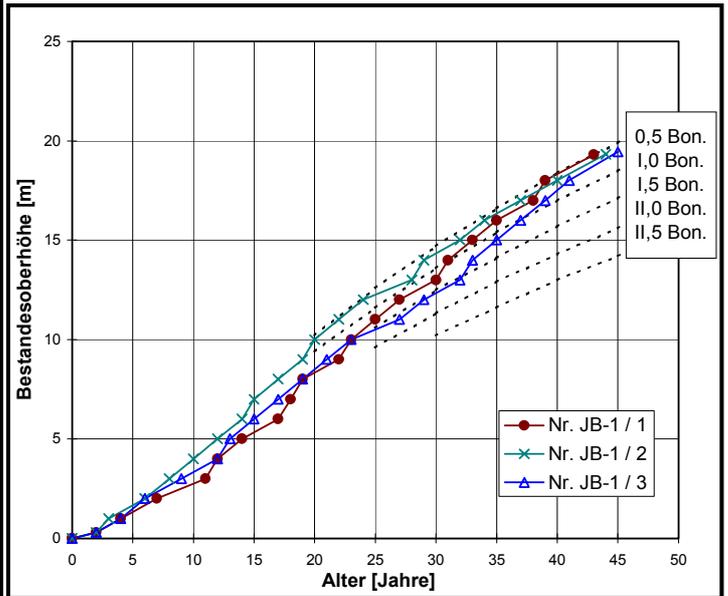
Altershöhenbeziehung Fläche GKI GB-SW

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B SW / 1	B SW / 2	B SW / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	0,60	0,70	0,70
6	1,30	0,90	1,00	1,07
8	1,80	1,60	1,70	1,70
10	2,30	2,20	2,20	2,23
12	3,00	3,00	2,80	2,93
14	4,00	3,70	3,40	3,70
16	5,00	4,40	4,00	4,47
18	6,00	5,00	5,00	5,33
20	6,40	6,00	5,50	5,97
22	6,90	6,50	6,00	6,47
24	7,50	7,00	6,40	6,97
26	8,30	7,50	6,90	7,57
28	9,00	7,90	7,40	8,10
30	9,40	8,30	8,00	8,57
32	9,70	8,80	8,50	9,00
34	10,00	9,20	9,00	9,40
36	10,20	9,60	9,50	9,77
38	10,50	9,90	9,90	10,10
40	10,80	10,20	10,20	10,40
42	11,00	10,50	10,50	10,67
44	11,40	10,80	10,80	11,00
46	11,70	11,00	11,40	11,37
48	12,00	11,20	12,00	11,73
50	12,30	11,50	12,40	12,07
52	12,60	11,90	12,80	12,43
54	13,00	12,40	13,40	12,93
56	13,40	13,00	14,00	13,47
58	13,70	13,60	14,70	14,00
60	14,00	14,20	15,10	14,43
62	14,20	14,80	15,50	14,83
64	14,50	15,20	15,90	15,20
66	14,80	15,60	16,10	15,50
68	15,00	16,00	16,30	15,77
70	15,30	16,40	16,60	16,10
72	15,60	16,90	16,90	16,47
74	15,90	17,20	17,20	16,77
76	16,20	17,50	17,60	17,10
78	16,60	17,80	18,00	17,47
80	17,00	18,10	18,40	17,83
81	17,18	18,28	18,68	18,05



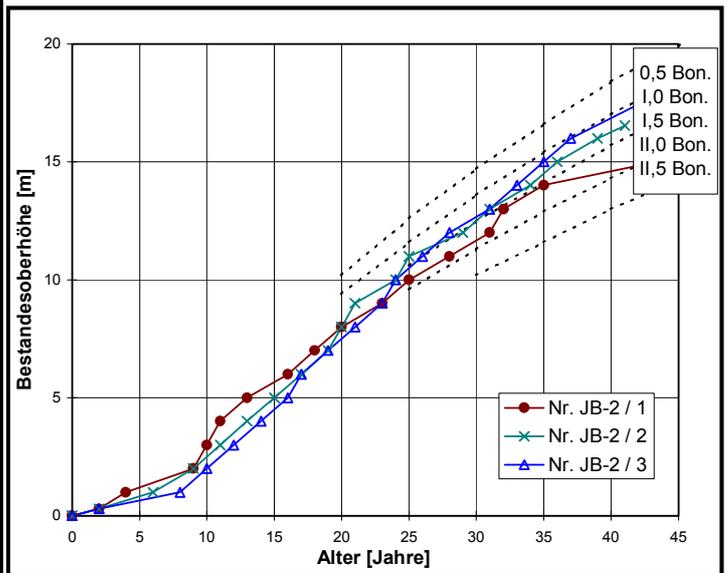
Altershöhenbeziehung Fläche GKI JB-1

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B JB-1 / 1	B JB-1 / 2	B JB-1 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	1,20	1,00	1,07
6	1,80	2,00	2,00	1,93
8	2,30	3,00	2,70	2,67
10	2,80	4,00	3,40	3,40
12	4,00	5,00	4,00	4,33
14	5,00	6,00	5,50	5,50
16	5,70	7,50	6,50	6,57
18	7,00	8,50	7,50	7,67
20	8,20	10,00	8,50	8,90
22	9,00	11,00	9,50	9,83
24	10,50	12,00	10,20	10,90
26	11,50	12,50	10,80	11,60
28	12,30	13,00	11,50	12,27
30	13,00	14,40	12,30	13,23
32	14,50	15,00	13,00	14,17
34	15,50	16,00	14,50	15,33
36	16,30	16,60	15,50	16,13
38	17,00	17,30	16,50	16,93
40	18,40	18,00	17,50	17,97
42	19,00	18,60	18,40	18,67
43	19,30	19,00	18,80	19,03



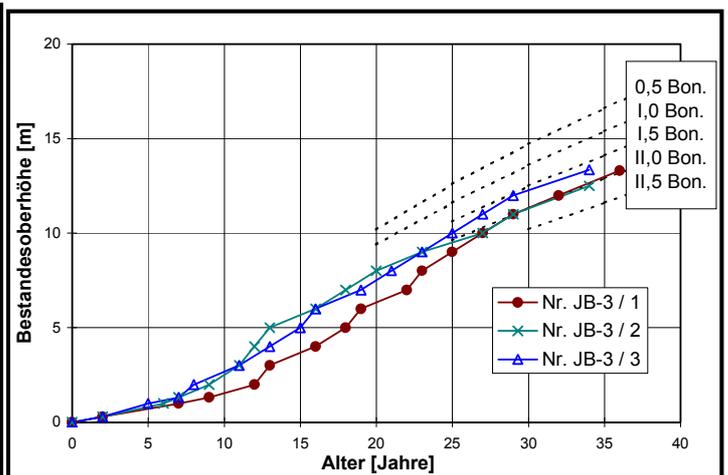
Altershöhenbeziehung Fläche GKI JB-2

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B JB-2 / 1	B JB-2 / 2	B JB-2 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	0,60	0,50	0,70
6	1,40	1,00	0,70	1,03
8	1,90	1,70	1,00	1,53
10	3,00	2,50	2,00	2,50
12	4,50	3,50	3,00	3,67
14	5,30	4,50	4,00	4,60
16	6,00	5,50	5,00	5,50
18	7,00	6,50	6,50	6,67
20	8,00	8,00	7,50	7,83
22	8,70	9,40	8,50	8,87
24	9,50	10,00	10,00	9,83
26	10,30	11,00	11,00	10,77
28	11,00	12,00	12,00	11,67
30	11,60	12,70	12,70	12,33
32	13,00	13,50	13,50	13,33
34	13,70	14,50	14,50	14,23
36	14,10	15,50	15,50	15,03
38	14,40	16,30	16,30	15,67
40	14,60	16,80	16,80	16,07
41	14,75	17,00	17,00	16,25



Altershöhenbeziehung Fläche GKI JB-3

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B JB-3 / 1	B JB-3 / 2	B JB-3 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,50	0,60	0,70	0,60
6	0,80	1,00	1,20	1,00
8	1,20	1,60	2,00	1,60
10	1,60	2,50	2,40	2,17
12	2,00	4,00	3,50	3,17
14	3,30	5,30	4,50	4,37
16	4,00	6,00	6,00	5,33
18	5,00	7,00	6,60	6,20
20	6,40	8,00	7,50	7,30
22	7,00	8,70	8,50	8,07
24	8,50	9,30	9,50	9,10
26	9,50	9,80	10,50	9,93
28	10,50	10,50	11,50	10,83
30	11,30	11,20	12,30	11,60
32	12,00	11,90	12,80	12,23
34	12,70	12,50	13,35	12,85



Anlage 6.2: Altershöhenkurven der Baumart Gemeine Kiefer

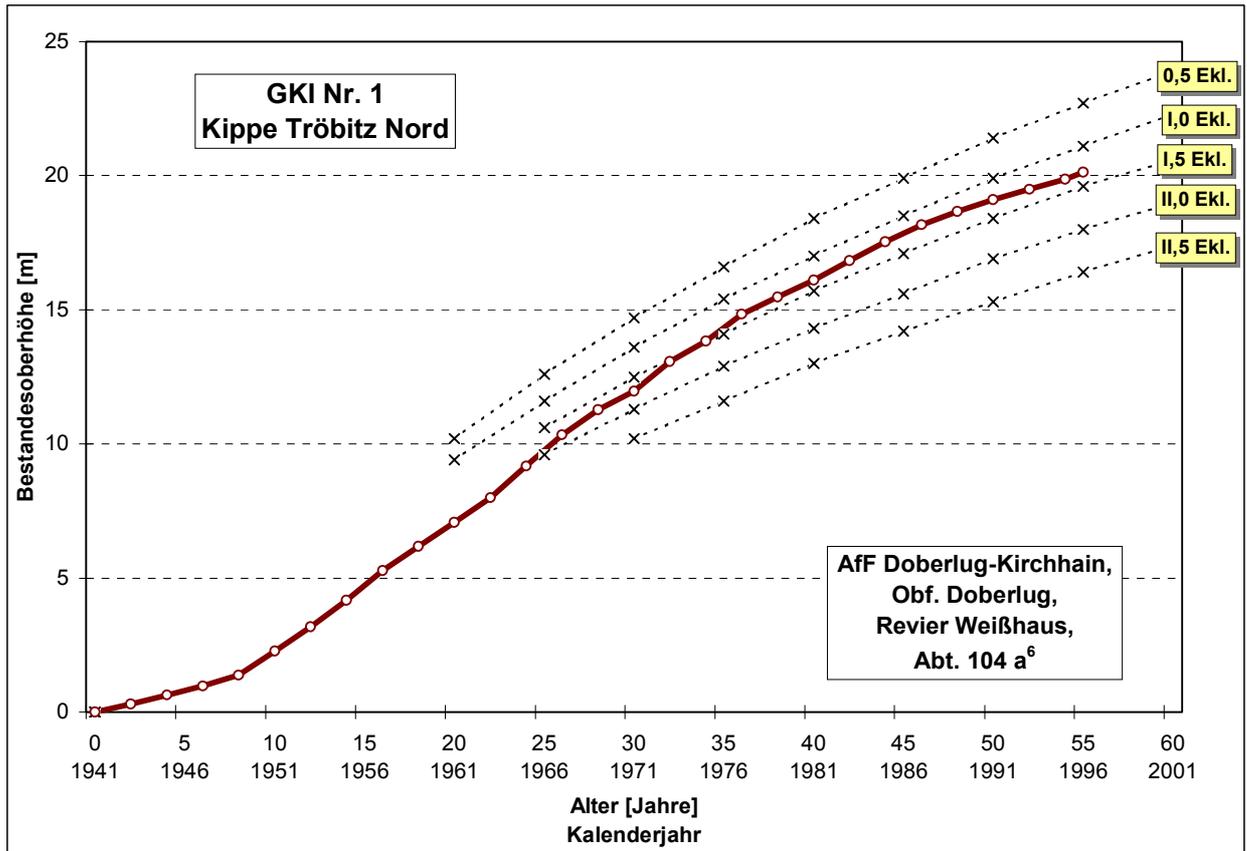


Abb. A6.2-1: Höhenwachstumsverlauf des 55jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 1 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Mittelgrobsand (mgS-Kp; Ss/mS)

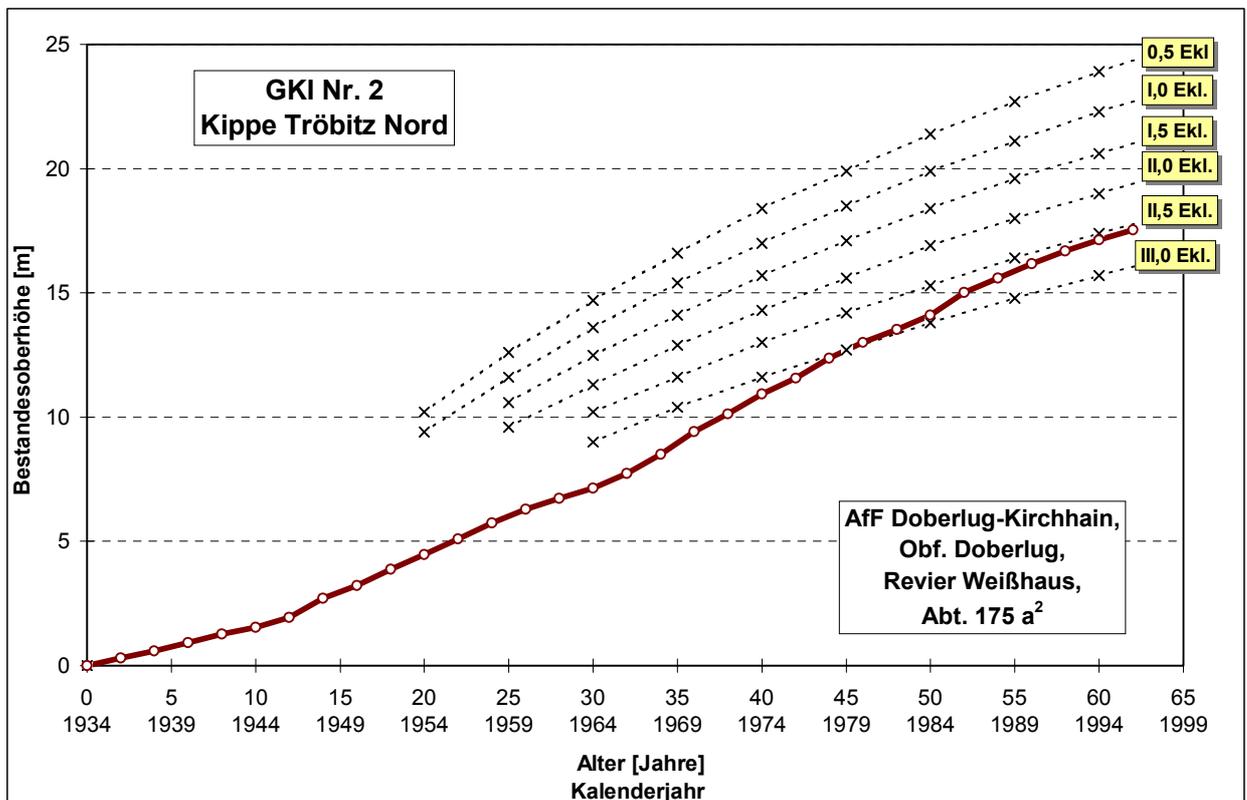


Abb. A6.2-2: Höhenwachstumsverlauf des 59jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 2 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Sand (S-Kp; Ss/mSgs)

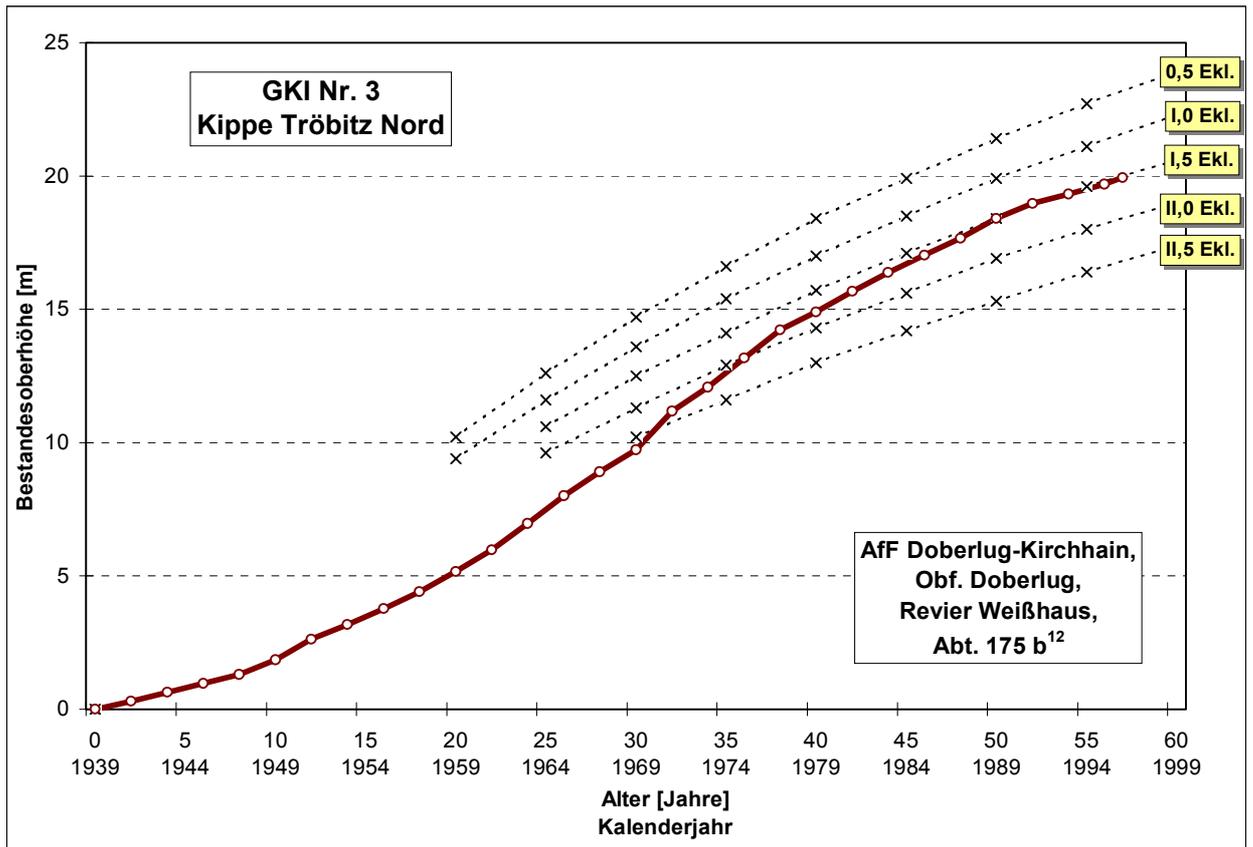


Abb. A6.2-3: Höhenwachstumsverlauf des 57jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 3 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Kieskohlesand (kx'S-Kp; Ss/mSgs)

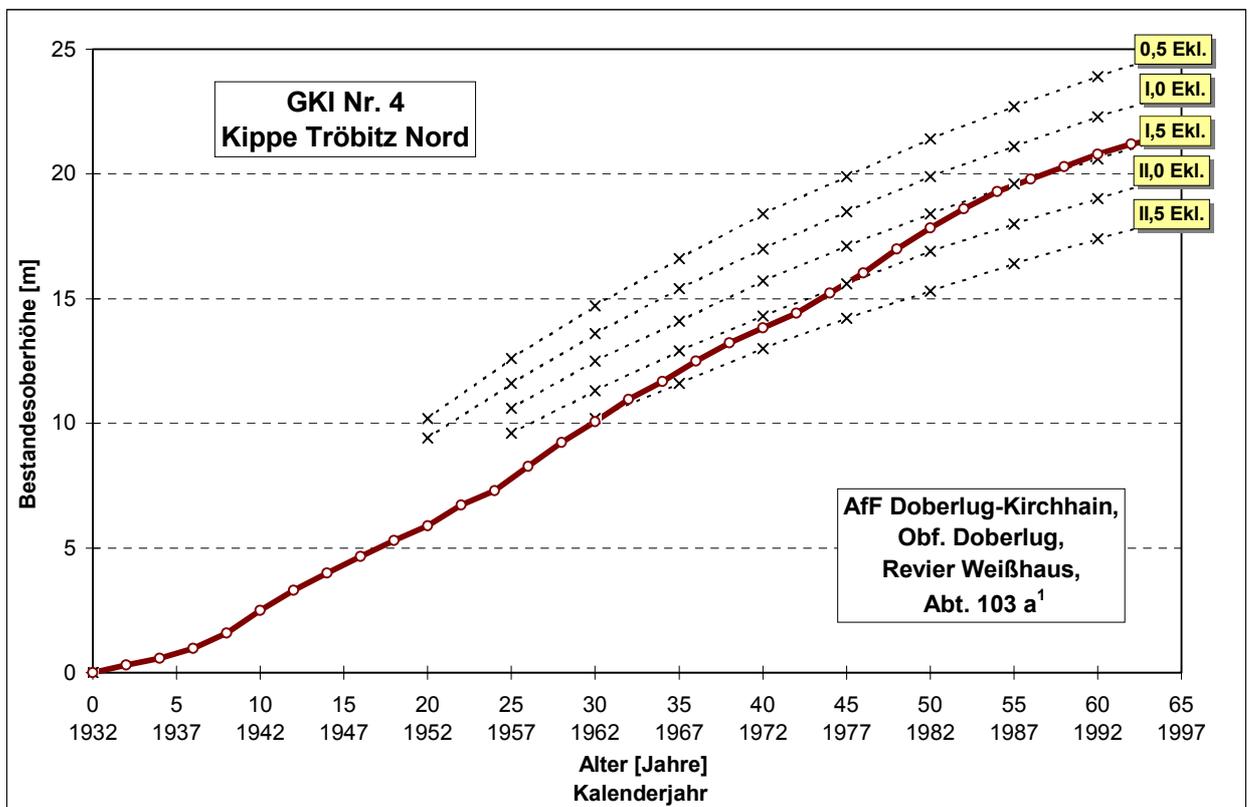


Abb. A6.2-4: Höhenwachstumsverlauf des 64jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 4 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Sand (S-Kp; Ss/mSgs)

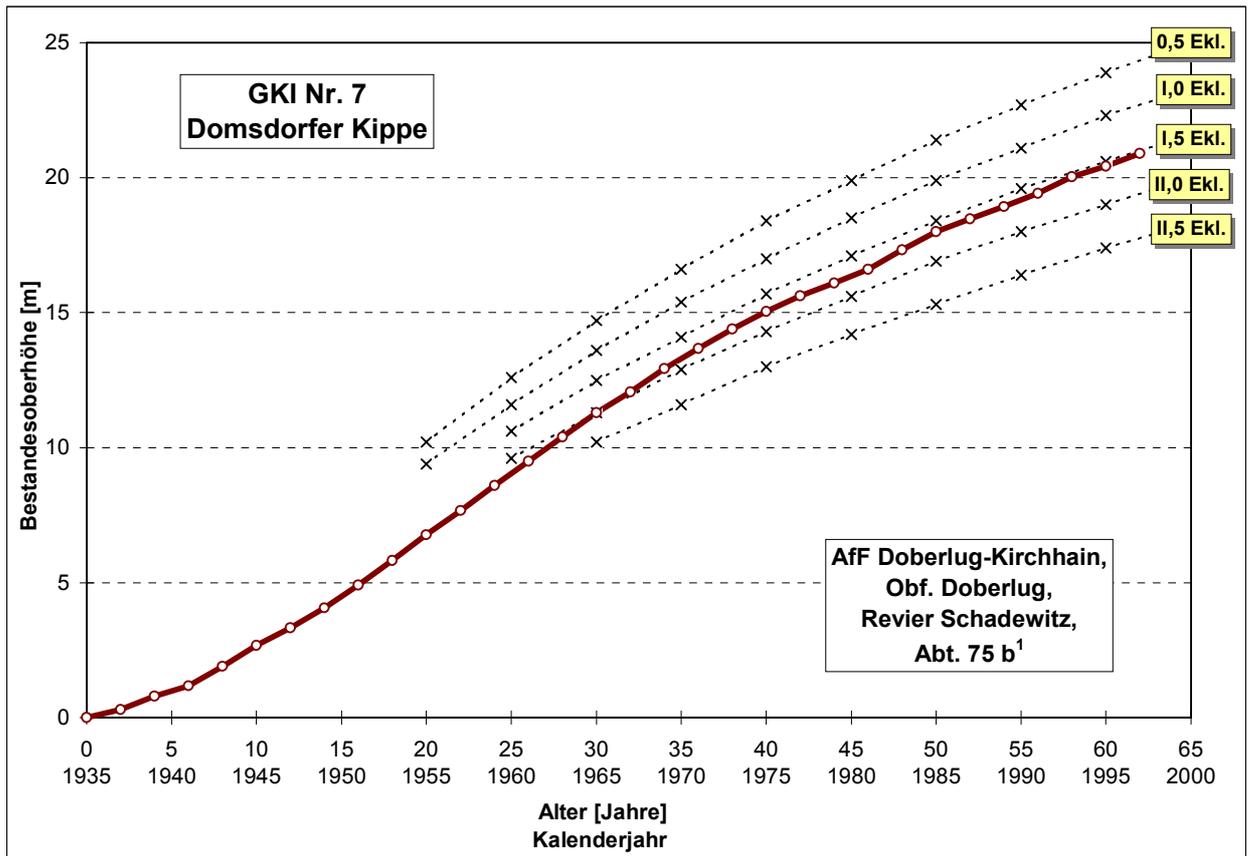


Abb. A6.2-5: Höhenwachstumsverlauf des 61jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 7 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Kalkkohleanlehmsand (c'x'SI-Kp; SI3)

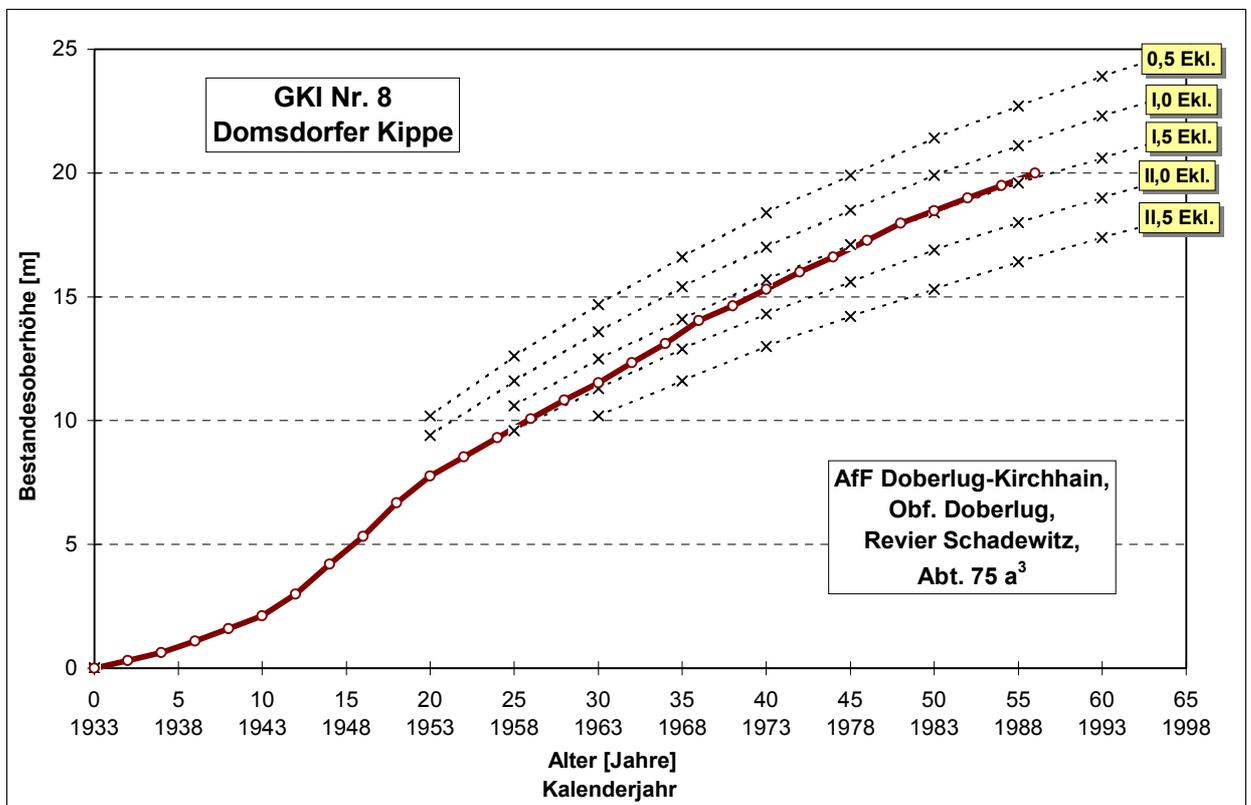


Abb. A6.2-6: Höhenwachstumsverlauf des 56jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 8 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S) // Kipp-Mittelsand (mS-Kp; Ss/mS)

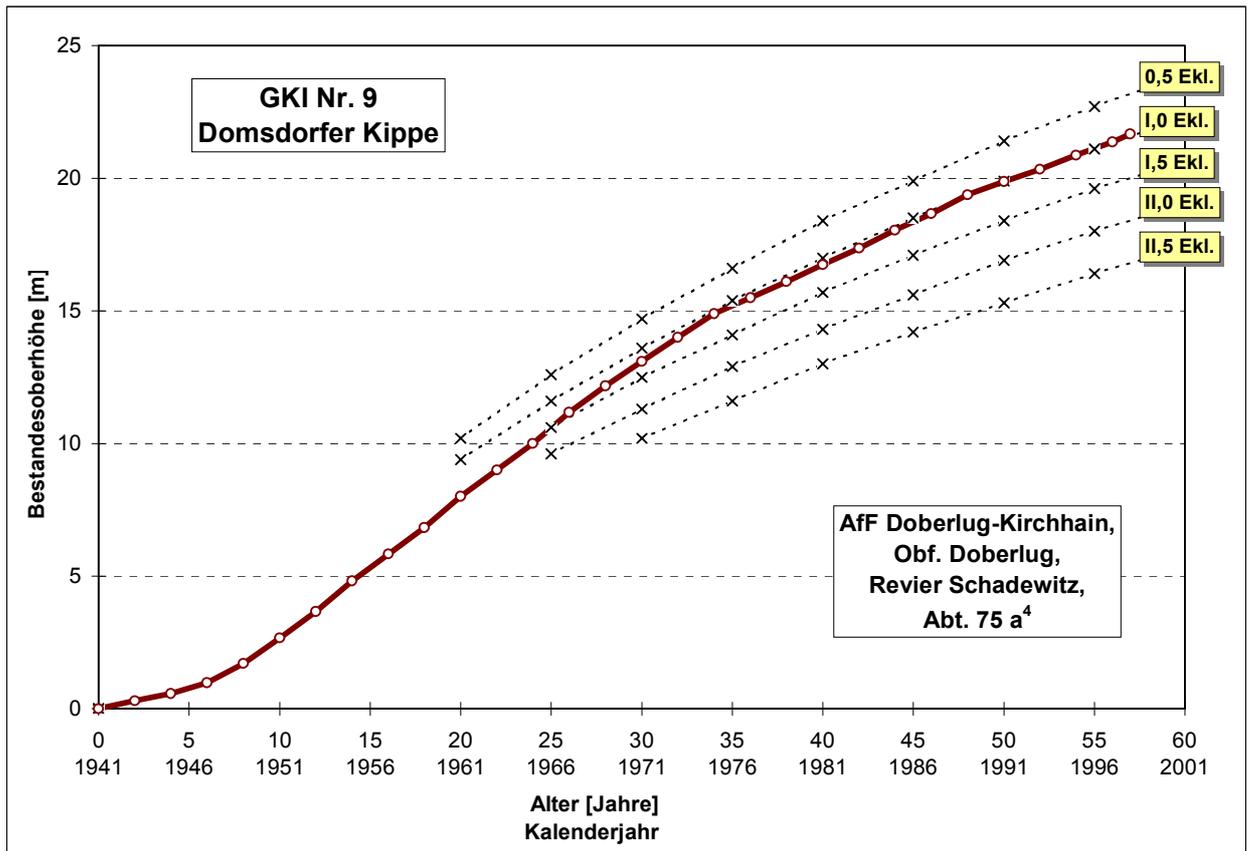


Abb. A6.2-7: Höhenwachstumsverlauf des 56jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 9 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mS)

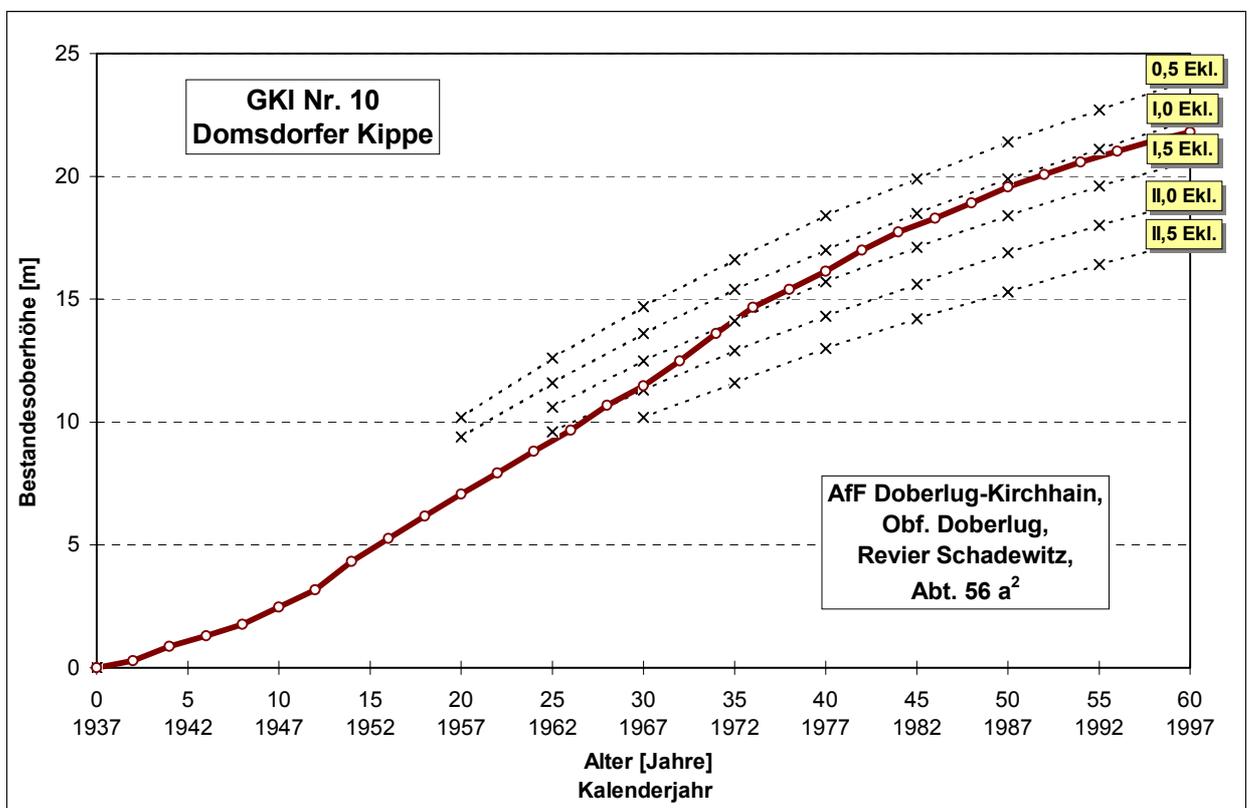


Abb. A6.2-8: Höhenwachstumsverlauf des 60jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 10 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Mittelgrobsand (mgS-Kp; Ss/mSgs)

