III.2 Der Kohlenstoffhaushalt von Weizenpflanzen in der Interaktion erhöhter CO_2-, O_3-Konzentration und Stickstoffversorgung

III.2.1 Oberirdische Biomasse, Harvest-Index und Ertrag zur Erntereife

Dieses Kapitel gibt Antworten auf die speziellen Fragen: „Welche CO_2-Förderung der Oberirdischen Trockenmasse trat zur Erntereife auf?“ und „Blieb die Förderung des Kornertrages zur Erntereife — eine Kohlenstoffsenken-Reaktion — hinter der Wachstumsförderung zurück?“

Zur Klärung wurden an zwei Sommerweizensorten Biomasse-Ernten zur Reife durchgeführt: 1994 wurde hierfür die Sorte Nandu exponiert, 1995 die Sorte Minaret. Tabelle 3.1 stellt dar, welchen Einfluß Exposition und Stickstoffdüngung auf Oberirdische Biomasse und Ertrag hatten.

Bei der Sommerweizensorte Nandu steigerte die höchste CO_2-Stufe oberirdische Trockenmasse und Ertrag um ca. 50% in der „+Düngung“ und um ca. 40% in der „-Düngung“. Der Zuwachs des Ertrages blieb kaum hinter dem der oberirdischen Trockenmasse zurück. Während CO_2 in der „-Düngung“ die Bestockung in der gleichen Größenordnung wie die Biomasse förderte, lag die Bestockungsreaktion auf CO_2-Begasung in der „+Düngung“ niedriger. Dieses Ergebnis läßt sich interpretieren als stärkere CO_2-Förderung des Wachstums einzelner Triebe in der „+Düngung“. Der einzige Einfluß, den Ozonerhöhung auf die Parameter der Sorte Nandu in Tabelle 3.1 hatte, war eine Förderung der Bestockungstriebe. Die N-Versorgung der „+Düngung“ förderte alle Parameter höchstsignifikant mit Ausnahme der Bestockung (einfach signifikant). Die Düngung war damit 1994 die einzige Behandlung, die auf den Harvest-Index Einfluß nahm. Bei der Sommerweizensorte Nandu trat keine Reduktion des Wachstums durch Ozon auf.

Die Sorte Minaret zeigte 1995 in der „+Düngung“ eine CO_2-Förderung von oberirdischer Biomasse und Ertrag um ca. 50%, vergleichbar derjenigen für die Sorte Nandu im Jahr zuvor. Die Förderung in der „-Düngung“ fiel mit 30% schwächer aus als bei Nandu. Weil die Reaktion auf Düngung je nach CO_2-Konzentration unterschiedlich ablief, ergab die Varianzanalyse hochsignifikante Interaktionen CO_2 x Düngung. Auch bei dieser Sorte blieb der Zuwachs des Ertrages nicht hinter dem der oberirdischen Trockenmasse zurück. Ozonbegasung führte nur in der Behandlung A320-NF1,5; +Düngung zu deutlich reduzierter Trockenmasse und reduziertem Ertrag. CO_2-Exposition nahm auf die Bestockung weniger Einfluß als bei der Sorte Nandu; dies bedeutet, daß das stärkere Wachstum einzelner Triebe einen größeren Beitrag zur

CO_2-Wachstumsförderung geleistet hat. Die Bestockung stand stärker unter dem Einfluß von Ozon und Düngung als unter dem von CO_2. Die höchste CO_2-Stufe förderte in der „+Düngung“ die Bestockung nur, wenn sie nicht mit Ozonbegasung kombiniert war. Der Harvest-Index war durch die Behandlungen nicht verändert. Eine Ausnahme stellte die Behandlung A160-NF; +Düngung dar: Hier war der Harvest-Index erniedrigt. Dieses Ergebnis ist verantwortlich für den hochsignifikanten CO_2-Einfluß der Varianzanalyse.

Nach der Beschreibung der interaktiven Wirkung von Kohlendioxid, Ozon und N-Versorgung kann nun die zweite eingangs gestellte Frage folgendermaßen beantwortet werden: Bei beiden Sorten förderte erhöhte CO_2-Konzentration Oberirdische Biomasse und Ertrag in gleichem Ausmaß; sie ließ den Harvest-Index unverändert.

1994 wurde an der Sorte Minaret ein Zusatzexperiment zum Kohlenhydrat-Gehalt der Halme durchgeführt. In diesem Jahr förderte CO_2-Begasung (A320-NF, +Düngung) die oberirdische Biomasse der Sorte Minaret um 49,7% und den Ertrag um 43,2% (vgl. Kapitel III.2.4.4).

<u>Kurzzusammenfassung:</u>

- Sortenspezifische Unterschiede in der Reaktion auf CO_2-Exposition, z.B. in der Bestokkungsreaktion, traten auf.
- Die Sorte Nandu zeigte in der höchsten CO_2-Stufe einen Zuwachs von oberirdischer Trokkenmasse und Ertrag um 50% in der +Dgg., um 40% in der -Dgg.. In der -Dgg. wurde nur die Bestockung, in der +Dgg. auch das Einzeltriebwachstum gefördert. N-Mangelversorgung reduzierte den Harvest-Index. Ozon förderte die Bestockung, führte aber nicht zu reduziertem Wachstum und Ertrag.
- Zuwächse der Sorte Minaret betrugen in der höchsten CO_2-Stufe 50 und 30% in der +Dgg. bzw. -Dgg.. Die Reaktion in den beiden Düngestufen war damit unterschiedlich genug für den varianzanalytischen Befund einer Interaktion CO_2 x Dgg.. Im Vergleich mit Nandu war der Anteil des Einzeltriebwachstums an der CO_2-Förderung stärker. Die Förderung der Bestockung in der höchsten CO_2-Stufe blieb bei Ozonbegasung aus. Dies war für Minaret der einzige signifikante Ozoneffekt auf Biomasse und Ertrag.
- Die CO_2-Förderung von Wachstum und Ertrag war identisch; der Harvest-Index verschob sich durch CO_2 nicht.

Tab. 3.1:
Wachstum und Ertrag der Sommerweizensorten Nandu im Jahr 1994 und Minaret im Jahr 1995.
Behandlungsvergleich (% Diff. = % Differenz)
Ergebnisse der 2-(3-)faktoriellen Varianzanalysen

Sorte Nandu im Jahr 1994					
Behandlung	**Dgg.**	**Oberirdische Biomasse [g/Topf]**	**Zahl der Triebe**	**Kornertrag [g/Topf]**	**Harvest-Index**
A-NF1,5	+	13,64	6,25	6,32±0,48	0,46±0,030
A-NF	+	12,46	6,00	5,72±0,98	0,46±0,016
A160-NF	+	17,38	7,75	7,90±0,63	0,45±0,022
A320-NF	+	18,73	7,63	8,41±0,69	0,45±0,018
A320-NF1,5	+	19,40	9,25	8,66±0,48	0,45±0,032
A-NF	-	10,89	5,88	4,71±0,78	0,40±0,021
A160-NF	-	13,88	7,50	5,97±0,87	0,41±0,016
A320-NF	-	15,66	8,29	6,58±0,36	0,40±0,016
Vergleich	**Dgg.**	**Oberirdische Biomasse [% Diff.]**	**Zahl der Triebe [% Diff.]**	**Kornertrag [% Diff.]**	**Harvest-Index [% Diff.]**
A-NF/A-NF1,5	+	+8	+4	+10	0
A320-NF/A320-NF1,5	+	+4	+21	+3	0
A-NF/A160-NF	+	+39	+29	+29	-2
A-NF/A320-NF	+	+50	+27	+47	-2
A-NF/A160-NF	-	+27	+28	+27	+3
A-NF/A320-NF	-	+44	+41	+40	0
Varianzanalyse: Variationsursache		**P-Werte für Oberirdische Biomasse**	**P-Werte für Zahl der Triebe**	**P-Werte für Kornertrag**	**P-Werte für Harvest-Index**
Faktor CO_2		0,000	0,000	0,000	
Faktor Dgg.		0,000	0,042	0,000	0,000
Interaktion CO_2 x Dgg.					
Faktor CO_2		0,000	0,000	0,000	
Faktor O_3			0,011		
Interaktion CO_2 x O_3					

