

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5
Abstract	7
Inhaltsverzeichnis	11
Abbildungsverzeichnis	15
Tabellenverzeichnis	17
1 Einleitung	19
2 Versuchsaufbau und Pflanzenmaterial	27
2.1 Die Mikrokosmos-Systeme	27
2.1.1 Aufbau der Mikrokosmos-Systeme	28
2.1.2 Expositions-kammern der Mikrokosmos-Systeme	28
2.1.3 Mikroklima in den Expositions-kammern	28
2.1.4 CO ₂ -Konzentration in den Expositions-kammern	31
2.1.5 Boden	32
2.2 Pflanzenmaterial	32
2.2.1 Die juvenilen <i>Quercus robur</i> -Bestände	32
2.2.2 Der adulte Bestand im Grunewald	32
3 Gaswechsel auf Blattebene	35
3.1 Einleitung	35
3.1.1 Photosynthese	36
3.1.2 Stomatäre Leitfähigkeit	39
3.2 Material und Methode	40
3.2.1 Aufbau des Gaswechselmesssystems (CMS-400)	40
3.2.2 Durchführung der Gaswechselmessungen	42
3.2.2.1 A_n/c_i -Kurven	43
3.2.2.2 $A_n/PPFD$ -Kurven	44
3.2.2.3 Temperaturabhängigkeit der Nettophotosynthese	44
3.2.2.4 Stomatäre Leitfähigkeit	44
3.2.2.5 Temperaturabhängigkeit der Blattatmung	44
3.2.2.6 Stammatmung	45
3.2.3 Berechnung des Gaswechsels	45
3.2.3.1 CO ₂ - und H ₂ O-Differenzwerte	45
3.2.3.2 Molare Flussrate	47

3.2.3.3	Photosyntheserate	47
3.2.3.4	Transpirationsrate	48
3.2.3.5	Stomatäre Leitfähigkeit	49
3.2.3.6	Interzelluläre CO ₂ -Konzentration	50
3.2.3.7	Sättigungsdampfdruck und Wasserdampfdruckdefizit	50
3.2.3.8	Relative Luftfeuchtigkeit und Taupunkttemperatur	51
3.2.4	Das Gaswechselmodell	51
3.2.4.1	Photosynthese	51
3.2.4.2	Temperaturabhängigkeit der Photosynthese	53
3.2.4.3	Stomatäre Leitfähigkeit	54
3.2.4.4	Temperaturabhängigkeit der Blattatmung	55
3.2.5	Statistische Auswertung	55
3.2.5.1	A_n/c_i -Kurven	55
3.2.5.2	$A_n/PPFD$ -Kurven	57
3.2.5.3	Temperaturabhängigkeit	57
3.2.5.4	Stomatäre Leitfähigkeit	58
3.2.5.5	Test-Verfahren	59
3.2.6	Blattanalysen	59
3.2.6.1	Bestimmung der Blattfläche	59
3.2.6.2	Bestimmung des LMA	60
3.2.6.3	Bestimmung der C- und N- Konzentration	60
3.3	Ergebnisse	60
3.3.1	Nettophotosynthese	60
3.3.1.1	CO ₂ -Abhängigkeit der Nettophotosynthese	61
3.3.1.2	A_n/c_i -Kurven	63
3.3.1.3	Strahlungsabhängigkeit der Nettophotosynthese	69
3.3.1.4	$A_n/PPFD$ -Kurven	73
3.3.1.5	Temperaturabhängigkeit der Nettophotosynthese	76
3.3.1.6	Temperaturabhängigkeit der Photosyntheseparameter	78
3.3.1.7	Stickstoffabhängigkeit der Photosyntheseparameter	81
3.3.1.8	Stickstoffabhängigkeit der Elektronennutzungseffizienz	87
3.3.2	Stomatäre Leitfähigkeit	87
3.3.2.1	CO ₂ -Abhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit	88
3.3.2.2	Strahlungsabhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit	91
3.3.2.3	Stickstoffabhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit	94
3.3.2.4	Das Jarvis-Modell	95
3.3.2.5	Das Ball-Berry-Modell	102
3.3.2.6	Stickstoffabhängigkeit der Ball-Berry-Parameter	104
3.3.3	Atmung	105
3.3.3.1	Blattatmung im Dunkeln	105
3.3.3.2	Blattatmung bei Licht	105
3.3.3.3	Stammatmung	107
3.3.4	Zeitliche Veränderungen der Gaswechselparameter	108
3.4	Diskussion	111
3.4.1	Die Methode der Analyse von A_n/c_i -Kurven	111
3.4.2	Akklimation der Nettophotosynthese	112
3.4.3	Lichtabhängigkeit der Nettophotosynthese	116
3.4.4	Temperaturabhängigkeit der Nettophotosynthese	118

