

Institut für Gartenbauwissenschaft
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Auswirkungen langjähriger Düngung auf Boden, Ertrag und
Fruchtqualität von Apfel auf M9 im Nachbau
unter Berücksichtigung der Nährstoffverlagerung
aus den begrünter Fahrgassen durch die Mahd**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)
der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 7. Juni 2005

von
Dipl.-Ing. agr.
Adrian Engel
aus
Rheinbach

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulserver der ULB Bonn
http://hss.uib.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Referent: Prof. Dr. F. Lenz
Korreferent: Prof. Dr. H.W. Scherer

Tag der mündlichen Prüfung: 30.09.2005
Erscheinungsjahr: 2005

D 98

weiß man, wie oft ein herz brechen kann?
wieviele sinne hat der wahn?
lohnensich gefühle?
wieviele tränen passen in einen kanal?
leben wir noch mal?
warum wacht man auf?
was heilt die zeit?

Herbert Groenemeyer
demo (letzter tag)

Unserem lieben Sohn Jakob,
der während der Anfertigung dieser Arbeit verstarb,
meinem Bruder Gustav und meiner Mutter
zum Andenken

Engel, Adrian (2005):

Auswirkungen langjähriger Düngung auf Boden, Ertrag und Fruchtqualität von Apfelbäumen auf M9 im Nachbau unter Berücksichtigung der Nährstoffverlagerung aus den begrünten Fahrgassen durch die Mahd.

Institut für Gartenbauwissenschaft, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn, 133 S.

1968 wurde an der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Institutes für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn ein Langzeitdüngungsversuch bei Apfel angelegt. Der Dauerdüngungsversuch in Klein-Altendorf gehört weltweit zu den langjährigsten Untersuchungen in diesem Bereich und ist inzwischen (2003) von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) akkreditiert. Die Versuchspflanzung dieser Untersuchung war der 3. Nachbau und bestand aus Apfelbäumen auf der Unterlage M9. Verwendet wurden die Sorten: 'Gloster', Pflanzabstand 4m x 1,8m, 'Elstar' und 'Jonagold', jeweils Pflanzabstand 3,6m x 1,5m. Die jährlichen Düngerbehandlungen waren wie folgt:

1. Kontrolle, keine Düngung
2. 1,0 t Hüttenkalk pro ha (=CaO)
3. 1,0 t CaO + 10,0 t Schweinemist pro ha
4. 1,0 t CaO + 3 x 20 kg N pro ha
5. 1,0 t CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 3 x 20 kg N pro ha
6. 1,0 t CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O pro ha
7. 1,0 t CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 20 kg N + 5 x 10 kg Harnstoff (46 % N) pro ha
8. 1,0 t CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 5 x 10 kg Harnstoff (46 % N) pro ha

Bei dem Bodentyp am Versuchsstandort handelt es sich um eine nährstoffreiche Parabraunerde aus Löß mit einem hohen Wasserhaltevermögen und Bodenpunktzahlen über 90. Die begrünter Fahrgassen wurden 3-5mal pro Jahr gemulcht und die Baumstreifen wurden mit Herbiziden unkrautfrei gehalten.

Signifikante Veränderungen der Mineralstoffgehalte im Boden konnten nur in den Kontrollparzellen ohne Düngung und in Parzellen mit langjährigen Stallmistgaben festgestellt werden. Langjährige Düngung mit Schweinemist ließ im Oberboden (0-25 cm) der Baumstreifen die Phosphat- und Kaliumgehalte bis zu je 140-150 mg /100 g Boden ansteigen und verdoppelte den Humusanteil. Im Gegensatz zu gekalkten Böden sanken in Parzellen ohne Düngung die pH-Werte von pH 6,8 auf Werte um pH 5,0 ab.