Fortsetzung Tab. 3.1:
Wachstum und Ertrag der Sommerweizensorten Nandu im Jahr 1994 und Minaret im Jahr 1995.
Behandlungsvergleich (% Diff. = % Differenz)
Ergebnisse der 2-(3-)faktoriellen Varianzanalysen

Sorte Minaret im Jahr 1995					
Behandlung	**Dgg.**	**Oberirdische Biomasse [g/Topf]**	**Zahl der Triebe**	**Kornertrag [g/Topf]**	**Harvest-Index**
A-NF1,5	+	11,26±0,99	9,44±1,81	5,57±0,71	0,49±0,027
A-NF	+	11,81±1,41	9,69±2,36	5,61±0,75	0,48±0,025
A160-NF	+	13,60±1,43	11,00±1,75	6,11±0,73	0,45±0,028
A320-NF	+	17,80±1,05	10,75±1,65	8,60±0,56	0,48±0,017
A320-NF1,5	+	15,71±1,54	11,10±0,57	7,33±0,81	0,47±0,014
A-NF1,5	-	10,39±1,05	7, 44±2,13	5,14±0,92	0,49±0,049
A-NF	-	10,83±0,96	8,38±1,89	5,11±0,45	0,47±0,020
A160-NF	-	12,43±1,18	9,81±1,94	5,80±0,53	0,47±0,025
A320-NF	-	14,06±1,72	9,44±1,86	6,67±0,88	0,47±0,021
A320-NF1,5	-	14,39±0,90	10,00±1,05	6,84±0,38	0,48±0,013
Vergleich	**Dgg.**	**Oberirdische Biomasse [% Diff.]**	**Zahl der Triebe [% Diff.]**	**Kornertrag [% Diff.]**	**Harvest-Index [% Diff.]**
A-NF/A-NF1,5	+	-5	-3	-1	+2
A320-NF/A320-NF1,5	+	-12	+3	-15	-2
A-NF/A160-NF	+	+15	+14	+9	-6
A-NF/A320-NF	+	+51	+11	+53	0
A-NF/A-NF1,5	-	-4	-11	+1	+4
A320-NF/A320-NF1,5	-	+2	+6	+3	+2
A-NF/A160-NF	-	+15	+17	+14	0
A-NF/A320-NF	-	+30	+13	+31	0
Varianzanalyse: Variationsursache		**P-Werte für Oberirdische Biomasse**	**P-Werte für Zahl der Triebe**	**P-Werte für Kornertrag**	**P-Werte für Harvest-Index**
Faktor CO_2		0,000	0,006	0,000	0,002
Faktor Dgg.		0,000	0,001	0,000	
Interaktion CO_2 x Dgg.		0,000		0,000	
Faktor CO_2		0,000		0,000	
Faktor Dgg.		0,000	0,000	0,000	
Faktor O_3		0,009	0,000	0,049	
2-fache Interaktion		0,003 CO_2 x Dgg		0,01 CO_2 x Dgg	
		0,016 Dgg x O_3		0,01 Dgg x O_3	
3-fache Interaktion		0,028		0,019	

III.2.2 Das Wachstum der Gesamtpflanze

Das vorliegende Kapitel beantwortet die speziellen Fragen, ob das Weizen-Wachstum nur temporär durch erhöhtes CO_2 gefördert wurde und ob gleich große Pflanzen stets durch CO_2 im Wachstum gefördert wurden.

Hierzu wurde 1995 eine funktionale Wachstumsanalyse an der Sorte Minaret durchgeführt. Ernten wurden im wöchentlichen Abstand vorgenommen; empirische Modelle kamen für die Wachstumsbeschreibung der Gesamtpflanzen zur Anwendung.

Die Modellbildung für die Oberirdische Trockenmasse

An die ln-transformierten Daten der oberirdischen Trockenmasse wurden Polynome vom Grad 3 angepasst (vgl. Tabelle 3.2). Die Voraussetzungen Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen waren in allen Fällen gegeben. Es traten keine Transformationsprobleme auf. Die Anpassung an die transformierten Daten gelang sehr gut: Das niedrigste „adjusted R^2" betrug 0,968.

Tab. 3.2: Die empirischen Modelle für die Oberirdische Trockenmasse
(B = Parameter der Funktion, n = Zahl der Datenpunkte, p = Zahl der Parameter, Mallow's Cp = Stat. Maßzahl für Wahl des Polynomgrades (Cp ≤ p, Cp = Minimum), adj. R^2 = adjusted R^2, K-S = Kolmogoroff-Smirnoff-Test, Sh-W = Shapiro-Wilks-Test, Bes. = Besonderheit (s. unten))

Exposition Behandlung	Dgg.	B_0	B_1	B_2	B_3	n	p	Cp (x^2/x^3)	adj. R^2	K-S/ Sh-W	Bes.
A-NF	+	-6,31741	0,25746	-0,00250	8,01E-06	64	4	17,97	0,970		
A-NF1,5	+	-8,49280	0,34818	-0,00378	1,39E-05	23	4	15,32	0,981		①
A160-NF	+	-9,30110	0,36920	-0,00380	1,30E-05	64	4	54,18	0,987		
A320-NF	+	-8,30547	0,32508	-0,00310	9,67E-06	64	4	52,75	0,989		
A320-NF1,5	+	-7,92616	0,31246	-0,00298	9,26E-06	46	4	13,63	0,984		
A-NF	-	-6,24863	0,24701	-0,00226	6,60E-06	64	4	9,77	0,968		
A-NF1,5	-	-7,03524	0,27243	-0,00266	8,82E-06	23	4	31,18	0,991		①
A160-NF	-	-9,75452	0,39349	-0,00419	1,49E-05	63	4	78,79	0,987		②
A320-NF	-	-7,09696	0,26766	-0,00232	6,17E-06	64	4	7,77	0,979		
A320-NF1,5	-	-7,77118	0,30525	-0,00289	8,88E-06	46	4	16,87	0,988		

Besonderheiten: ① 1 Kammer, ② 1 Ausreißer

Der Einfluß von Exposition und Düngung auf die oberirdische Trockenmasse und deren Wachstumsrate

Abbildung 3.1 ist der Einfluß von CO_2-Exposition und Düngung auf die Oberirdische Trockenmasse zu entnehmen. Vom ersten Erntetermin, dem Tag 33, bis zum Tag 55 nach Aussaat befanden sich die Weizenpflanzen in ihrer exponentiellen Wachstumsphase, erkennbar am linearen Anstieg der Trockenmasse in der logarithmischen Auftragung. Danach wurde das Wachstum schwächer; spätestens ab dem Tag 90 nahm die Trockenmasse nicht weiter zu.