3.4.5	Stickstoffabhängigkeit der Nettophotosynthese	120
3.4.6	Stomatäre Leitfähigkeit	122
4	Wachstum und Bestandesstruktur	127
4.1	Einleitung	127
4.2	Material und Methoden	129
4.2.1	Bestandesstruktur der juvenilen Eichenbestände	129
4.2.1.1	Ernte der Biomasse	129
4.2.1.2	Wachstumsparameter	131
4.2.1.3	Blattflächenindex	131
4.2.1.4	Blattachsenwinkel	132
4.2.2	Strahlungsprofile	132
4.3	Ergebnisse	132
4.3.1	Wachstum der juvenilen Eichenbestände	132
4.3.2	Biomassenzunahme	136
4.3.3	Bestandesstruktur	138
4.3.3.1	Vertikale Blattflächenverteilung	138
4.3.3.2	Vertikale Kronenraumprofile des LMA	141
4.3.3.3	Vertikale Kronenraumprofile des Blattstickstoffs	143
4.3.3.4	Strahlungsprofile	144
4.3.3.5	Abhängigkeit der Strahlung vom kumulativen LAI	145
4.3.3.6	Abhängigkeit des LMA von der Strahlung	146
4.3.3.7	Abhängigkeit des Blattstickstoffgehalts von der Strahlung	148
4.3.3.8	Blattstickstoff und LMA	148
4.3.3.9	Vertikale Kronenraumprofile der Photosyntheseparameter	150
4.4	Diskussion	152
4.4.1	Wachstum	152
4.4.2	Bestandesstruktur	154
5	Bestandesgaswechsel und Modellierung	159
5.1	Einleitung	159
5.2	Methode	161
5.2.1	CO ₂ -Gaswechsel der Modellökosysteme	161
5.2.2	Wasserhaushalt der Modellökosysteme	162
5.2.3	Bestandesmodell FORSTFLUX	164
5.3	Ergebnisse	167
5.3.1	CO ₂ -Gaswechsel	167
5.3.2	Evapotranspiration der Modellökosysteme	175
5.3.3	Modellierung des Bestandesgaswechsels	181
5.3.3.1	Modellierter CO ₂ -Gaswechsel	182
5.3.3.2	Modellierte Evapotranspiration	188
5.3.3.3	Vergleich der verschiedenen Modelle der Blattleitfähigkeit	192
5.3.3.4	Einfluss der Bestandesstruktur auf den Bestandesgaswechsel	194
5.3.3.5	Simulationsläufe unter veränderten Klimabedingungen	197
5.4	Diskussion	202
5.4.1	Gemessener Bestandesgaswechsel	202
5.4.2	Modellierung des Bestandesgaswechsels	204
5.4.3	Auswirkung veränderter Bestandesstruktur	205