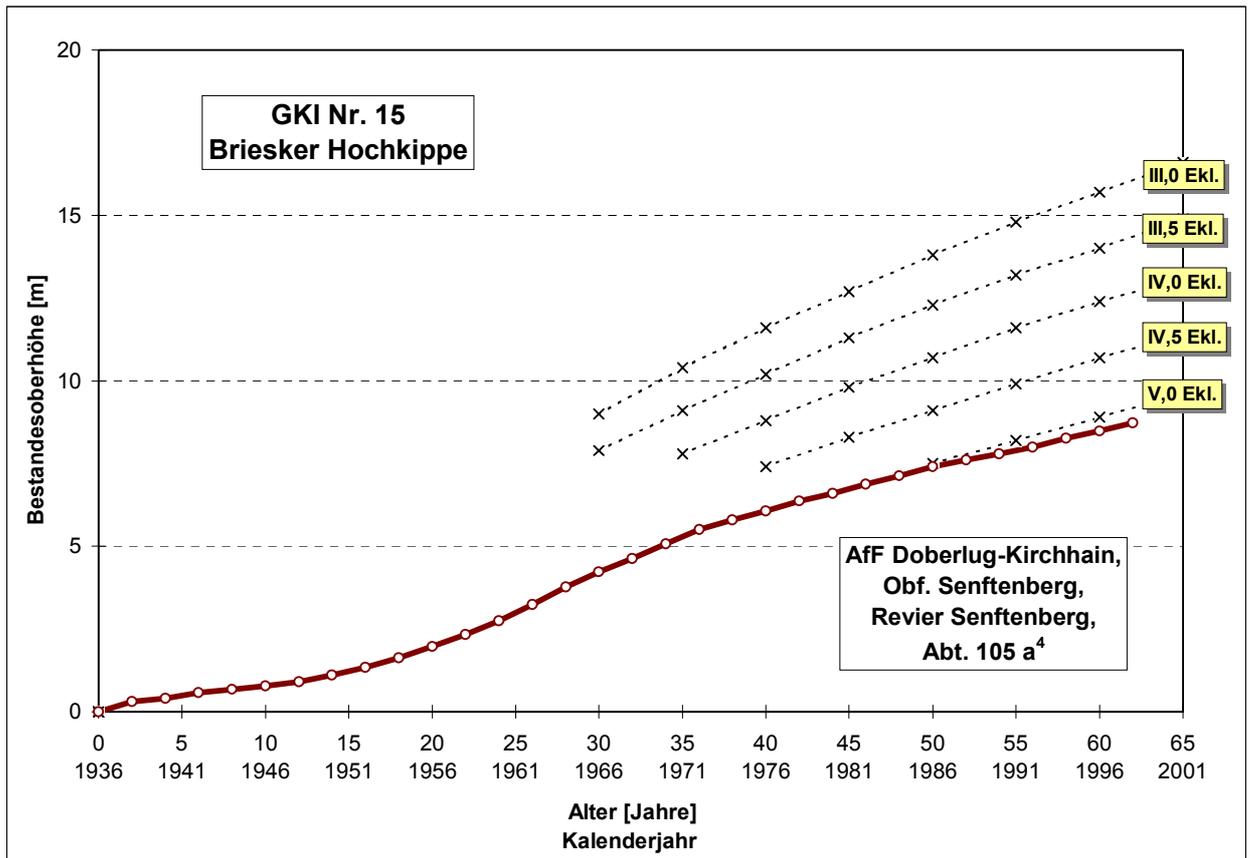


Abb. A6.2-9: Höhenwachstumsverlauf des 60jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 15 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Mittelsand (mS-Kp; Ss/mSgs)

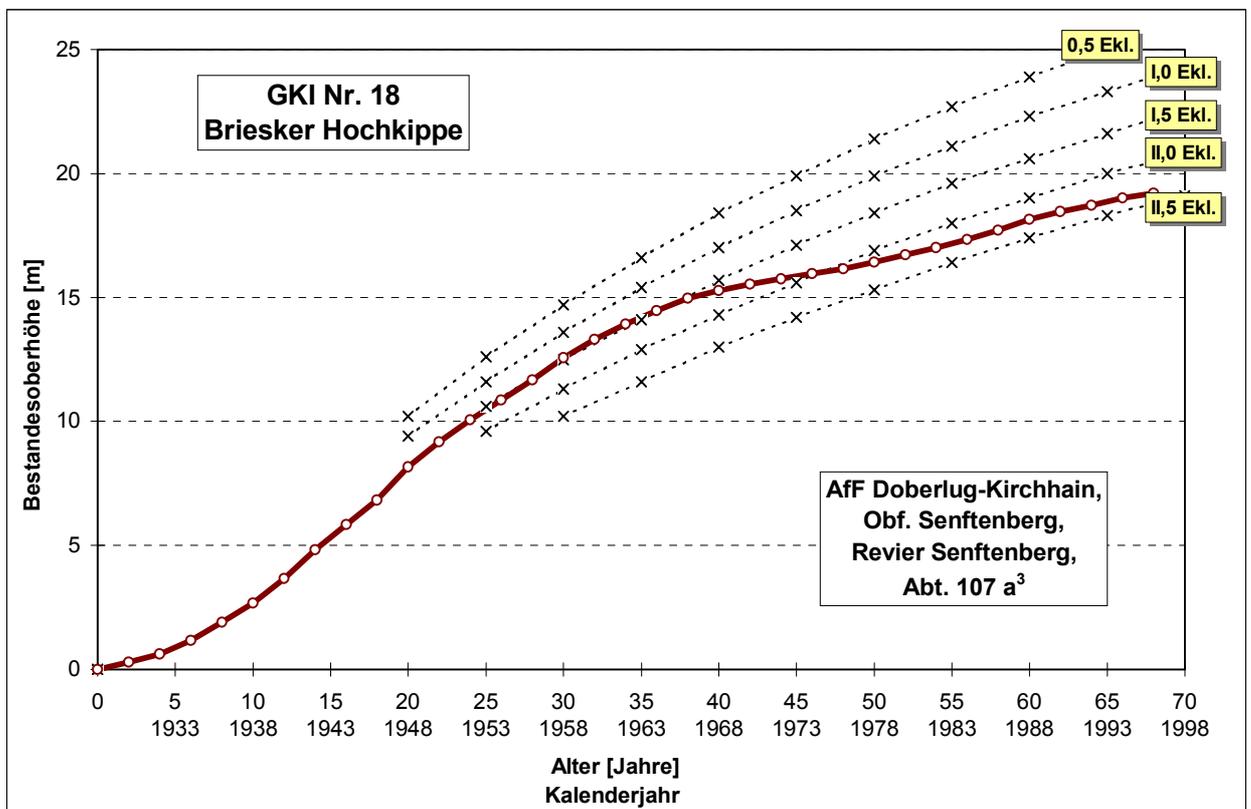


Abb. A6.2-10: Höhenwachstumsverlauf des 69jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 18 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

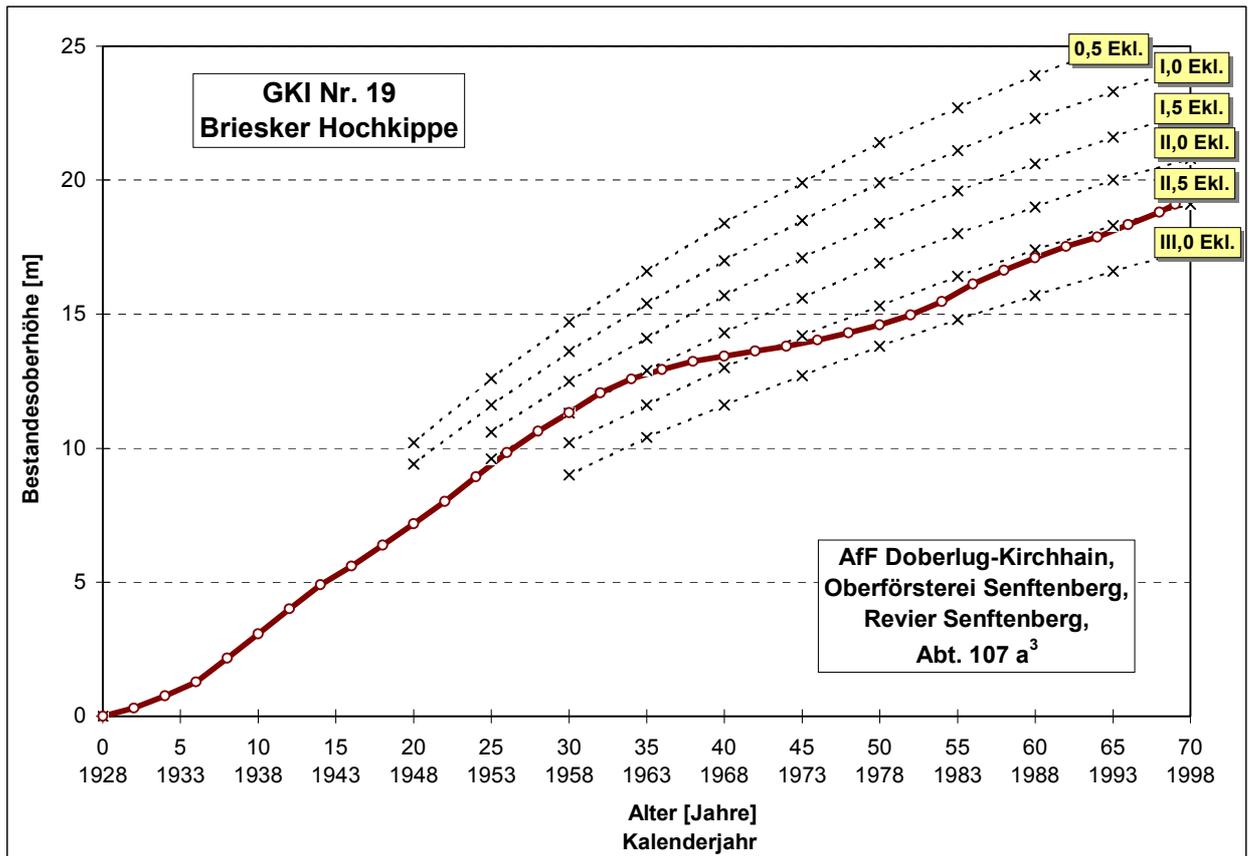


Abb. A6.2-11: Höhenwachstumsverlauf des 69jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 19 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Mittelsand (mS-Kp; Ss/mSgs)

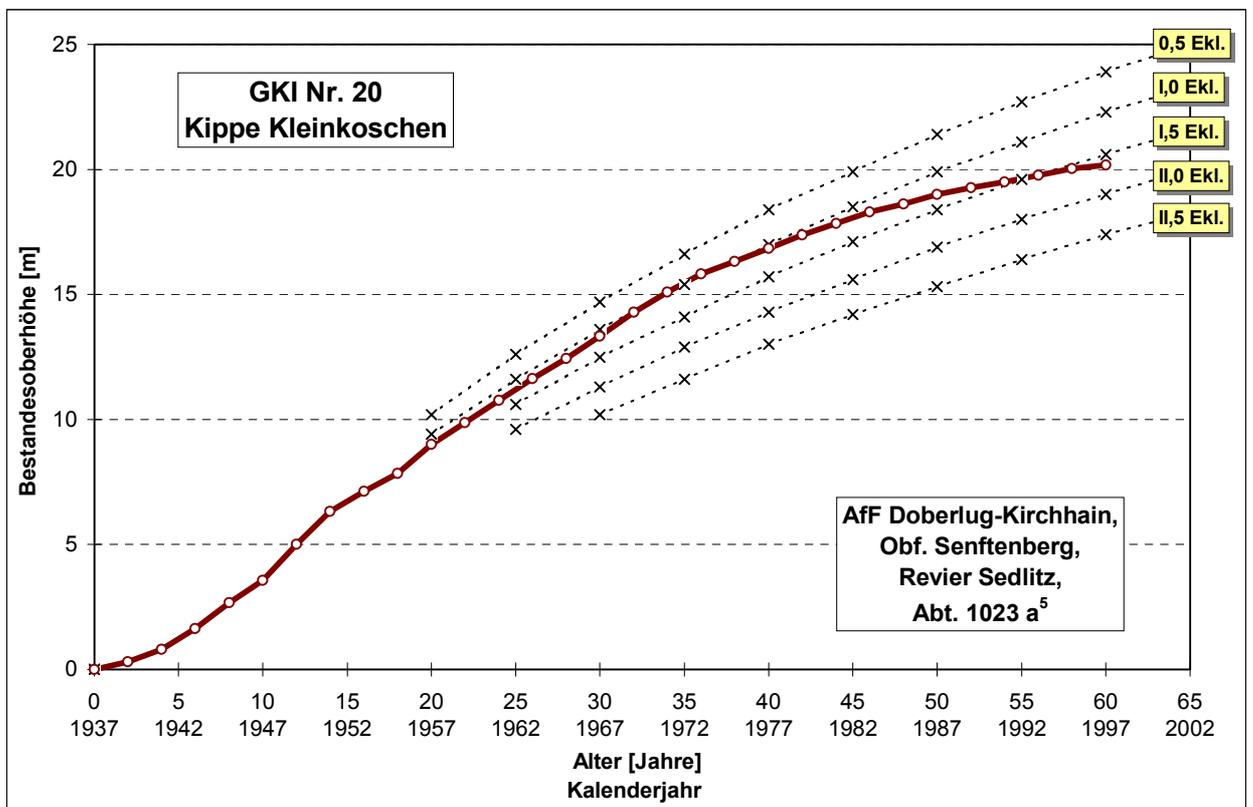


Abb. A6.2-12: Höhenwachstumsverlauf des 60jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 20 (Kippe Kleinkoschen) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

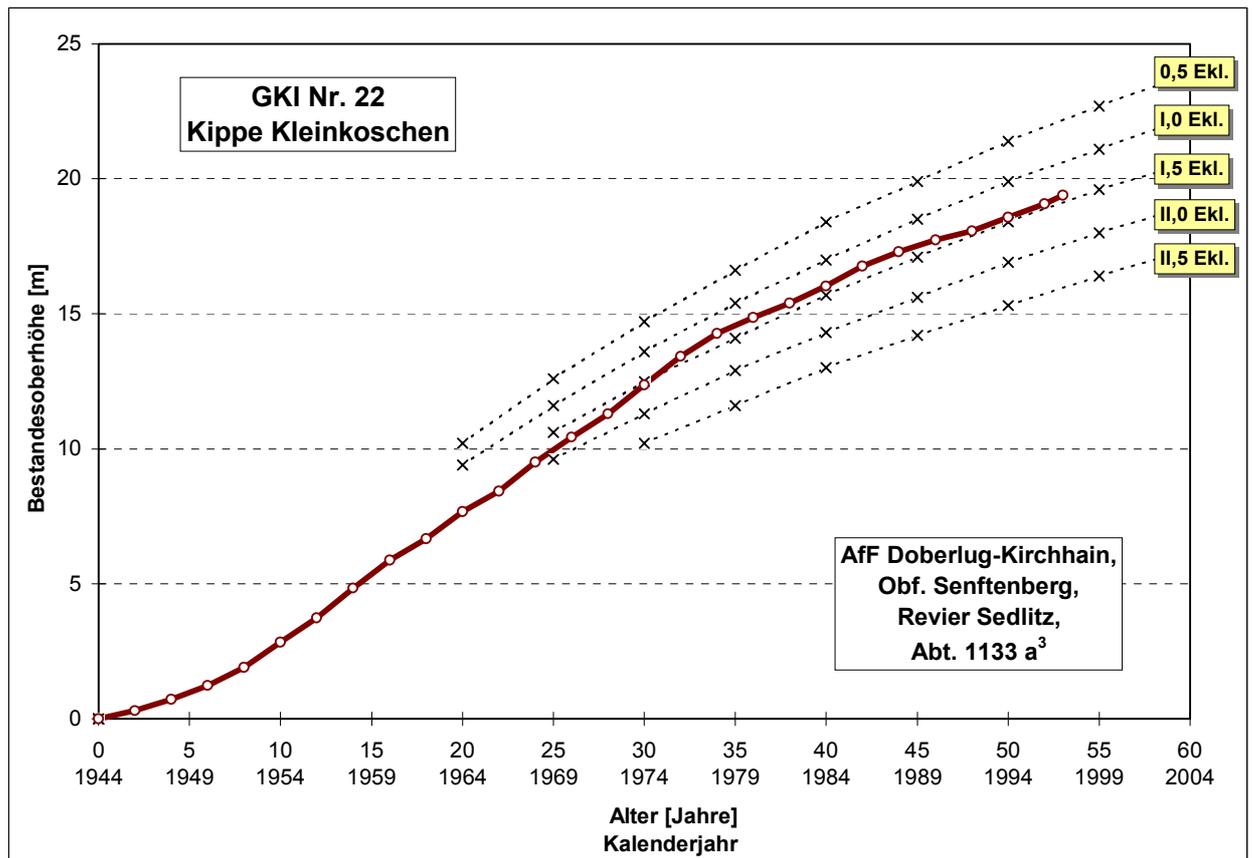


Abb. A6.2-13: Höhenwachstumsverlauf des 52jährigen Kiefernreinbestandes Nr. 22 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

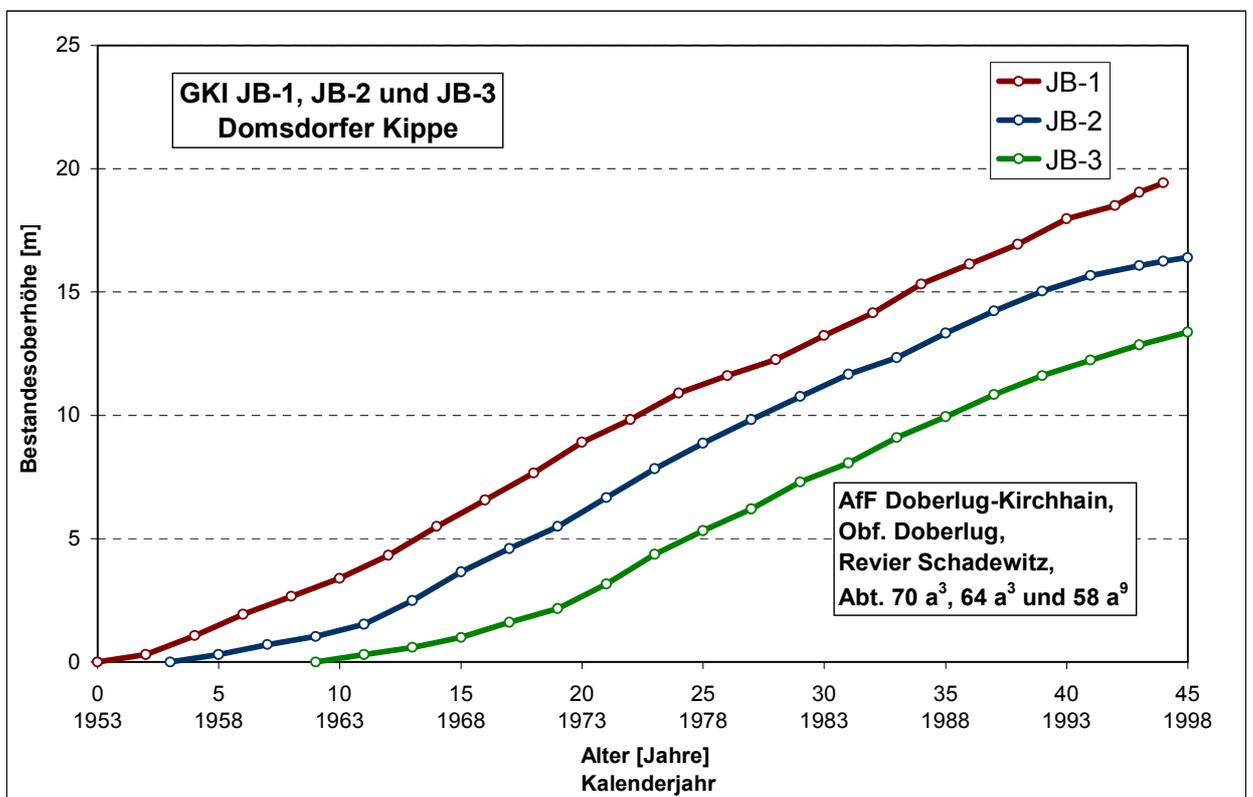
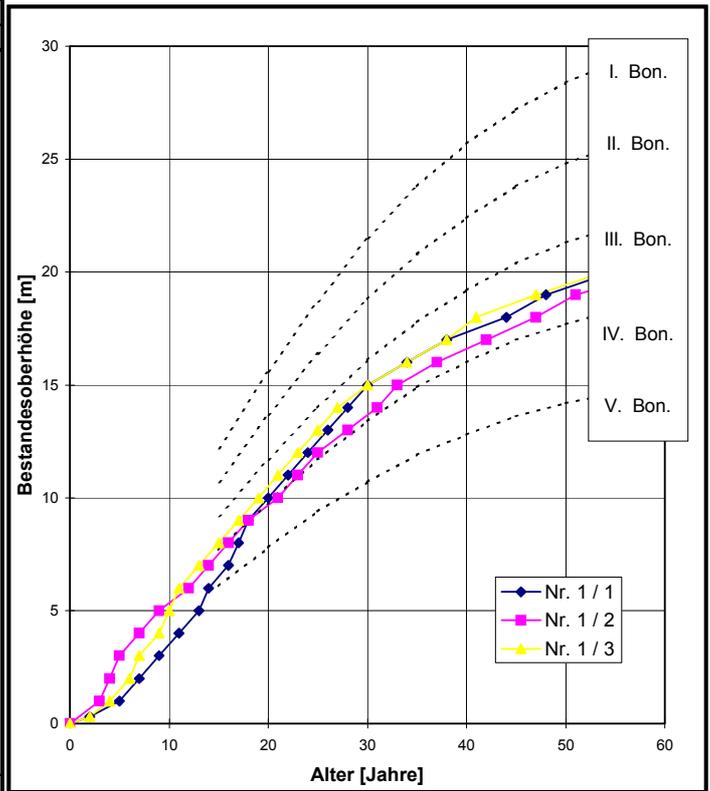


Abb. A6.2-14: Höhenwachstumsverlauf der GKI-Jungbestände JB-1 (Kipp-Mittelgrobsand; mgS-Kp; Ss/gSms), JB-2 (Kipp-Kohlesand; xS-Kp; Ss/mSgs) und JB-3 (Kipp-Kohlelehmsand (xIS-Kp; SI4) (alle Domsdorfer Kippe)

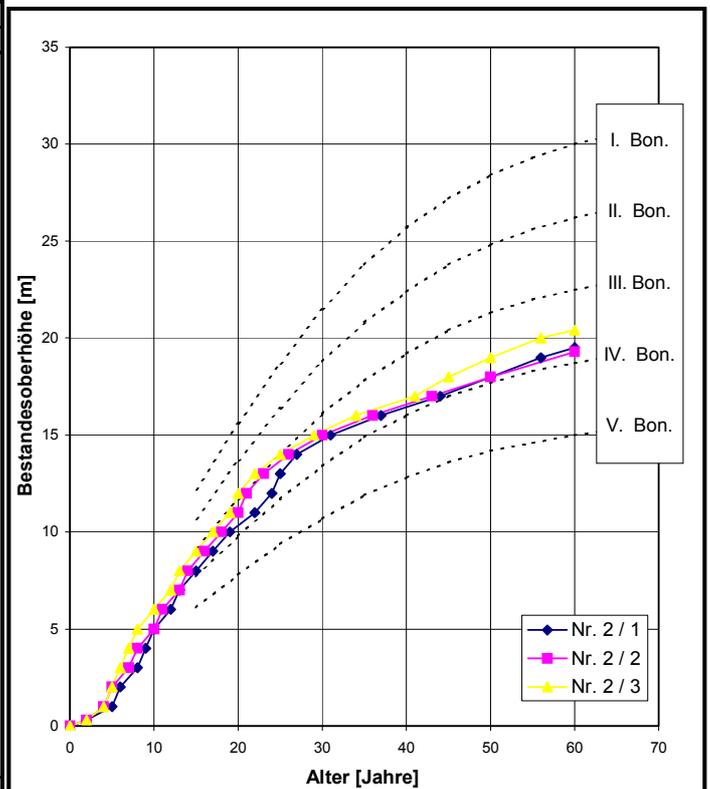
Anlage 6.3: Interpolation und Einzelkurven der Baumart Gemeine Birke
 Altershöhenbeziehung Fläche GBI 1

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 1 / 1	B 1 / 2	B 1 / 3	B Mw.
2	0,30	0,60	0,30	0,40
4	0,80	2,00	1,00	1,27
6	1,50	3,50	2,00	2,33
8	2,50	4,50	3,50	3,50
10	3,50	5,30	5,00	4,60
12	4,50	6,00	6,50	5,67
14	6,00	7,00	7,50	6,83
16	7,00	8,00	8,50	7,83
18	9,00	9,00	9,50	9,17
20	10,00	9,70	10,50	10,07
22	11,00	10,50	11,50	11,00
24	12,00	11,50	12,50	12,00
26	13,00	12,30	13,50	12,93
28	14,00	13,00	14,35	13,78
30	15,00	13,65	15,00	14,55
32	15,50	14,50	15,50	15,17
34	16,00	15,30	16,00	15,77
36	16,50	15,80	16,50	16,27
38	17,00	16,20	17,00	16,73
40	17,30	16,65	17,70	17,22
42	17,70	17,00	18,20	17,63
44	18,00	17,40	18,50	17,97
46	18,50	17,85	18,85	18,40
48	19,00	18,25	19,20	18,82
50	19,30	18,80	19,50	19,20
52	19,70	19,10	19,80	19,53
54	19,90	19,40	20,05	19,78
56	20,20	19,70	20,30	20,07
58	20,50	19,90	20,60	20,33
59	-	20,00	-	-



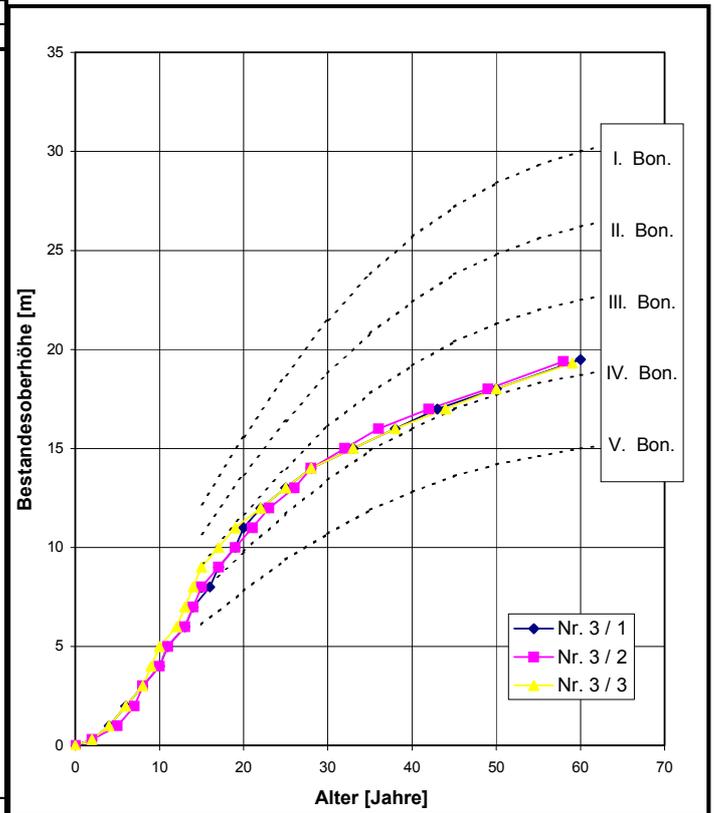
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 2

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 2 / 1	B 2 / 2	B 2 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	1,00	1,00	0,93
6	2,00	2,50	3,00	2,50
8	3,00	4,00	5,00	4,00
10	5,00	5,00	6,00	5,33
12	6,00	6,50	7,00	6,50
14	7,50	8,00	8,50	8,00
16	8,50	9,00	9,50	9,00
18	9,50	10,00	10,50	10,00
20	10,40	11,00	12,00	11,13
22	11,00	12,50	13,00	12,17
24	12,00	13,30	13,70	13,00
26	13,50	14,00	14,20	13,90
28	14,20	14,50	14,80	14,50
30	14,80	15,00	15,20	15,00
32	15,20	15,40	15,65	15,42
34	15,50	15,70	16,00	15,73
36	15,85	16,00	16,30	16,05
38	16,20	16,30	16,70	16,40
40	16,50	16,60	16,85	16,65
42	16,75	16,85	17,30	16,97
44	17,00	17,20	17,80	17,33
46	17,30	17,45	18,20	17,65
48	17,65	17,70	18,70	18,02
50	18,00	18,00	19,00	18,33
52	18,35	18,25	19,40	18,67
54	18,70	18,55	19,75	19,00
56	19,00	18,80	20,00	19,27
58	19,25	19,05	20,20	19,50
60	19,50	19,30	20,40	19,73



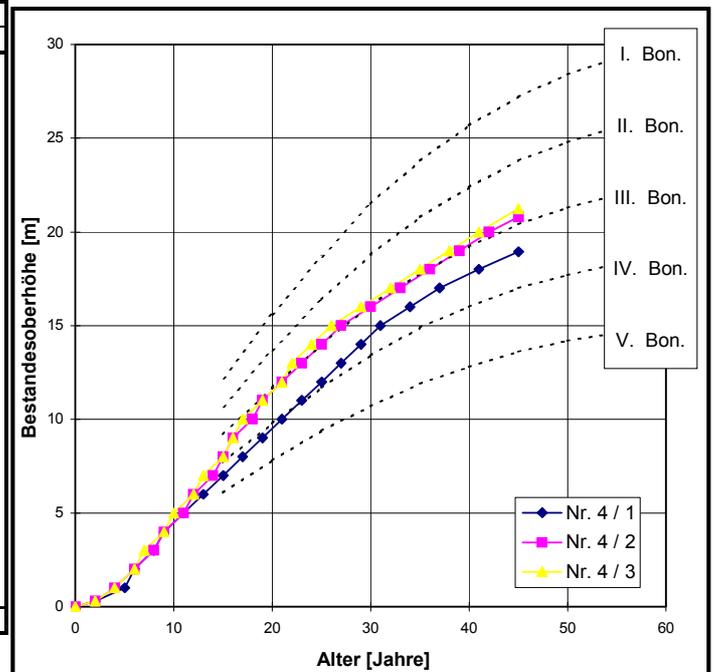
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 3

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 3 / 1	B 3 / 2	B 3 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	0,80	1,00	0,93
6	2,00	1,50	2,00	1,83
8	3,00	3,00	3,00	3,00
10	4,00	4,00	5,00	4,33
12	5,50	5,50	6,00	5,67
14	7,00	7,00	8,00	7,33
16	8,00	8,50	9,50	8,67
18	9,50	9,50	10,50	9,83
20	11,00	10,50	11,50	11,00
22	12,00	11,50	12,00	11,83
24	12,70	12,30	12,70	12,57
26	13,50	13,00	13,50	13,33
28	14,00	14,00	14,00	14,00
30	14,50	14,65	14,50	14,55
32	14,85	15,00	14,85	14,90
34	15,20	15,50	15,20	15,30
36	15,70	16,00	15,70	15,80
38	16,00	16,40	16,00	16,13
40	16,40	16,70	16,35	16,48
42	16,80	17,00	16,70	16,83
44	17,10	17,35	17,00	17,15
46	17,50	17,60	17,40	17,50
48	17,80	17,85	17,75	17,80
50	18,00	18,15	18,00	18,05
52	18,30	18,50	18,30	18,37
54	18,65	18,80	18,60	18,68
56	18,90	19,10	18,85	18,95
58	19,20	19,40	19,20	19,27
59	19,40	(19,55)	19,30	19,42
60	19,50	-	-	-



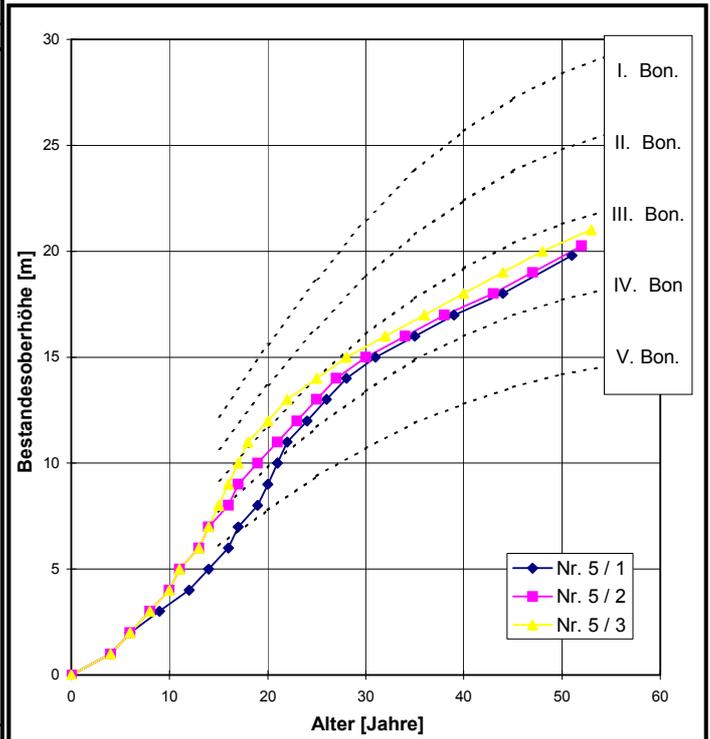
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 4