Deutlich wird in Abbildung 3.1 die Interaktion CO_2 x Düngung: Ein signifikanter Unterschied durch Düngung trat in der Behandlung A320-NF etwa ab dem 65. Tag nach Aussaat auf, der Unterschied in A160-NF war nicht-signifikant, unter heutiger CO_2-Konzentration war kein düngungsbedingter Unterschied feststellbar. Um die Werte des „adjusted R^2" transparent zu machen, sind in Abbildung 3.1 auch die zugrundeliegenden Datenpunkte eingezeichnet — ein Konzept, das in den weiteren Kapiteln beibehalten wird.

Die Interaktion CO_2 x Düngung führte dazu, daß die CO_2-bedingte Förderung in der Behandlung A320-NF, +Düngung wesentlich stärker ausfiel als in der „-Düngung" (vgl. Abbildungen 3.2 a,b). Überraschend war das Ergebnis, daß Weizenpflanzen offensichtlich unter heutiger CO_2-Konzentration anfangs am besten wuchsen (Abbildung 3.2 a,b). Vermutlich ist dies das Ergebnis einer früheren Keimung in A-NF; für eine detailliertere Betrachtung wird auf die Diskussion verwiesen. Signifikant erhöhte Trockenmassen durch CO_2-Begasung traten demzufolge erst ab dem 60. bis 70. Tag nach Aussaat auf.

Ozon reduzierte unter der CO_2-Konzentration von heute schon frühzeitig die Trockenmasse (siehe Abbildung 3.2 c,d). Bereits bei der ersten Biomasse-Ernte ergaben sich signifikante Unterschiede. Wie oben erwähnt, kann reduziertes Wachstum auch die Folge einer Verschiebung des Keimungszeitpunktes sein — dies gilt auch hier und wird noch entsprechend diskutiert (vgl. Kapitel IV.2.2). In der späten Ontogenie jedoch kam es zu einer Kompensation der frühen Wachstumseinbußen unter Ozoneinfluß — teilweise als Resultat einer späten Bestockungsreaktion (vgl. Ergebnisse der Organ-Ebene in Kapitel III.2.4.3; vgl. Kapitel IV.2.2). In A320-NF1,5 erniedrigte Ozon die Trockenmasse in der „+Düngung" etwa ab dem Tag 70 (nicht-signifikant) in Verbindung mit der hier nicht erfolgten Bestockungs-Reaktion (vgl. Ergebnisse der Organ-Ebene in Kapitel III.2.4.3), während in der „-Düngung" keine ozonbedingten Unterschiede festzustellen waren (Abbildung 3.2 e,f).

Wachstum von Pflanzen wird häufig in Form relativer Wachstumsraten („relative growth rate" = RGR) beschrieben. Prozentuale RGR sind definiert als prozentualer Trockenmassen-Gewinn eines Tages. Sie ergeben sich in der funktionalen Wachstumsanalyse als Ableitung der ln-transformierten Trockenmassen-Funktion. Konfidenzbänder lassen sich ebenfalls ableiten (siehe auch Kapitel III.1.1).

Abbildung 3.3 zeigt eine Auftragung relativer Wachstumsraten der Sorte Minaret für das Experiment des Untersuchungsjahres 1995. Weizenpflanzen wuchsen anfangs am stärksten.

Ihre RGR war anfangs am größten. Sie nahmen in dieser Zeit am Tag, je nach Behandlung, zwischen 12 und 17% an Masse zu. Mit zunehmendem Alter und zunehmender Größe sanken die relativen Wachstumsraten ab. Waren Pflanzen einer Behandlung „kleiner“, hatten sie auch eine größere Wachstumsrate. Dies demonstriert eindeutig den Einfluß der Trockenmasse auf die RGR (vgl. auch Diskussionskapitel IV.2.2).

Die relative Wachstumsrate wurde durch CO_2 anfangs am stärksten gefördert (Abbildung 3.3 a,b). Weil Pflanzen der Behandlung A-NF anfangs schwerer waren, ist sicherlich ein Anteil der CO_2-Förderung auf den Größenunterschied zurückzuführen. Es handelte sich jedoch nicht um eine signifikante Steigerung relativen Wachstums, da die Konfidenzbänder in der Anfangszeit am breitesten waren. In der „+Düngung“ war die CO_2-Förderung der RGR vom 40. bis zum 60. Tag nach Aussaat signifikant; in der „-Düngung“ war dies nur für die Behandlung A160-NF der Fall. In beiden Düngestufen währte die Förderung bei der höchsten CO_2-Stufe länger. Ozonwirkungen auf das relative Wachstum waren durchweg nicht-signifikant. Unter heutiger CO_2-Konzentration lag die relative Wachstumsrate in der „+Düngung“ anfangs höher; in der „-Düngung“ wuchsen die Pflanzen länger — mit positiver RGR bis zur Endernte. In A320-NF1,5 waren die relativen Wachstumsraten gegenüber A320-NF wenig verändert.

Grundsätzlich ist als Antwort auf die eingangs gestellte Frage festzuhalten, daß erhöhtes CO_2 die relative Wachstumsrate der Pflanzen temporär förderte.

Um den Beitrag zu beseitigen, den Größenunterschiede der Pflanzen zu dem Bild CO_2-bedingter RGR-Förderung beitrugen, wird in Abbildung 3.4 eine Auftragung der RGR gegen die Oberirdische Trockenmasse in Form einer „Parameterdarstellung“ vorgenommen. In dieser Abbildung wird gleichsam das Wachstum gleich großer Pflanzen verglichen. Es zeigt sich, daß die CO_2-Förderung relativen Wachstums in A320-NF bei diesem Vergleich über die gesamte Lebenszeit der Pflanzen anhielt und konstant blieb. Anders war das Verhalten der A160-NF-Variante: Hier findet man eine Abnahme der Förderung mit zunehmender Trockenmasse. Je nach Düngung und CO_2-Konzentration bewirkte Ozon eine geringfügige Veränderung des relativen Wachstums. Dabei kam es auch zu einer zeitlich begrenzten (nicht-signifikanten) Erhöhung der relativen Wachstumsrate (A-NF1,5; +Dgg./A320-NF1,5; -Dgg.).

Die Frage, ob gleichgroße Pflanzen stets eine Förderung der relativen Wachstumsrate durch CO_2 erfuhren, kann also bejaht werden; das Ausmaß der Förderung kann sich jedoch mit der Zeit verändern (A160-NF).

Die in Abbildung 3.5 dargestellten Absoluten Wachstumsraten („absolute growth rate“ = AGR) lassen sich berechnen durch Multiplikation der Relativen Wachstumsrate und der Oberirdischen Trockenmasse. Maximale absolute Wachstumsraten wurden um den Tag 60 nach Aussaat erreicht. Davor wiesen die Pflanzen trotz der hohen relativen Wachstumsrate aufgrund ihrer geringen Trockenmasse niedrigere AGR auf; später waren geringe RGR Ursache für die niedrigeren AGR.

Auffällig ist die Verdopplung der maximalen Wachstumsrate von 0,25 in A-NF, +Düngung auf 0,5 g Tag^{-1} in A320-NF, +Düngung. Die Steigerung lag in der „-Düngung“ niedriger. Erkennbar ist auch, daß die Wachstumsrate in A320-NF länger erhöht war als in A160-NF. Unter Ozoneinfluß waren Absolute Wachstumsraten meist leicht erniedrigt. Eine Ausnahme stellt die Behandlung A-NF, -Düngung nach dem 80. Tag nach Aussaat dar sowie A320-NF, -Düngung in der Anfangsphase.