5.4.4 Temperatureffekte auf den Bestandesgaswechsel 206

6 Zusammenfassung 209

7 Summary 213

Literaturverzeichnis 217

A Abkürzungsverzeichnis 241

B Modellparameter und Modellergebnisse 245

Abbildungsverzeichnis

2.1	Mikrokosmos-Systeme mit juvenilen <i>Quercus robur</i> -Beständen	29
2.2	Mikroklima in den Expositions-kammern im Juli 1997	30
2.3	Bodenwassergehalt im Juli und August 1997	31
2.4	Juvenile <i>Quercus robur</i> -Bestände im ersten Versuchsjahr	33
3.1	Blockschaltbild zur Funktionsweise des Gaswechsellmesssystems CMS-400 . . .	41
3.2	Gaswechsellmessung im adulten Bestand	42
3.3	Abweichungen der Leermessung vom Nullpunkt	46
3.4	Kalibriergerade der Gasmischanlage	47
3.5	A_n/c_i -Kurve mit den beiden Teilfunktionen der Nettophotosynthese	64
3.6	A_n/c_i -Kurven gemessen in 1996, 1997 und 1998	65
3.7	Gegenüberstellung der Photosyntheseparameter V_{cmax} und J_{max}	67
3.8	V_{cmax} und J_{max} bei unterschiedlichen kinetischen Eigenschaften der RuBisCO .	68
3.9	$A_n/PPFD$ -Kurve ausgewertet nach Smith und Farquhar	69
3.10	CO ₂ -Abhängigkeit des Lichtkompensationspunktes und der Quantenausbeute . .	70
3.11	$A_n/PPFD$ -Kurven bei verschiedenen CO ₂ -Konzentrationen	72
3.12	$A_n/PPFD$ -Kurven gemessen in 1997 und 1998	74
3.13	J_{max} aus den beiden Lichtmodellen vs. J_{max} aus den A_n/c_i -Kurven.	75
3.14	Temperaturabhängigkeit von A_n	77
3.15	Verschiebung des Temperaturoptimums der Nettophotosynthese	78
3.16	Temperaturabhängigkeit der Photosyntheseparameter	81
3.17	Abhängigkeit der Photosyntheseparameter vom Blattstickstoffgehalt	82
3.18	Abhängigkeit der Photosyntheseparameter von der Blattstickstoffkonzentration .	83
3.19	Abhängigkeit der Photosyntheseparameter vom LMA	86
3.20	Stickstoffabhängigkeit der Elektronennutzungseffizienz	87
3.21	CO ₂ -Abhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit	89
3.22	Strahlungsabhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit	92
3.23	Strahlungsabhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit bei verschiedenen g_s . . .	93
3.24	Stickstoffabhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit bei verschiedenen g_s . . .	94
3.25	Jarvis-Modell im Bestand juv350: g_s vs. $PPFD$ und c_a	96
3.26	Jarvis-Modell im Bestand juv350: g_s vs. c_a und N_a	97
3.27	Jarvis-Modell im Bestand juv350: g_s vs. N_a und $PPFD$	98
3.28	Jarvis-Modell im Bestand juv700: g_s vs. $PPFD$ und c_a	99
3.29	Jarvis-Modell im Bestand juv700: g_s vs. c_a und N_a	100
3.30	Jarvis-Modell im Bestand juv700: g_s vs. N_a und $PPFD$	101
3.32	Abhängigkeit der Steigung des Ball-Berry-Modells von A_n	102
3.31	Abhängigkeit der stomatären Leitfähigkeit vom Ball-Berry-Koeffizienten	103
3.33	Stickstoffabhängigkeit der Steigung des Ball-Berry-Modells	105

3.34	Temperaturabhängigkeit der Blattatmung	106
3.35	Abhängigkeit der Blattatmung vom Blattstickstoffgehalt und vom <i>LMA</i>	106
3.36	Stammatmung in Abhängigkeit vom basalen Stammdurchmesser	107
3.37	Zeitliche Veränderung von V_{cmax} , J_{max} , N_a , <i>LMA</i> und g_1	109
3.38	Prozentuale Veränderungen von N_a , V_{cmax} , J_{max} , R_i , <i>LMA</i> und g_1	110
4.1	Zunahme des basalen Stammdurchmessers der einzelnen Eichensämlinge	133
4.2	Zunahme der Stammhöhe der einzelnen Eichensämlinge	134
4.3	Wachstum von <i>Quercus robur</i> in den Beständen juv350 und juv700	135
4.4	Vertikale Blattflächenverteilung	139
4.5	Vertikale Kronenraumprofile des <i>LAI</i>	139
4.6	Vertikale Kronenraumprofile des <i>LMA</i>	142
4.7	Abhängigkeit des <i>LMA</i> vom kumulativen Blattflächenindex	142
4.8	Vertikale Kronenraumprofile von N_a und N_m	143
4.9	Blattstickstoffgehalt in Abhängigkeit des kumulativen Blattflächenindex	144
4.10	Vertikale Kronenraumprofile der Strahlung	145
4.11	Strahlung in Abhängigkeit des kumulativen Blattflächenindex	146
4.12	Strahlungsabhängigkeit des <i>LMA</i>	147
4.13	Strahlungsabhängigkeit des Blattstickstoffgehalts	147
4.14	Blattstickstoffgehalt in Beziehung zum <i>LMA</i>	149
4.15	Vertikale Kronenraumprofile von V_{cmax} - und J_{max}	151
4.16	Strahlungsabhängigkeit von V_{cmax} - und J_{max}	151
5.1	Kalibrierung des Kippwaagensystems zur Bestimmung der Kondensatmengen	164
5.2	Übersichtsdiagramm des Bestandesmodells FORSTFLUX	166
5.3	Tagesgänge des CO_2 -Gaswechsels	169
5.4	Jahresverlauf des CO_2 -Gaswechsels	170
5.5	Licht- und Temperaturabhängigkeit des CO_2 -Gaswechsels	173
5.6	Temperaturabhängigkeit des maximalen <i>NEF</i> und des Lichtkompensationspkt.	174
5.7	Tagesgänge der Evapotranspiration der juvenilen Eichenbestände	176
5.8	Jahresverlauf der Evapotranspiration	177
5.9	Licht- und Temperaturabhängigkeit der Evapotranspiration	180
5.10	Wassernutzungseffizienz der juvenilen Eichenbestände	181
5.11	Tagesgänge des gemessenen und modellierten CO_2 -Gaswechsels im Juli 1997	183
5.12	Vergleich des gemessenen und modellierten CO_2 -Gaswechsels im Juli 1997	183
5.13	Jahresverlauf des gemessenen und modellierten CO_2 -Gaswechsels	185
5.14	Vergleich des gemessenen und modellierten CO_2 -Gaswechsels in 1997 und 1998	186
5.15	Jahresverlauf der modellierten Bestandesnettophotosynthese und -respiration	187
5.16	Tagesgänge der gemessenen und modellierten Evapotranspiration im Juli 1997	189
5.17	Vergleich der gemessenen und modellierten Evapotranspiration im Juli 1997	189
5.18	Jahresverlauf der gemessenen und modellierten Evapotranspiration	190
5.19	Vergleich der gemessenen und modellierten Evapotranspiration in 1997 und 1998	191
5.20	Jahresverlauf des CO_2 -Gaswechsels bei verschiedenen Temperaturstufen	199
5.21	Jahresverlauf der Bestandesphotosynthese und -respiration bei erhöhter Temp.	200
5.22	Jahresverlauf der Evapotranspiration bei verschiedenen Temperaturstufen	201