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 4 / 1	B 4 / 2	B 4 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	1,00	1,00	0,93
6	2,00	2,00	2,00	2,00
8	3,00	3,00	3,50	3,17
10	4,50	4,50	5,00	4,67
12	5,50	6,00	6,00	5,83
14	6,50	7,00	7,50	7,00
16	7,50	9,00	9,00	8,50
18	8,50	10,00	10,50	9,67
20	9,50	11,50	11,50	10,83
22	10,50	12,50	13,00	12,00
24	11,50	13,50	14,00	13,00
26	12,50	14,50	15,00	14,00
28	13,50	15,30	15,70	14,83
30	14,50	16,00	16,35	15,62
32	15,35	16,70	17,00	16,35
34	16,00	17,30	17,70	17,00
36	16,70	18,00	18,30	17,67
38	17,25	18,70	19,00	18,32
40	17,80	19,35	19,65	18,93
42	18,30	20,00	20,30	19,53
44	18,75	20,55	20,90	20,07
45	18,95	20,80	21,25	20,33



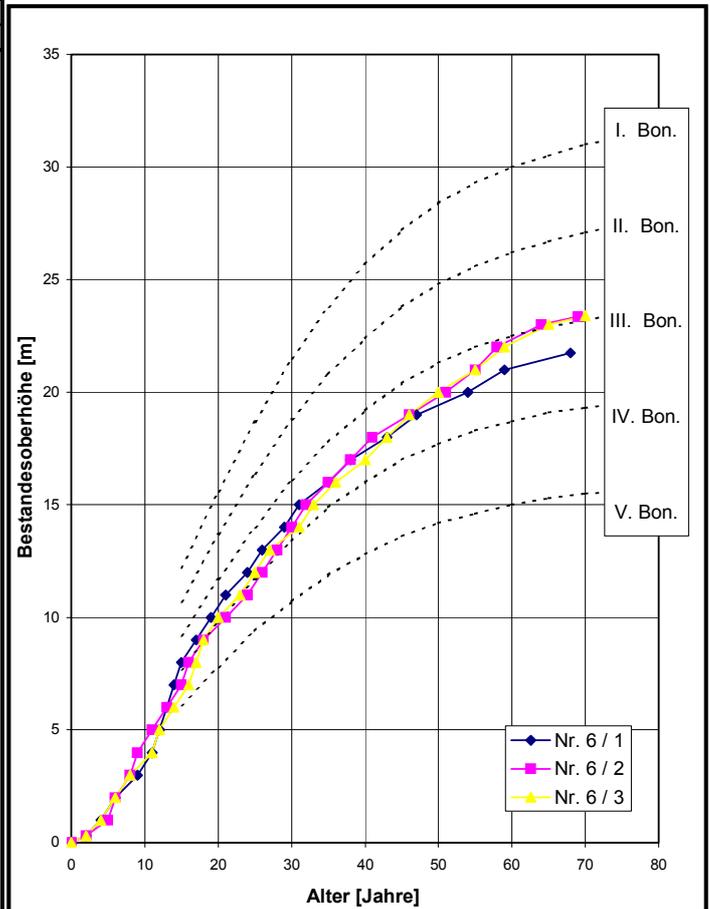
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 5

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 5 / 1	B 5 / 2	B 5 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	1,00	1,00	1,00
6	2,00	2,00	2,00	2,00
8	2,70	3,00	3,00	2,90
10	3,30	4,00	4,00	3,77
12	4,00	5,50	5,50	5,00
14	5,00	7,00	7,00	6,33
16	6,00	8,00	9,00	7,67
18	7,50	9,50	11,00	9,33
20	9,00	10,50	12,00	10,50
22	11,00	11,50	13,00	11,83
24	12,00	12,50	13,70	12,73
26	13,00	13,50	14,35	13,62
28	14,00	14,30	15,00	14,43
30	14,75	15,00	15,50	15,08
32	15,20	15,50	16,00	15,57
34	15,80	16,00	16,50	16,10
36	16,20	16,50	17,00	16,57
38	16,80	17,00	17,50	17,10
40	17,25	17,40	18,00	17,55
42	17,65	17,80	18,50	17,98
44	18,00	18,25	19,00	18,42
46	18,50	18,75	19,50	18,92
48	19,05	19,35	20,00	19,47
50	19,60	19,90	20,45	19,98
51	19,80	20,25	20,60	20,22
52	(20,10)	20,25	20,80	(20,38)
53	-	-	21,02	-



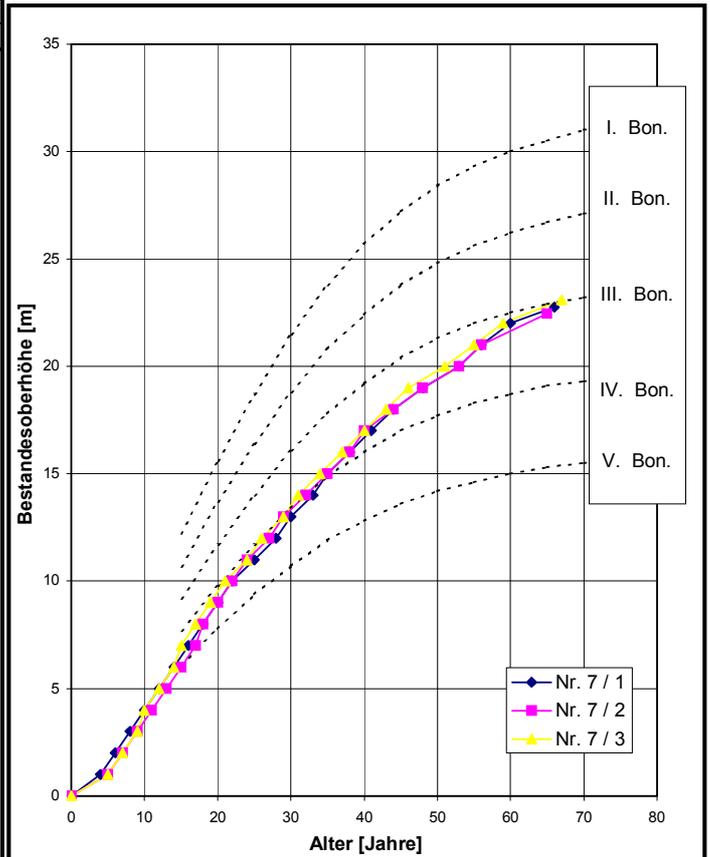
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 6

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 6 / 1	B 6 / 2	B 6 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	1,00	0,80	1,00	0,93
6	2,00	2,00	2,00	2,00
8	2,70	3,00	3,00	2,90
10	3,50	4,50	3,70	3,90
12	5,00	5,50	5,00	5,17
14	7,00	6,50	6,00	6,50
16	8,50	8,00	7,00	7,83
18	9,50	9,00	9,00	9,17
20	10,50	9,80	10,00	10,10
22	11,35	10,35	10,70	10,80
24	12,00	11,00	11,50	11,50
26	13,00	12,00	12,50	12,50
28	13,80	13,00	13,30	13,37
30	14,50	14,00	13,80	14,10
32	15,25	15,00	14,50	14,92
34	15,80	15,75	15,35	15,63
36	16,30	16,30	16,00	16,20
38	17,00	17,00	16,50	16,83
40	17,40	17,70	17,00	17,37
42	17,80	18,20	17,70	17,90
44	18,25	18,60	18,25	18,37
46	18,80	19,00	19,00	18,93
48	19,20	19,40	19,50	19,37
50	19,50	19,80	20,00	19,77
52	19,75	20,20	20,40	20,12
54	20,00	20,75	20,80	20,52
56	20,40	21,40	21,20	21,00
58	20,85	22,00	21,80	21,55
60	21,10	22,40	22,20	21,90
62	21,25	22,70	22,50	22,15
64	21,40	23,00	22,85	22,42
66	21,60	23,15	23,10	22,62
68	21,74	23,28	23,25	22,76
69	(21,82)	23,35	23,35	(22,84)
70	-	-	23,40	-



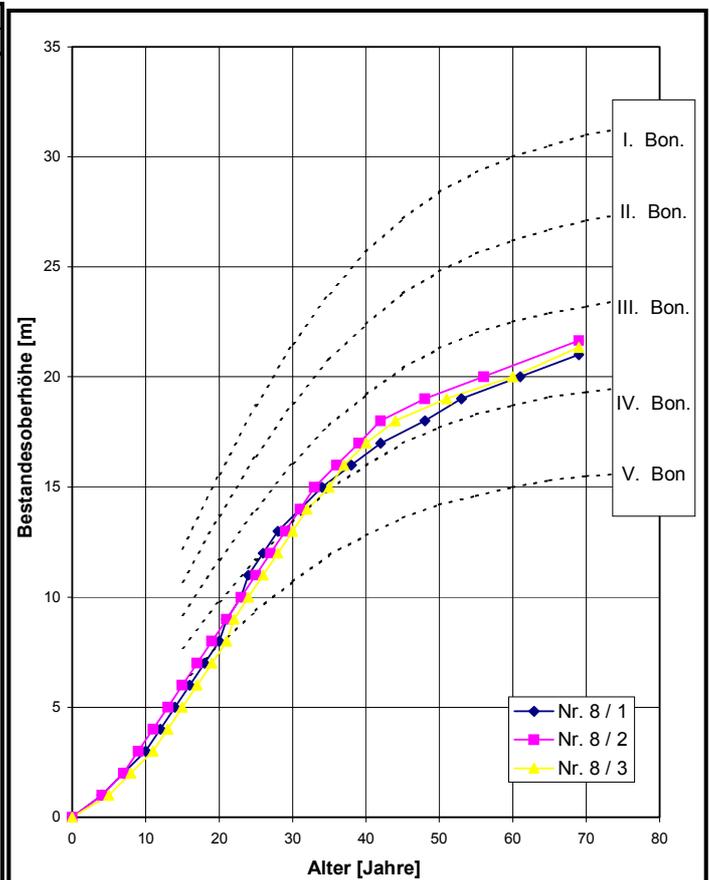
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 7

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 7 / 1	B 7 / 2	B 7 / 3	B Mw.
2	0,50	0,40	0,40	0,43
4	1,00	0,80	0,80	0,87
6	2,00	1,50	1,50	1,67
8	3,00	2,50	2,50	2,67
10	4,00	3,50	4,00	3,83
12	5,00	4,50	5,00	4,83
14	6,00	5,50	6,00	5,83
16	7,00	6,50	7,50	7,00
18	8,00	8,00	8,50	8,17
20	9,00	9,00	9,50	9,17
22	10,00	10,00	10,30	10,10
24	10,75	11,00	11,00	10,92
26	11,40	11,75	12,00	11,72
28	12,00	12,50	12,75	12,42
30	13,00	13,35	13,50	13,28
32	13,75	14,00	14,30	14,02
34	14,50	14,80	15,00	14,77
36	15,30	15,25	15,75	15,43
38	16,00	16,00	16,40	16,13
40	16,70	17,00	17,00	16,90
42	17,30	17,50	17,70	17,50
44	18,00	18,00	18,25	18,08
46	18,40	18,50	19,00	18,63
48	19,00	19,00	19,40	19,13
50	19,40	19,40	19,80	19,53
52	19,80	19,80	20,20	19,93
54	20,40	20,35	20,75	20,50
56	21,00	21,00	21,25	21,08
58	21,50	21,30	21,80	21,53
60	22,00	21,70	22,15	21,95
62	22,30	22,00	22,40	22,23
64	22,55	22,30	22,70	22,52
66	22,75	(22,60)	22,90	22,75
67	(22,95)	(22,90)	23,08	22,98



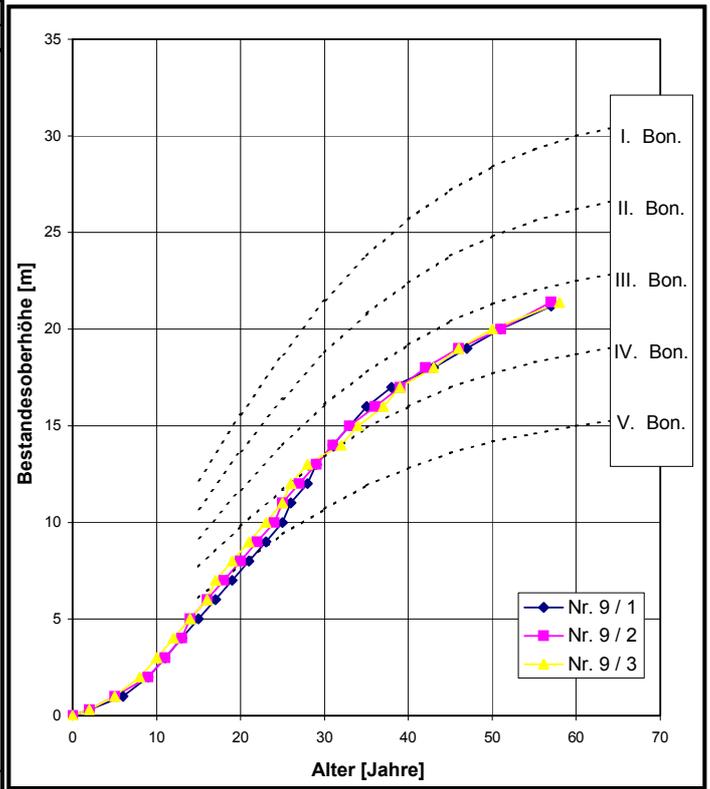
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 8

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 8 / 1	B 8 / 2	B 8 / 3	B Mw.
2	0,40	0,40	0,30	0,37
4	1,00	1,00	0,85	0,95
6	1,70	1,70	1,40	1,60
8	2,30	2,50	2,00	2,27
10	3,00	3,50	2,75	3,08
12	4,00	4,50	3,50	4,00
14	5,00	5,50	4,50	5,00
16	6,00	6,50	5,50	6,00
18	7,00	7,50	6,50	7,00
20	8,00	8,50	7,50	8,00
22	9,50	9,50	9,00	9,33
24	11,00	10,50	10,00	10,50
26	12,00	11,50	11,00	11,50
28	13,00	12,50	12,00	12,50
30	13,70	13,50	13,00	13,40
32	14,30	14,30	14,00	14,20
34	15,00	15,00	14,70	14,90
36	15,50	16,00	15,50	15,67
38	16,00	16,75	16,35	16,37
40	16,50	17,30	17,00	16,93
42	17,00	18,00	17,50	17,50
44	17,35	18,30	18,00	17,88
46	17,70	18,70	18,30	18,23
48	18,00	19,00	18,60	18,53
50	18,35	19,35	18,90	18,87
52	18,80	19,50	19,10	19,13
54	19,15	19,80	19,35	19,43
56	19,40	20,00	19,60	19,67
58	19,65	20,25	19,80	19,90
60	19,90	20,50	20,00	20,13
62	20,10	20,75	20,30	20,38
64	20,40	21,00	20,70	20,70
66	20,65	21,25	20,90	20,93
68	20,90	21,50	21,20	21,20
69	21,00	21,65	21,35	21,33



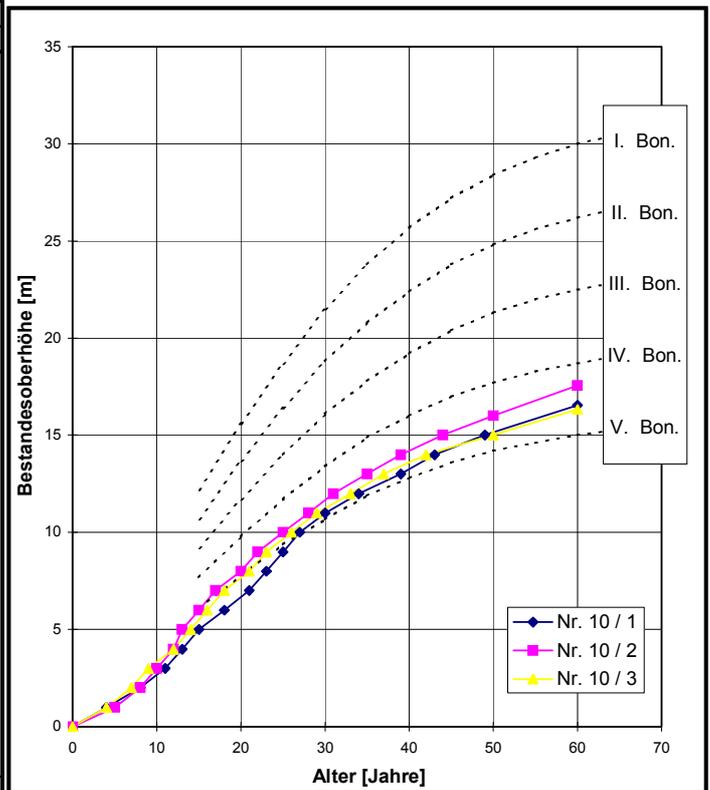
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 9

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 9 / 1	B 9 / 2	B 9 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,65	0,80	0,80	0,75
6	1,00	1,25	1,30	1,18
8	1,75	1,80	2,00	1,85
10	2,50	2,50	3,00	2,67
12	3,50	3,50	4,00	3,67
14	4,50	5,00	5,00	4,83
16	5,50	6,00	6,00	5,83
18	6,50	7,00	7,50	7,00
20	7,50	8,00	8,50	8,00
22	8,50	9,00	9,50	9,00
24	9,50	10,00	10,50	10,00
26	11,00	11,50	12,00	11,50
28	12,00	12,50	13,00	12,50
30	13,50	13,50	13,50	13,50
32	14,50	14,50	14,00	14,33
34	15,50	15,30	15,00	15,27
36	16,30	16,00	15,70	16,00
38	17,00	16,70	16,60	16,77
40	17,40	17,35	17,30	17,35
42	17,80	18,00	17,75	17,85
44	18,25	18,50	18,30	18,35
46	18,75	19,00	19,00	18,92
48	19,25	19,50	19,60	19,45
50	19,75	19,80	20,00	19,85
52	20,20	20,25	20,30	20,25
54	20,60	20,65	20,70	20,65
56	21,00	21,20	21,05	21,08
57	21,20	21,40	21,21	21,27
58	-	-	21,37	-



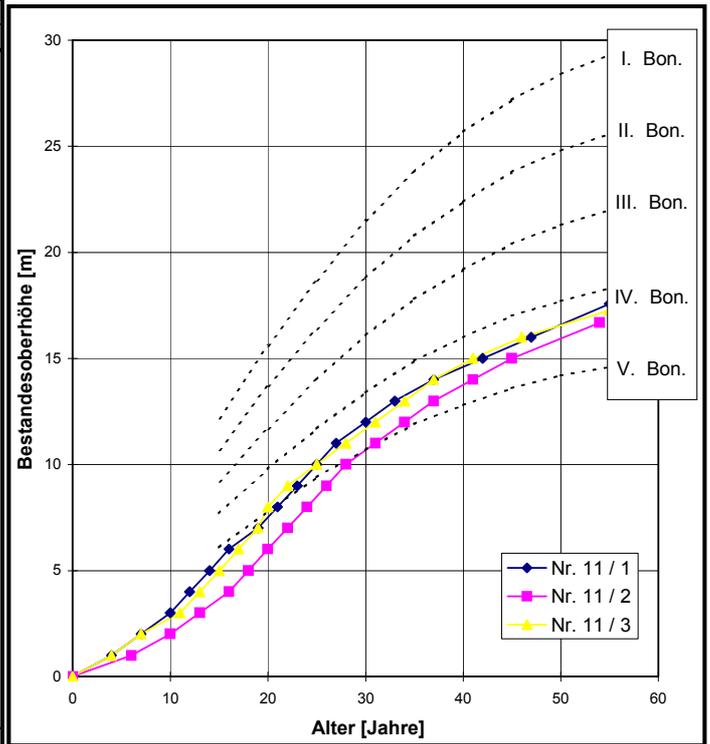
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 10

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 10 / 1	B 10 / 2	B 10 / 3	B Mw.
2	0,50	0,40	0,50	0,47
4	1,00	0,80	1,00	0,93
6	1,50	1,30	1,70	1,50
8	2,00	2,00	2,50	2,17
10	2,70	3,00	3,35	3,02
12	3,50	4,00	4,00	3,83
14	4,50	5,50	5,00	5,00
16	5,35	6,50	6,00	5,95
18	6,00	7,30	7,00	6,77
20	6,75	8,00	7,75	7,50
22	7,50	9,00	8,50	8,33
24	8,50	9,80	9,30	9,20
26	9,50	10,30	10,00	9,93
28	10,30	11,00	10,70	10,67
30	11,00	11,70	11,25	11,32
32	11,50	12,30	11,80	11,87
34	12,00	12,80	12,30	12,37
36	12,40	13,30	12,80	12,83
38	12,85	13,80	13,20	13,28
40	13,20	14,20	13,65	13,68
42	13,80	14,60	14,00	14,13
44	14,30	15,00	14,25	14,52
46	14,50	15,35	14,50	14,78
48	14,80	15,70	14,75	15,08
50	15,15	16,00	15,00	15,38
52	15,45	16,30	15,30	15,68
54	15,70	16,65	15,55	15,97
56	16,00	17,00	15,85	16,28
58	16,30	17,30	16,10	16,57
60	16,55	17,55	16,33	16,81



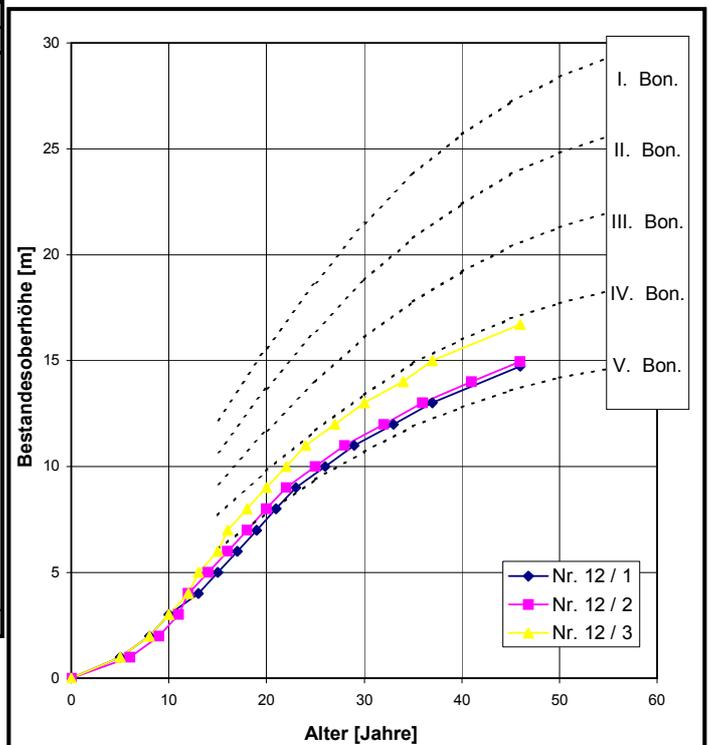
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 11

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 11 / 1	B 11 / 2	B 11 / 3	B Mw.
2	0,50	0,30	0,50	0,43
4	1,00	0,70	1,00	0,90
6	1,70	1,00	1,70	1,47
8	2,30	1,50	2,25	2,02
10	3,00	2,00	2,80	2,60
12	4,00	2,65	3,50	3,38
14	5,00	3,30	4,50	4,27
16	6,00	4,00	5,50	5,17
18	6,75	5,00	6,50	6,08
20	7,50	6,00	8,00	7,17
22	8,50	7,00	9,00	8,17
24	9,50	8,00	9,70	9,07
26	10,50	9,00	10,35	9,95
28	11,30	10,00	11,00	10,77
30	12,00	10,70	11,80	11,50
32	12,70	11,30	12,40	12,13
34	13,25	12,00	13,00	12,75
36	13,80	12,70	13,70	13,40
38	14,20	13,20	14,25	13,88
40	14,65	13,75	14,80	14,40
42	15,00	14,20	15,20	14,80
44	15,40	14,75	15,65	15,27
46	15,80	15,20	16,00	15,67
48	16,20	15,60	16,30	16,03
50	16,60	16,00	16,60	16,40
52	17,00	16,35	16,90	16,75
54	17,40	16,68	17,15	17,08
55	17,58	17,00	17,28	(17,29)



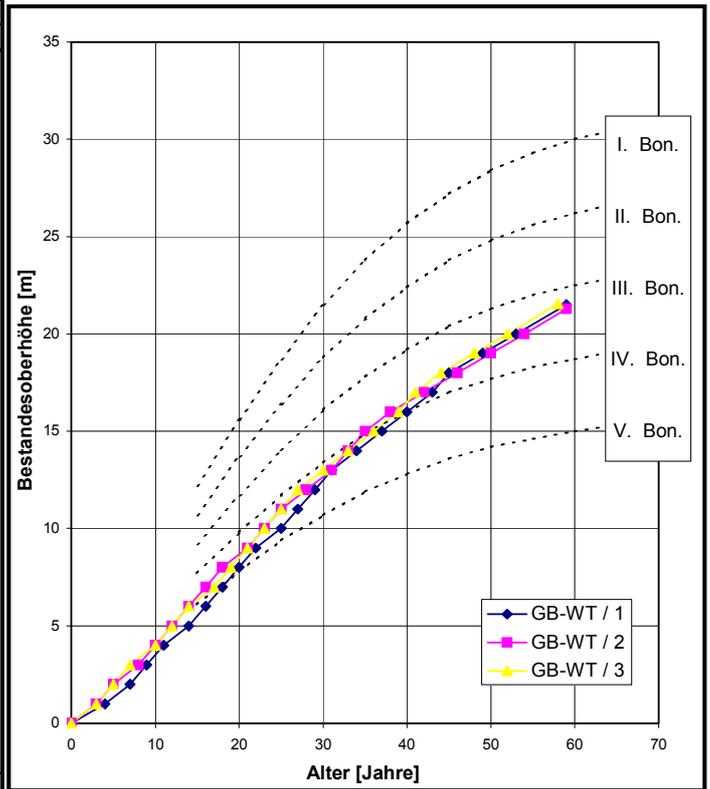
Altershöhenbeziehung Fläche GBI 12

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B 12 / 1	B 12 / 2	B 12 / 3	B Mw.
2	0,15	0,20	0,20	0,18
4	0,80	0,70	0,80	0,77
6	1,30	1,00	1,30	1,20
8	2,00	1,70	2,00	1,90
10	3,00	2,50	3,00	2,83
12	3,70	4,00	4,00	3,90
14	4,50	5,00	5,50	5,00
16	5,50	6,00	7,00	6,17
18	6,50	7,00	8,00	7,17
20	7,50	8,00	9,00	8,17
22	8,50	9,00	10,00	9,17
24	9,30	9,70	11,00	10,00
26	10,00	10,30	11,70	10,67
28	10,70	11,00	12,35	11,35
30	11,25	11,50	13,00	11,92
32	11,80	12,00	13,50	12,43
34	12,25	12,50	14,00	12,92
36	12,80	13,00	14,70	13,50
38	13,20	13,40	15,20	13,93
40	13,65	13,80	15,55	14,33
42	14,00	14,20	15,95	14,72
44	14,40	14,60	16,30	15,10
46	14,75	14,95	16,70	15,47



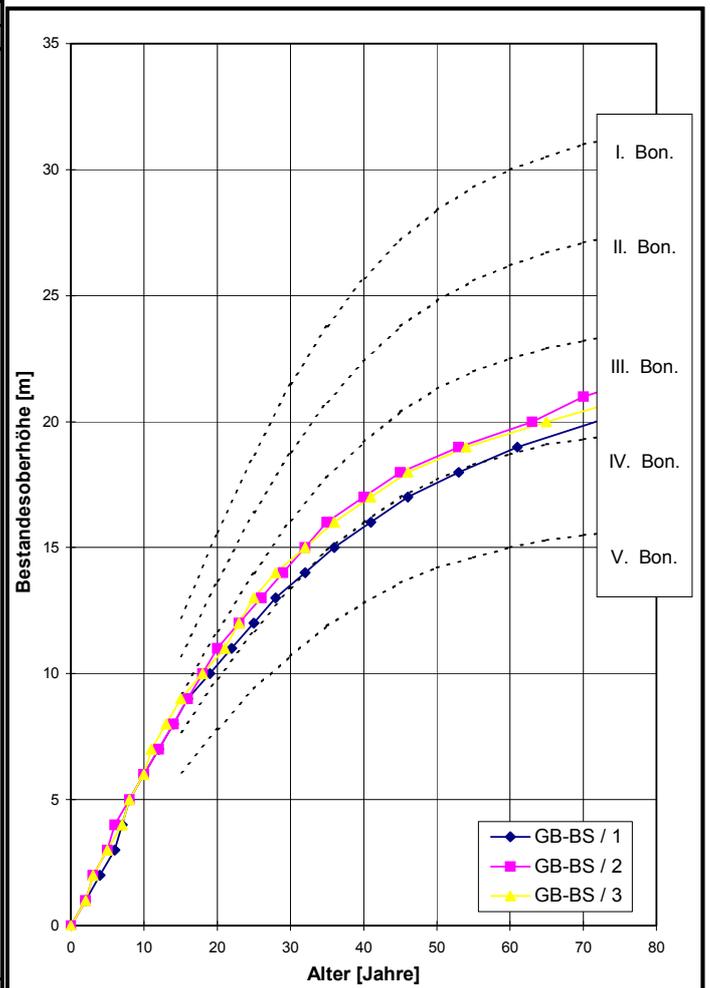
Altershöhenbeziehung Fläche GBI GB-WT

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B WT / 1	B WT / 2	B WT / 3	B Mw.
2	0,50	0,70	0,70	0,63
4	1,00	1,50	1,50	1,33
6	1,75	2,30	2,50	2,18
8	2,50	3,00	3,25	2,92
10	3,50	4,00	4,00	3,83
12	4,30	5,00	5,00	4,77
14	5,00	6,00	6,00	5,67
16	6,00	7,00	6,70	6,57
18	7,00	8,00	7,50	7,50
20	8,00	8,80	8,50	8,43
22	9,00	9,50	9,50	9,33
24	9,75	10,50	10,50	10,25
26	10,50	11,40	11,50	11,13
28	11,50	12,00	12,30	11,93
30	12,50	12,80	13,00	12,77
32	13,30	13,50	13,75	13,52
34	14,00	14,50	14,30	14,27
36	14,80	15,25	15,00	15,02
38	15,40	16,00	15,75	15,72
40	16,00	16,50	16,50	16,33
42	16,75	17,00	17,30	17,02
44	17,50	17,50	18,00	17,67
46	18,20	18,00	18,50	18,23
48	18,80	18,50	19,00	18,77
50	19,25	19,00	19,50	19,25
52	19,80	19,50	20,00	19,77
54	20,20	20,00	20,50	20,23
56	20,80	20,50	21,05	20,78
58	21,30	21,05	21,55	21,30
59	21,50	21,30	-	(21,50)



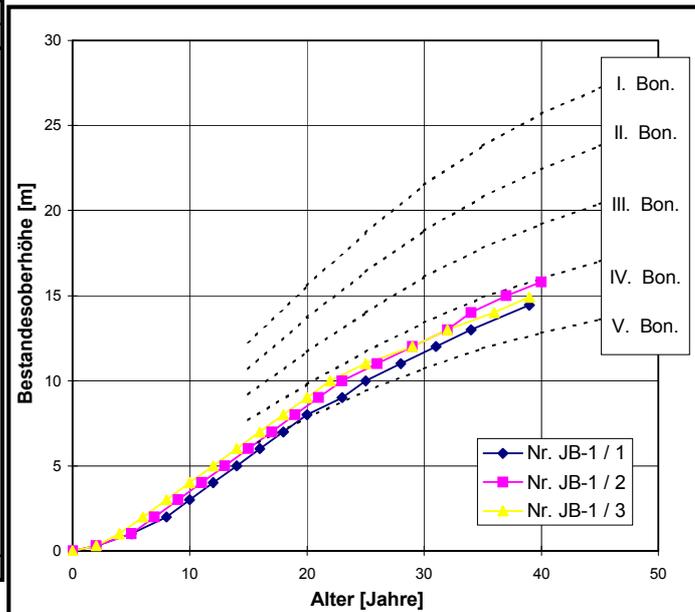
Altershöhenbeziehung Fläche GBI GB-BS

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B BS / 1	B BS / 2	B BS / 3	B Mw.
2	1,00	1,00	1,00	1,00
4	2,00	2,50	2,50	2,33
6	3,00	4,00	3,50	3,50
8	5,00	5,00	5,00	5,00
10	6,00	6,00	6,00	6,00
12	7,00	7,00	7,50	7,17
14	8,00	8,00	8,50	8,17
16	9,00	9,00	9,35	9,12
18	9,70	10,00	10,00	9,90
20	10,30	11,00	10,70	10,67
22	11,00	11,70	11,50	11,40
24	11,70	12,30	12,50	12,17
26	12,30	13,00	13,30	12,87
28	13,00	13,70	14,00	13,57
30	13,50	14,35	14,50	14,12
32	14,00	15,00	15,00	14,67
34	14,50	15,70	15,50	15,23
36	15,00	16,25	16,00	15,75
38	15,40	16,65	16,45	16,17
40	15,80	17,00	16,85	16,55
42	16,20	17,40	17,20	16,93
44	16,60	17,80	17,60	17,33
46	17,00	18,15	18,00	17,72
48	17,25	18,40	18,30	17,98
50	17,60	18,70	18,60	18,30
52	17,95	18,90	18,80	18,55
54	18,20	19,10	19,00	18,77
56	18,40	19,30	19,20	18,97
58	18,65	19,50	19,40	19,18
60	18,90	19,75	19,60	19,42
62	19,10	19,95	19,80	19,62
64	19,35	20,20	19,95	19,83
66	19,55	20,50	20,10	20,05
68	19,70	20,75	20,25	20,23
70	19,90	21,00	20,45	20,45
72	20,05	21,15	20,60	20,60
73	20,12	21,25	20,67	20,68
74	(20,20)	21,35	20,75	20,77
75	-	21,44	-	-