<u>Kurzzusammenfassung:</u>

- In der höchsten CO_2-Stufe trat bei der Oberirdischen Trockenmasse eine Interaktion mit der Düngung auf — mit stärkerer CO_2-Förderung in der +Dgg.. Unter heutiger CO_2-Konzentration lag die Trockenmasse anfangs höher (Keimungstermin); erst ab dem 60.-70. Tag nach Aussaat wurde sie durch CO_2-Begasung signifikant erhöht. Unter verdoppelter Ozonkonzentration war die Trockenmasse in A-NF1,5 anfangs niedriger (Keimungstermin?), später erfolgte eine Kompensation (Bestockung). Ozon reduzierte die Trockenmasse in A320-NF1,5; +Dgg. gegenüber A320-NF; +Dgg. (Fehlen der Bestokkungsreaktion).
- Relative Wachstumsraten korrelierten mit der oberirdischen Trockenmasse und nahmen mit zunehmender TM ab.
- Die CO_2-Förderung des relativen Wachstums war anfangs am stärksten. Sie war nur temporär.
- Bei Vergleich gleich großer Pflanzen war die Förderung relativen Wachstums in A320-NF stets vorhanden und blieb konstant, während sie in A160-NF mit zunehmender Trockenmas-se abnahm.
- Absolute Wachstumsraten wurden in A320-NF über den gesamten Zeitraum durch CO_2 erhöht, in A160-NF nur bis Tag 80. Maximale Absolute Wachstumsraten wurden um den 60. Tag nach Aussaat erreicht. Absolute Wachstumsraten zeigten die Interaktion CO_2 x Dgg.. In A320-NF, +Dgg. betrug die maximale Wachstumsrate 0,5 g Tag^{-1} im Vergleich zu 0,25 g Tag^{-1} in A-NF.

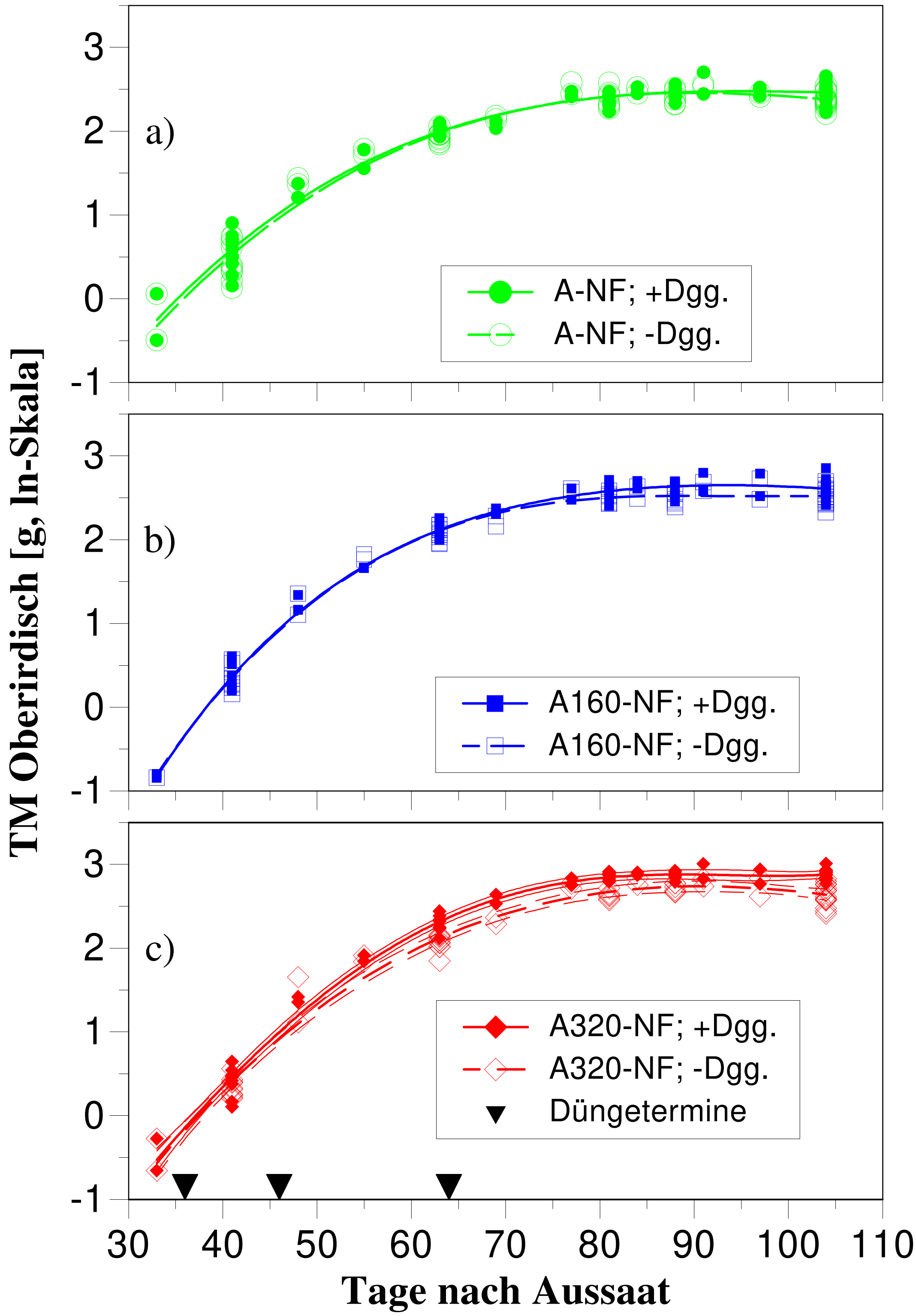

Abb. 3.1: Einfluß der Düngung auf die oberirdische Trockenmasse in den Behandlungen
a) A-NF
b) A160-NF
c) A320-NF
(Zwei Funktionen sind signifikant verschieden, wenn die sie begleitenden Konfidenzbänder einander nicht überlappen. Konfidenzbänder wurden nur bei Vorliegen von signifikanten Unterschieden eingezeichnet.)