Durch Mulchen wurde pro Jahr und Hektar Obstanlage 25-50 % des Aufwuchses aus den Fahrgassen auf die Baumstreifen und damit 10 bis 25 kg N, 2-4 kg P, 15-25 kg K, 3-5 kg Ca und 1-2 kg Mg verlagert. In Parzellen ohne zusätzliche Stickstoffgaben blieben die Blatt-N-Konzentrationen der Apfelbäume meist unter 2 % N in der Trockenmasse (TM). Unterschiedliche Düngebehandlungen beeinflussten den vermarktungsfähigen Ertrag von 'Jonagold' und 'Gloster' kaum. Nur für 'Elstar' konnte ein positiver Einfluss von Harnstoffspritzungen (5 x 10 kg/ha) auf den Ertrag gezeigt werden. Langjährige Düngung mit Schweinemist führte bei allen Sorten zu mehr vegetativem Wachstum und schlechter ausgefärbten Früchten. Bei 'Jonagold' stieg darüber hinaus nach 5 Monaten Kühlung der Anteil stippiger Früchte auf 30 % an. Die höchsten Anteile vermarktungsfähiger Früchte wurden bei ausschließlichen Gaben von 10 dt Hüttenkalk beobachtet. Dabei reichten Blattstickstoffkonzentrationen von 2,0-2,2 % N in der TM aus. Die besten Fruchtqualitäten wurden bei allen Sorten immer in den ausschließlich mit Hüttenkalk behandelten Parzellen beobachtet, zusätzliche Behandlungen gegen Stippigkeit waren hier nicht notwendig. Der Versuch konnte zeigen, dass unter den Boden- und Klimaverhältnissen in Klein-Altendorf geringe Düngergaben ausreichend waren. Jährliche Gaben von 10 dt Hüttenkalk und weniger als 30 kg N pro ha genügten für einen optimalen Apfelertrag mit guten Fruchtqualitäten.

Engel, Adrian (2005):

Influence of long-term fertilization on soil, yield and fruit quality of apples on M9 as affected by replant problems and nutrient transfer in the grass mulch from the grass alleys into the tree rows.

Institute for Horticulture, Faculty for Agricultural, University of Bonn, 133 pages.

A long-term fertilizer experiment with apple trees was initiated in 1968 at Klein-Altendorf Experimental Station of the Institute of Horticulture, University of Bonn. The on-going field trial included three generations of apple trees. It's one of the long-standing fertilization trials worldwide and was registered in 2003 with the German National Science Foundation DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft). The planting with a spacing of 4m x 1.8m, presently with apple cv. 'Gloster' and 3.6m x 1.5m with cv. 'Jonagold' and 'Elstar' all on M9 rootstock was subjected to the following annual treatments:

1. Control without treatment
2. 1 t of lime per ha
3. 1 t of lime + 10 t manure per ha
4. 1 t of lime + 3 x 20 kg N per ha
5. 1 t of lime + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 3 x 20 kg N per ha
6. 1 t of lime + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O per ha
7. 1 t of lime + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 20 kg N + 5 x 10 kg urea (46 % N) per ha
8. 1 t of lime + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 5 x 10 kg urea (46 % N) per ha

The soil of the experimental site is a loess loam with high nutrient contents (class C) and large water-holding capacity. Weed control in the tree rows was by herbicides. Grass alleys were mulched 3-5 times a year. Long-term treatments significantly changed only the nutrient contents in plots without fertilization and manure treatments. Manuring increased both phosphorus and potassium content in the soil up to 140-150 mg/100 g (DM) soil with a concomitant increase in humus content, which doubled in the upper 25 cm top soil layer. Soil pH changed from 6.8 to 5.0 in the control plots receiving no fertilizer.

Of the cut grass, 25-50 % was transferred from the grass alleys to the tree rows as part of the mulching process, which added to the nutrient supply of the apple trees. This was equivalent to an annual nutrient translocation from the grass alleys to the tree rows of 10-25 kg N /ha, 2-4 kg P /ha, 15-25 kg K /ha, 3-5 kg Ca /ha and 1-2 kg Mg /ha.

The nitrogen concentration in leaves of apple trees without nitrogen fertilization remained below 2 % DM. Nitrogen fertilization hardly influenced fruit yield. However, as far as yield is concerned, 'Jonagold' and 'Gloster' showed very little response to different levels of nutrient supply. 'Elstar' responded positively to 23 kg N, applied in foliar sprays (5 times per 10 kg of urea). Apple trees treated long-term with manure became more vigorous and grew fruit with less colour and higher incidence of bitter pit, e.g. up to 30 % in cv. 'Jonagold' after a five months cold storage.