Altershöhenbeziehung Fläche GBI JB-1

Alter [Jahre]	Höhe [m]			
	B JB-1 / 1	B JB-1 / 2	B JB-1 / 3	B Mw.
2	0,30	0,30	0,30	0,30
4	0,80	0,80	1,00	0,87
6	1,30	1,50	2,00	1,60
8	2,00	2,50	3,00	2,50
10	3,00	3,50	4,00	3,50
12	4,00	4,50	5,00	4,50
14	5,00	5,50	6,00	5,50
16	6,00	6,50	7,00	6,50
18	7,00	7,50	8,00	7,50
20	8,00	8,50	9,00	8,50
22	8,70	9,50	10,00	9,40
24	9,50	10,30	10,70	10,17
26	10,35	11,00	11,20	10,85
28	11,00	11,70	11,75	11,48
30	11,70	12,35	12,35	12,13
32	12,30	13,00	13,00	12,77
34	13,00	14,00	13,50	13,50
36	13,60	14,70	14,00	14,10
38	14,20	15,30	14,60	14,70
39	14,45	15,55	14,90	14,97
40	-	15,80	-	-



Anlage 6.4: Altershöhenkurven der Baumart Gemeine Birke

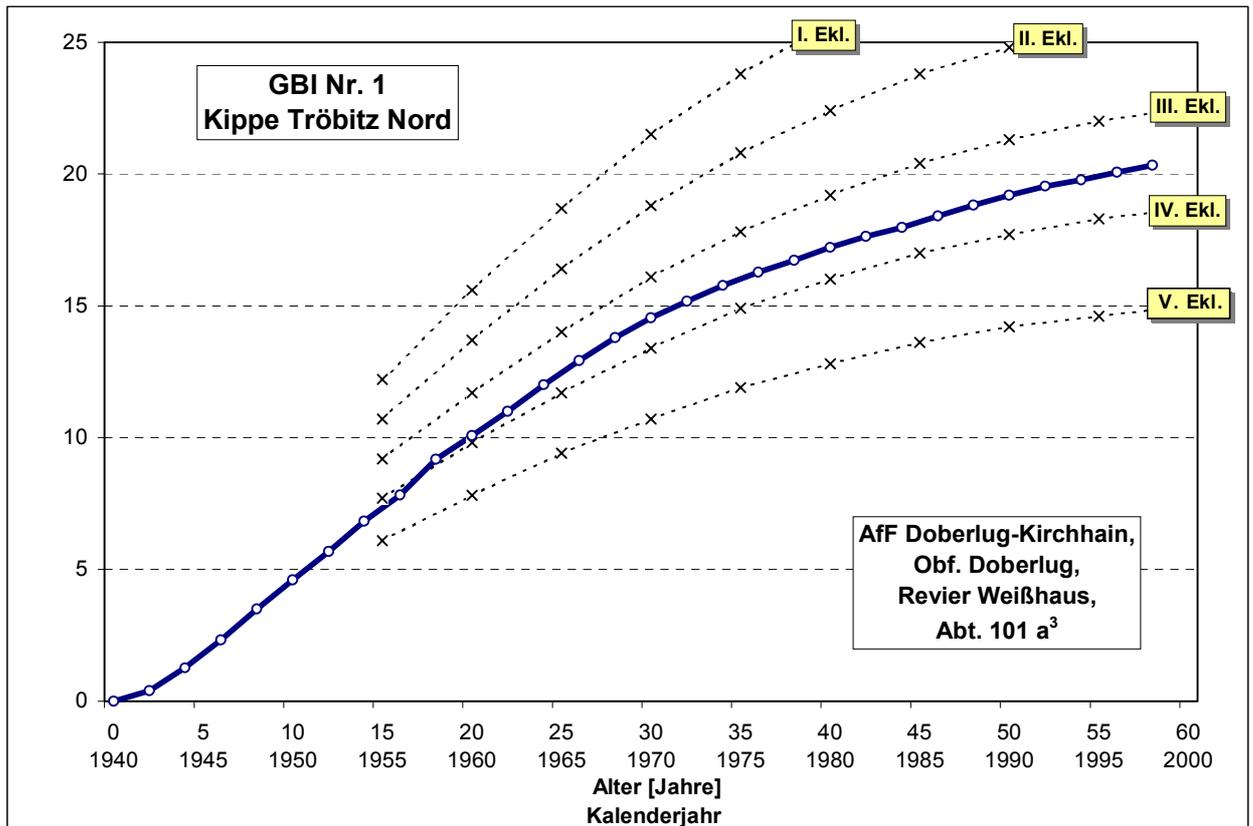


Abb. A6.4-1: Höhenwachstumsverlauf des 58jährigen Birkenreinbestandes Nr. 1 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Kieskohlesand (kx'S-Kp; Ss/mSgs)

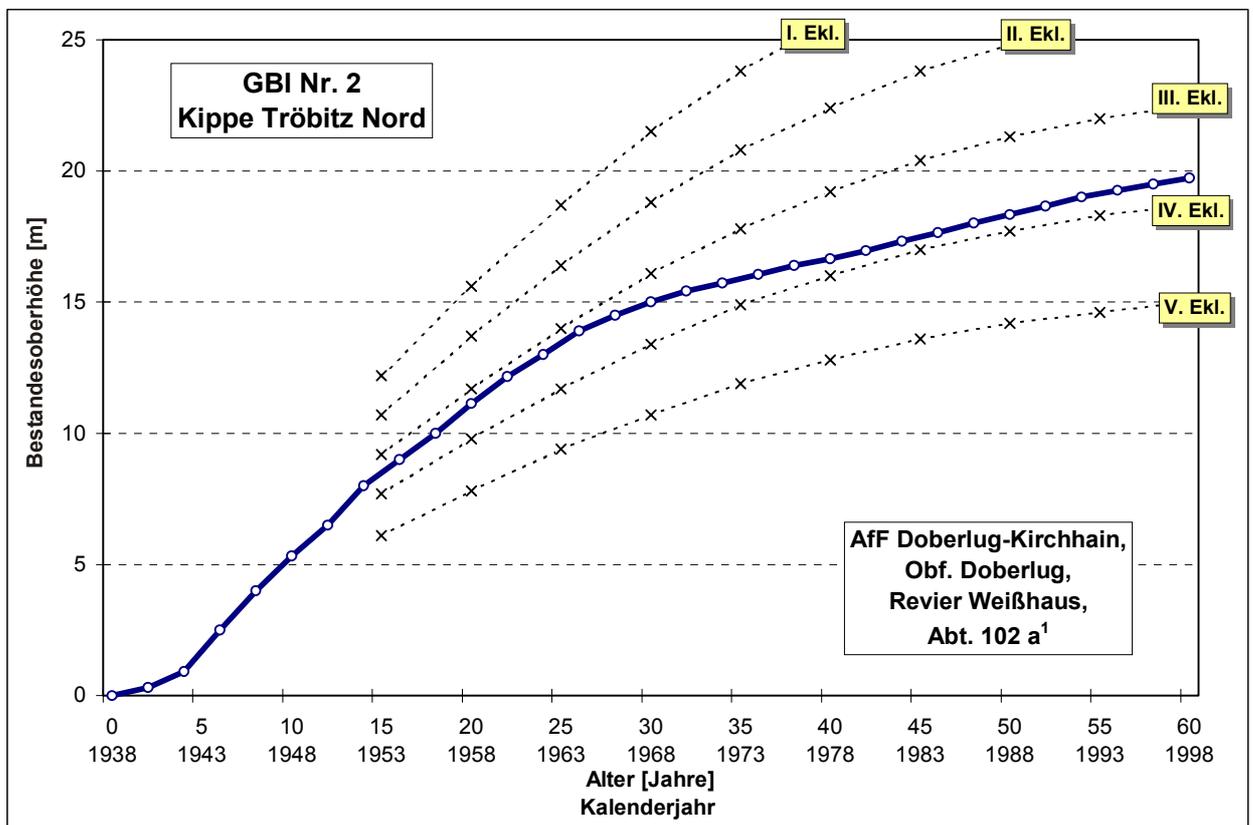


Abb. A6.4-2: Höhenwachstumsverlauf des 60jährigen Birkenreinbestandes Nr. 2 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Kohlesand (xS-Kp; Ss/mSgs)

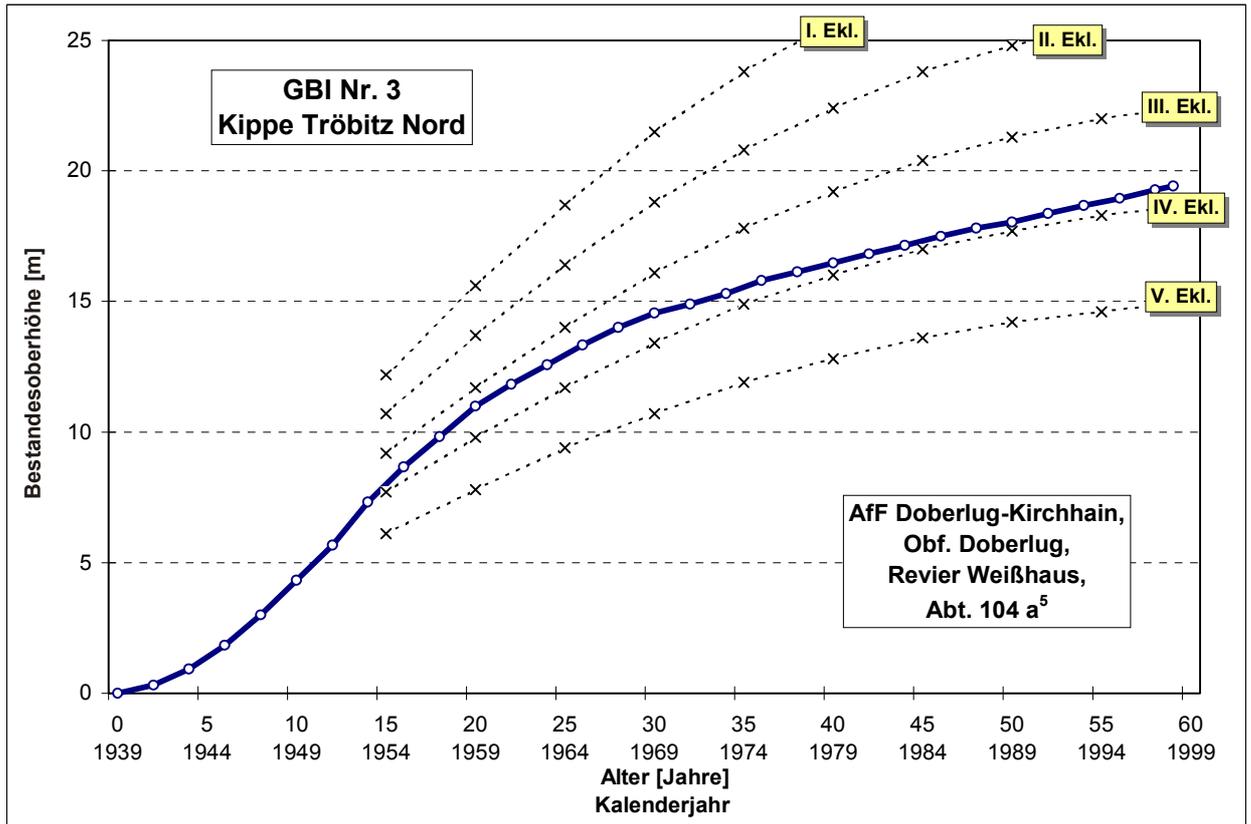


Abb. A6.4-3: Höhenwachstumsverlauf des 59jährigen Birkenreinbestandes Nr. 3 (Kippe Tröbitz Nord) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

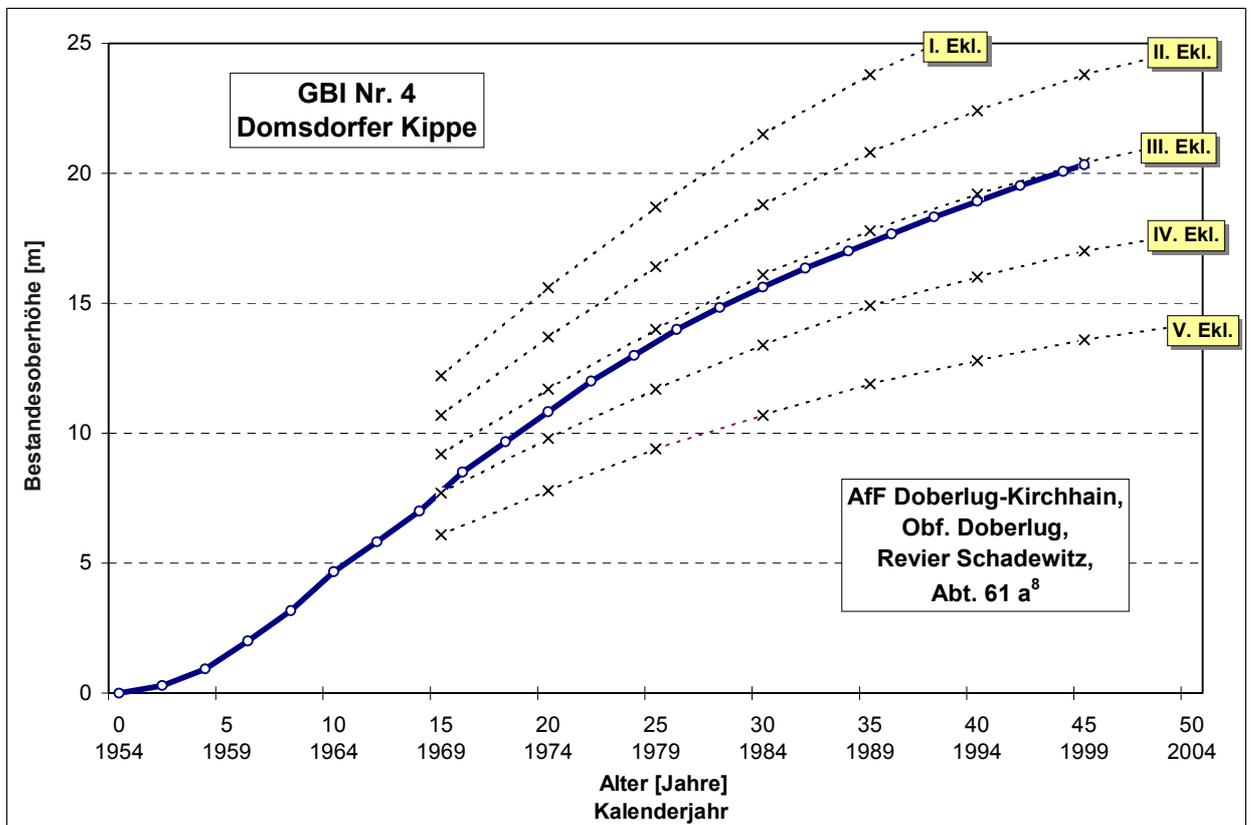


Abb. A6.4.-4: Höhenwachstumsverlauf des 45jährigen Birkenreinbestandes Nr. 4 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Kohlelehmsand (x'IS-Kp; S13)

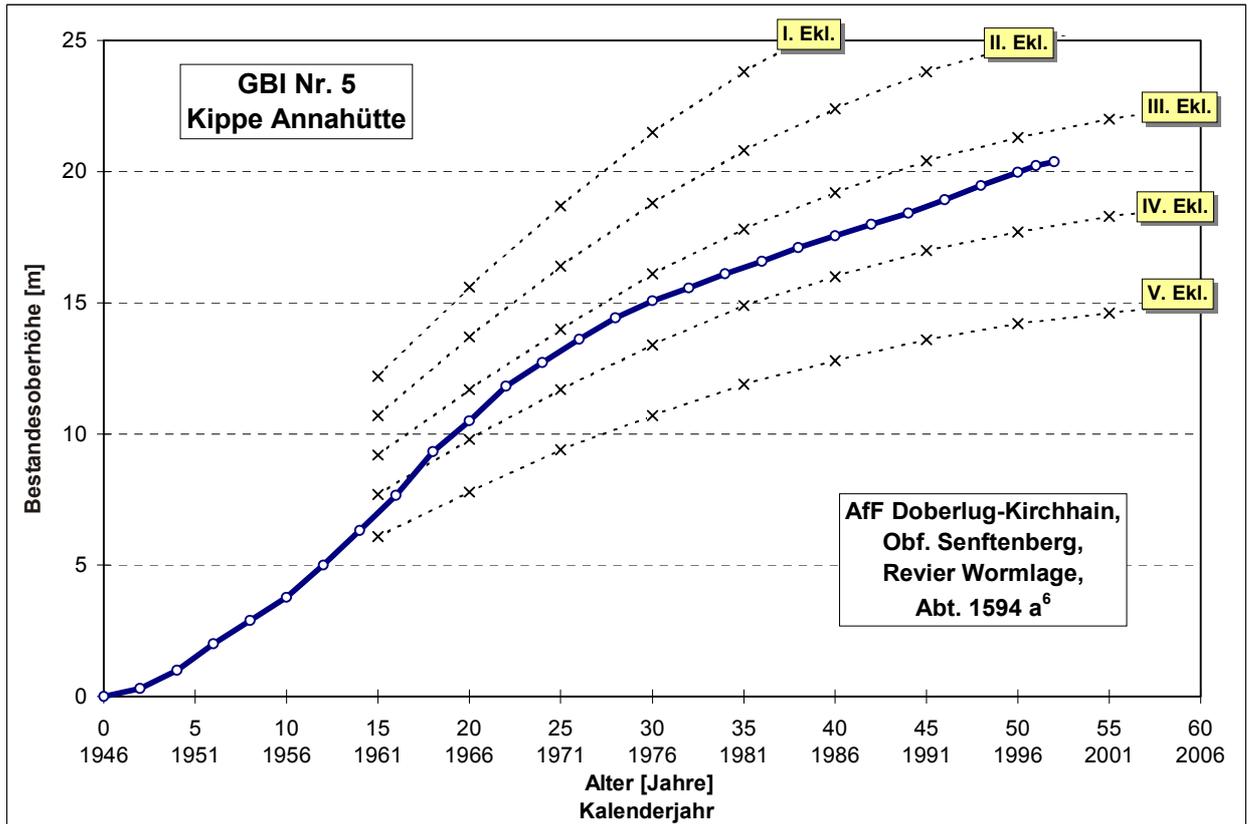


Abb. 6.4-5: Höhenwachstumsverlauf des 52jährigen Birkenreinbestandes Nr. 5 (Kippe Annahütte) auf Kipp-Kieskohleanlehmsand (kxSl-Kp; Sl3)

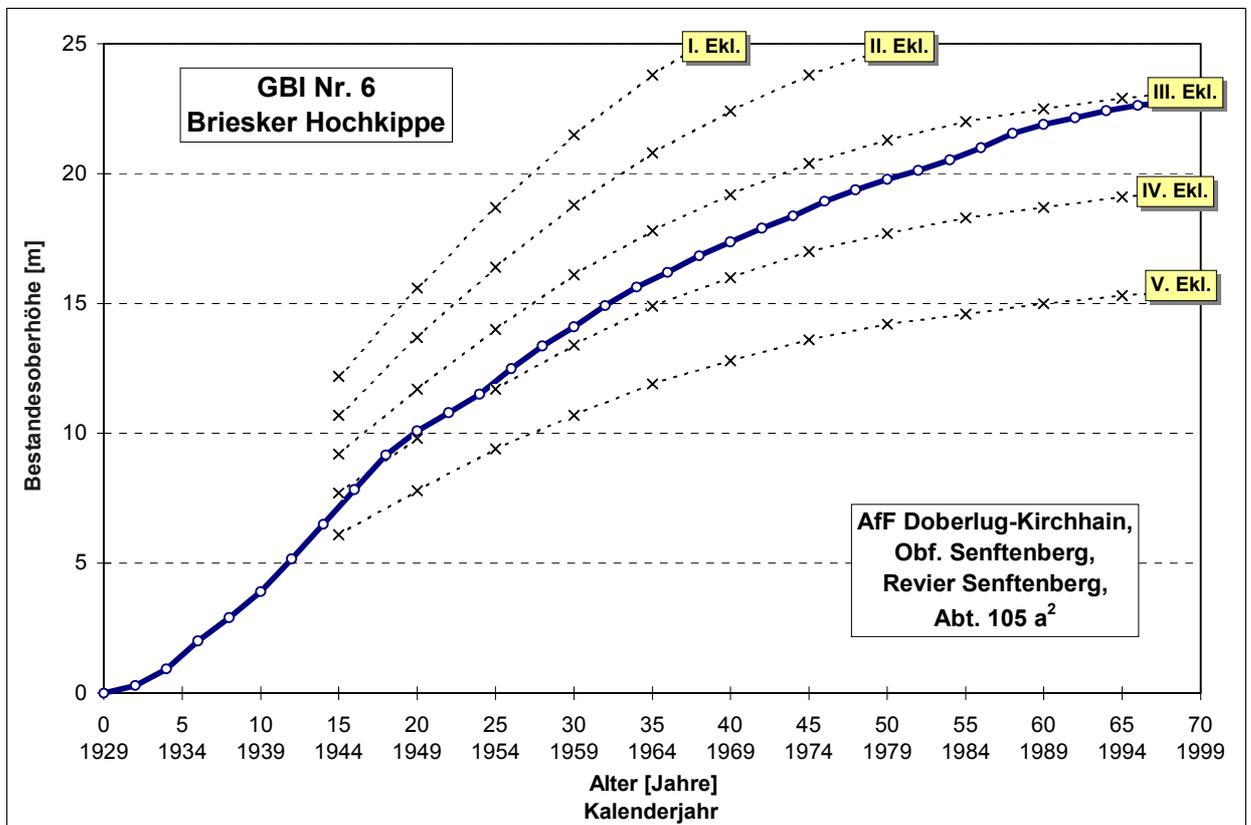


Abb. A6.4-6: Höhenwachstumsverlauf des 69jährigen Birkenreinbestandes Nr. 6 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Mittelsand (mS-Kp; Ss/mSgs)

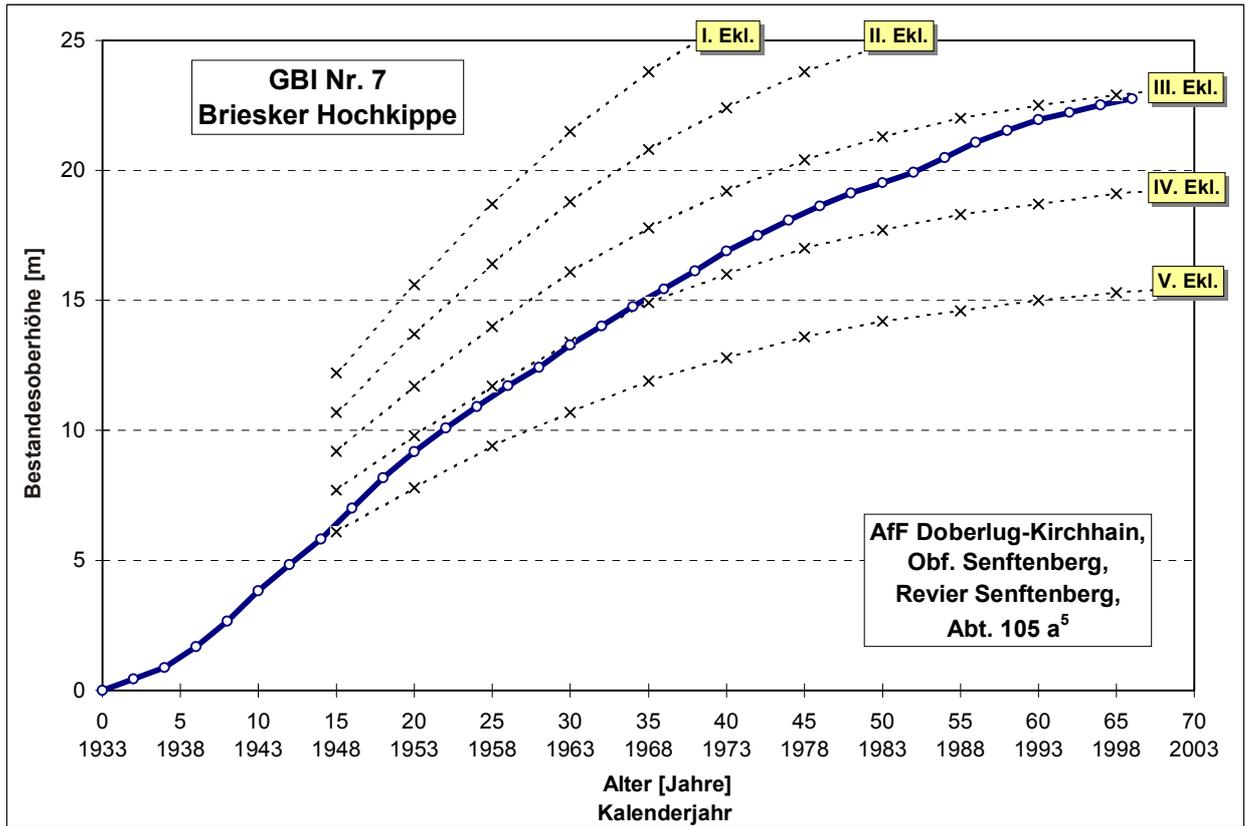


Abb. A6.4-7: Höhenwachstumsverlauf des 66jährigen Birkenreinbestandes Nr. 7 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Mittelsand (mS-Kp; Ss/mSgs)

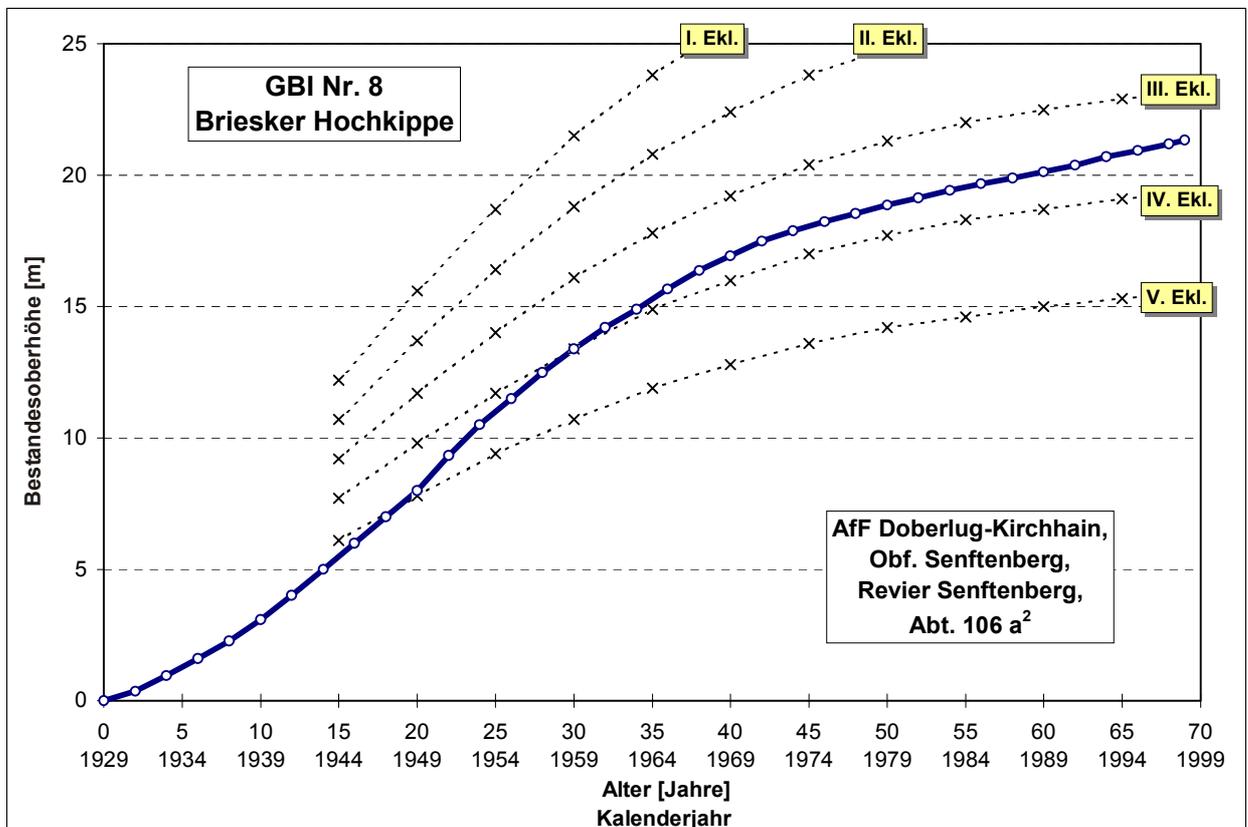


Abb. A6.4-8: Höhenwachstumsverlauf des 69jährigen Birkenreinbestandes Nr. 8 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

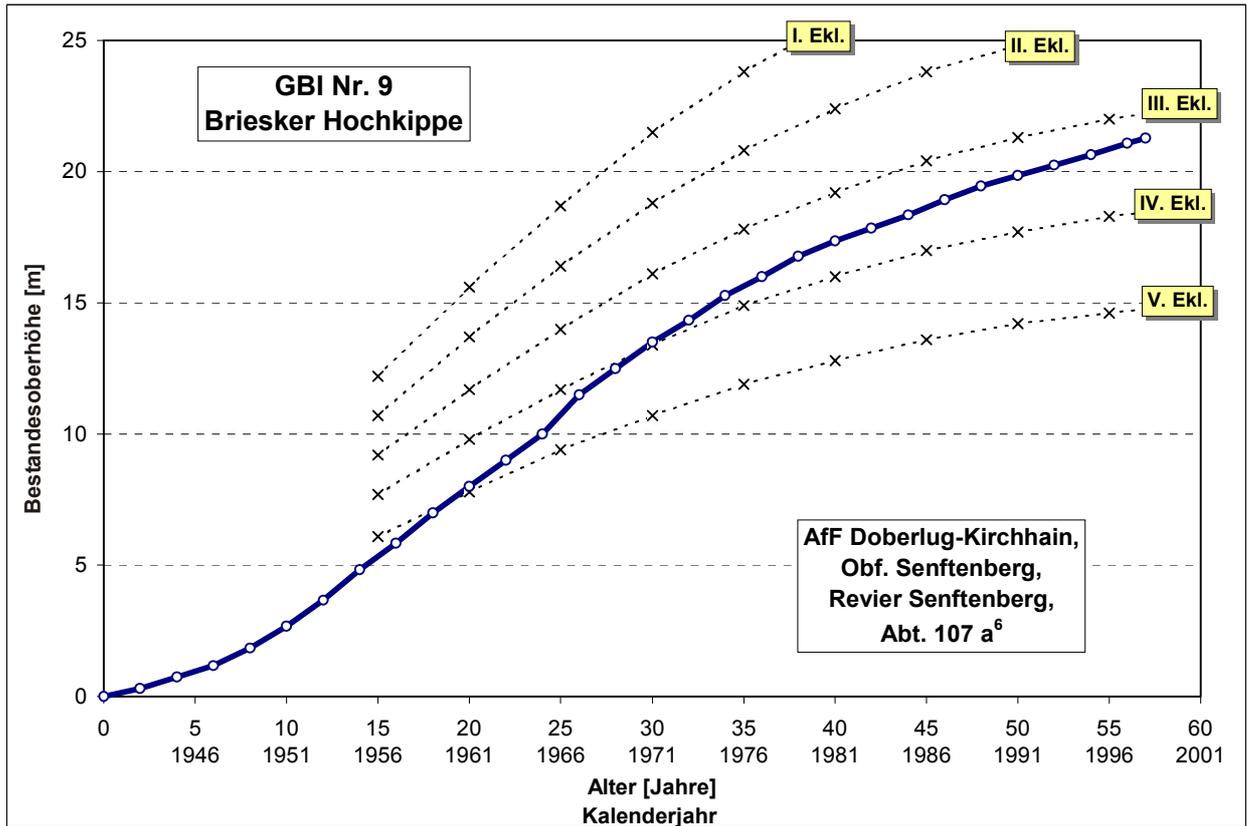


Abb. A5.4-9: Höhenwachstumsverlauf des 57jährigen Birkenreinbestandes Nr. 9 (Briesker Hochkippe) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSgs)

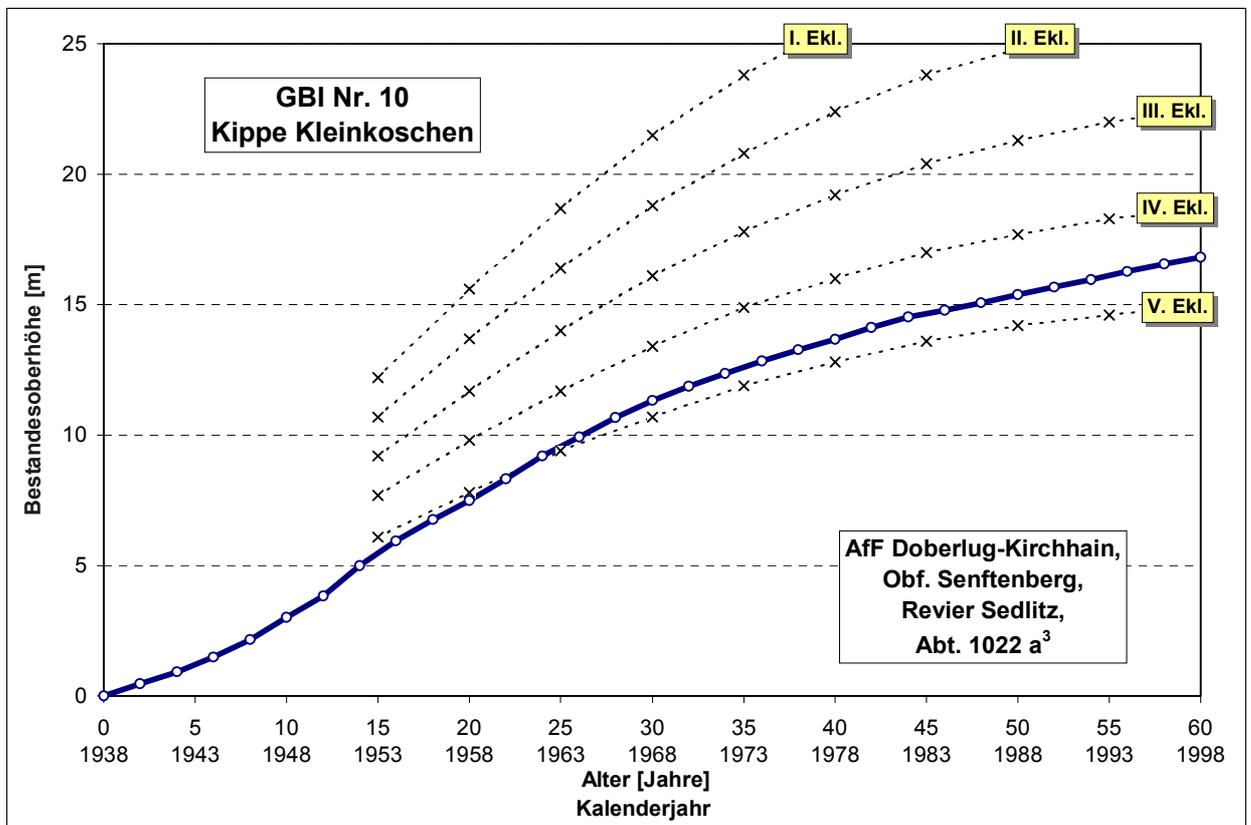


Abb. A5.4-10: Höhenwachstumsverlauf des 60jährigen Birkenreinbestandes Nr. 10 (Kippe Kleinkoschen) auf Kipp-Kohlesand (x'S-Kp; Ss/mSfs)