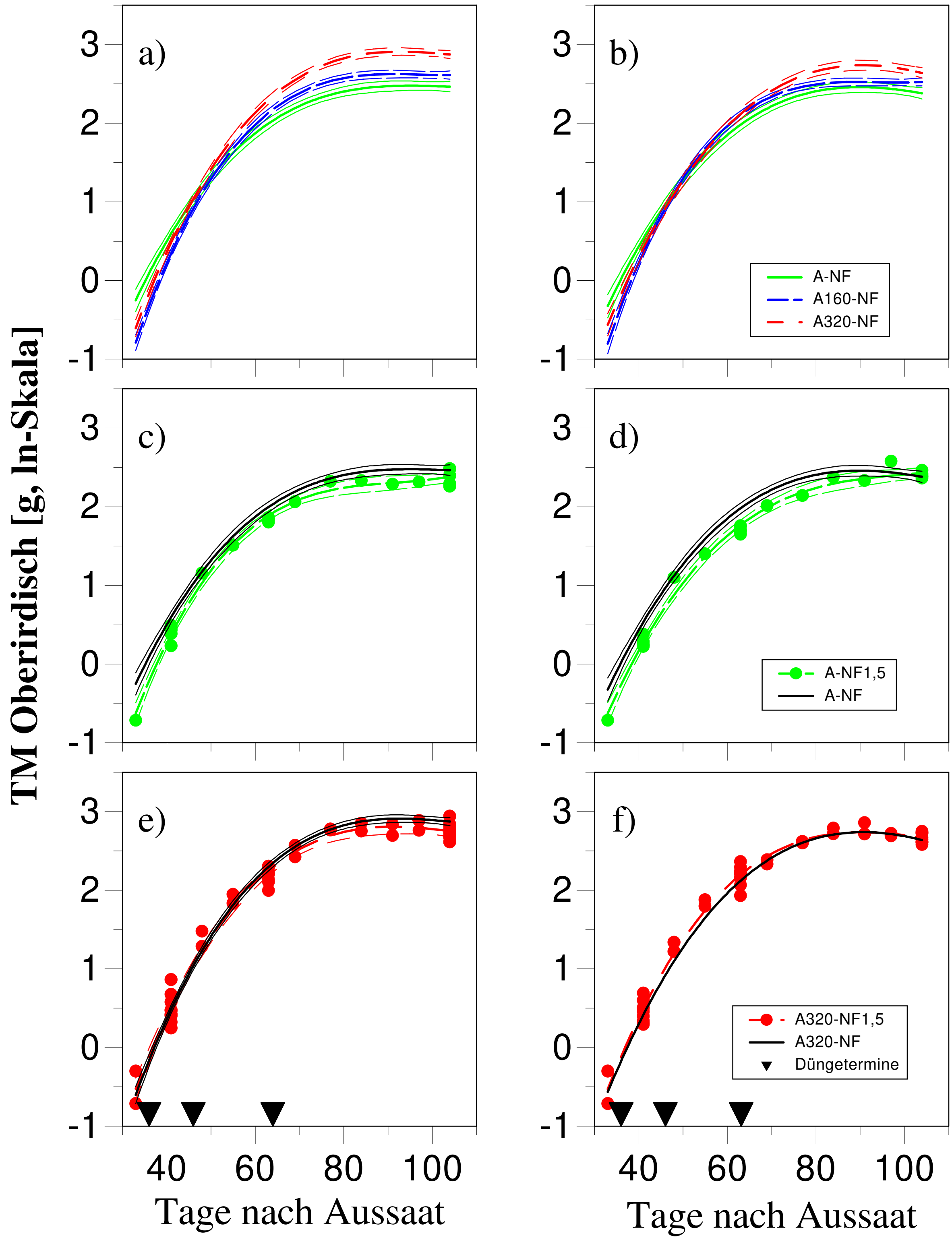

Abb. 3.2: Einfluß der CO_2- und der O_3-Konzentration auf die oberirdische Trockenmasse

a) CO_2-Einfluß (**+Dgg.**)
b) CO_2-Einfluß (**-Dgg.**)
c) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**+Dgg.**)
d) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**-Dgg.**)
e) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**+Dgg.**)
f) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**-Dgg.**)

(Zwei Funktionen sind signifikant verschieden, wenn die sie begleitenden Konfidenzbänder einander nicht überlappen. Konfidenzbänder wurden nur bei Vorliegen von signifikanten Unterschieden eingezeichnet.)

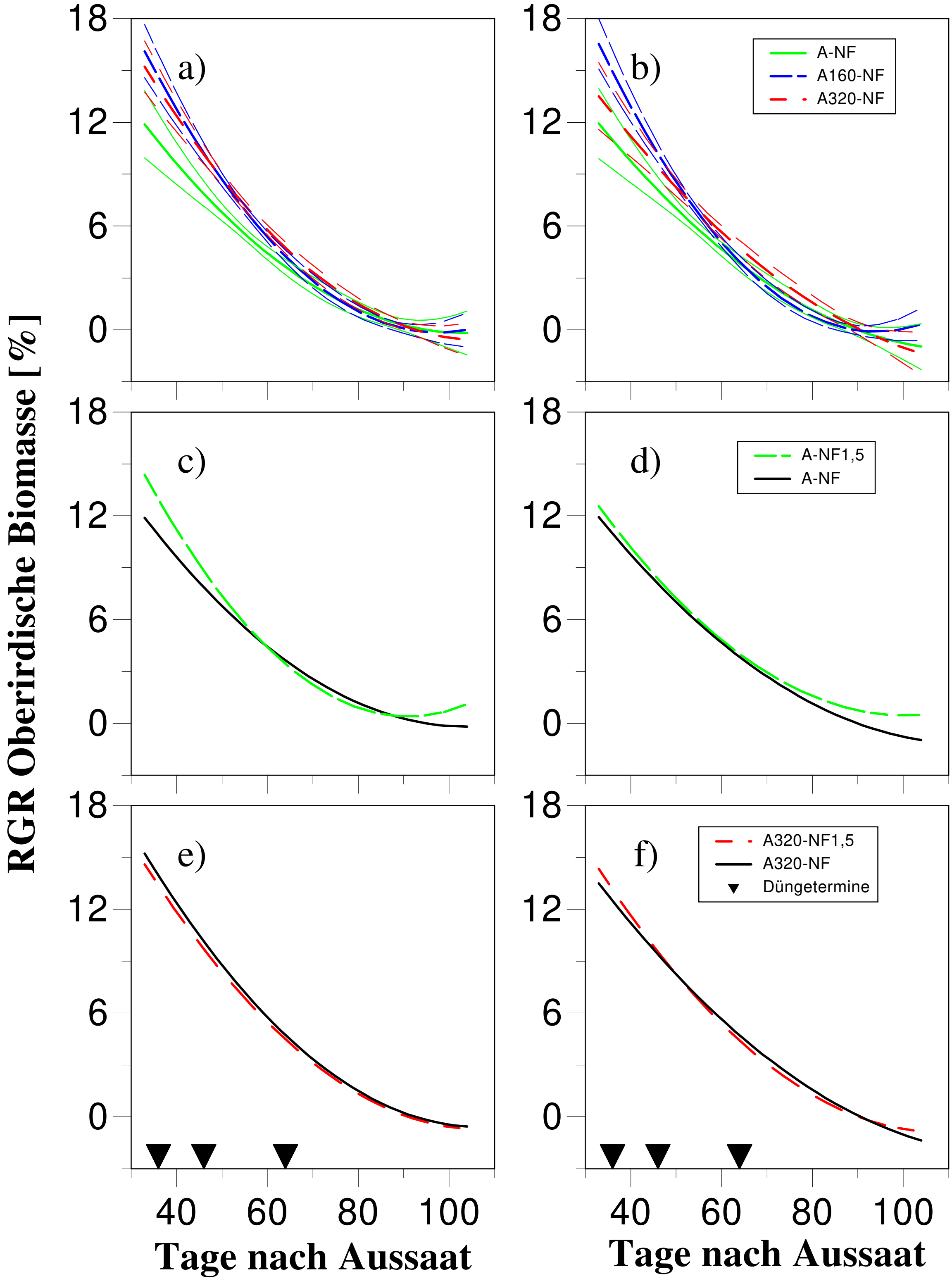

Abb. 3.3: Einfluß der CO_2- und der O_3-Konzentration auf die Relative Wachstumsrate (RGR)

a) CO_2-Einfluß (**+Dgg.**)
b) CO_2-Einfluß (**-Dgg.**)
c) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**+Dgg.**)
d) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**-Dgg.**)
e) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**+Dgg.**)
f) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**-Dgg.**)

(Zwei Funktionen sind signifikant verschieden, wenn die sie begleitenden Konfidenzbänder einander nicht überlappen. Konfidenzbänder wurden nur bei Vorliegen von signifikanten Unterschieden eingezeichnet.)

