

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

I.	Einleitung	1
1.	Problematik von Tagebauabfolgeflächen.....	1
2.	Lösungsansatz planmäßige Rekultivierung; Aufforstung.....	3
3.	Lösungsansatz natürliche Rekultivierung; Sukzession	4
4.	Lösungsansatz der vorliegenden Dissertation.....	5
II.	Ziele & Arbeitshypothesen	9
III.	Untersuchungsgebiet.....	11
1.	Lage und naturräumliche Einordnung.....	11
2.	Nutzungsgeschichte	11
3.	Geologie, Böden und Wasserhaushalt	13
4.	Klima.....	14
IV.	Material & Methodik	17
1.	Freiland-Versuche – Versuchsanlage.....	17
1.1.	Versuchsfelder	17
1.2.	Baumarten und Pflanzenmaterial.....	17
1.3.	Bodenhilfsmstoffe	18
1.3.1.	Zur Verbesserung der Bodenphysik: Perlit, Wasserspeichersubstanzen.....	18
1.3.2.	Zur Verbesserung der Bodenchemie: Kalk.....	19
1.3.3.	Zur Verbesserung der Bodenphysik und -chemie: Kompost.....	19
1.3.4.	Zur Verbesserung der Bodenbiologie: Mykorrhiza-Inokulum.....	19
1.3.5.	Bodenhilfsmittel-Kombinationen.....	20
1.4.	Anlage der Versuchspflanzungen	21
2.	Freiland-Versuche – Aufnahmen und Untersuchungen.....	22
2.1.	Klima-Messungen	22
2.2.	Boden-Untersuchungen	22
2.2.1.	Physikalische Bodenparameter	23
2.2.2.	Chemische Bodenparameter	25

2.3. Pflanzen-Untersuchungen	26
2.3.1. Chemische Analysen der Assimilationsorgane	26
2.3.2. Visuelle Beurteilung der Pflanzenvitalität	27
2.3.3. Messungen von Wuchsparametern	27
2.3.4. Biomassenermittlung	28
2.3.5. Mykorrhiza-Inventur	28
2.3.6. Weitere Aufnahmen an den Versuchspflanzen.....	29
 3. Topf-Versuche – Versuchsanlage	30
3.1. Bodensubstrat	30
3.2. Baumarten und Pflanzenmaterial	30
3.3. Bodenhilfsstoffe.....	31
3.4. Anlage der Topf-Versuche.....	31
4. Topf-Versuche – Aufnahmen und Untersuchungen	32
4.1. Boden-Untersuchungen.....	32
4.1.1. Physikalische Bodenparameter.....	32
4.1.2. Chemische Bodenparameter.....	33
4.2. Pflanzen-Untersuchungen.....	33
 5. Datenauswertung und Statistik	34
 V. Ergebnisse	37
1. Freiland-Versuche – Bodeneigenschaften.....	37
1.1. Kleinräumige Standortheterogenität.....	37
1.2. Physikalische Bodeneigenschaften.....	38
1.2.1. Skelettgehalt.....	39
1.2.2. Textur.....	39
1.2.3. Trockenraumdichte.....	40
1.2.4. Wassergehalt-Wasserspannungsbeziehungen (pF-Kurven).....	40
1.2.5. Volumetrischer Wassergehalt (Bodenfeuchte).....	43
1.3. Chemische Bodeneigenschaften	44
1.3.1. Bodenreaktion	44
1.3.2. Schwefel-Gehalt.....	45
1.3.3. Schwermetall-Gehalte	45
1.3.4. Kohlenstoff-, Stickstoff-Gehalte und C/N-Verhältnis.....	47
1.3.5. Porphor-Gehalt und C/P-Verhältnis.....	48