Largest marketable fruit yields were obtained from the plot fertilized only with 1t lime every year, resulting in leaf nitrogen concentrations between 2.0-2.2 % N DM. The best apple fruit quality of the three cultivars under investigation was also achieved on the limed plots; additional measures against bitter pit were not required. The experiments have shown that minimum fertilization was necessary under the conditions of Klein-Altendorf in terms of climate and a fertile soil. An annual dose of up to 1 t lime per hectare and less than 30 kg N per hectare was sufficient for optimum apple yields with good fruit quality.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	4
2.1 Versuchs- und Standortbeschreibung	4
2.1.1 Langzeitdüngerversuch	4
2.1.2 Bodenbeschaffenheit	8
2.1.3 Klima und Witterung	9
2.2 Probennahme und Analysen	10
2.2.1 Bodenproben	10
2.2.2 Bestimmung der Mineralstoffe in den Apfelblättern	11
2.3 Methodik der Versuche zur Grasmulchwirtschaft	11
2.4 Methoden der Fruchtreife und -qualitätsbestimmung	12
2.4.1 Messung der Ethylenkonzentration im Kernhaus	12
2.4.2 Titrierbare Gesamtsäure (Fruchtsäuregehalt)	12
2.4.3 Fruchtfleischfestigkeit	13
2.4.4 Refraktometerwert (Zuckerkonzentration)	13
2.4.5 Stärkeabbau	13
2.4.6 Reifeindex	13
2.4.7 Farbmessung	14
2.4.8 Mineralstoffkonzentrationen der Äpfel	15
2.4.9 Lagerverhalten	15
2.5 Generatives Verhalten	15
2.5.1 Erträge	15
2.5.2 Marktfähige Früchte und Sortierergebnisse	15
2.6 Vegetatives Verhalten und Stammdurchmesser	16
2.7 Statistische Auswertung	16

3 Ergebnisse	17
3.1 Einfluss langjähriger Düngung auf den Boden	17
3.1.1 pH-Wert	17
3.1.2 Gesamtstickstoffkonzentration	20
3.1.3 Phosphorgehalte	21
3.1.4 Kaliumgehalte	24
3.1.5 Magnesiumgehalte	27
3.1.6 Humusgehalte	29
3.2 Mineralstoffkonzentrationen der Blätter	32
3.3 Nährstoffverlagerungen durch die Grasmulchwirtschaft	37
3.3.1 Biomasseproduktion in den Fahrgassen und Verlagerung mit der Mahd in die Baumstreifen	37
3.3.2 Stickstoff- und Mineralstoffkonzentrationen in der Mahd	39
3.3.3 Nährstoffverlagerung in die Baumstreifen durch die Mahd	40
3.4 Fruchtreife und -qualität	42
3.4.1 Grundfarbe der Früchte	42
3.4.2 Ethylenkonzentration im Kernhaus der Früchte	43
3.4.3 Säurekonzentration der Früchte	44
3.4.4 Fruchtfleischfestigkeit, Refraktometerwert, Entwicklung des Stärke- abbaues und des Reifeindex nach STREIF (nach Ernte und Lagerung)	45
3.4.5 Trockenmasse, Stickstoff- und Mineralstoffgehalte der Früchte	47
3.4.6 Lagerverhalten und physiologische Fruchterkrankungen	54
3.5 Vegetatives Verhalten und Stammdurchmesser	55
3.6 Generatives Verhalten, Erträge und Anteile Handelklasse I	56
4 Diskussion und Schlussfolgerungen	59
5 Zusammenfassung	102
6 Literaturverzeichnis	105
7 Anhang	130

1 Einleitung

Im Erwerbsobstbau erfolgte in den letzten Jahrzehnten eine enorme Intensivierung der Produktion. Dabei setzte sich in Deutschland der umweltschonende, integrierte Apfelanbau auf schwachwachsenden Unterlagen durch.