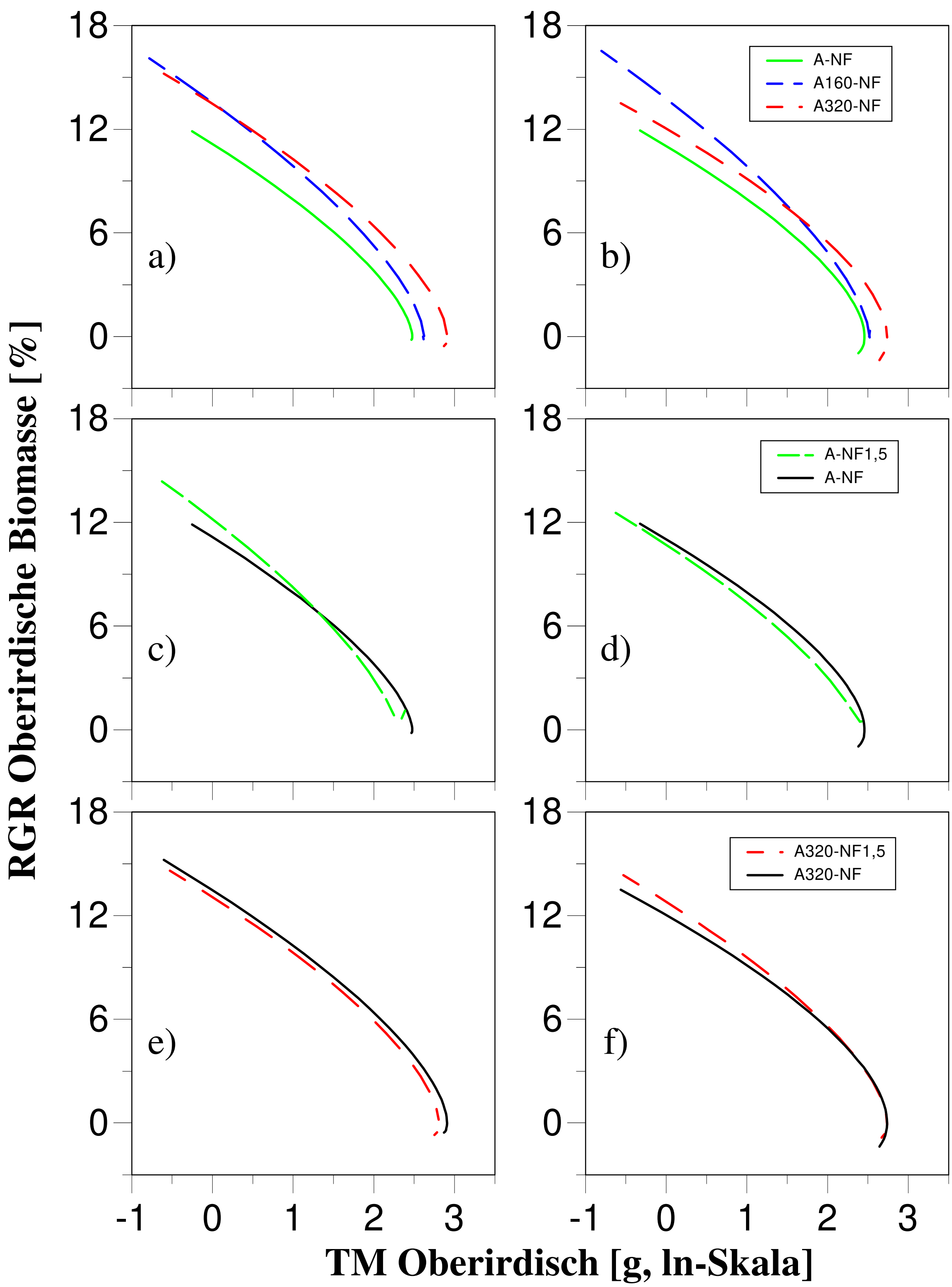

Abb. 3.4: Einfluß der CO_2- und der O_3-Konzentration auf die Relative Wachstumsrate (RGR), aufgetragen gegen die Oberirdische Trockenmasse

a) CO_2-Einfluß (**+Dgg.**)
b) CO_2-Einfluß (**-Dgg.**)
c) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**+Dgg.**)
d) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**-Dgg.**)
e) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**+Dgg.**)
f) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**-Dgg.**)

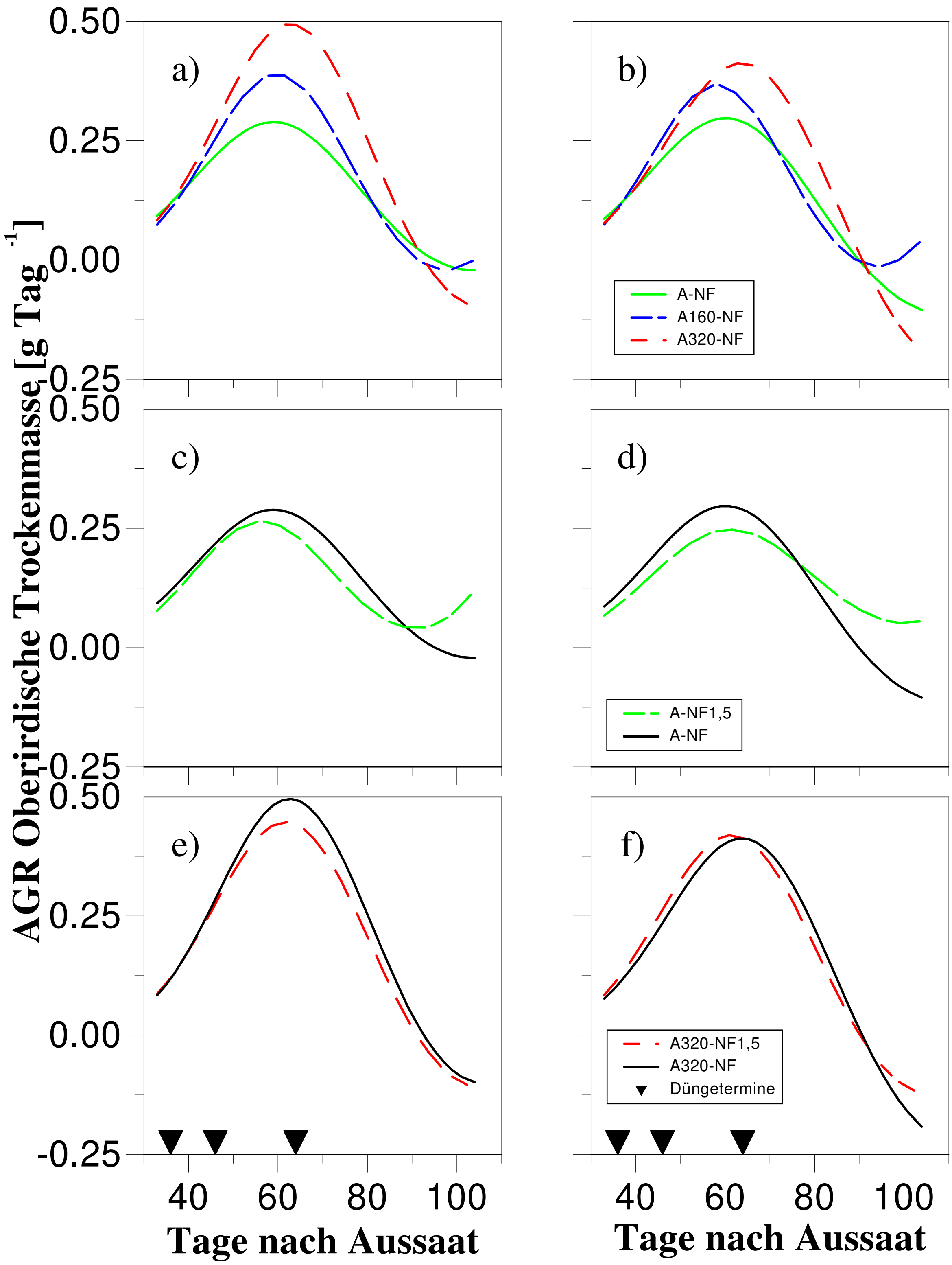

Abb. 3.5: Einfluß der CO_2- und der O_3-Konzentration auf die Absolute Wachstumsrate (AGR)
a) CO_2-Einfluß (**+Dgg.**)
b) CO_2-Einfluß (**-Dgg.**)
c) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**+Dgg.**)
d) O_3-Einfluß A-NF/A-NF1,5(**-Dgg.**)
e) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**+Dgg.**)
f) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**-Dgg.**)

III.2.3 Die Sproß:Wurzel-Allometrie

Insbesondere die Frage „Verschob sich unter erhöhtem CO_2 in Verbindung mit induziertem N-Mangel die Sproß:Wurzel-Allokation in Richtung Wurzel?“ soll in dem vorliegenden Kapitel beantwortet werden.