Tabellenverzeichnis

3.1	Aufstellung und Zeitrahmen der durchgeführten Gaswechsellmessungen	43
3.2	Kinetische Eigenschaften der RuBisCO	56
3.3	Nettophotosyntheseraten und der CO ₂ -bedingte Anstieg $dA_{n700:350}$	62
3.4	Differenzen der Nettophotosyntheseraten A_{n350} und A_{n700}	62
3.5	Die physiologischen Parameter der Photosynthese: V_{cmax} , J_{max} und R_i	66
3.6	Differenzen der Parameter V_{cmax} und J_{max}	66
3.7	Statistische Analyse der V_{cmax}/J_{max} Beziehungen	68
3.8	Lichtkompensationspunkte und Quantenausbeute	71
3.9	Parameter der Lichtabhängigkeit der Photosynthese	75
3.10	Parameter der Temperaturabhängigkeit von V_{cmax}	79
3.11	Parameter der Temperaturabhängigkeit von J_{max}	80
3.12	Regressionsergebnisse der N_a -Abhängigkeiten von V_{cmax} und J_{max}	84
3.13	Statistische Analyse der N_a -Abhängigkeiten von V_{cmax} und J_{max}	85
3.14	Blattstickstoff bezogen auf Blattmasse und Blattfläche	85
3.15	Stomatäre Leitfähigkeit bei 350 und 700 $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{CO}_2$	90
3.16	Die prozentualen Unterschiede der stomatären Leitfähigkeit	90
3.17	Interzelluläre CO ₂ -Konzentrationen bei 350 und 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$	91
3.18	Regressionsergebnisse des Jarvis-Modells	102
3.19	Parameter des Ball-Berry Modells und der nach Leuning modifizierten Version	104
3.20	Stammatmungsraten bezogen auf die Trockenmasse	108
4.1	Aufstellung und Zeitrahmen der durchgeführten Messungen an den Beständen	130
4.2	Biomassenakkumulation der Pflanzenorgane	137
4.3	Biomassezunahme (gesamt) der beiden juvenilen Bestände	137
4.4	Blattstickstoffgehalt, $LM A$ und Blattflächenindex in den Kronenschichten	140
4.5	Regressionsergebnisse der $N_a/LM A$ -Beziehung	149
4.6	Statistische Analyse der $N_a/LM A$ -Beziehungen	150
5.1	Monats- und Jahressummen des CO ₂ -Gaswechsel	168
5.2	Vergleich der gemessenen und der aus dem NEF berechneten Biomassezunahme	172
5.3	Monats- und Jahressummen des Evapotranspiration	178
5.4	Simulationsergebnisse mit unterschiedlichen Modellen der Blattleitfähigkeit	193
5.5	Auswirkungen der Bestandesstruktur auf den Bestandesgaswechsel	195
5.6	Bestandesgaswechsel bei unterschiedlichen Temperaturstufen	198
A.1	Abkürzungsverzeichnis	241
B.1	Modellparameter der Bestände juv350 und juv700	245

TABELLENVERZEICHNIS

B.3	Regressionsergebnisse des NEF_{mod}/NEF_{mes} -Vergleichs	249
B.5	Regressionsergebnisse des ET_{mod}/ET_{mes} -Vergleichs	251