1.3.6.	Weitere Nährelement-Gehalte.....	48
1.3.7.	Effektive Kationen-Austauschkapazität	49
1.3.8.	Austauscherbelegung	50
1.3.9.	Basen-Sättigung.....	51
1.3.10.	Vergleich Nährelement-Gehalte und Nährelement-Sättigungen	51
1.3.11.	Elastizität gegenüber Säurebelastung.....	52
2.	Topf-Versuche – Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die Bodeneigenschaften.....	55
2.1.	Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die physikalischen Bodeneigenschaften	55
2.1.1.	Trockenraumdichte	56
2.1.2.	Gesamtporenvolumen.....	56
2.1.3.	Volumetrischer Wassergehalt (Bodenfeuchte).....	57
2.2.	Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die chemischen Bodeneigenschaften.....	58
2.2.1.	Bodenreaktion.....	58
2.2.2.	Schwefel-Gehalt.....	59
2.2.3.	Schwermetall-Gehalte	60
2.2.4.	Kohlenstoff-, Stickstoff-Gehalte und C/N-Verhältnis.....	61
2.2.5.	Phosphor-Gehalt und C/P-Verhältnis.....	62
2.2.6.	Weitere Nährelement-Gehalte.....	63
2.2.7.	Effektive Kationen-Austauschkapazität	64
2.2.8.	Austauscherbelegung	65
2.2.9.	Basen-Sättigung.....	68
2.2.10.	Vergleich Nährelement-Gehalte und Nährelement-Sättigungen	68
2.2.11.	Elastizität gegenüber Säurebelastung.....	69
3.	Zusammenfassung Boden	71
3.1.	Physikalische Bodeneigenschaften	71
3.2.	Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die physikalischen Bodeneigenschaften	71
3.3.	Chemische Bodeneigenschaften	72
3.4.	Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die chemischen Bodeneigenschaften.....	73
4.	Pflanzenentwicklung	75
4.1.	Ausgangszustand der Versuchspflanzen	75
4.2.	Einfluss der kleinräumigen Standortheterogenität.....	76
4.3.	Einfluss von Wildschäden	78
4.4.	Ergebnisse der Regressionen zwischen Wachstumsparametern.....	79

INHALTSVERZEICHNIS

4.5. Pflanzenentwicklung ohne Bodenhilfsstoff-Behandlung (Kontrollen)	82
4.5.1. Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung	82
4.5.1.1. Hauptnährelemente, Makronährstoffe (N, P, K, Ca, Mg, S).....	82
4.5.1.2. Spurennährelemente, Mikronährstoffe (Fe, Mn, Zn, Cu).....	87
4.5.1.3. Potentiell nützliche Elemente (Al, Na, Ni, Co).....	91
4.5.1.4. Toxisch wirkende Schwermetalle ohne Nährelementfunktion (Pb, Cd, Cr)....	93
4.5.2. Vitalitätsentwicklung.....	94
4.5.2.1. Standorteinfluss.....	97
4.5.2.2. Vergleich Nullvariante – Gesamtdurchschnitt	99
4.5.3. Wachstumsentwicklung	100
4.5.3.1. Standorteinfluss.....	102
4.5.3.2. Vergleich Nullvariante – Gesamtdurchschnitt	104
 4.6. Effekte der Behandlungsvarianten auf die Pflanzenentwicklung.....	105
4.6.1. Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung	105
4.6.1.1. Rot-Eiche.....	105
4.6.1.2. Spitz-Ahorn.....	116
4.6.1.3. Eberesche.....	130
4.6.1.4. Schwarz-Erle	140
4.6.1.5. Douglasie.....	153
4.6.1.6. Wald-Kiefer.....	169
4.6.2. Vitalitätsentwicklung.....	180
4.6.2.1. Rot-Eiche.....	180
4.6.2.2. Spitz-Ahorn.....	182
4.6.2.3. Eberesche.....	191
4.6.2.4. Schwarz-Erle	195
4.6.2.5. Douglasie.....	200
4.6.2.6. Wald-Kiefer.....	207
4.6.3. Wachstumsentwicklung	210
4.6.3.1. Zuwachsentwicklung im Versuchsverlauf	210
4.6.3.2. Spitz-Ahorn.....	212
4.6.3.3. Eberesche.....	215
4.6.3.4. Douglasie.....	216
4.6.3.5. Wald-Kiefer.....	223

4.7. Einfluss des Standortes auf einer der drei Versuchsflächen	227
4.7.1 Vitalitätsentwicklung	227
4.7.1.1 Rot-Eiche.....	227
4.7.1.2 Spitz-Ahorn.....	230
4.7.1.3 Eberesche	233
4.7.1.4 Schwarz-Erle.....	236
4.7.1.5 Douglasie	240
4.7.1.6 Wald-Kiefer.....	242
4.7.2 Wachstumsentwicklung.....	245
4.7.2.1 Spitz-Ahorn.....	245
4.7.2.2 Eberesche	246
4.7.2.3 Schwarz-Erle.....	248
4.7.2.4 Douglasie	251
4.7.2.5 Wald-Kiefer.....	255
 4.8 Einfluss des Standortes in Bereichen mit oder ohne Spontanvegetation	257
4.8.1 Vitalitätsentwicklung	257
4.8.1.1 Rot-Eiche.....	257
4.8.1.2 Spitz-Ahorn.....	260
4.8.1.3 Eberesche	262
4.8.1.4 Schwarz-Erle.....	264
4.8.1.5 Douglasie	267
4.8.1.6 Wald-Kiefer.....	269
4.8.2 Wachstumsentwicklung.....	272
4.8.2.1 Spitz-Ahorn.....	272
4.8.2.2 Eberesche	275
4.8.2.3 Schwarz-Erle.....	279
4.8.2.4 Douglasie	284
4.8.2.5 Wald-Kiefer.....	286
 5 Mykorrhizierung im Freiland- und Topf-Versuch	289
 6 Wurzelentwicklung im Topf-Versuch	290