In diesem Kontext wurden 1995 Wurzelraum-Untersuchungen an der Sorte Minaret zu den Erntezeitpunkten 1-6 vorgenommen. Pro Kammer und Behandlung wurde im wöchentlichem Intervall je ein Topf geerntet (vgl. Kapitel II.3.1). Für die Aufklärung der allometrischen Beziehungen zwischen Sproß und Wurzel wurden die ln-transformierten Daten der oberirdischen Trockenmasse gegen die der Wurzel-Trockenmasse desselben Topfes aufgetragen. Es zeigte sich, daß in einigen Behandlungen zum Erntezeitpunkt 6 das Wurzelwachstum schon aufgehört hatte; solche Datenpunkte wurden aus der Analyse herausgenommen. Wegen des Kammerausfalls waren in A-NF1,5 nicht genügend Datenpunkte vorhanden. Mit den in Kapitel III.1.1 dargestellten Gleichungen wurde eine „reduced major axis“-Regression für die verbleibenden Behandlungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 3.3 aufgeführt sind. Die Steigung der Allometrie k, die das Verhältnis der relativen Wachstumsrate für Sproß und Wurzel angibt, zeigte behandlungsabhängig Unterschiede, die aber nicht signifikant waren, denn alle 95%-Konfidenzintervalle überlappten einander. Das Verhältnis der relativen Wachstumsraten von Sproß und Wurzel rangierte von 1,43 (A-NF) bis 2,63 (A320-NF1,5).

Tab. 3.3: Die Sproß:Wurzel-Allometrie
k = Steigung der Allometrie, 95% C.I. = 95% Konfidenzintervall, a = Achsenabschnitt der Allometrie, n = Zahl der Datenpunkte, R^2 = Maßzahl der normalen Regression, Statistik für k: Zwei signifikant verschiedene Steigungen sind durch verschiedene Buchstaben gekennzeichnet.)

Exposition Behandlung	Dgg.	k ± 95% C.I.	a	n	R^2	Statistik für k
A-NF	+	1,56 ± 1,73 (2,42 ± 1,45) [b]	2,09 (2,12) [b]	8 7 [b]	0,45 (0,73) [b]	a (a) [b]
A160-NF	+	2,39 ± 1,35	2,07	7	0,76	a
A320-NF	+	2,21 ± 0,95	1,79	8	0,82	a
A320-NF1,5	+	2,63 ± 1,01	2,12	10	0,78	a
A-NF	-	1,43 ± 0,61	1,93	8	0,82	a
A160-NF	-	2,06 ± 0,94	1,75	8	0,79	a
A320-NF	-	2,09 ± 1,13	1,62	6	0,85	a
A320-NF1,5	-	1,73 ± 0,64	1,49	7	0,90	a

b = A-NF, +Dgg. ohne Punkt A

In Abbildungen 3.6 und 3.7 werden die berechneten Geradengleichungen graphisch verglichen. Unabhängig von der CO_2-Konzentration zeigte die „-Düngung“ stets eine geringere Steigung in der Abbildung 3.6 und damit ein geringfügig stärkeres Wurzelwachstum im Vergleich zum Sproßwachstum. CO_2-Begasung führte zu einer Verschiebung des

Sproß-/Wurzelwachstums zugunsten des Sprosses (vgl. Abbildung 3.7 a,b). Ozon hatte in A320 je nach N-Versorgung verschiedene Effekte: In der „+Düngung“ wurde der Sproß im Wachstum gegenüber der Wurzel begünstigt; das umgekehrte Verhalten trat in der „-Düngung“ auf.

Problematisch ist der in den Abbildungen mit A gekennzeichnete Datenpunkt: In der Behandlung A-NF, +Düngung fand sich bei der Ernte 4 ein Topf mit einer — für die kleine Wurzeltrockenmasse — außergewöhnlich großen oberirdischen Trockenmasse. Der Datenpunkt ist unter anderem für das mit 0,45 niedrige R^2 verantwortlich und aus diesen Gründen fragwürdig. Wenn man den Datenpunkt ausklammert, würde sich das Bild wie folgt ändern: In A-NF, +Düngung stiege die Gerade steiler an (siehe Tabelle 3.3); damit ergäbe sich in A-NF ein düngungsabhängiger Unterschied mit einer Förderung der Wurzel gegenüber dem Sproß in der „-Düngung“. Nur in der „-Düngung“ bestünde dann noch ein Unterschied in der Sproß:Wurzel-Allokation durch CO_2-Begasung.

Das sich dann ergebende Bild spiegelt besser die Ergebnisse der Wurzelraumanalytik des Institutes für Agrarrelevante Klimaforschung Müncheberg wider, die zur Ernte 5 mit einer größere n Parallelenzahl (8 pro Behandlung) durchgeführt wurde. In der Müncheberger Untersuchung war A-NF die einzige Behandlung mit größerer Wurzeltrockenmasse in der „-Düngung“ (+Dgg.: 1,53g/Topf; -Dgg.: 1,69g/Topf).

Insgesamt entsprachen die Ergebnisse zur Sproß:Wurzel-Allometrie nicht den Erwartungen: Die Allokation verschob sich unter erhöhtem CO_2 nicht in Richtung Wurzel (vgl. Diskussion Kapitel IV.2.3).

<u>Kurzzusammenfassung:</u>

- Unter heutiger CO_2-Konzentration reagierten Weizenpflanzen auf N-Mangelversorgung mit einer Förderung des Wurzelwachstums relativ zum Sproßwachstum.
- Unter erhöhtem CO_2 unterschieden sich die Düngungsstufen in der Sproß:Wurzel-Allokation nur geringfügig. Im Vergleich zu A-NF,-Dgg. war das Sproßwachstum bevorzugt.
- Ozonwirkungen in A320-NF1,5 waren je nach Düngung verschieden.