Im Rahmen dieser Veränderungen erfolgte auch eine Umstellung der Düngung und der Bodenpflege. Baumstreifen wurden nicht mehr begrünt bzw. mechanisch bearbeitet, sondern durch zwei-/ dreimalige Herbizidanwendungen frei von unerwünschtem Aufwuchs gehalten. Ohne mechanische Bearbeitung kam es zu einem Anstieg des Gehalts an organischer Substanz im Oberboden und zur günstigeren Entwicklung der Wurzeln in diesem Bodenbereich. Mit der Verwendung von Herbiziden war eine bessere Regulierung der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz zugunsten der Bäume möglich (LINK 1986).

Die verschiedenen Bewirtschaftungsräume, Baumstreifen und Fahrgassen sind innerhalb moderner Kernobstanlagen zu unterscheiden. Nahezu $\frac{3}{4}$ der Fläche wird vom ständig bewachsenen Grasstreifen der Fahrgassen eingenommen. Lediglich der Rest, also der Bereich des Baumstreifens wird u. a. durch Herbizide freigehalten (RUPP 1993). Die Hauptwurzelmassen und -zuwächse der schwachwüchsigen Unterlage M9 befinden sich vorwiegend in diesen vegetationsfreien Baumstreifen (ENGEL und GEZEREL 1981, BROESHART und KEPPEL 1984a).

Der Nährstoffentzug in Apfelanlagen erfolgt weitgehend über die Ernteprodukte und nur in geringem Maße über den Holzzuwachs und die nicht vermeidbaren natürlichen Auswaschungsverluste. Ein Teil der Nährstoffe wird auch in den mit Gras bewachsenen Fahrgassen festgelegt. Dem stehen große natürliche Nährstoffquellen, wie die mikrobielle N_2 -Fixierung, die atmosphärischen Einträge und die Nährstofffreisetzungen aus organischer Substanz und Mineralien, gegenüber (RÖMHELD 1994, WITTE 1994, SCHOLZ und HELM 2000 und 2001). Die höheren Düngergaben in zurückliegenden Jahrzehnten mit - aus heutiger Sicht - überhöhten Kalium-, Phosphat- und Stickstoffgaben mit über 150 kg N/ha, bei gleichzeitiger Einführung der Grasmulchwirtschaft, führten vielfach zu einer Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit in den Obstanlagen bei einem gleichzeitigen

unerwünschten Anstieg des vegetativen Wachstums der Obstgehölze. Bei einem heute weitgehend geschlossenen Nährstoffkreislauf mit geringen Nährstoffentzügen durch die Obstgehölze (GREENHAM 1980, HOFFMANN 1983 und BÖßER 1993) können Intensivanlagen vielfach aus diesem Bodennährstoffpool, trotz einer reduzierten Düngung, bedarfsgerecht ernährt werden (QUAST 1981c, KEIPERT 1994, ENGEL und LENZ 1997, 1998 und 1999). Hierbei kommt nach BROESHART und KEPPEL (1985) der Stickstoffaufnahme aus der Grasmahd eine entscheidende Bedeutung zu.

Düngergaben, besonders von Stickstoff, beeinflussen nicht nur Trieb und Ertrag von Apfelbäumen, sondern in starkem Maße auch die Qualität und Haltbarkeit der Früchte sowie das Auftreten von physiologischen Fruchtschäden wie Stippigkeit und Fleischbräune (ENGEL 1975). So wird heute aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten eine sachgerechte Düngung verlangt, die nachhaltig hohe Erträge und gute Qualität über die Ertragsjahre gewährleistet (RÖMHELD 1994). Aus diesen Erkenntnissen und durch die Forderung nach Reduktion nitratbelasteter Sickerwässer (HEYDER 1993 und RUPP 1993) resultierte in den vergangenen Jahren eine an den Nährstoffentzügen der Apfelbäume angepasste reduzierte Düngung, die den triebberuhigten, generativen Baum und eine gute Fruchtqualität in den Vordergrund stellte (SILBEREISEN und LINK 1985, KIPP 1992, LINK 1993, ENGEL 1996, BERTSCHINGER 2003, BAAB und BUSCH 2004, QUAST 2005).