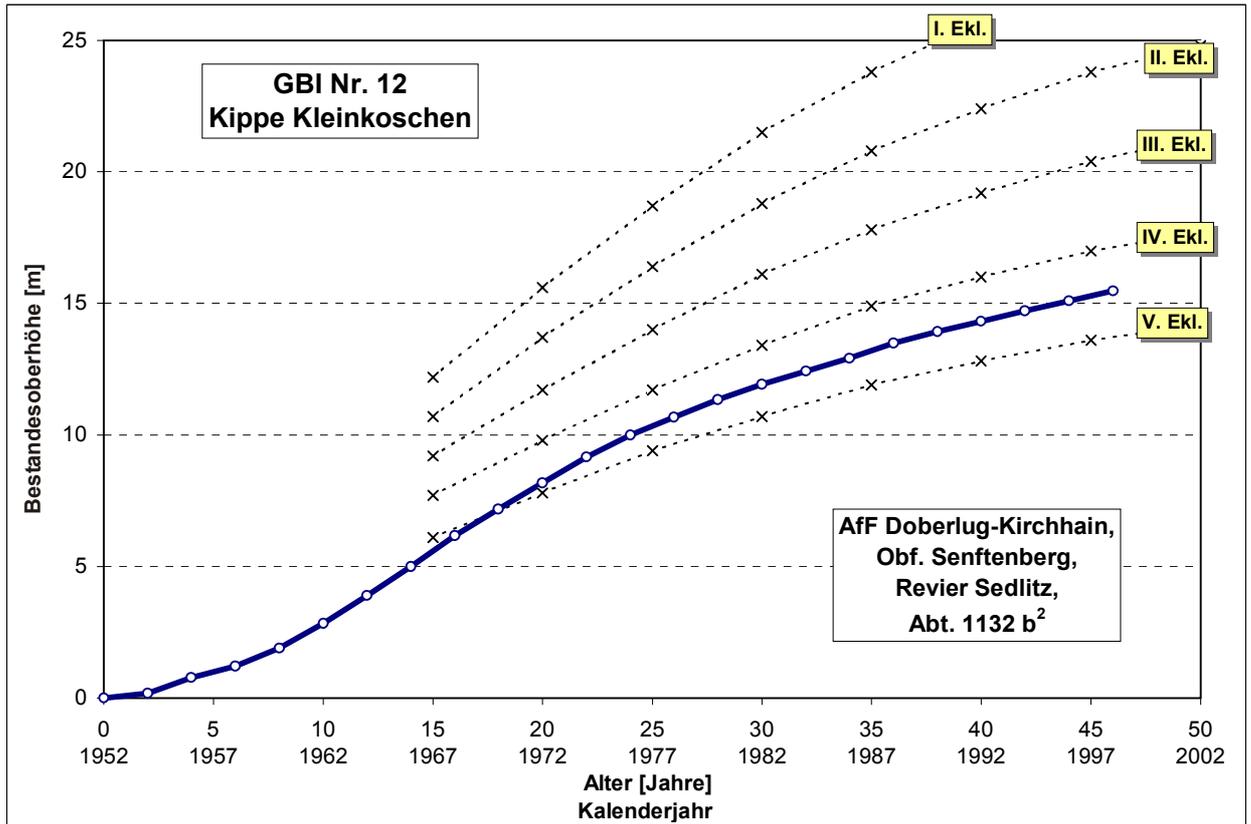


Abb. A6.4-11: Höhenwachstumsverlauf des 46jährigen Birkenreinbestandes Nr. 12 (Kippe Kleinkoschen) auf Kipp-Kohleanlehmsand (xSI-Kp; St2)

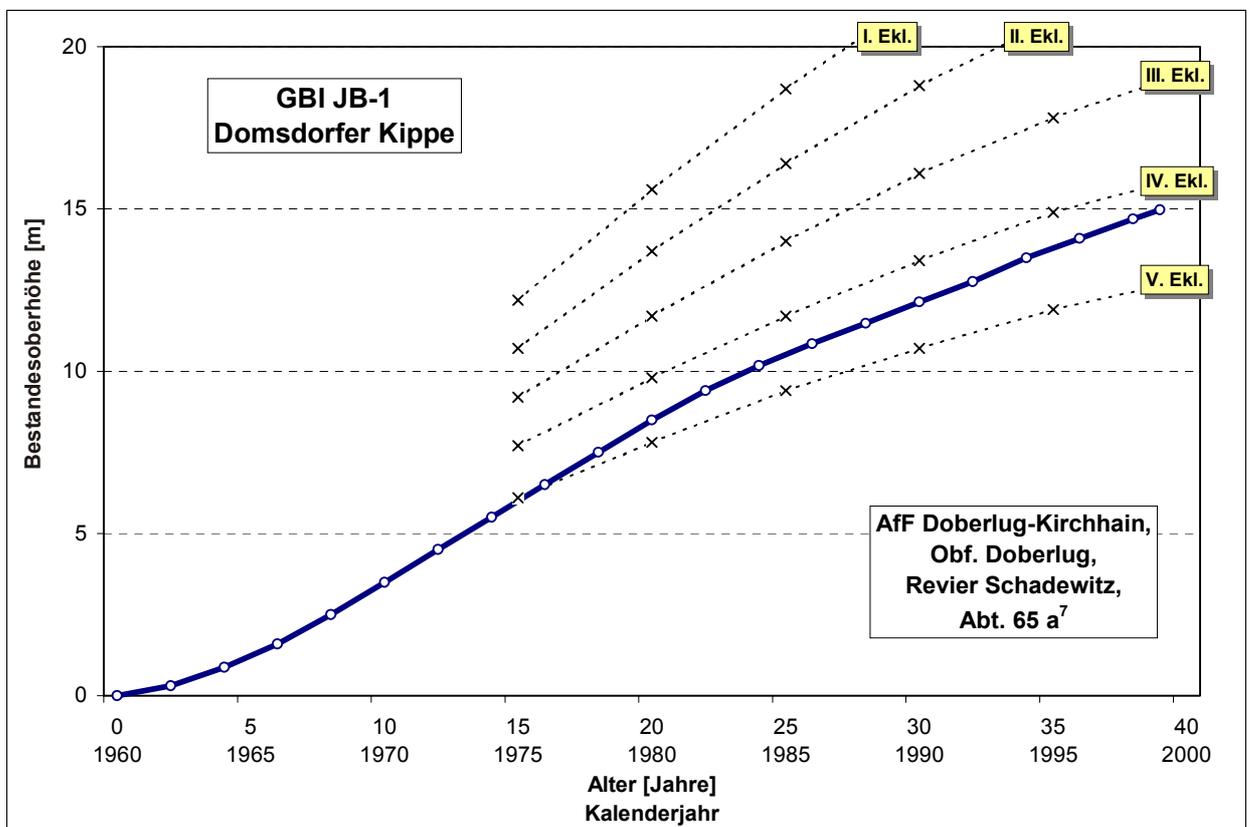


Abb. A6.4-12: Höhenwachstumsverlauf des 39jährigen GBI-Jungbestandes JB-1 (Domsdorfer Kippe) auf Kipp-Kohlelehmsand (xIS-Kp; SI4)

Anlage 7: Deskriptive Statistik zu den Kiefern-Nadelspiegelwerten

Tab. A7-1.1: N-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	1,86	0,178	9,56	1,63	2,18	0,55	1,72	1,81	1,97

Tab. A7-1.2: N-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	1,82	0,285	15,65	1,31	2,16	0,85	1,69	1,85	2,07

Tab. A7-2.1: P-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,20	0,041	20,21	0,17	0,30	0,13	0,17	0,18	0,23

Tab. A7-2.2: P-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	0,14	0,029	20,93	0,10	0,18	0,08	0,11	0,14	0,16

Tab. A7-3.1: K-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,49	0,048	9,78	0,42	0,60	0,18	0,45	0,485	0,52

Tab. A7-3.2: K-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	0,51	0,099	19,58	0,40	0,68	0,27	0,42	0,460	0,59

Tab. A7-4.1: **Ca**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,46	0,08	17,52	0,34	0,60	0,26	0,38	0,46	0,51

Tab. A7-4.2: **Ca**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	0,38	0,11	28,76	0,26	0,53	0,27	0,27	0,34	0,50

Tab. A7-5.1: **Mg**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,091	0,008	9,21	0,082	0,110	0,028	0,084	0,090	0,098

Tab. A7-5.2: **Mg**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	0,091	0,009	10,21	0,080	0,106	0,026	0,083	0,090	0,100

Tab. A7-6.1: **S_t**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,14	0,028	19,17	0,11	0,19	0,08	0,12	0,13	0,17

Tab. A7-6.2: **S_t**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [%]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	0,16	0,034	20,57	0,13	0,22	0,09	0,13	0,16	0,20

Tab. A7-7.1: **Fe**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12 o.Nr.22	178,25 129,91	170,34	95,57	87,00	710,00 154,00	623,00 67,00	119,25	122,50	152,25

Tab. A7-7.2: **Fe**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	113,86	31,26	27,45	74,00	151,00	77,00	76,00	125,00	142,00

Tab. A7-8.1: **Zn**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	38,25	6,59	17,24	29,00	54,00	25,00	32,75	39,00	41,50

Tab. A7-8.2: **Zn**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	40,00	8,77	21,94	26,00	48,00	22,00	29,00	44,00	46,00

Tab. A7-9.1: **Mn**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	280,00	204,06	72,88	46,00	637,00	591,00	91,00	250,00	470,00

Tab. A7-9.2: **Mn**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	277,57	116,16	41,85	103,00	420,00	317,00	194,00	280,00	373,00

Tab. A7-10.1: **Cu**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	3,95	0,95	24,17	2,80	6,20	3,40	3,15	3,90	4,52

Anm.: cv% (Variationskoeffizient) ohne Fläche GKI 22 = 7,80

Tab. A7-10.2: **Cu**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	4,21	0,33	7,80	3,70	4,60	0,90	3,90	4,30	4,50

Tab. A7-11.1: **Al**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	278,92	148,10	53,10	140,00	690,00	550,00	160,75	265,00	307,50

Tab. A7-11.2: **Al**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	341,71	117,52	34,39	228,00	500,00	272,00	232,00	294,00	460,00

Tab. A7-12.1: **Na**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	84,2	27,36	32,50	37,0	121,0	84,0	59,2	87,0	110,5

Tab. A7-12.2: **Na**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	109,6	40,86	37,29	40,0	158,0	118,0	83,0	113,0	151,0

Tab. A7-13.1: **Cd**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	0,13	0,056	42,35	0,04	0,20	0,16	0,08	0,13	0,19

Tab. A7-13.2: **Cd**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
6	0,14	0,028	19,57	0,10	0,17	0,07	0,12	0,15	0,17

Tab. A7-14.1: **Pb**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	2,56	1,44	56,11	1,70	7,00	5,30	1,92	2,15	2,60

Tab. A7-14.2: **Pb**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	2,10	0,67	32,01	1,20	2,70	1,50	1,27	2,40	2,62

Tab. A7-15.1: **Ni**-Nadelspiegelwerte der mittelalten Erstaufforstungen (MAB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
12	2,50	1,18	47,24	1,00	4,80	3,80	1,70	1,90	3,47

Tab. A7-15.2: **Ni**-Nadelspiegelwerte der jungen Erstaufforstungen (JB) [ppm]

Fälle	Mittelwert	Standardabweich.	Variat.-koeff.	Minimum	Maximum	Spannweite	25. Perz.	Median	75. Perz.
7	2,33	0,92	39,34	1,50	4,10	2,60	1,80	2,05	2,82

Anlage 8: Nadel- und Blattspiegelwerte der Mikronährstoffe und Schwermetalle

Anlage 8.1: Gehalte in den Nadeln der Kiefern-Erstaufforstungen

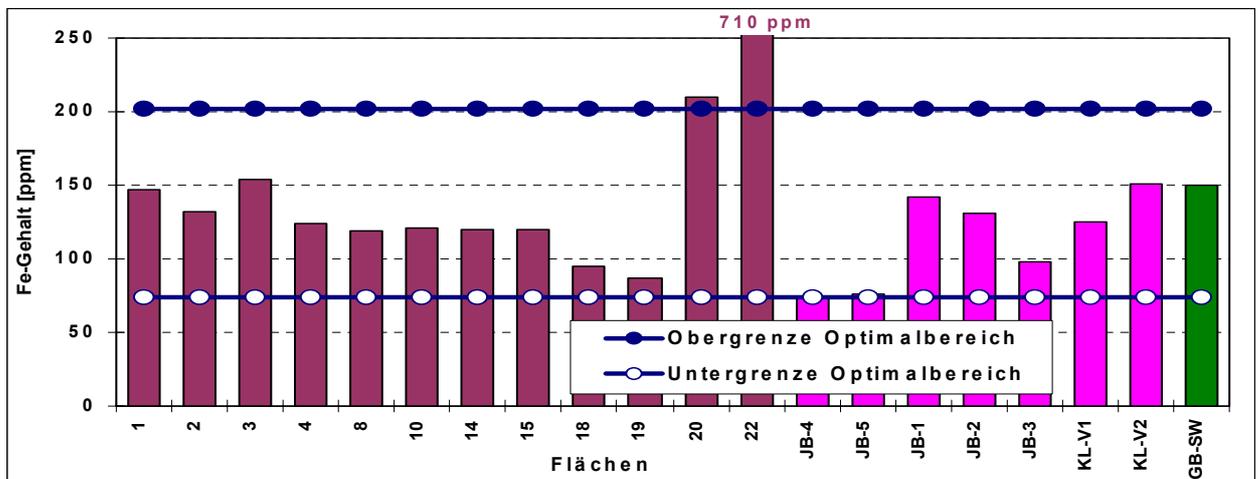


Abb. A8.1-1: Fe-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

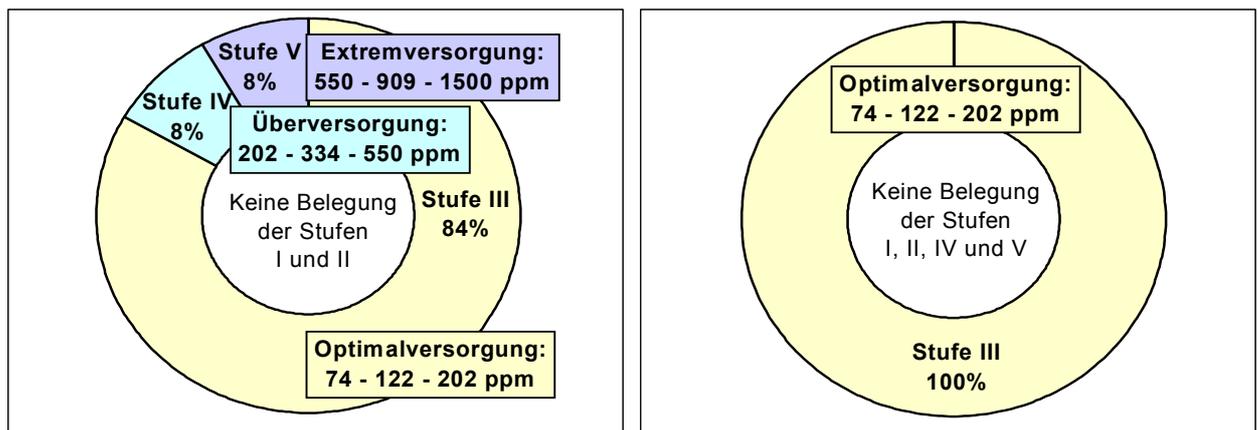


Abb. A8.1-2.1 und 2.2: Klassifizierung der Fe-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

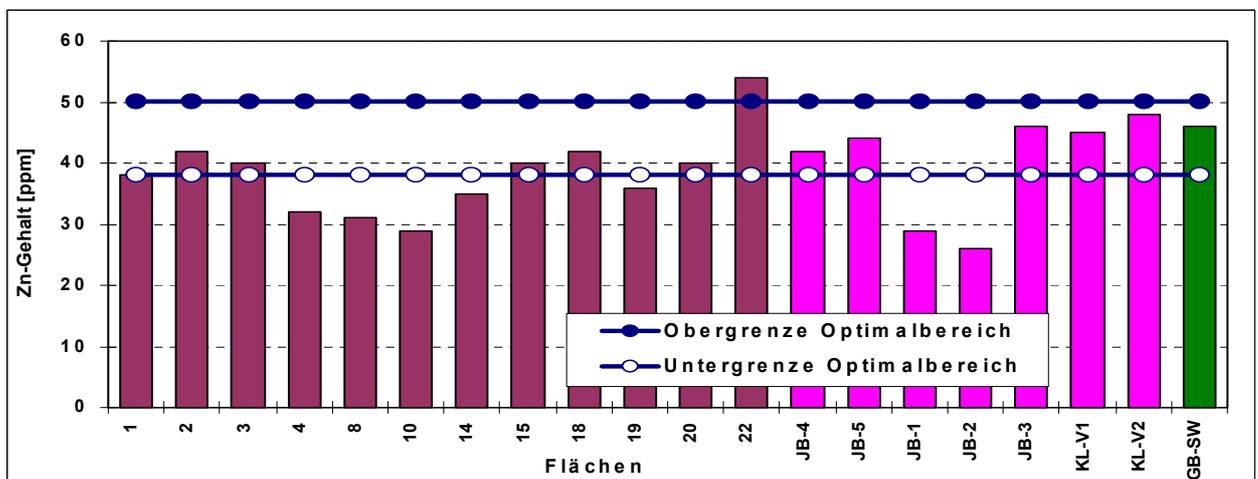


Abb. A8.1-3: Zn-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

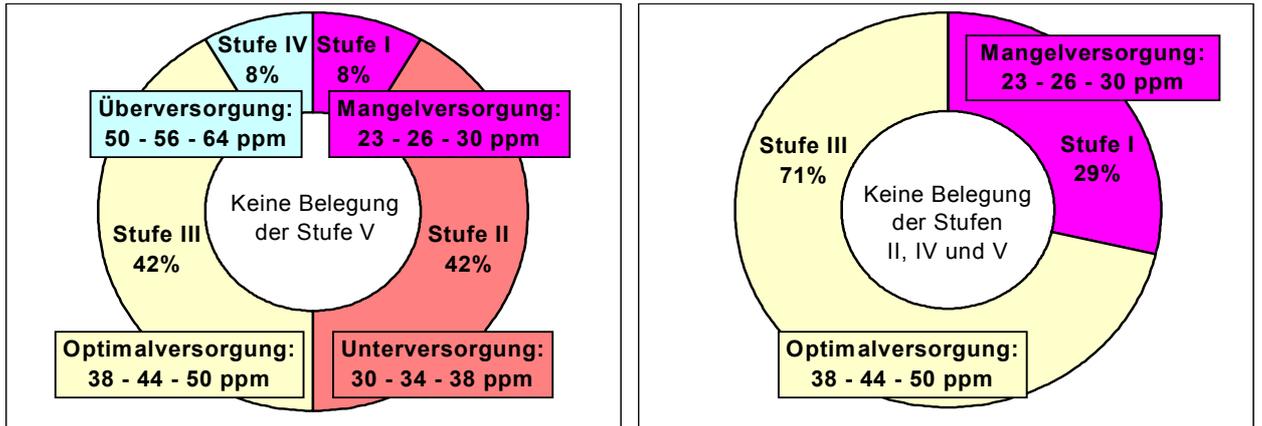


Abb. A8.1-4.1 und 4.2: Klassifizierung der Zn-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

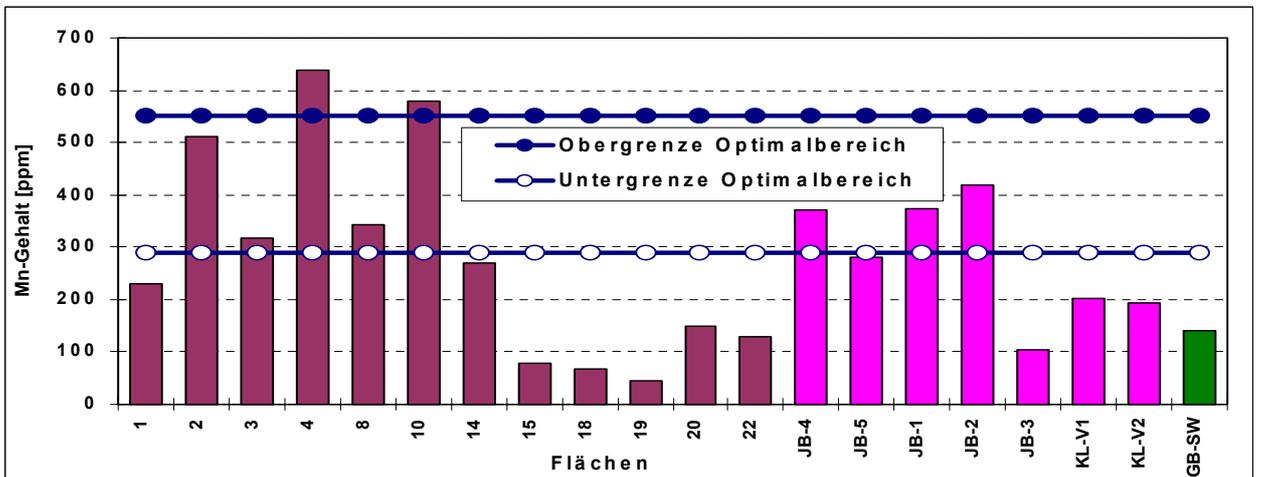


Abb. A8.1-5: Mn-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

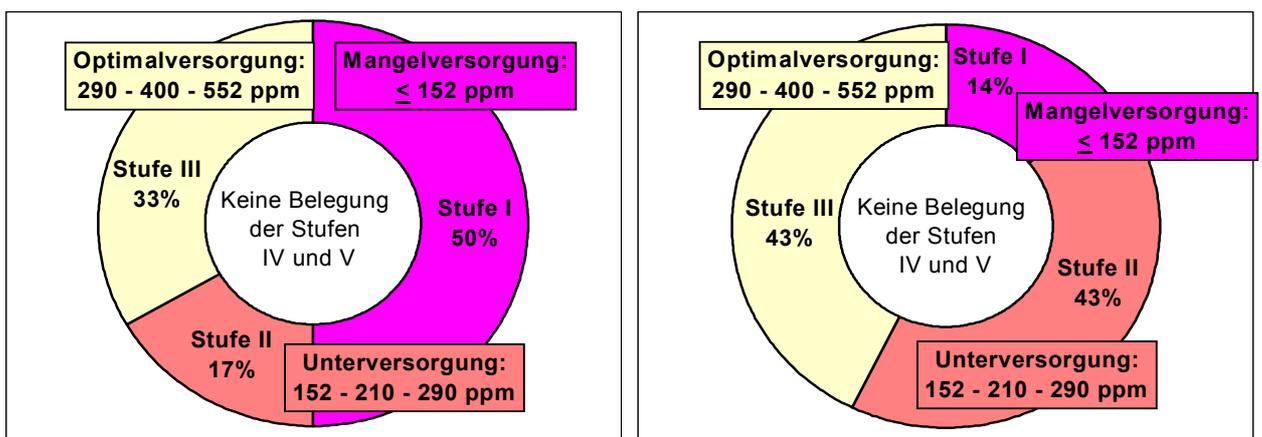


Abb. A8.1-6.1 und 6.2: Klassifizierung der Mn-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

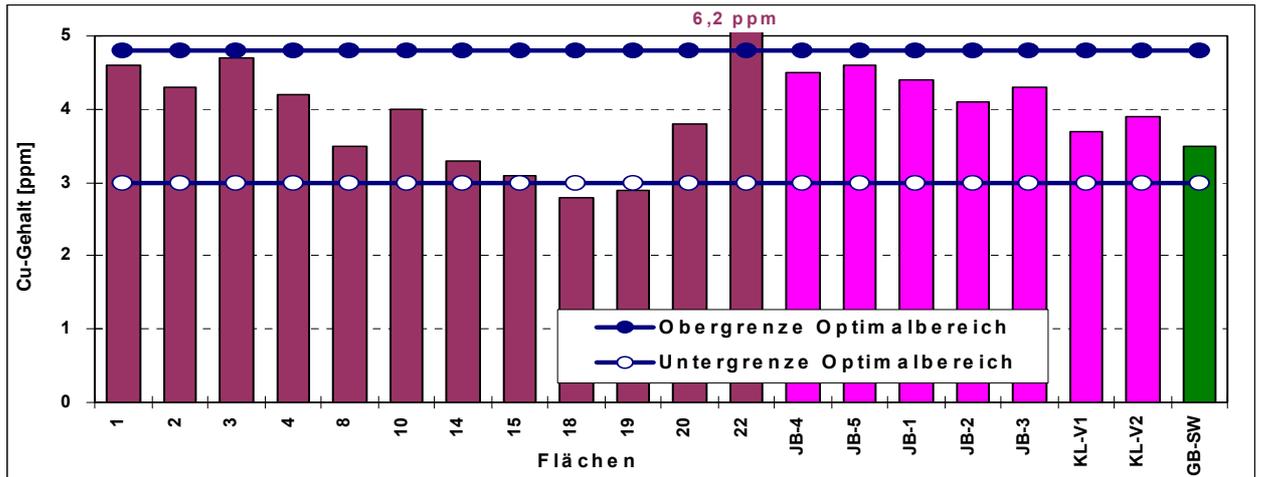


Abb. A8.1-7: Cu-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

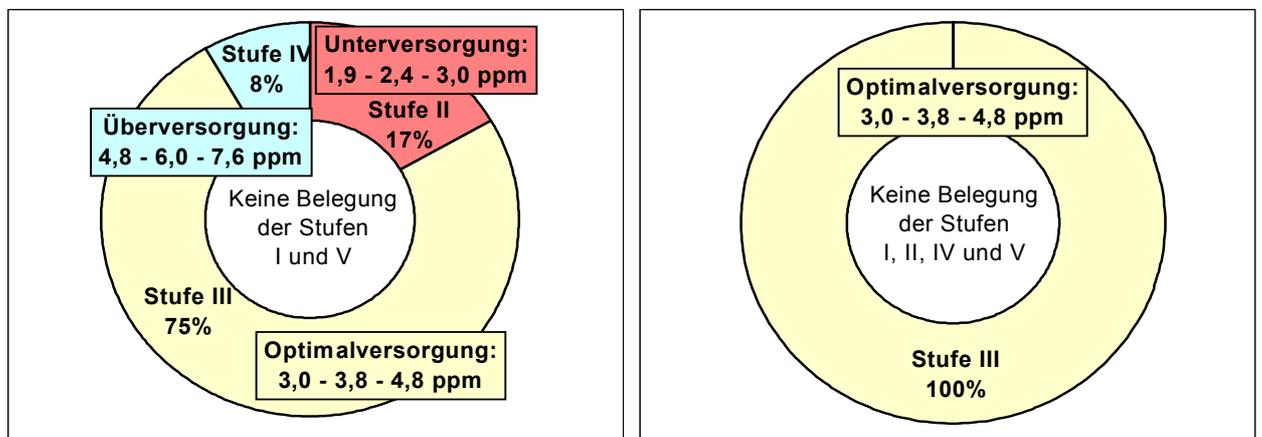


Abb. A8.1-8.1 und 8.2: Klassifizierung der Cu-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittellalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

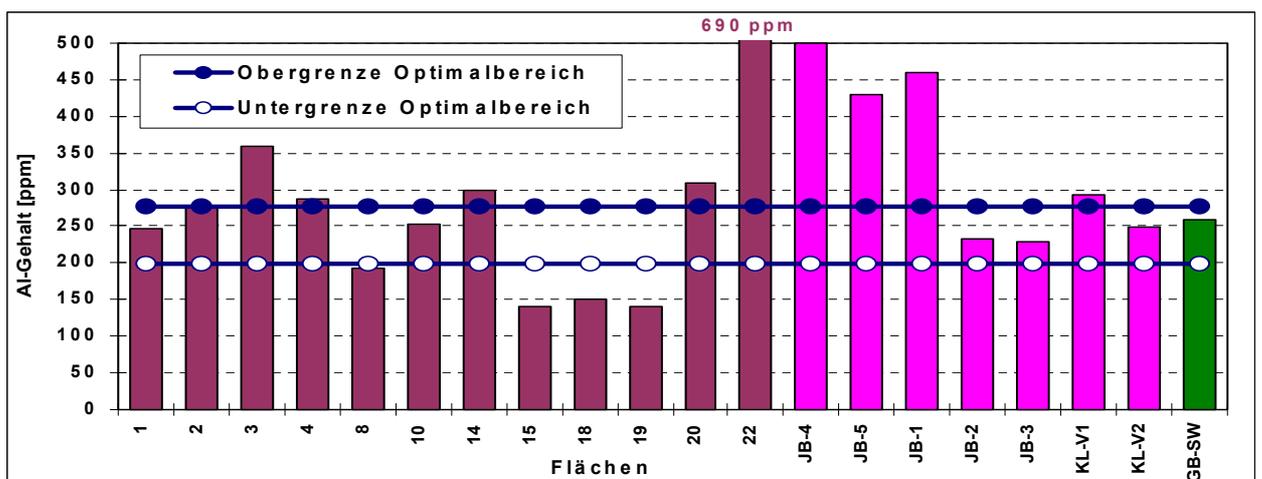


Abb. A8.1-9: Al-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

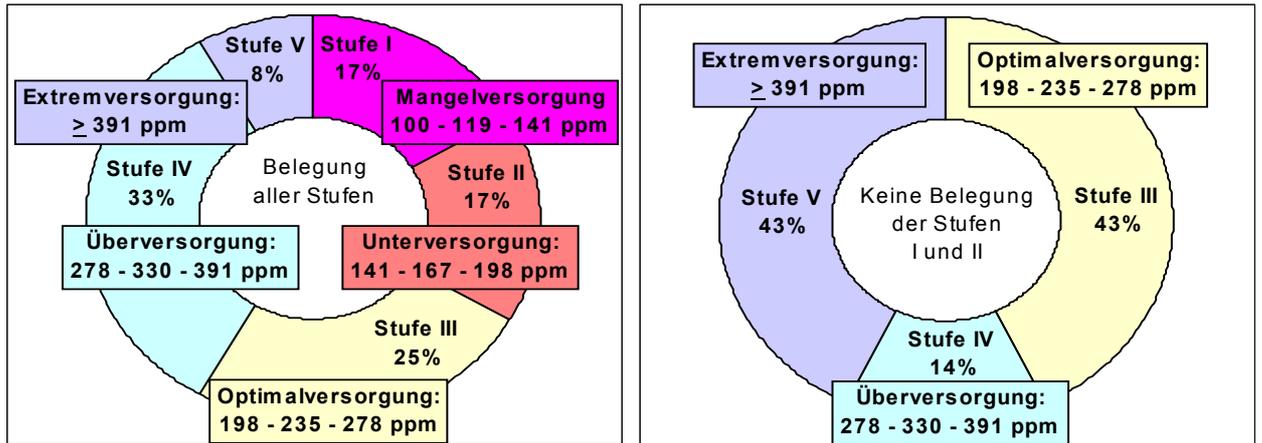


Abb. A8.1-10.1 und 10.2: Klassifizierung der Al-Nährstoffgehalte auf den Flächen der mittelalten Referenzbestände (links) und der Kiefern-Jungbestände (rechts) (nach HOFMANN und KRAUSS 1988)