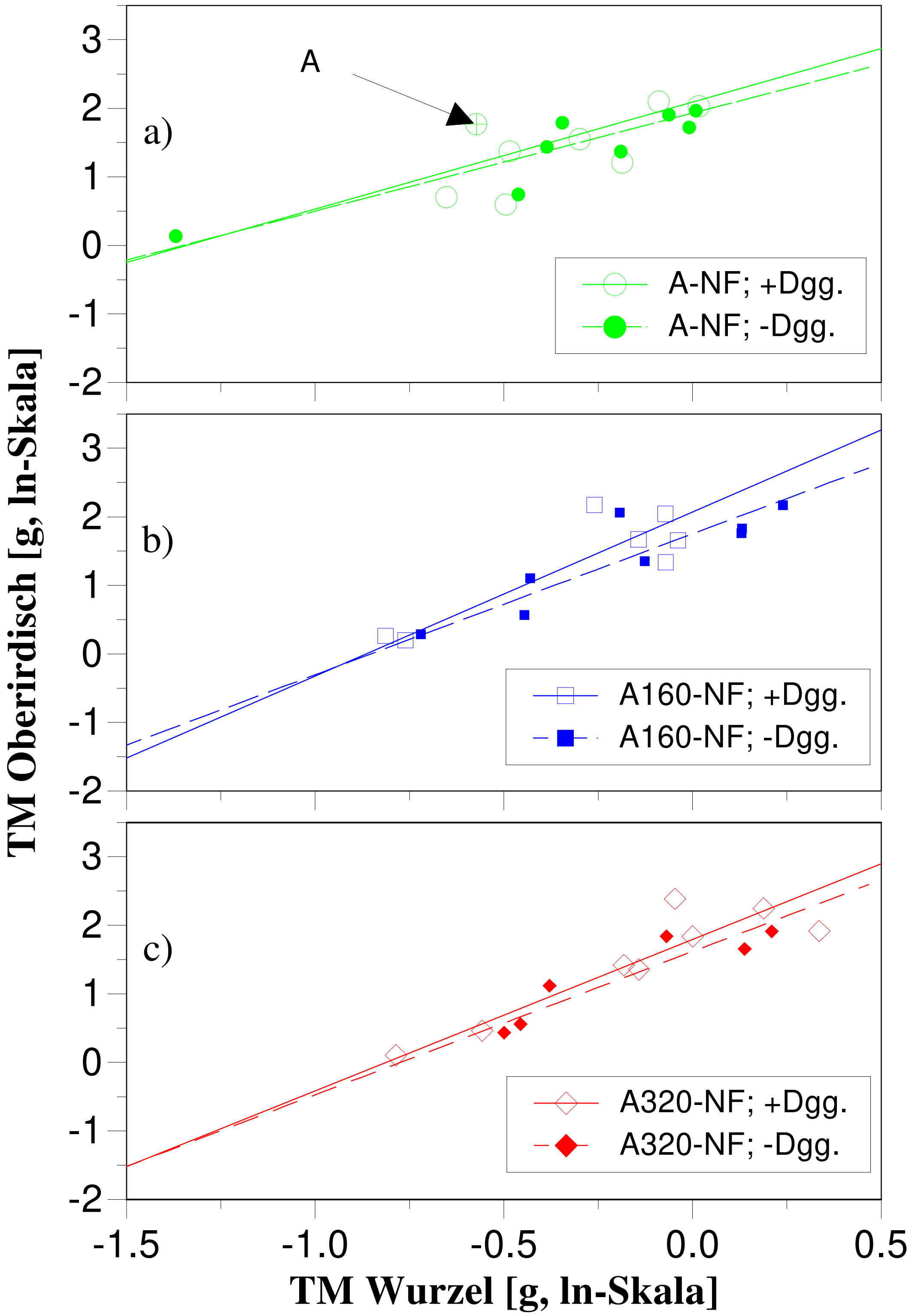

Abb. 3.6: Einfluß der Düngung auf die Sproß:Wurzel-Allometrie in den Behandlungen
a) A-NF
b) A160-NF
c) A320-NF

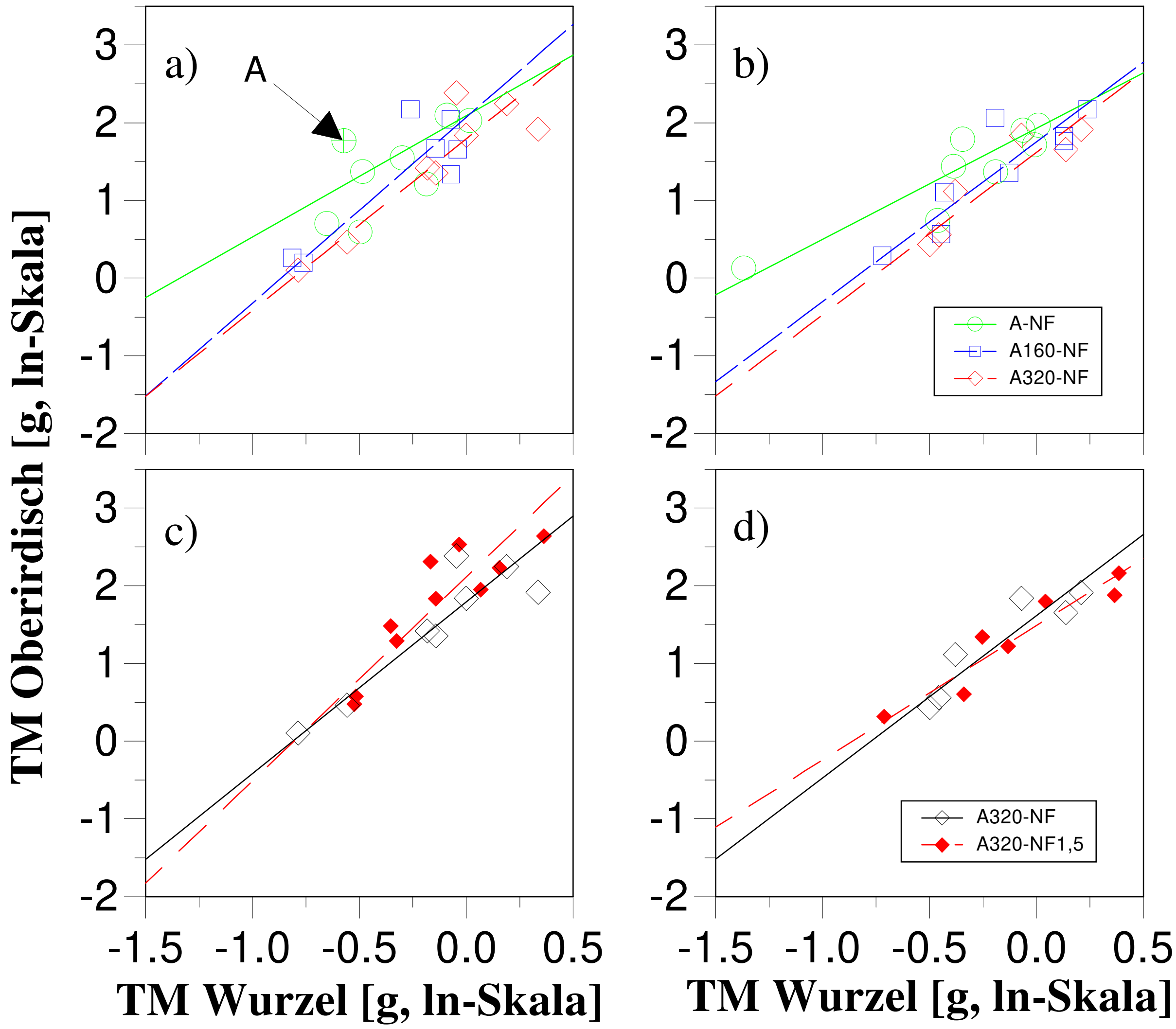

Abb. 3.7: Einfluß der CO_2- und der O_3-Konzentration auf die Sproß:Wurzel-Allometrie

a) CO_2-Einfluß (**+Dgg.**)

b) CO_2-Einfluß (**-Dgg.**)

c) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**+Dgg.**)

d) O_3-Einfluß A320-NF/A320-NF1,5(**-Dgg.**)