7	Zusammenfassung Pflanzen.....	292
7.1	Einfluss des Standortes auf einer der drei Versuchsflächen.....	292
7.2	Einfluss des Standortes mit oder ohne Spontanvegetation.....	297
7.3	Rot-Eiche.....	299
7.3.1	Unbehandelte Kontrollen.....	299
7.3.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	301
7.4	Spitz-Ahorn.....	301
7.4.1	Unbehandelte Kontrollen.....	302
7.4.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	304
7.5	Eberesche	307
7.5.1	Unbehandelte Kontrollen.....	308
7.5.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	310
7.6	Schwarz-Erle.....	312
7.6.1	Unbehandelte Kontrollen.....	313
7.6.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	315
7.7	Douglasie	317
7.7.1	Unbehandelte Kontrollen.....	318
7.7.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	319
7.8	Wald-Kiefer.....	322
7.8.1	Unbehandelte Kontrollen.....	323
7.8.2	Effekte der Behandlungsvarianten.....	325
VI.	Diskussion.....	329
1.	Methodik.....	330
1.1.	Versuchsdesign	330
1.2.	Untersuchungsmethodik.....	331
2.	Bewertungen von Element-Gehalten in Assimilationsorganen in der Literatur.....	333
3.	Standortproblematik.....	338
3.1.	Klimatische Standortbedingungen	338
3.2.	Physikalische Standortbedingungen.....	338
3.3.	Chemische Standortbedingungen	340
3.3.1.	Pyrit-Oxidation und Versauerung	341
3.3.2.	Schwefelbelastung	342
3.3.3.	Aluminium- und Mangantoxizität.....	342

3.3.4. Schwermetallbelastung.....	344
3.3.5. Nährstoffverfügbarkeit.....	345
3.3.6. Hohe Magnesium-Gehalte	347
3.4. Kleinräumige Standortheterogenität	348
3.5. Mykorrhiza.....	350
 4. Wirkung von Bodenhilfsstoffen.....	354
4.1. Zur Verbesserung der Bodenphysik: Perlit, Wasserspeichersubstanzen	354
4.2. Zur Verbesserung der Bodenchemie: Kalk	358
4.3. Zur Verbesserung der Bodenphysik und -chemie: Kompost.....	360
4.4. Zur Verbesserung der Bodenbiologie: Mykorrhiza-Inokulum	361
 5. Eignung von Baumarten.....	364
5.1. Rot-Eiche	365
5.2. Spitz-Ahorn	366
5.3. Eberesche.....	368
5.4. Schwarz-Erle.....	369
5.5. Douglasie.....	371
5.6. Wald-Kiefer	372
 VII. Fazit & Empfehlung	377
1. Standortproblematik	377
2. Bodenhilfsstoffe	378
3. Baumarten.....	380
4. Empfehlung für die Praxis	382
 VIII. Zusammenfassung	383
 IX. Literaturverzeichnis.....	385
 X. Abbildungsverzeichnis.....	401
Im Anhang	416
 XI. Tabellenverzeichnis	417
Im Anhang	427

INHALTSVERZEICHNIS

XII.	Anhang	I
1.	Quellen zur Bewertung der Schwermetallgehalte im Boden	I
2.	Quellen zur Bewertung der Elementgehalte in den Assimilationsorganen	II
3.	Überlebensraten nach Standort, Vitalität der Kontrollen im Versuchsverlauf nach Standort, Wachstumswerte der Kontrollen und Gesamtmittel, Zuwachsentwicklung der Varianten im Versuchsverlauf.....	VII
4.	Versorgung und Belastung der Rot-Eiche	XIV
5.	Versorgung und Belastung des Spitz-Ahorns.....	XVII
6.	Versorgung und Belastung der Eberesche	XXI
7.	Versorgung und Belastung der Schwarz-Erle	XXIV
8.	Versorgung und Belastung der Douglasie	XXVII
9.	Versorgung und Belastung der Kiefer	XXX
10.	Photos der Vitalitätsstufen „2“, „3“ und „4“	XXXII
XIII.	Werdegang der Verfasserin	XXXV