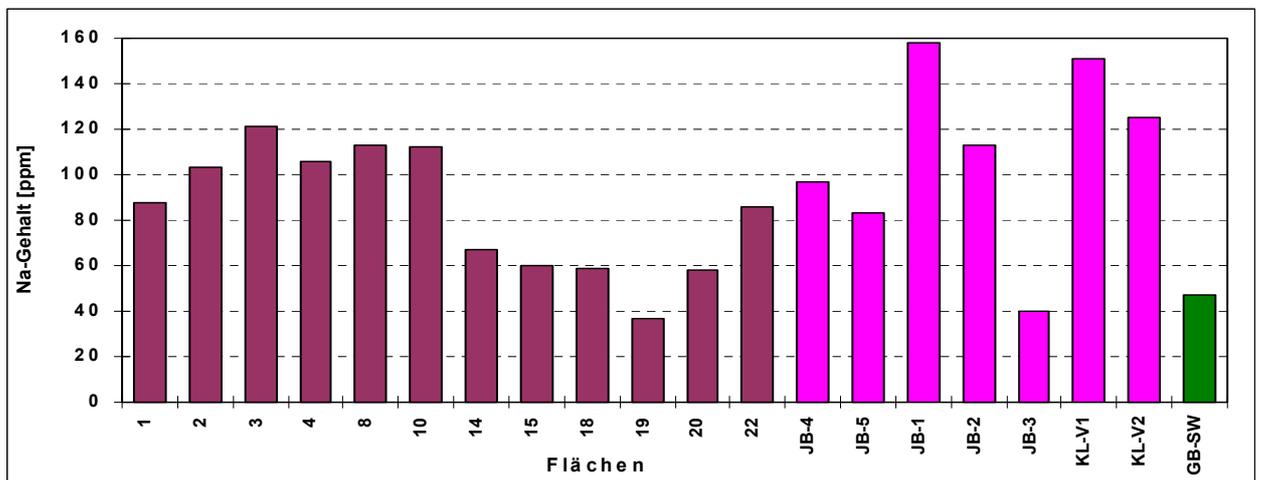


Abb. A8.1-11: Na-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

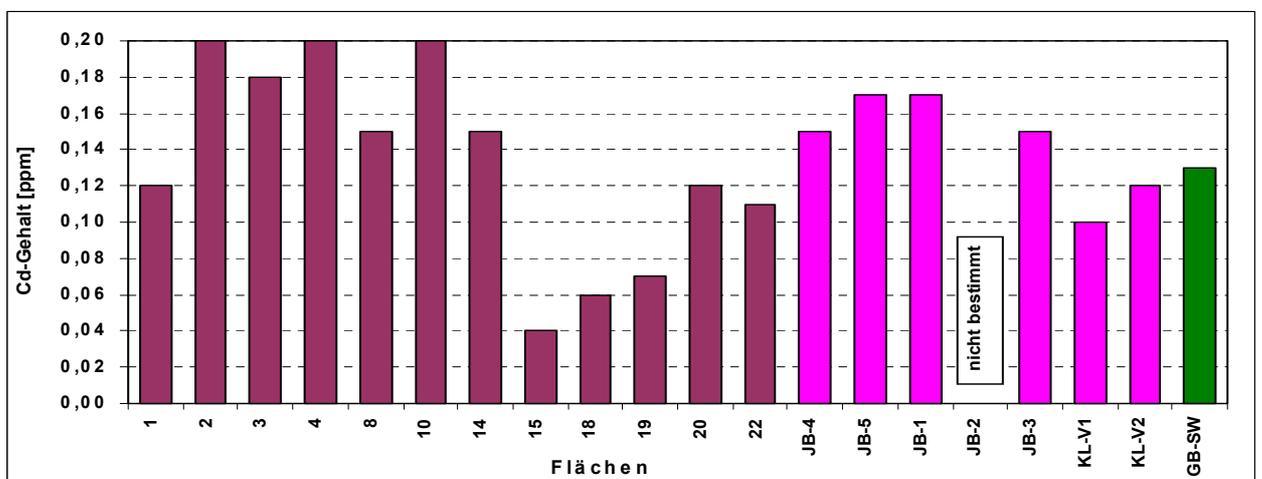


Abb. A8.1-12: Cd-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

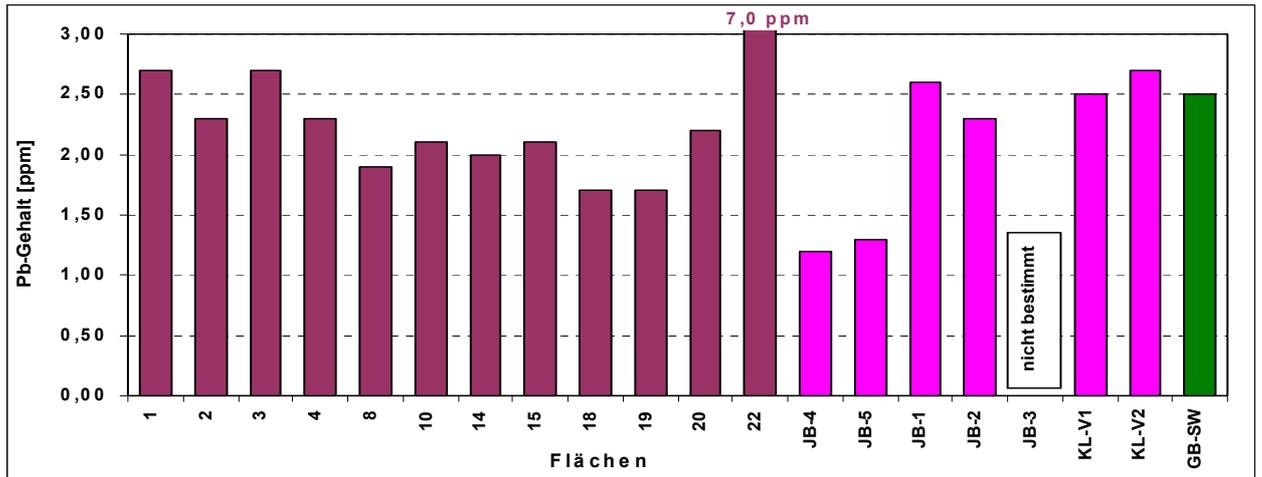


Abb. A8.1-13: Pb-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

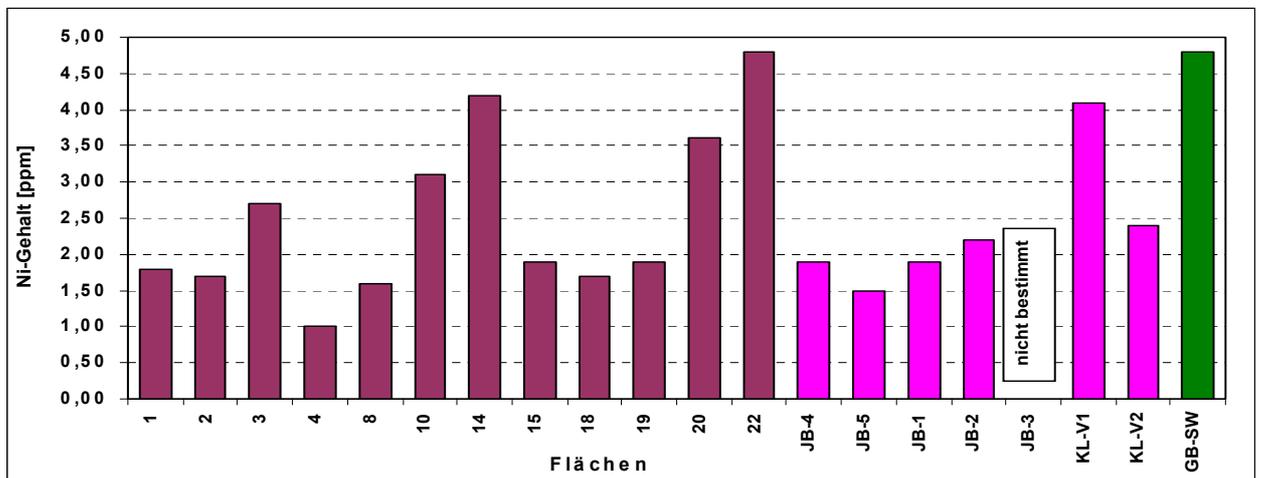


Abb. A8.1-14: Ni-Nadelgehalte der untersuchten Kiefernbestände

Anlage 8.2: Gehalte in den Blättern der Birken-Erstaufforstungen

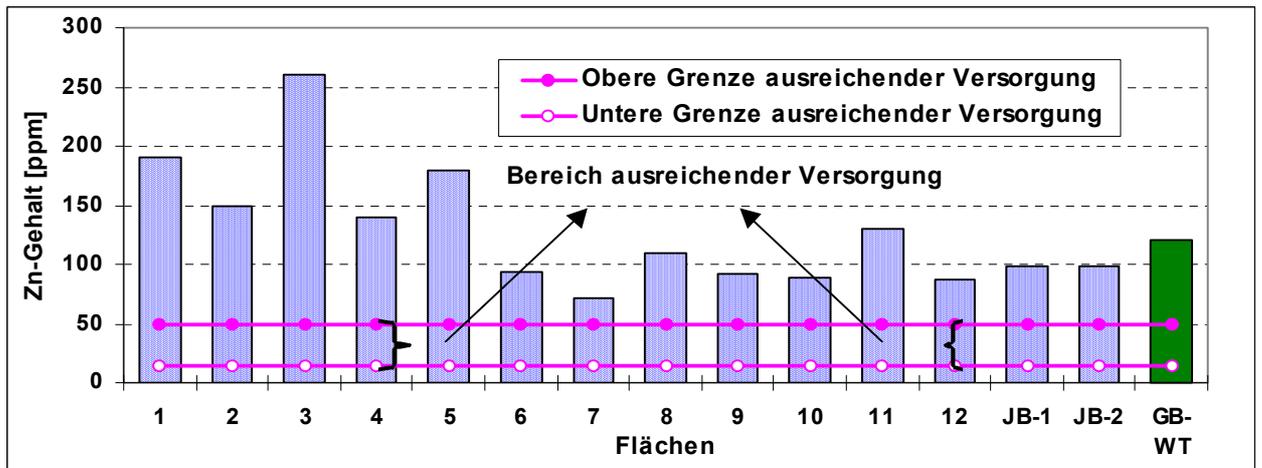


Abb. A8.2-1: Zn-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

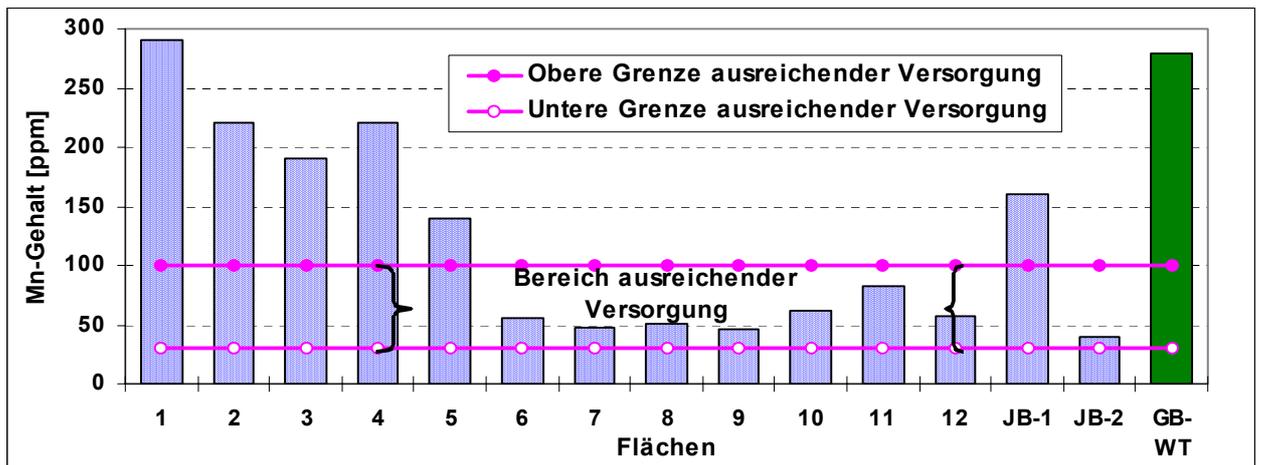


Abb. A8.2-2: Mn-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

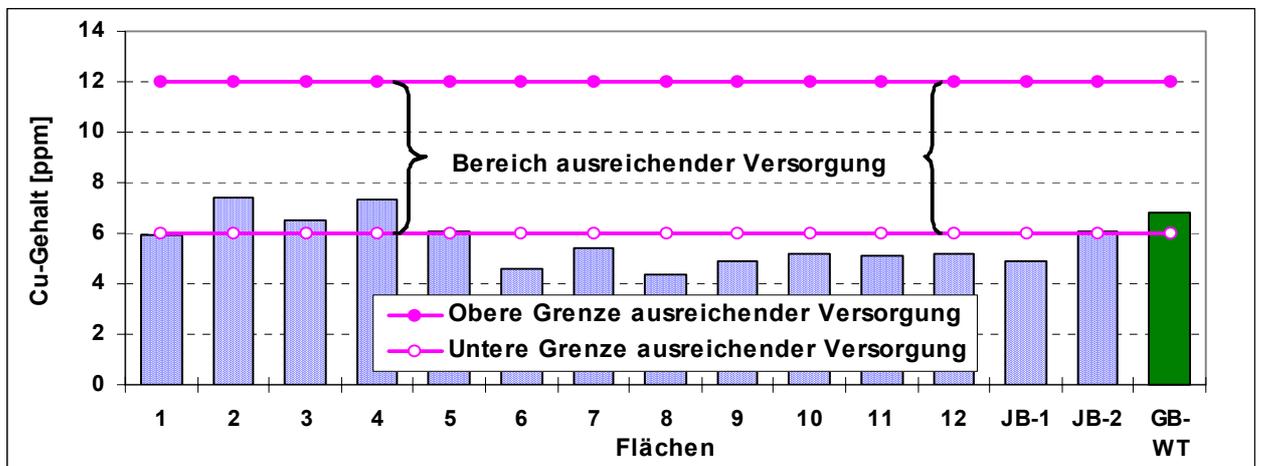


Abb. A8.2-3: Cu-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

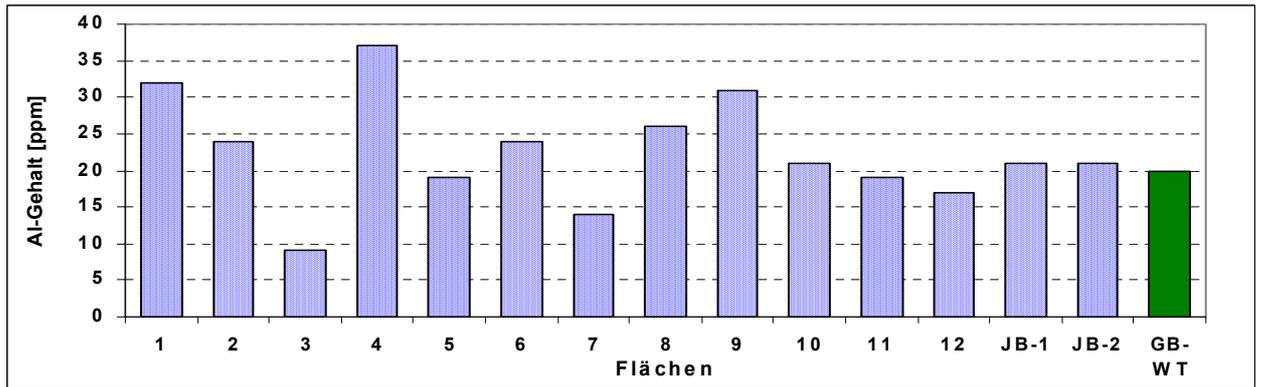


Abb. A8.2-4: Al-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände

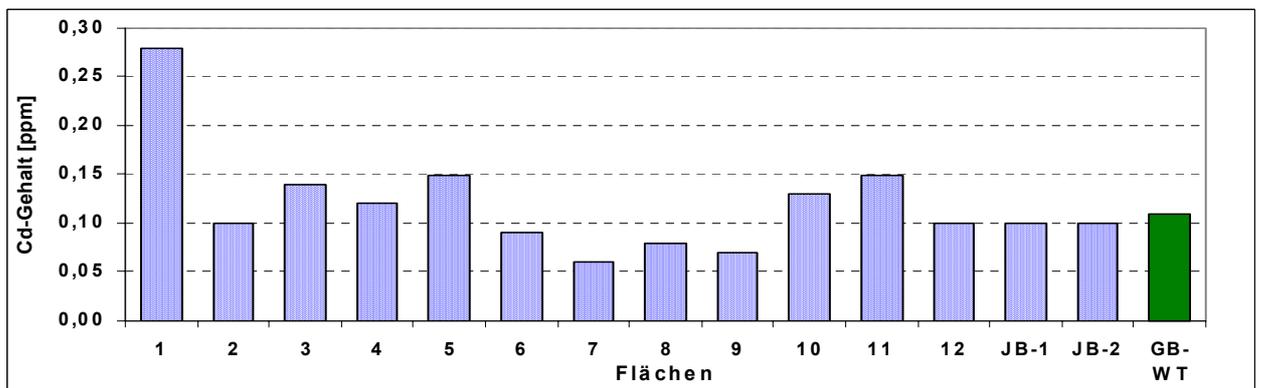


Abb. A8.2-5: Cd-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände

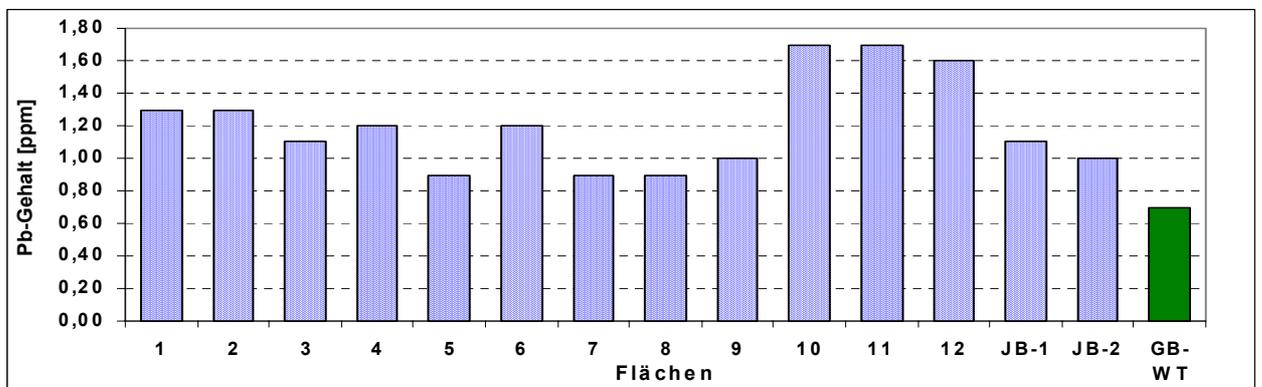


Abb. A8.2-6: Pb-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände

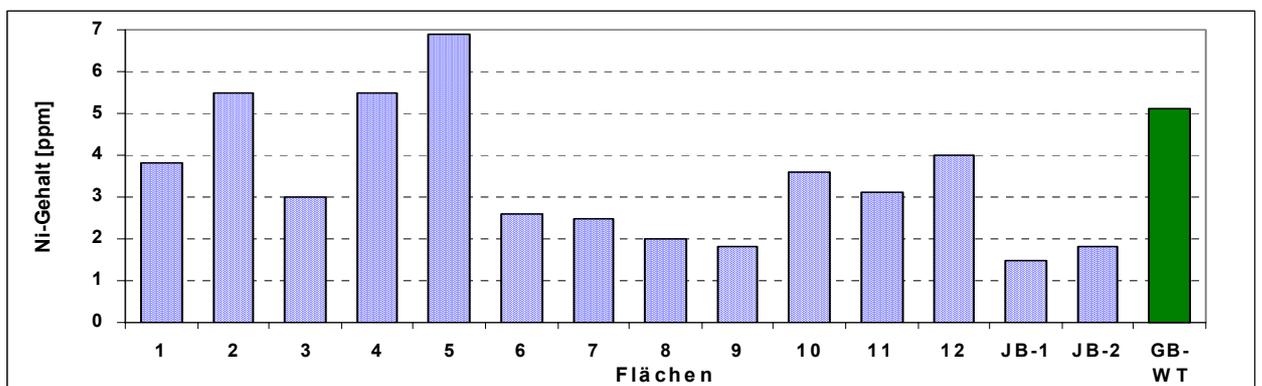


Abb. A8.2-7: Ni-Blattspiegelwerte der untersuchten Birkenbestände

Anlage 8.3: Gehalte in den Blättern der Eichen-Erstaufforstungen

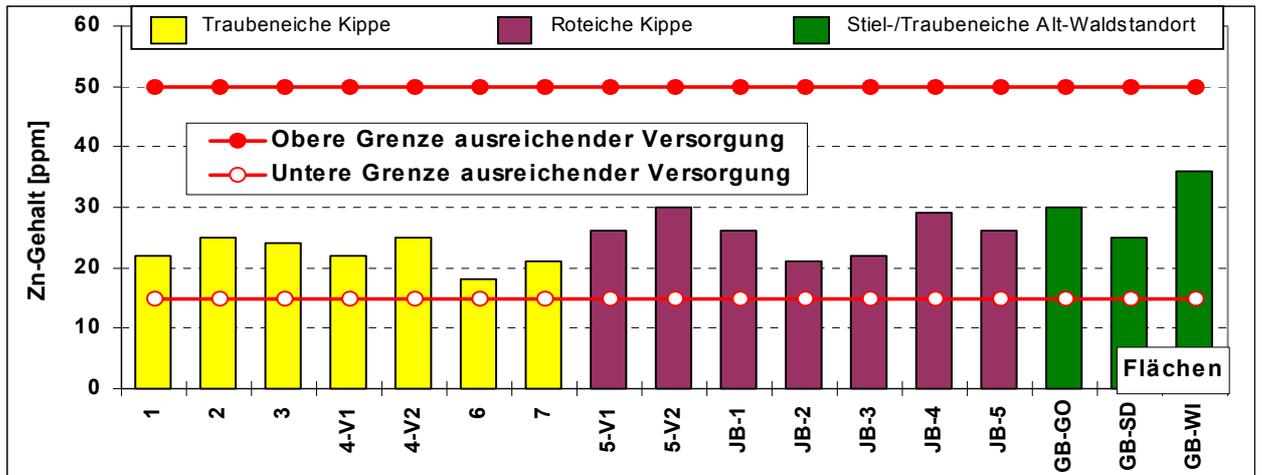


Abb. A8.3-1: Zn-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

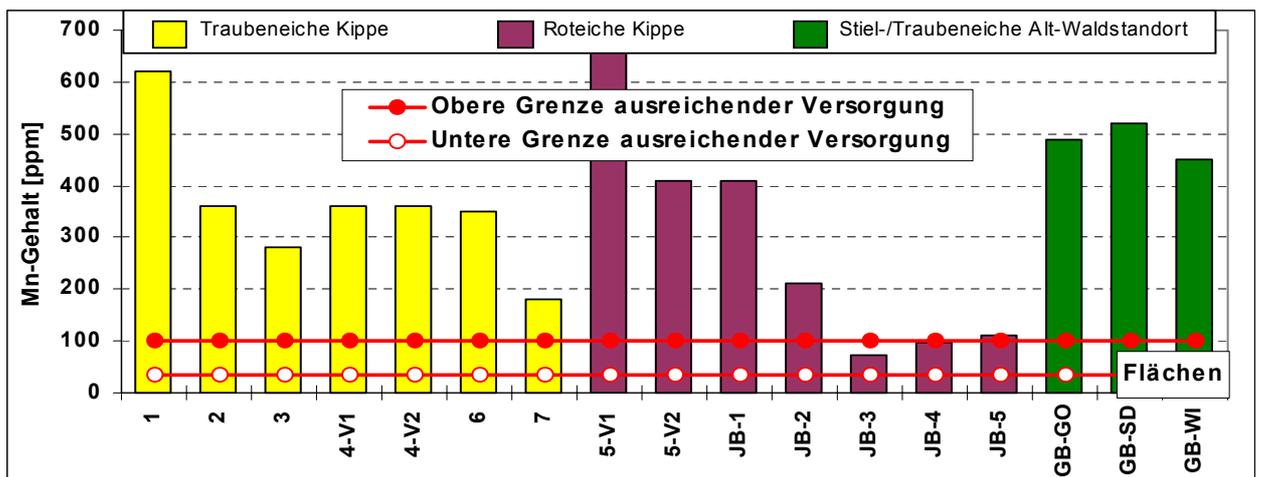


Abb. A8.3-2: Mn-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

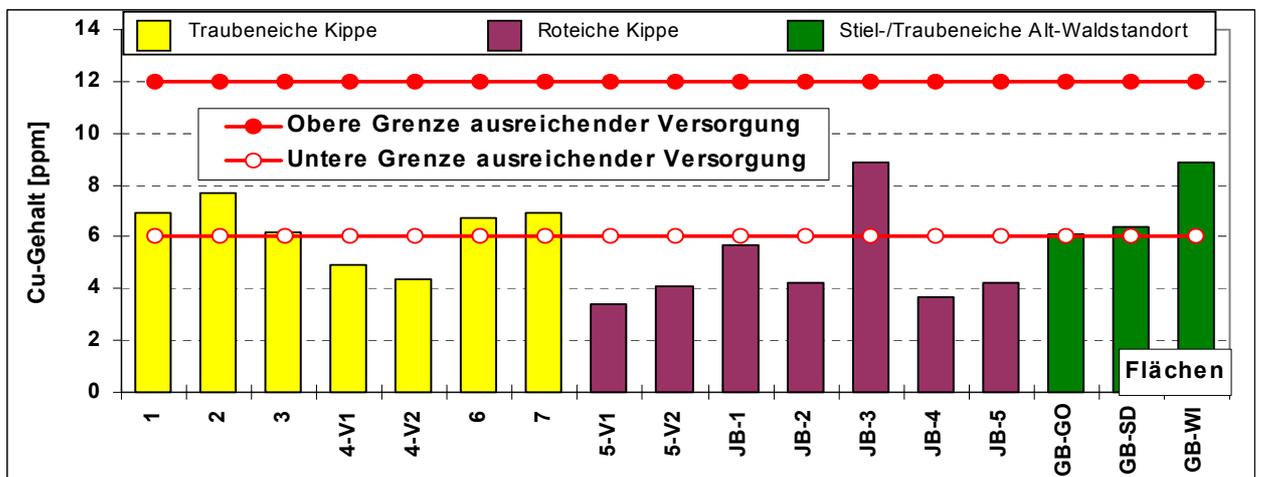


Abb. A8.3-3: Cu-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände (Versorgungsbereich nach BERGMANN 1986)

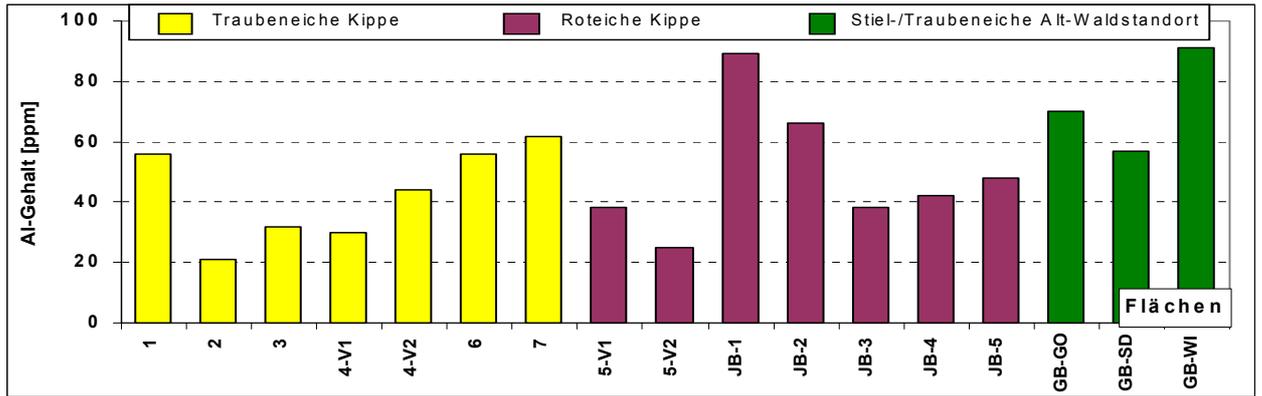


Abb. A8.3-4: Al-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände

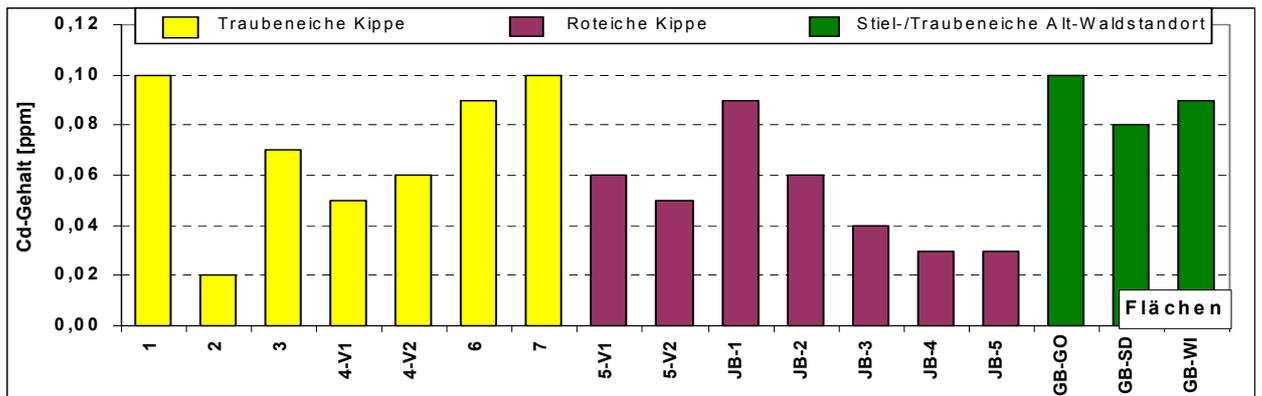


Abb. A8.3-5: Cd-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände

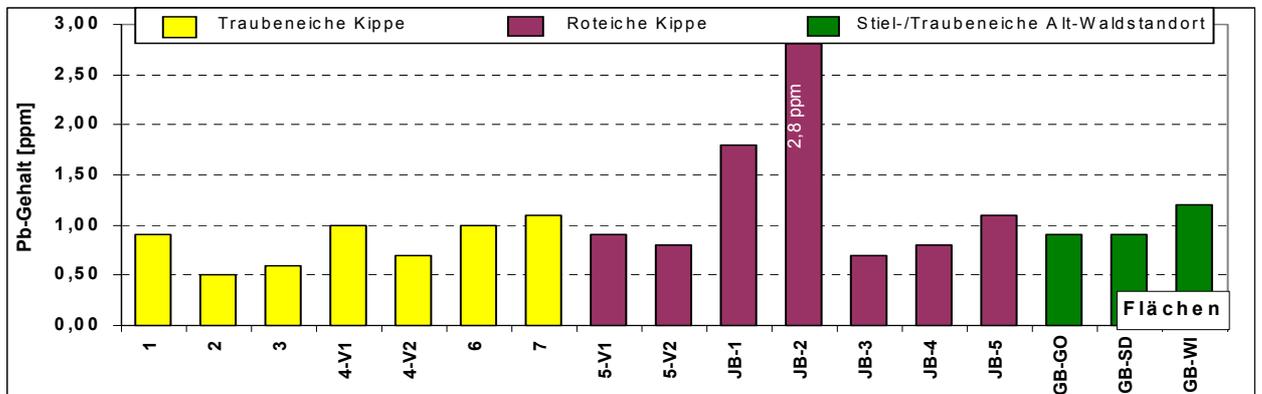


Abb. A8.3-6: Pb-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände

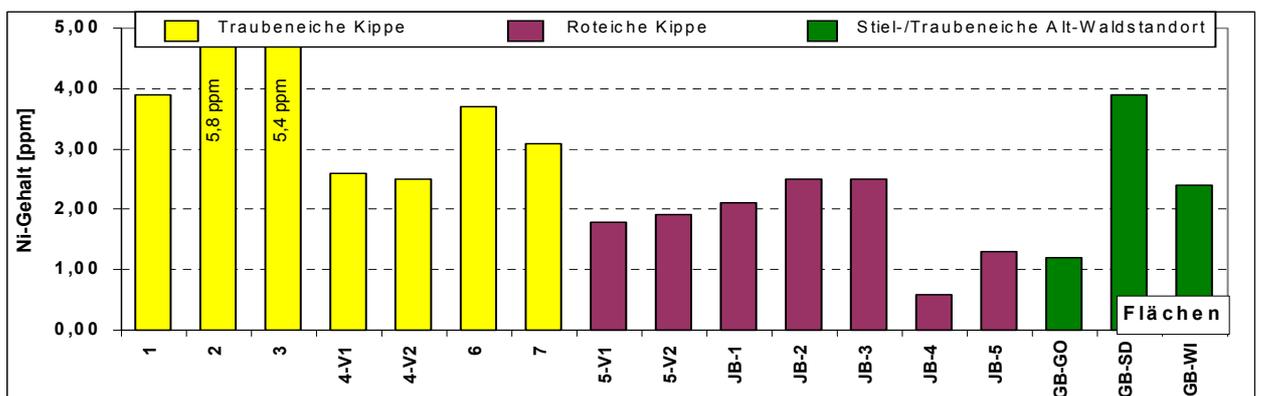


Abb. A8.3-7: Ni-Blattspiegelwerte der untersuchten Eichenbestände

Anlage 9: NPK-Relationen der untersuchten Bestände

Anlage 9.1: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Kiefern-Erstaufforstungen

Flä.- Nr.	Kippe / Halde	Σ [mg/100g TS]	Verhältnis [%]			Σ	Verhältnis [%]	
			N	P	K		N/P	N/K
1	Tröbitz Nord	2410	71,0	: 7,1	: 22,0	100,0	10,1	3,2
2	Tröbitz Nord	2605	76,0	: 6,5	: 17,5	100,0	11,6	4,4
3	Tröbitz Nord	2876	75,5	: 6,3	: 18,3	100,0	12,1	4,1
4	Tröbitz Nord	2389	74,5	: 7,1	: 18,4	100,0	10,5	4,1
8	Domsdorf	2472	75,6	: 7,3	: 17,1	100,0	10,4	4,4
10	Domsdorf	2803	77,8	: 6,1	: 16,2	100,0	12,8	4,8
14	Annahütte	2320	70,3	: 9,1	: 20,7	100,0	7,8	3,4
15	Brieske	2370	71,3	: 7,6	: 21,1	100,0	9,4	3,4
18	Brieske	2540	72,4	: 8,7	: 18,9	100,0	8,4	3,8
19	Brieske	2500	70,8	: 9,6	: 19,6	100,0	7,4	3,6
20	Kleinkoschen	2690	72,5	: 8,9	: 18,6	100,0	8,1	3,9
22	Kleinkoschen	2670	66,3	: 11,2	: 22,5	100,0	5,9	3,0
Mittelwert Mittelaltbestände		2554	72,9	: 7,9	: 19,2	100,0	9,5	3,8
JB-1	Domsdorf	2710	76,4	: 6,6	: 17,0	100,0	11,5	4,5
JB-2	Domsdorf	2574	76,1	: 6,2	: 17,6	100,0	12,3	4,3
JB-3	Domsdorf	2987	72,3	: 5,0	: 22,7	100,0	14,4	3,2
JB-4	Tröbitz Nord	1950	67,2	: 5,6	: 27,2	100,0	11,9	2,5
JB-5	Tröbitz Nord	2440	70,1	: 5,7	: 24,2	100,0	12,2	2,9
KL-V1	Kleinleipisch	2394	77,3	: 5,0	: 17,7	100,0	15,4	4,4
KL-V2	Kleinleipisch	2194	77,0	: 4,6	: 18,4	100,0	16,9	4,2
Mittelwert Jungbestände		2464	73,9	: 5,6	: 20,5	100,0	13,5	3,7
GB-SW	Nähe Domsdorf Gewachs. Boden	2230	70,0	: 11,7	: 18,4	100,0	6,0	3,8
Mittelwert Alle (ohne GB-SW)		2521	73,3	: 7,1	: 19,7	100,0	11,0	3,8

