

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

I.	Einleitung	1
1.	Problematik von Tagebaufolgeflächen	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.	Versuchsflächen	17
1.2.	Baumarten und Pflanzenmaterial	17
1.3.	Bodenhilfsstoffe	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.	Bodenhilfsstoff-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 Wachstumsparametern	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.	Phosphor-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

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

XII.	Anhang	I
1.	Quellen zur Bewertung der Schwermetallgehalte im Boden „2“	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