Anlage 9.2: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Birken-Erstaufforstungen

Flä.- Nr.	Kippe / Halde	Σ [mg/100g TS]	Verhältnis [%]			Σ	Verhältnis [%]	
			N	P	K		N/P	N/K
1	Tröbitz Nord	4230	66,2	5,4	28,4	100,0	12,3	2,3
2	Tröbitz Nord	3960	70,2	4,8	25,0	100,0	14,6	2,8
3	Tröbitz Nord	3990	65,9	6,5	27,6	100,0	10,1	2,4
4	Domsdorf	3980	75,1	4,5	20,4	100,0	16,7	3,7
5	Annahütte	3590	70,2	3,9	25,9	100,0	18,0	2,7
6	Brieske	3730	76,4	3,0	20,6	100,0	25,5	3,7
7	Brieske	3720	77,7	3,0	19,3	100,0	25,9	4,0
8	Brieske	3690	76,7	3,0	20,3	100,0	25,6	3,8
9	Brieske	3946	73,0	2,2	24,8	100,0	33,2	2,9
10	Kleinkoschen	3630	73,0	4,4	22,6	100,0	16,6	3,2
11	Kleinkoschen	3650	72,3	3,6	24,1	100,0	20,1	3,0
12	Kleinkoschen	3770	71,9	5,3	22,8	100,0	13,6	3,2
JB-1	Domsdorf	3400	75,3	2,9	21,8	100,0	26,0	3,5
JB-2	Domsdorf	3550	67,6	4,2	28,2	100,0	16,1	2,4
Mittelwert Mitteltalbestände		3824	72,4	4,1	23,5	100,0	19,3	3,1
Mittelwert Alle		3774	72,3	4,1	23,6	100,0	19,6	3,1
WT	Weberteich Gewachs. Boden	3820	73,6	4,2	22,2	100,0	17,5	3,3

Anlage 9.3: NPK-Anteile an der NPK-Nährstoffsumme der Eichen-Erstaufforstungen

Flä.- Nr.	Kippe / Halde	Σ [mg/100g TS]	Verhältnis [%]			Σ	Verhältnis [%]	
			N	P	K		N/P	N/K
1	Tröbitz Nord	3330	67,0	5,1	27,9	100,0	13,1	2,4
2	Domsdorf	3920	68,1	3,8	28,1	100,0	17,8	2,4
3	Domsdorf	3240	65,2	4,6	30,2	100,1	14,1	2,2
4-V1	Kleinleipisch	2918	63,4	3,0	33,6	100,0	21,0	1,9
4-V2	Kleinleipisch	2960	60,1	2,7	37,2	100,0	22,3	1,6
6	Laubusch	3600	74,2	3,9	21,9	100,0	19,1	3,4
7	Laubusch	3330	67,3	3,3	29,4	100,0	20,4	2,3
5-V1	Kleinleipisch	2696	65,7	3,6	30,7	99,9	18,4	2,1
5-V2	Kleinleipisch	2381	66,4	3,4	30,2	100,0	19,5	2,2
JB-1	Tröbitz Nord	3310	67,1	3,9	29,0	100,0	17,1	2,3
JB-2	Tröbitz Nord	2580	65,9	5,0	29,1	100,0	13,1	2,3
JB-3	Domsdorf	3480	67,8	4,3	27,9	100,0	15,7	2,4
JB-4	Schwarzkollm	3088	76,1	2,8	21,1	100,1	26,7	3,6
JB-5	Schwarzkollm	3360	77,4	2,4	20,2	100,0	32,5	3,8
Mittelwert Traubeneiche		3328	66,5	3,8	29,7	99,9	18,2	2,3
Mittelwert Roteiche		2985	69,5	3,6	26,9	100,0	20,4	2,7
Mittelwert Alle		3157	68,0	3,7	28,3	100,0	19,3	2,5
SEI/GO	Gorden	3242	73,1	2,8	24,1	100,0	25,8	3,0
SEI/SD	Schraden	4040	70,8	5,2	24,0	100,0	13,6	2,9
TEI/WI	Wittichenau	3880	72,9	4,1	23,0	100,1	17,7	3,2
Mittelwert Unverritzter Standort		3721	72,3	4,1	23,6	99,9	19,0	3,1

Anlage 10: Jährliche Schwankungen der Roteichen-Blattspiegelwerte

Tab. A10-1: Entwicklung der Blattspiegelwerte auf der Fläche REI/JB-3 in den Jahren 1995, 1997 und 1998

Jahr	C _t	N _t	S _t	[%]							[ppm]			
				P	Ca	K	Mg	Mn	Fe	Al	Na			
1995	44,1	2,81	0,28	0,133	1,11	0,90	0,13	25	118	82	33			
1997	44,5	2,36	0,27	0,150	1,30	0,97	0,21	72	140	38	31			
1998	46,3	2,42	0,19	0,110	0,94	0,64	0,17	56	77	12	32			
Mittelwert	45,0	2,53	0,25	0,131	1,12	0,84	0,17	51	111	44	32			
STABWN	0,96	0,20	0,04	0,02	0,15	0,14	0,03	19,51	26,11	28,89	0,82			
cv %	2,13	7,89	16,33	12,51	13,19	17,01	18,34	38,26	23,38	65,66	2,55			

Tab. A10-2: Entwicklung der Spiegelwert-Relationen auf der Fläche REI/JB-3 in den Jahren 1995, 1997 und 1998

Jahr	C/N	C/P	C/S	N/P	P/K	N/K	Ca/N	Ca/Mg	Ca/Al*1000	Mg/Al*1000	Ca/P
1995	15,69	332	158	21,13	0,147	3,11	0,39	8,32	13,50	1,62	8,32
1997	18,86	297	165	15,73	0,155	2,43	0,55	6,19	34,21	5,53	8,67
1998	19,13	421	244	22,00	0,172	3,78	0,39	5,53	78,33	14,17	8,55
Mittelwert	17,89	350	189	19,62	0,158	3,11	0,44	6,68	42,02	7,11	8,51
STABWN	1,56	52,32	39,02	2,77	0,01	0,55	0,08	1,19	27,04	5,24	0,14
cv %	8,72	14,96	20,68	14,13	6,56	17,71	16,94	17,84	64,35	73,77	1,67

**Anlage 11: Einfluss basischer Stoffeinträge auf die pH-Werte der Humusauf-
lage und des Mineralbodens**

Anlage 11.1: Humusaufgabe

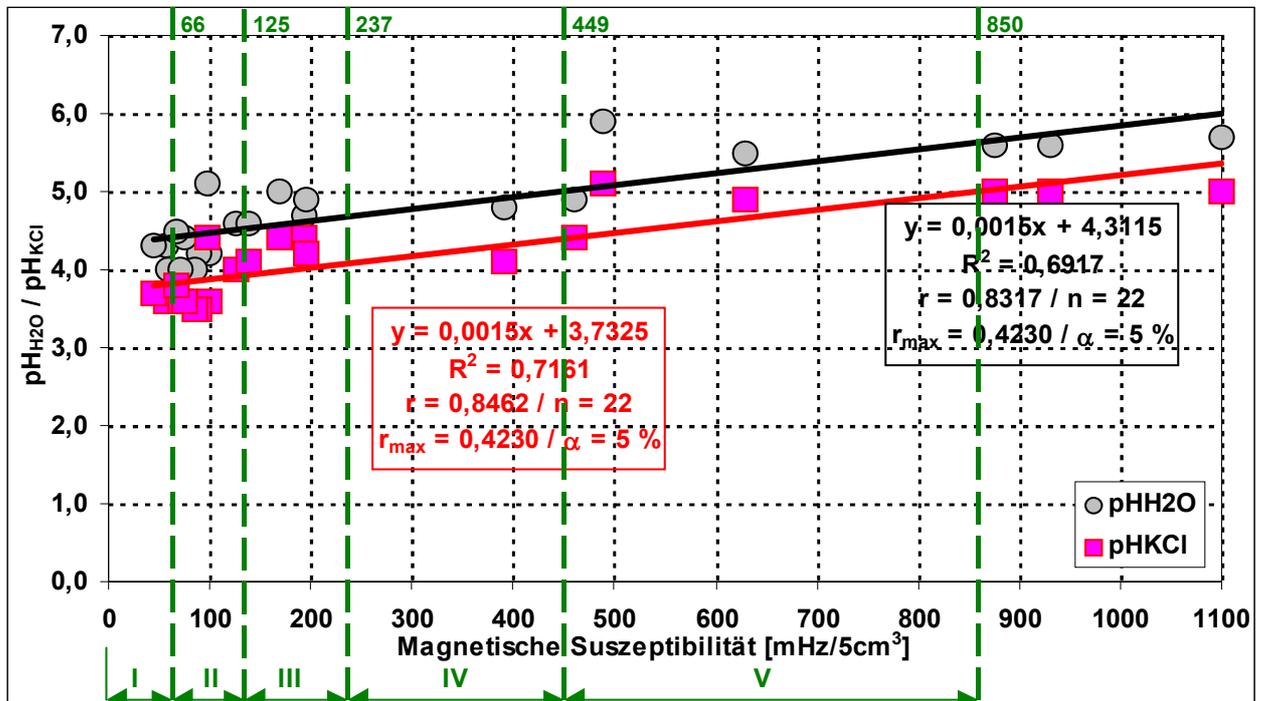


Abb. A11.1-1: Korrelationen zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten der Humusaufgaben in den mittelalten Kiefern-Referenzbeständen und Zuordnung zu den Depositionsstufen (I bis V) nach HEINSDORF und TÖLLE (1993)

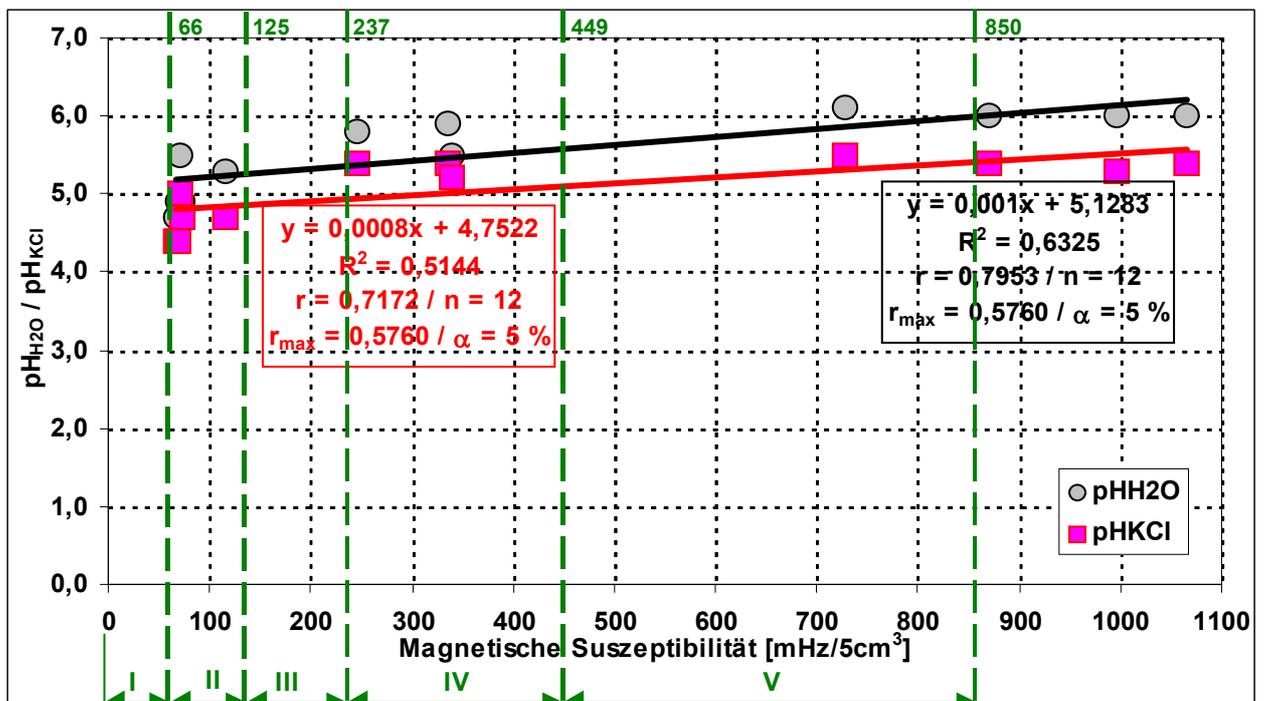


Abb. A11.1-2: Korrelationen zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten der Humusaufgaben in den Birken-Referenzbeständen und Zuordnung zu den Depositionsstufen (I bis V) nach HEINSDORF und TÖLLE (1993)

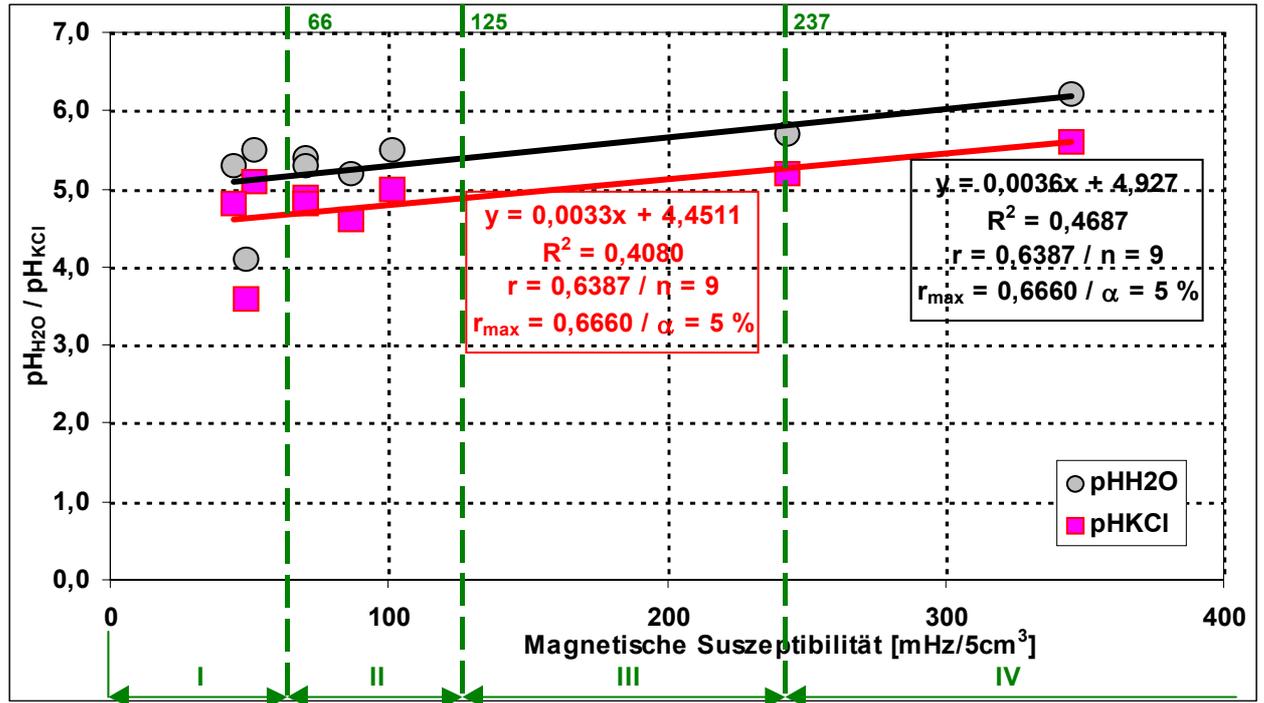


Abb. A11.1-3: Korrelationen zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten der Humusauflagen in den Eichen-Referenzbeständen und Zuordnung zu den Depositionsstufen (I bis IV) nach HEINSDORF und TÖLLE (1993)

Anlage 11.2: A-Horizont

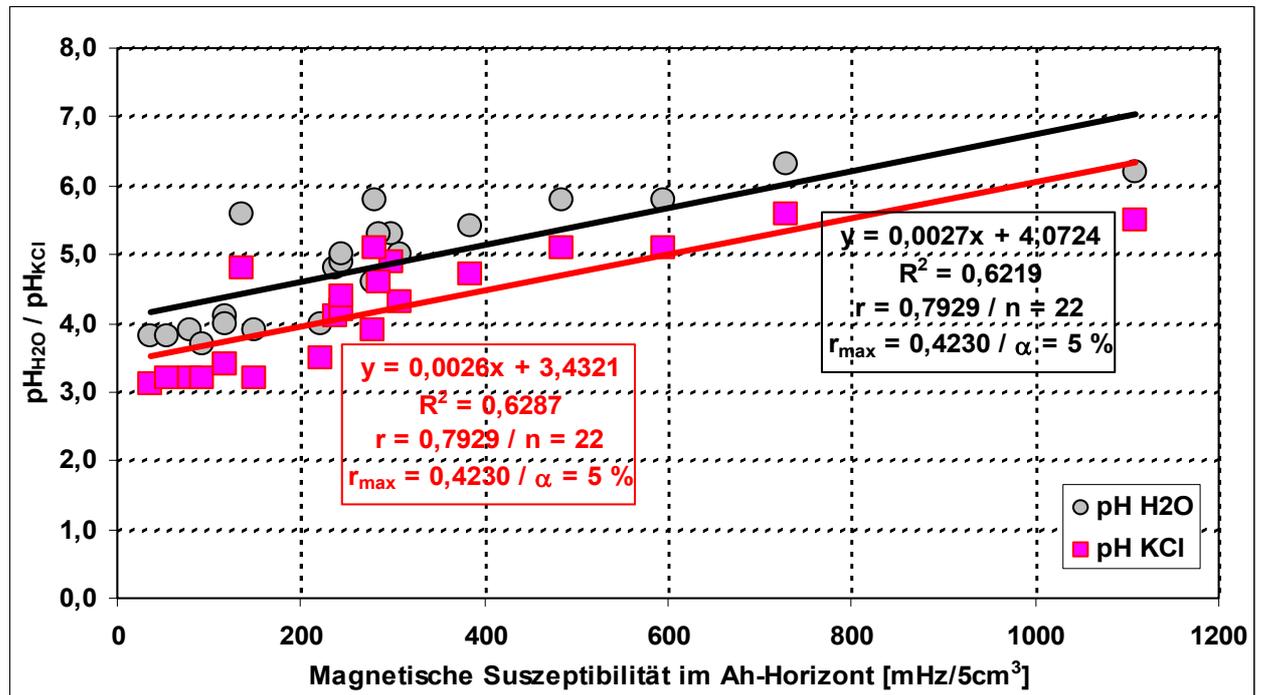


Abb. A11.2-1: Korrelationen zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten der Ah-Horizonte in den mittelalten Kiefern-Referenzbeständen

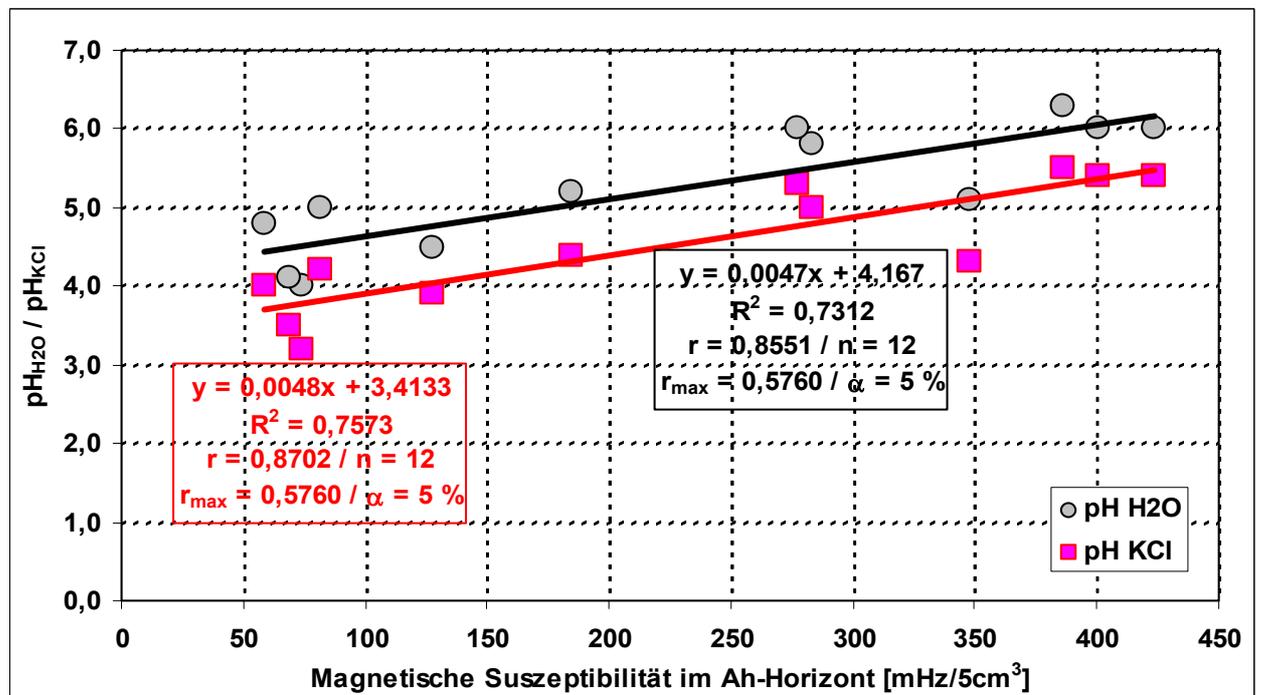


Abb. A11.2-2: Korrelationen zwischen der ferromagnetischen Suszeptibilität und den pH-Werten der Ah-Horizonte in den Birken-Referenzbeständen

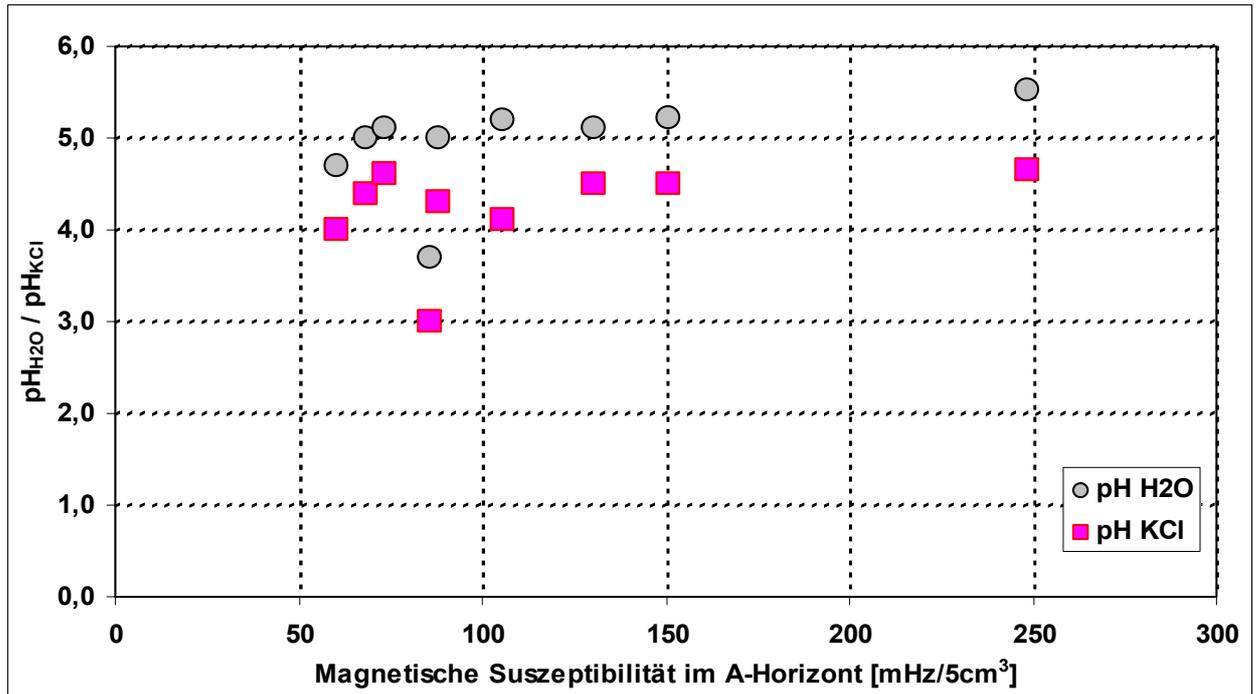


Abb. A11.2-3: Verteilung der pH-Werte in den A-Horizonten der Eichen-Referenzbestände in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität

Anlage 11.3: C-Horizont bis 100 cm

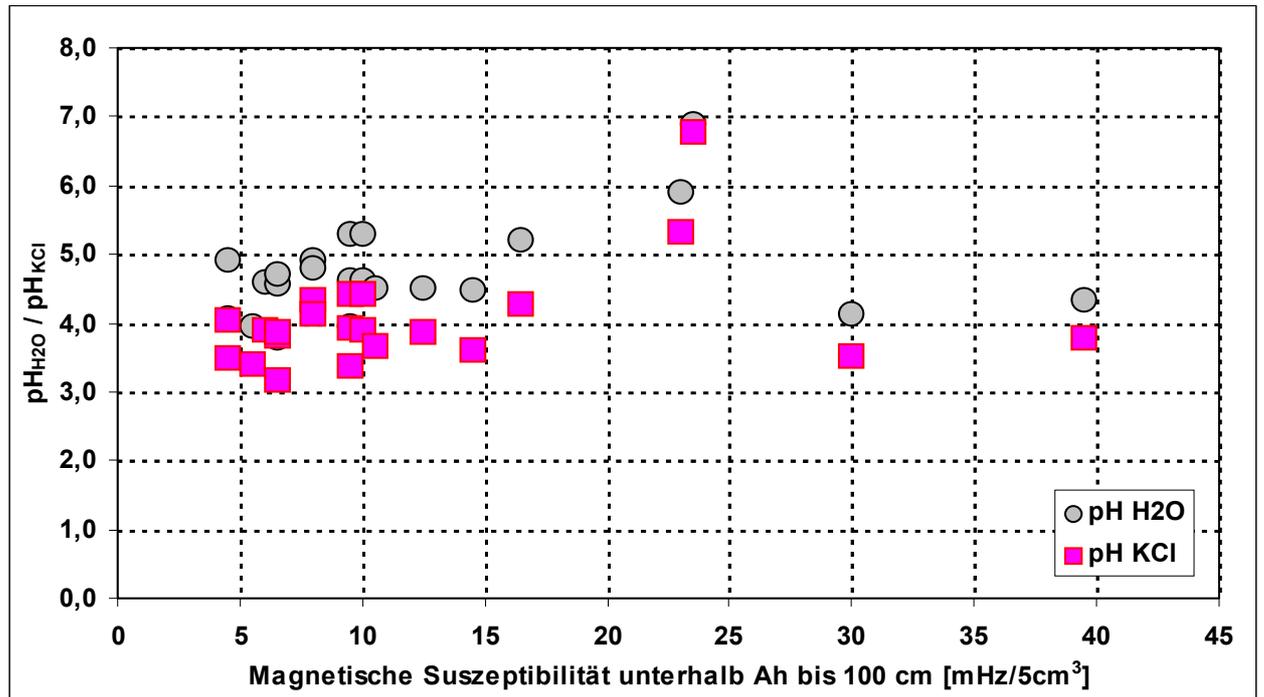


Abb. A11.3-1: Verteilung der pH-Werte in den C-Horizonten der mittelalten Kiefern-Referenzbestände in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität

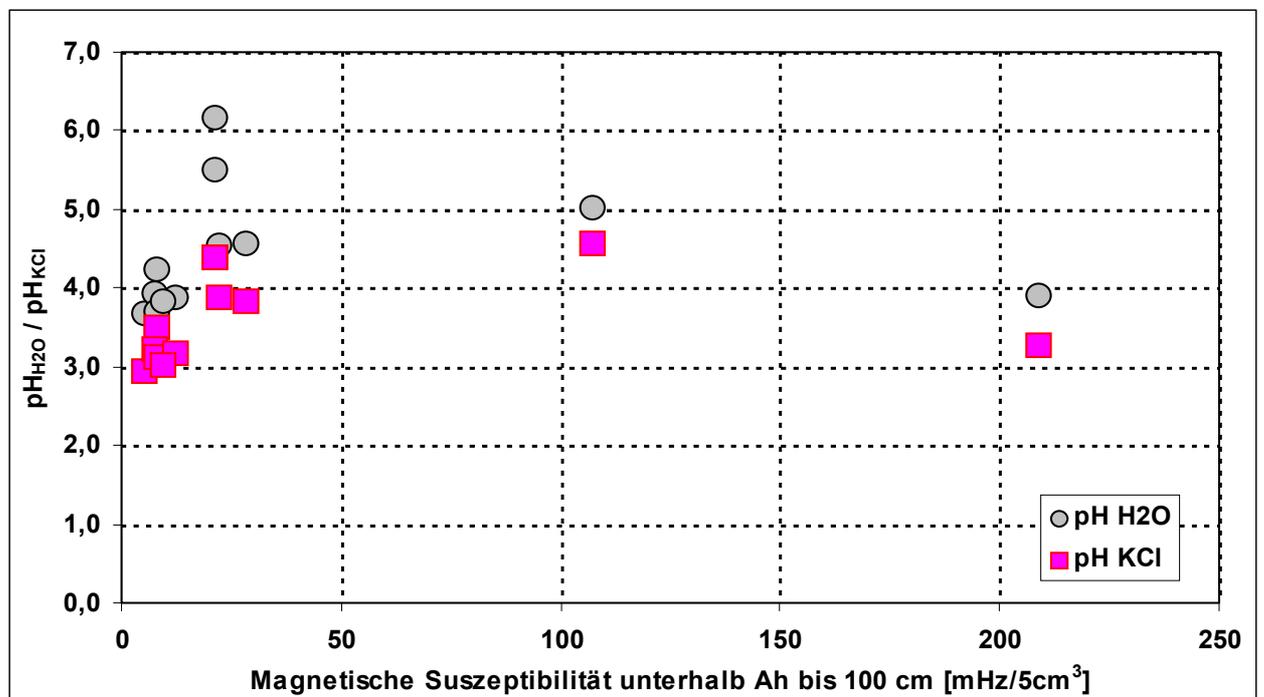


Abb. A11.3-2: Verteilung der pH-Werte in den C-Horizonten der Birken-Referenzbestände in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität

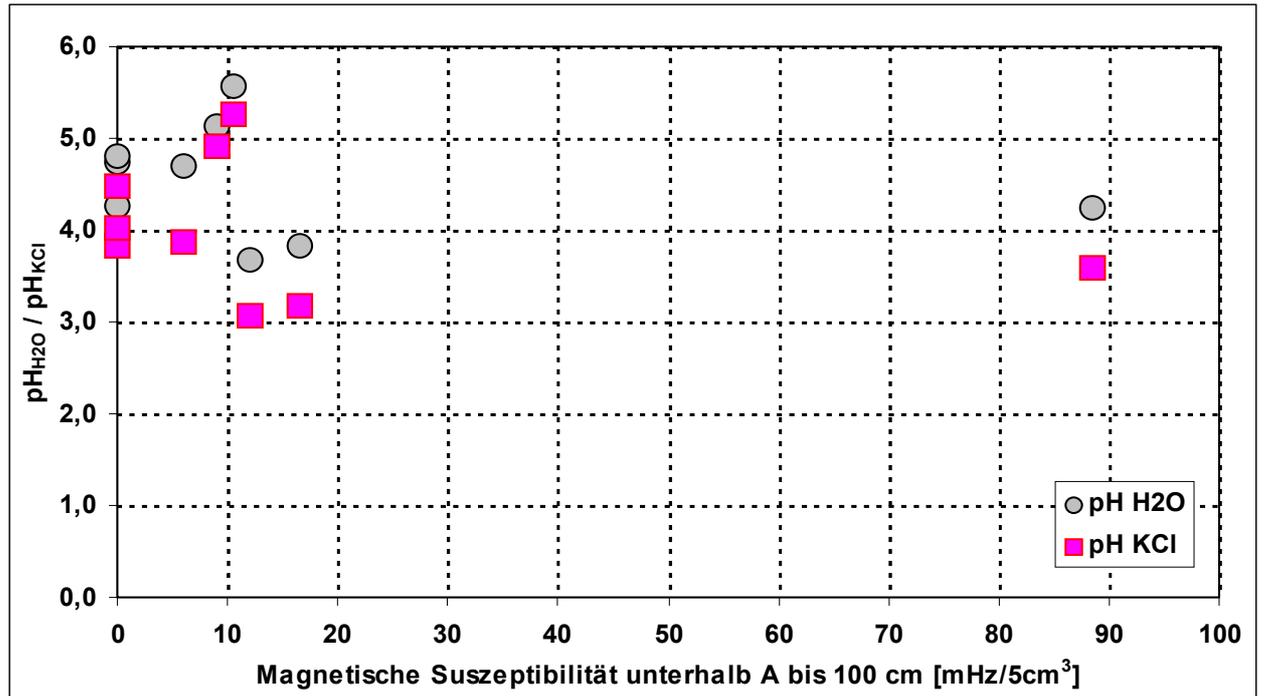


Abb. A11.3-3: Verteilung der pH-Werte in den C-Horizonten der Eichen-Referenzbestände in Abhängigkeit von der ferromagnetischen Suszeptibilität

Anlage 12: Ferromagnetische Suszeptibilität in den Humusauflagen und Mineralbodenschichten

Anlage 12.1: Ferromagnetische Suszeptibilität in den Humusauflagen der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen

Kippenkomplex	Mittleres Alter [Jahre]	Anzahl Proben (n)	Magnetische Suszeptibilität (MS) [mHz/5cm ³]		
<i>Gemeine Kiefer</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]	Depositionsstufe ¹⁾
Tröbitz Nord	58,5	6	77,3	59,0 – 100,5	I bis II
Domsdorf ²⁾	61,0 (60,7)	5 (6)	103,1 (162,6)	45,5 – 169,0 (45,5 – 460,0)	I bis II (I bis V)
Kleinkoschen	58,3	3	133,7	67,5 – 195,5	II bis III
Annahütte	61,0	2	292,5	194,5 – 390,5	III bis IV
Brieske	66,4	5	804,4	488,5 – 1099,0	V
<i>Gemeine Birke</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]	Depositionsstufe ¹⁾
Tröbitz Nord	57,6	3	69,3	67,5 – 70,5	II
Domsdorf	44,0	1	73,0	-	II
Annahütte	51,0	1	247,0	-	IV
Kleinkoschen	52,0	3	263,7	115,5 – 340,5	II bis IV
Brieske	63,8	4	914,9	727,5 – 1065,5	V
<i>Trauben-/Roteiche</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]	Depositionsstufe ¹⁾
Tröbitz Nord	37,0	1	48,5	-	I
Domsdorf	29,0	2	69,0	51,5 – 86,5	I bis II
Kleinleipisch	24,0	4	71,4	44,0 – 101,0	I bis II
Laubusch	41,0	2	294,3	243,0 – 345,5	IV

Anm.: 1) Depositionsstufen nach HEINSDORF und TÖLLE (1993)

- 2) Die Berechnung einschließlich des Kiefernbestandes Nr. 12 ist in Klammern angegeben, da eine erhebliche Abweichung des MS-Wertes dieser Fläche von den MS-Daten der anderen GKI-Referenzbestände auf der Domsdorfer Kippe besteht.

Anlage 12.2: Ferromagnetische Suszeptibilität in den A-Horizonten der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen

Kippenkomplex	Mittleres Alter [Jahre]	Anzahl Proben (n)	Magnetische Suszeptibilität (MS) [mHz/5cm ³]	
<i>Gemeine Kiefer</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	58,5	6	105,4	36,0 – 222,0
Domsdorf ¹⁾	61,0 (60,7)	5 (6)	176,9 (198,8)	117,0 – 237,0 (117,0 – 308,5)
Kleinkoschen	58,3	3	291,2	243,5 – 385,5
Annahütte	61,0	2	291,5	284,5 – 298,5
Brieske	66,4	5	639,2	280,0 – 1109,5
<i>Gemeine Birke</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	57,6	3	67,0	58,5 – 74,0
Domsdorf	44,0	1	127,5	127,5
Annahütte	51,0	1	283,0	283,0
Kleinkoschen	52,0	3	204,5	81,5 – 347,5
Brieske	63,8	4	372,3	277,5 – 424,0
<i>Trauben-/Roteiche</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	37,0	1	86,0	86,0
Domsdorf	29,0	2	118,0	105,5 – 130,5
Kleinleipisch	24,0	4	72,6	60,5 – 88,0
Laubusch	41,0	2	199,8	151,0 – 248,5

Anm.: 1) Die Berechnung einschließlich des Kiefernbestandes Nr. 12 ist in Klammern angegeben, da eine erhebliche Abweichung des MS-Wertes dieser Fläche von den MS-Daten der anderen GKI-Referenzbestände auf der Domsdorfer Kippe besteht.

Anlage 12.3: Ferromagnetische Suszeptibilität in den C-Horizonten (bis 100 cm) der Kiefern-, Birken- und Eichen-Kippenerstaufforstungen

Kippenkomplex	Mittleres Alter [Jahre]	Anzahl Proben (n)	Magnetische Suszeptibilität (MS) [mHz/5cm ³]	
<i>Gemeine Kiefer</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	58,5	6	6,9	4,5 – 9,5
Domsdorf ¹⁾	61,0 (60,7)	5 (6)	16,4 (20,3)	6,5 – 23,5 (6,5 – 39,5)
Kleinkoschen	58,3	3	15,0	4,5 – 30,0
Annahütte	61,0	2	8,0	8,0
Brieske	66,4	5	10,1	6,5 – 14,5
<i>Gemeine Birke</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	57,6	3	6,8	5,0 – 8,0
Domsdorf	44,0	1	209,5	209,5
Annahütte	51,0	1	107,5	107,5
Kleinkoschen	52,0	3	10,0	8,0 – 12,5
Brieske	63,8	4	23,4	21,5 – 28,5
<i>Trauben-/Roteiche</i>			Mittelwert [mHz/5cm ³]	Streuungsbreite [mHz/5cm ³]
Tröbitz Nord	37,0	1	12,0	12,0
Domsdorf	29,0	2	n.b.b.	n.b.b.
Kleinleipisch	24,0	4	n.b.b.	n.b.b.
Laubusch	41,0	2	11,3	6,0 – 16,5

Anm.: 1) Die Berechnung einschließlich des Kiefernbestandes Nr. 12 ist in Klammern angegeben, da eine erhebliche Abweichung des MS-Wertes dieser Fläche von den MS-Daten der anderen GKI-Referenzbestände auf der Domsdorfer Kippe besteht.

Anlage 13: Ausgewählte qualitative Kenndaten des Auflagehumus'

Anlage 13.1: Kenndaten der Kiefern-Referenzflächen

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	pH - Wert		Austauschkapazitäten			V-Wert [% KAK _{pot}]	C/N- Verhältnis	C/P- Verhältnis	Horizontierung		
			H ₂ O	KCl	KAK _{pot}	S-Wert	H-Wert				L	Of	Oh
					[mmol _c /100g]					[cm]			
GKI	57	1	4,0	3,7	98,6	11,6	87,0	11,8	31,5	423,7	1,0	2,0	2,4
GKI	61	2	4,2	3,6	104,0	15,2	88,8	14,6	29,3	349,1	1,5	3,7	1,0
GKI	59	3	4,2	3,5	93,0	14,9	78,1	16,1	25,6	329,6	2,0	5,0	2,0
GKI	66	4	4,0	3,5	106,0	10,5	95,5	9,9	31,1	339,2	2,5	3,3	2,0
GKI	54	5	4,3	3,6	94,0	14,2	79,8	15,1	29,9	370,0	2,0	5,0	2,5
GKI	54	6	4,0	3,6	82,2	9,8	72,4	11,9	25,1	283,7	2,0	4,5	1,5
GKI	63	7	5,0	4,4	148,0	40,1	107,9	27,1	26,9	258,0	0,4	5,5	1,5
GKI	58	8	5,1	4,4	77,9	21,5	56,4	27,6	29,3	284,3	0,5	3,0	1,5
GKI	58	9	4,6	4,0	77,0	15,1	61,9	19,6	28,1	256,3	1,0	4,0	1,3
GKI	63	10	4,3	3,7	37,9	7,4	30,5	19,4	25,1	381,3	2,0	5,0	1,0
GKI	63	11	4,4	3,6	90,8	12,6	78,2	13,8	25,5	280,0	1,0	3,5	1,9
GKI	59	12	4,9	4,4	83,0	36,2	46,8	43,6	30,5	661,9	2,0	3,3	6,5
GKI	61	13	4,7	4,4	82,0	20,6	61,4	25,1	31,6	283,2	1,0	7,0	1,2
GKI	61	14	4,8	4,1	86,0	30,2	55,8	35,1	29,7	841,9	1,0	7,0	1,5
GKI	61	15	5,9	5,1	71,0	51,2	19,8	72,1	38,5	1875,0	1,0	4,4	3,3
GKI	70	16	5,5	4,9	69,0	58,4	10,6	84,6	32,4	656,1	1,2	5,3	3,1
GKI	61	17	5,6	5,0	80,0	63,8	16,2	79,7	40,4	1092,6	2,5	6,2	3,1
GKI	70	18	5,6	5,0	73,0	58,5	14,5	80,2	32,3	687,2	1,0	5,7	3,7
GKI	70	19	5,7	5,0	60,0	51,2	8,8	85,4	33,0	660,0	1,0	7,5	4,0
GKI	61	20	4,5	3,8	66,0	17,1	48,9	26,0	25,8	485,5	1,0	7,0	1,9
GKI	61	21	4,6	4,1	58,0	17,4	40,6	30,0	26,3	417,0	1,0	4,5	1,5
GKI	53	22	4,9	4,2	56,0	22,0	34,1	39,2	29,3	526,2	1,0	6,0	0,5

Anlage 13.1: Kennndaten der Kiefern-Referenzflächen (Fortsetzung)

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	Okulare Ansprache der Humusform nach AG Boden (1996)	Beurteilung der Humusqualität nach AG Boden (1996)	Klassifizierung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) *1	Humusform	Harmonie
GKI	57	1	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	Rohhumus	Rohhumus	noch harmonisch
GKI	61	2	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	harmonisch
GKI	59	3	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	harmonisch
GKI	66	4	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	Rohhumus	Rohhumus	harmonisch
GKI	54	5	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	harmonisch
GKI	54	6	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	harmonisch
GKI	63	7	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	disharmon. (+)
GKI	58	8	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	disharmon. (+)
GKI	58	9	fh-armer typischer Moder	sehr gering	Moder	Moder	harmonisch
GKI	63	10	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	noch harmonisch
GKI	63	11	fh-armer typischer Moder	sehr gering	rohhumusartiger Moder	rohhumusartiger Moder	harmonisch
GKI	59	12	fh-reicher typischer Moder (A)	sehr gering	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	disharmon. (+)
GKI	61	13	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger Rohhumus	mäßig basenhaltiger Rohhumus	disharmon. (+)
GKI	61	14	fh-armer typischer Moder	sehr gering	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	disharmon. (+ !)
GKI	61	15	fh-reicher rohhumusart. Moder (A)	sehr gering	sehr basenreicher Rohhumus	sehr basenreicher Rohhumus	disharmon. (+ !!)
GKI	70	16	fh-reicher rohhumusart. Moder (A)	sehr gering	sehr basenreicher Rohhumus	sehr basenreicher Rohhumus	disharmon. (+ !!)
GKI	61	17	fh-armer rohhumusart. Moder (A)	sehr gering	sehr basenreicher (Mager-)Rohhumus	sehr basenreicher (Mager-)Rohhumus	disharmon. (+ !!)
GKI	70	18	Rohhumus (A)	sehr gering	sehr basenreicher Rohhumus	sehr basenreicher Rohhumus	disharmon. (+ !!)
GKI	70	19	fh-reicher typischer Moder (A)	sehr gering	sehr basenreicher Rohhumus	sehr basenreicher Rohhumus	disharmon. (+ !!)
GKI	61	20	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	disharmon. (+)
GKI	61	21	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder	disharmon. (+)
GKI	53	22	fh-armer typischer Moder	sehr gering	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder	disharmon. (+)

Anm. *1: Bei der Bestimmung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) wurden folgende Abweichungen toleriert:

V % = ± 4 %

pH = ± 0,2

C % / N % = ± 5 % des Wertes

"-" Tendenz zu geringeren Basensättigungs- und pH-Werten

"+" Tendenz zu höheren Basensättigungs- und pH-Werten

"!" besondere C/N - V% - pH - Disharmonie (3 Stufen Abweichung)

"!!" extreme C/N - V% - pH - Disharmonie (4 Stufen Abweichung)

"A" = makroskopisch erkennbare Flugascheeinträge

Anlage 13.2: Kenndaten der Birken- und Eichen-Referenzflächen

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	pH - Wert		Austauschkapazitäten			V-Wert [% KAK _{pot}]	C/N- Verhältnis	C/P- Verhältnis	Horizontierung		
			H ₂ O	KCl	KAK _{pot}	S-Wert	H-Wert				L	Of	Oh
			[mmol _e /100g]			[cm]							
GBI	57	1	5,5	5,0	58,8	27,3	31,5	46,5	22,2	286,3	1,5	2,5	1,5
GBI	59	2	4,7	4,4	103,0	29,8	73,2	28,9	14,1	223,8	1,5	4,5	1,5
GBI	57	3	4,9	4,4	57,6	17,9	39,7	31,0	20,3	184,5	2,0	3,3	1,0
GBI	44	4	4,9	4,7	95,4	35,5	59,9	37,2	19,3	323,6	0,7	2,0	0,4
GBI	51	5	5,8	5,4	73,0	62,2	10,8	85,3	24,8	454,2	1,5	3,5	0,5
GBI	68	6	6,0	5,4	84,0	76,1	7,9	90,6	28,9	686,5	0,7	3,5	3,0
GBI	64	7	6,0	5,3	99,0	81,5	17,5	82,3	32,9	933,3	2,0	4,5	5,5
GBI	68	8	6,1	5,5	75,0	71,0	4,0	94,6	26,4	436,7	1,0	5,0	3,5
GBI	55	9	6,0	5,4	63,0	59,4	3,6	94,3	26,5	486,5	0,3	4,5	3,5
GBI	59	10	5,3	4,7	24,5	9,3	15,2	37,9	27,3	841,7	1,0	3,5	1,0
GBI	51	11	5,9	5,4	55,0	38,5	16,5	69,9	22,7	490,3	1,0	2,5	1,0
GBI	46	12	5,5	5,2	41,0	19,7	21,3	48,1	24,6	683,3	0,5	4,0	0,4
TEI	37	1	4,1	3,6	96,8	16,9	79,9	17,4	24,6	278,3	0,5	1,5	0,5
TEI	29	2	5,5	5,1	79,8	38,7	41,1	48,5	21,2	294,3	0,5	1,0	0,5
TEI	29	3	5,2	4,6	86,6	24,7	61,9	28,6	21,0	404,3	0,5	1,0	0,5
TEI	24	4-V1	5,4	4,9	60,5	23,1	37,4	38,1	16,8	492,4	0,7	2,0	0,0
TEI	24	4-V2	5,5	5,0	61,6	25,1	36,5	40,7	16,1	503,2	0,7	1,5	0,0
REI	24	5-V1	5,3	4,8	96,6	36,9	59,7	38,2	17,1	461,1	0,5	1,5	0,0
REI	24	5-V2	5,3	4,8	65,6	38,0	27,6	57,9	17,5	677,8	0,5	2,5	0,0
TEI	45	6	5,7	5,2	45,5	22,0	23,5	48,3	22,7	340,6	2,0	2,5	0,7
TEI	37	7	6,2	5,4	51,1	31,7	19,4	62,0	27,3	424,9	1,5	1,0	0,5

Anlage 13.2: Kennndaten der Birken- und Eichen-Referenzflächen (Fortsetzung)

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	Okulare Ansprache der Humusform nach AG Boden (1996)	Beurteilung der Humusqualität nach AG Boden (1996)	Klassifizierung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) *1	Humusform	Harmonie
GBI	57	1	fh-armer typischer Moder	gering	ziemlich basenreicher Moder		disharmon. (+)
GBI	59	2	Graswurzelfilzmoder	hoch	mullartiger Moder		harmonisch
GBI	57	3	Graswurzelfilzmoder	gering	Moder		harmonisch
GBI	44	4	fh-armer typischer Moder	mittel	ziemlich basenreicher Moder		disharmon. (+)
GBI	51	5	fh-armer typischer Moder	gering	sehr basenreicher rohhumusartiger Moder		disharmon. (+ !)
GBI	68	6	Graswurzelfilzmoder (A)	sehr gering	sehr basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+ !)
GBI	64	7	Graswurzelfilzmoder (A)	sehr gering	sehr basenreicher Rohhumus		disharmon. (+ !)
GBI	68	8	Graswurzelfilzmoder (A)	sehr gering	sehr basenreicher rohhumusartiger Moder		disharmon. (+ !)
GBI	55	9	fh-reicher typischer Moder (A)	sehr gering	sehr basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+ !)
GBI	59	10	Graswurzelfilzmoder	sehr gering	ziemlich basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+)
GBI	51	11	fh-armer typischer Moder	gering	sehr basenreicher Moder		disharmon. (+ !)
GBI	46	12	fh-armer typischer Moder	gering	basenreicher rohhumusartiger Moder		disharmon. (+ !)
TEI	37	1	typischer bis mullartiger Moder	gering	rohhumusartiger Moder		harmonisch
TEI	29	2	mullartiger Moder	gering	(ziemlich) basenreicher Moder		disharmon. (+)
TEI	29	3	mullartiger Moder	gering	mäßig basenhaltiger Mull		disharmon. (-)
TEI	24	4-V1	mullartiger Moder (F-Mull)	mittel	mullartiger Moder		harmonisch
TEI	24	4-V2	mullartiger Moder (F-Mull)	mittel	mullartiger Moder		harmonisch
REI	24	5-V1	mullartiger Moder (F-Mull)	mittel	mullartiger Moder		harmonisch
REI	24	5-V2	mullartiger Moder (F-Mull)	mittel	basenreicher mullartiger Moder		disharmon. (+)
TEI	45	6	fh-armer typischer Moder	gering	basenreicher Moder		disharmon. (+)
TEI	37	7	fh-armer typischer Moder	sehr gering	basenreicher rohhumusartiger Moder		disharmon. (+ !)

Anm. *1: Bei der Bestimmung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) wurden folgende Abweichungen toleriert:

V % = ± 4 %

pH = ± 0,2

C % / N % = ± 5 % des Wertes

"-" Tendenz zu geringeren Basensättigungs- und pH-Werten

"+" Tendenz zu höheren Basensättigungs- und pH-Werten

"!" besondere C/N - V% - pH - Disharmonie (3 Stufen Abweichung)

"!!" extreme C/N - V% - pH - Disharmonie (4 Stufen Abweichung)

"A" = makroskopisch erkennbare Flugascheeinträge

Anlage 13.3: Kenndaten der Ergänzungs- und Vergleichsflächen

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	pH - Wert		Austauschkapazitäten			V-Wert [% KAK _{pot}]	C/N- Verhältnis	C/P- Verhältnis	Horizontierung		
			H ₂ O	KCl	KAK _{pot}	S-Wert	H-Wert				L	Of	Oh
			[mmol _e /100g]			[cm]							
GKI	46	JB-1	4,8	4,0	84,2	17,2	67,0	20,4	29,5	313,1	1,0	4,5	1,0
GKI	43	JB-2	4,5	3,8	88,8	19,9	68,9	22,4	29,4	398,0	1,5	5,0	0,4
GKI	37	JB-3	5,0	4,4	75,6	17,8	57,8	23,5	16,8	371,0	1,5	3,5	0,5
GKI	37	JB-4	4,2	3,8	82,0	14,9	67,1	18,1	40,7	652,4	0,5	1,5	0,3
GKI	39	JB-5	4,2	3,8	91,2	15,8	75,4	17,4	31,5	495,4	2,0	4,0	0,3
GKI	24	KL-V1	5,0	4,5	94,4	26,0	68,4	27,6	18,8	460,5	0,5	1,5	0,2
GKI	24	KL-V2	5,1	4,5	87,0	23,3	63,7	26,8	17,9	576,3	0,5	2,0	0,2
GKI	81	GB-SW	3,9	3,4	93,4	9,1	84,3	9,7	27,5	378,9	1,0	6,0	2,5
GBI	38	JB-1	5,6	5,1	68,0	51,2	16,8	75,3	23,6	333,3	1,0	1,5	1,0
GBI	37	JB-2	5,7	5,2	61,0	50,0	11,0	82,0	23,5	382,1	0,5	3,0	1,0
REI	40	JB-1	4,3	3,9	87,0	24,3	62,7	27,9	32,1	397,2	1,5	1,0	0,5
REI	42	JB-4	5,4	4,9	80,0	50,4	29,7	62,9	25,1	1146,7	1,5	4,8	1,2
REI	42	JB-5	5,5	5,0	75,0	48,8	26,3	65,0	29,8	1269,6	1,5	4,3	1,7
REI	64	MAB-1	5,7	5,3	93,0	67,8	25,2	72,9	30,6	170,5	0,4	1,0	11,5

Anlage 13.3: Kennndaten der Ergänzungs- und Vergleichsflächen (Fortsetzung)

Baumart	Alter [Jahre] (1.1.98)	Flächen Nr.	Okulare Ansprache der Humusform nach AG Boden (1996)	Beurteilung der Humusqualität nach AG Boden (1996)	Klassifizierung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) *1	Humusform	Harmonie
GKI	46	JB-1	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder		disharmon. (+)
GKI	43	JB-2	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger rohhumusart. Moder		disharmon. (+)
GKI	37	JB-3	fh-armer typischer Moder	mittel	mäßig basenhaltiger mullartiger Moder		disharmon. (-)
GKI	37	JB-4	fh-armer rohhumusartiger Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger Magerrohhumus		disharmon. (+)
GKI	39	JB-5	Rohhumus	sehr gering	mäßig basenhaltiger Rohhumus		disharmon. (+)
GKI	24	KL-V1	fh-armer typischer Moder	mittel	ziemlich basenreicher Moder		disharmon. (+)
GKI	24	KL-V2	fh-armer typischer Moder	mittel	ziemlich basenreicher Moder		disharmon. (+)
GKI	81	GB-SW	rohhumusartiger Moder (fh-arm)	sehr gering	rohhumusartiger Moder		harmonisch
GBI	38	JB-1	fh-armer typ. Moder (Tend. GMO)	gering	basenreicher Moder		disharmon. (+)
GBI	37	JB-2	fh-armer typ. Moder (Tend. GMO)	gering	basenreicher Moder		disharmon. (+)
REI	40	JB-1	fh-armer typischer Moder	sehr gering	mäßig basenhaltiger Rohhumus		disharmon. (+)
REI	42	JB-4	typischer Moder (fh-arm)	sehr gering	basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+)
REI	42	JB-5	typischer Moder (fh-arm)	sehr gering	basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+)
REI	64	MAB-1	fh-reicher typischer Moder	sehr gering	sehr basenreicher rohhumusart. Moder		disharmon. (+!)

Anm. *1: Bei der Bestimmung nach KOPP und SCHWANECKE (1994) wurden folgende Abweichungen toleriert:

V % = ± 4 %

pH = ± 0,2

C % / N % = ± 5 % des Wertes

"-" Tendenz zu geringeren Basensättigungs- und pH-Werten

"+" Tendenz zu höheren Basensättigungs- und pH-Werten

"!" besondere C/N - V% - pH - Disharmonie (3 Stufen Abweichung)

Anlage 14: C_t-Gehalte, Bodenarten und Substrattypen der untersuchten Kippenstandorte (C-Horizont bis 100 cm Bodentiefe)

Flä.-Nr.	C _t -Gehalt [M.-%]	Bodenart ¹⁾	Substrat- typ ¹⁾	Flä.-Nr.	C _t -Gehalt [M.-%]	Bodenart ¹⁾	Substrat- typ ¹⁾
Kiefern-Erstaufforstungen				Birken-Erstaufforstungen			
1	0,27	Ss / mS	oj-ss	1	0,91	Ss / mSgs	oj-(k)(x)ss
2	0,41	Ss / mSgs	oj-ss	2	2,11	Ss / mSgs	oj-xss
3	0,65	Ss / mSgs	oj-(k)(x)ss	3	1,08	Ss / mSgs	oj-(x)ss
4	0,22	Ss / mSgs	oj-ss	4	1,25	Sl3 / -	oj-(x)uls
5	1,11	Ss / mSgs	oj-(x)ss	5	4,09	Sl3 / -	oj-(k)xuls
6	0,60	Ss / mSgs	oj-(k)(x)ss	6	0,31	Ss / mSgs	oj-ss
7	1,27	Sl3 / -	oj-(c)(x)uls	7	0,36	Ss / mSgs	oj-ss
8	0,55	Ss / mS	oj-(x)ss	8	0,90	Ss / mSgs	oj-(x)ss
9	0,70	Ss / mS	oj-(x)ss	9	0,72	Ss / mSgs	oj-(x)ss
10	0,22	Ss / mSgs	oj-ss	10	1,67	Ss / mSfs	oj-(x)ss
11	1,57	Ss / gSms	oj-(k)(x)ss	11	2,12	Ss / mSfs	oj-xss
12	1,34	Sl3 / -	oj-(x)uls	12	2,32	St2 / -	oj-xuls
13	0,22	Ss / mSgs	oj-(k)ss				
14	0,31	Ss / mSgs	oj-(k)ss	JB-1	6,67	Sl4 / -	oj-xsl
15	0,20	Ss / mSgs	oj-ss	JB-2	6,81	Sl3 / -	oj-xuls
16	0,49	Ss / mSgs	oj-ss				
17	0,21	Ss / mSgs	oj-ss				
18	0,84	Ss / mSgs	oj-(x)ss	Eichen-Erstaufforstungen			
19	0,35	Ss / mSgs	oj-ss	1	2,51	St2 / -	oj-xuls
20	0,55	Ss / mSgs	oj-(x)ss	2	5,62	St2 / -	oj-xuls
21	0,66	Ss / mSgs	oj-(x)ss	3	5,65	St2 / -	oj-xuls
22	0,37	Ss / mSgs	oj-ss	4-V1	1,35	Sl2 / -	oj-(x)uls
				4-V2	1,78	Sl4 / -	oj-(x)sl
JB-1	0,36	Ss / gSms	oj-(k)ss	5-V1	1,58	Su2 / -	oj-(x)uls
JB-2	2,13	Ss / mSgs	oj-xss	5-V2	1,53	Sl3 / -	oj-(x)uls
JB-3	6,52	Sl4 / -	oj-xsl	6	1,19	St2 / -	oj-(x)uls
JB-4	0,40	Ss / mS	oj-ss	7	0,29	Ss / mSgs	oj-ss
JB-5	0,79	Ss / mSgs	oj-(x)ss				
KL-V1	1,68	Sl2 / -	oj-(x)uls	JB-1	0,98	Ss / mSgs	oj-(x)ss
KL-V2	1,45	Sl2 / -	oj-(x)uls	JB-2	1,51	Ss / mSgs	oj-(x)ss
				MAB-1	0,06	St2 / -	oj-(k)(x)uls

Anm.: 1) nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden 1996)

Anlage 15: Mittlere Austauscherbelegung in den untersuchten Kippenböden [mmol_c/100g]

Horizont / Tiefenstufe	Ca		Mg		K		Na		S-Wert		KAK _{pot}		H-Wert		Ø V-Wert [% KAK _{pot}]
	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	Min - MW - Max	
Kiefern-Jungbestände (n = 7)															
A-Horizont	0,64 - 9,01 - 46,16	0,08 - 0,45 - 1,73	0,084 - 0,160 - 0,228	0,000 - 0,011 - 0,043	0,84 - 9,63 - 48,07	8,60 - 19,43 - 34,00	9,60 - 18,24 - 37,50	49,56							
unterhalb A bis 30 cm	0,10 - 6,07 - 30,19	0,03 - 0,26 - 0,81	0,043 - 0,084 - 0,151	0,000 - 0,011 - 0,039	0,22 - 6,42 - 31,11	2,50 - 14,34 - 30,50	2,20 - 9,57 - 21,60	44,76							
31 bis 60 cm	0,10 - 4,62 - 18,91	0,04 - 0,24 - 0,59	0,043 - 0,069 - 0,115	0,005 - 0,010 - 0,048	0,24 - 4,94 - 19,59	2,30 - 10,11 - 31,90	1,00 - 7,99 - 30,80	48,86							
61 bis 100 cm	0,07 - 2,28 - 6,64	0,03 - 0,17 - 0,48	0,046 - 0,066 - 0,107	0,000 - 0,008 - 0,026	0,17 - 2,53 - 7,22	1,90 - 10,63 - 31,90	0,90 - 10,19 - 36,30	23,80							
gesamter C-Horizont	0,09 - 4,32 - 18,31	0,04 - 0,22 - 0,56	0,045 - 0,073 - 0,105	0,000 - 0,010 - 0,035	0,21 - 4,63 - 18,96	2,27 - 11,70 - 31,43	2,67 - 9,25 - 28,37	39,57							
Kiefern-Mittelaltbestände (n = 22)															
Ah-Horizont	0,31 - 7,96 - 35,93	0,06 - 0,39 - 1,48	0,026 - 0,117 - 0,256	0,002 - 0,026 - 0,091	0,55 - 8,49 - 37,68	7,60 - 19,60 - 41,50	5,60 - 15,24 - 27,00	43,31							
unterhalb Ah bis 30 cm	0,13 - 1,32 - 8,08	0,03 - 0,16 - 0,52	0,015 - 0,086 - 0,212	0,000 - 0,017 - 0,074	0,23 - 1,57 - 8,66	2,30 - 5,66 - 14,40	0,60 - 4,90 - 12,10 ¹⁾	27,74							
31 bis 60 cm	0,11 - 0,92 - 7,63	0,02 - 0,11 - 0,43	0,015 - 0,080 - 0,169	0,000 - 0,017 - 0,065	0,18 - 1,12 - 8,18	1,40 - 4,08 - 11,60	0,40 - 3,52 - 7,60 ¹⁾	27,45							
61 bis 100 cm	0,08 - 1,03 - 7,39	0,03 - 0,13 - 0,37	0,015 - 0,073 - 0,174	0,000 - 0,020 - 0,096	0,15 - 1,25 - 7,84	1,50 - 4,61 - 13,10	0,60 - 3,95 - 12,00 ¹⁾	27,11							
gesamter C-Horizont	0,12 - 1,09 - 7,70	0,03 - 0,13 - 0,41	0,019 - 0,080 - 0,163	0,000 - 0,018 - 0,071	0,22 - 1,32 - 8,22	1,73 - 4,78 - 11,50	0,87 - 4,12 - 9,80 ¹⁾	27,62							
Birken-Erstaufforstungen (n = 12)															
Ah-Horizont	0,89 - 8,34 - 19,46	0,26 - 0,63 - 1,48	0,061 - 0,207 - 0,657	0,004 - 0,024 - 0,057	1,37 - 9,21 - 21,41	11,30 - 20,38 - 43,80	7,80 - 16,22 - 41,40	45,19							
unterhalb Ah bis 30 cm	0,16 - 2,28 - 13,47	0,10 - 0,23 - 0,78	0,013 - 0,076 - 0,281	0,000 - 0,025 - 0,113	0,49 - 2,61 - 14,56	3,70 - 10,30 - 26,80	0,50 - 8,66 - 21,20	25,34							
31 bis 60 cm	0,23 - 1,04 - 6,49	0,04 - 0,11 - 0,33	0,005 - 0,062 - 0,174	0,000 - 0,014 - 0,035	0,42 - 1,22 - 7,01	3,00 - 8,49 - 17,30	1,00 - 7,41 - 14,30	14,37							
61 bis 100 cm	0,11 - 1,12 - 7,49	0,02 - 0,09 - 0,31	0,015 - 0,067 - 0,141	0,000 - 0,025 - 0,104	0,25 - 1,31 - 7,94	2,80 - 8,88 - 17,10	1,00 - 9,26 - 19,50	14,75							
gesamter C-Horizont	0,21 - 1,48 - 9,15	0,07 - 0,14 - 0,47	0,014 - 0,068 - 0,194	0,000 - 0,021 - 0,080	0,44 - 1,71 - 9,84	3,87 - 9,23 - 19,53	0,83 - 8,44 - 17,03	18,53							
Eichen-Erstaufforstungen (n = 11)															
A-Horizont	0,56 - 4,36 - 22,31	0,15 - 0,64 - 2,76	0,084 - 0,256 - 0,793	0,000 - 0,014 - 0,104	0,91 - 5,27 - 25,88	7,80 - 20,45 - 48,00	4,00 - 15,70 - 45,60	25,77							
unterhalb A bis 30 cm	0,26 - 3,08 - 12,97	0,06 - 0,29 - 0,66	0,038 - 0,082 - 0,136	0,000 - 0,009 - 0,039	0,43 - 3,45 - 13,63	2,20 - 12,21 - 27,30	3,10 - 13,44 - 23,20	28,26							
31 bis 60 cm	0,23 - 2,39 - 5,79	0,05 - 0,24 - 0,53	0,029 - 0,062 - 0,092	0,000 - 0,008 - 0,039	0,38 - 2,70 - 6,30	4,10 - 11,58 - 23,90	4,40 - 13,23 - 20,50	23,32							
61 bis 100 cm	0,11 - 1,47 - 3,92	0,03 - 0,14 - 0,34	0,029 - 0,055 - 0,090	0,000 - 0,005 - 0,017	0,19 - 1,67 - 4,32	3,60 - 11,51 - 23,65	2,90 - 10,39 - 22,70	14,51							
gesamter C-Horizont	0,21 - 2,31 - 7,04	0,05 - 0,22 - 0,50	0,036 - 0,066 - 0,106	0,000 - 0,007 - 0,028	0,38 - 2,61 - 7,52	3,30 - 11,77 - 24,95	3,47 - 12,70 - 22,03	22,18							

Anm.: 1) H-Wert im C-Horizont ohne Fläche GKI 10 (keine Bestimmung)

Anlage 16: Mächtigkeit der A-Horizonte in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenarten- gruppe im A-Horizont	Anzahl (n)	Mittleres Alter [Jahre]	Mittlere Mächtigkeit der A-Horizonte gesamt [cm]	Mittlere Mächtigkeit der A-Horizonte gesamt [mm/a]	Bodenarten- gruppe unter- halb A bis 30 cm	Anzahl (n)	Mittleres Alter [Jahre]	Mittlere Mächtigkeit der A-Horizonte gesamt [cm]	Mittlere Mächtigkeit der A-Horizonte gesamt [mm/a]
Gemeine Kiefer (mittelalte Referenzbestände und alle untersuchten Bestände auf Kippenstandorten sowie Alt-Waldstandort GB-SW)									
53 - 70 J. Ø 61,1 J.	13 9	58,6 62,4	2,58 3,67	0,439 0,587	ss ¹⁾ Is + sl	20 2	61,1 61,0	2,90 4,00	0,475 0,656
24 - 70 J. Ø 55 J.	15 14	58,7 52,6	2,59 3,04	0,441 0,579	ss ¹⁾ Is + sl	23 6	58,4 41,7	2,88 2,52	0,493 0,604
GB-SW	1	81,0	9,70	1,198	ss	1	81,0	9,70	1,198
Gemeine Birke (mittelalte Referenzbestände und alle untersuchten Bestände auf Kippenstandorten)									
44 - 68 J. Ø 56,6 J.	4 8	55,5 57,1	2,48 2,90	0,446 0,508	ss ¹⁾ Is + sl	8 4	59,9 50,0	3,04 2,20	0,507 0,440
37 - 68 J. Ø 53,9 J.	4 10	55,5 53,2	2,48 2,67	0,446 0,502	ss ¹⁾ Is + sl	8 6	59,9 45,8	3,04 2,05	0,507 0,447
Eiche (Referenzbestände und Einbeziehung der Ergänzungsbestände JB-1, JB-2 und JB-3)									
24 - 45 J. Ø 30,3 J.	0 9	- 30,3	- 2,19	- 0,722	ss ¹⁾ Is + sl	3 6	35,3 27,8	2,50 2,03	0,708 0,731
24 - 45 J. Ø 32,3 J.	2 10	38,0 31,1	1,70 2,04	0,447 0,656	ss ¹⁾ Is + sl	5 7	36,4 29,3	2,18 1,84	0,599 0,629

Anm.: 1) Reinsande einschließlich kohleführende Reinsande [(x) ss] und Kohle-Reinsande (x ss)