Rechtsicherheit für die Düngung im deutschen Obstbau ergibt sich aus dem Düngemittelgesetz von 1989 und der Düngerverordnung vom 26.01.1996, geändert am 19.02. 2003 (BGBl. LS.235) (BMELF1996, BAAB und AMBROS 2004). Aus dieser resultiert eine wichtige Obergrenze bei der Stickstoffdüngung: Obstbaubetriebe größer als 1 ha, die in Ertragsanlagen jährlich im Durchschnitt weniger als 40 kg Gesamtstickstoff einsetzen, sind von der Pflicht zu einer schriftlichen Nährstoffbilanz befreit. Hierdurch ist mittelfristig mit einer weiteren Reduktion vor allem des Stickstoffdüngeraufwands im Obstbau zu rechnen (QUAST 1996).

Die Nährstoffdynamik im Boden und die Nährstoffaufnahme durch die Apfelbäume im Freiland ist komplex (WIERSUM 1979, DELVER 1987 und GYSI 1990). Stamm, Triebe und Wurzeln der Obstgehölze stellen einen umfangreichen Zwischenspeicher und Puffer für Nährstoffe dar (FABY und NAUMANN 1985, PANTHACHOD 1996 und TARTACHNYK und BLANKE 2004). In jüngerer Zeit waren daher meist Teilaspekte des Nährstoffhaushalts Gegenstand von Untersuchungen im modernen Erwerbsobstbau.

Der Einfluss der mineralischen Ernährung auf die Fruchtqualität ist heutzutage wichtiger als die Auswirkungen auf einen maximalen Apfelertrag (LAFER 1991 und VOLZ et al. 1996). Wachstum, Ertrag und Fruchtqualität bei Apfel werden aber nicht ausschließlich über die mineralische Ernährung bestimmt. ENGEL (1987) und OTTO (1992) verdeutlichen in diesem Zusammenhang die Nachbau- und Bodenmüdigkeitsproblematik im Obstbau und die sich daraus ergebenden Ertragsdepressionen. Auf Grund von kürzeren Standzeiten und Flächenknappheit werden im Obstbau vermehrt Apfelanlagen im Nachbau, d.h. Neuanlagen werden auf vormals schon obstbaulich genutzten Flächen, erstellt. Der Einfluss langjähriger Düngemaßnahmen ist in diesem Zusammenhang nur wenig untersucht worden. Darüber hinaus sind nur wenige Daten aus langjährigen Düngungsversuchen bekannt, die Bodennährstoffe, die Bodenpflege und andere bodenphysikalischen Eigenschaften in Verbindung bringen (DELVER 1987).

Umfassende Arbeiten, die Effekte langjähriger, statischer Bodenpflege und Düngung über mehrere Baumgenerationen bei Apfel im Nachbau untersuchen und somit Aussagen über den Nährstoffbedarf ganzer Obstanlagen und der Interaktion im System Boden/ Pflanze zulassen, liegen nicht vor.

Ziel dieser Arbeit war es daher, den Einfluss der Düngung in einem nunmehr fast 30-jährigen statischen Dauerdüngungsversuch auf Ertrag, Fruchtqualität und Lagerverhalten von Früchten der Apfelbäume auf M9 im Nachbau detailliert zu erfassen. Besonders die Wirkungen langjährig reduzierter Düngergaben waren hierbei von Interesse. Es wurden dabei auch die langfristigen Veränderungen einiger Bodenparameter und die Nährstoffdynamik in der Grasmulchwirtschaft untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchs- und Standortbeschreibung

Im Folgenden sollen die Feldversuche über den Einfluss langjährigen Boden- und Blattdüngung auf Boden, Ertrag und Fruchtqualität von Apfel auf M9 im Nachbau unter Berücksichtigung der Nährstoffverlagerung aus den begrüneten Fahrgassen durch die Mahd am Standort Klein-Altendorf beschrieben werden.

2.1.1 Langzeitdüngerversuch

1968 wurde auf einer 0,5 ha großen Fläche der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Instituts für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn ein Düngerversuch in Spaltanlage bei Apfel im Nachbau angelegt und seitdem in unveränderter Parzelleneinteilung fortgeführt. Die Fläche wurde vor 1954 ackerbaulich genutzt und in der Zeit von 1954 - 1968 mit der 1. Generation Apfel auf M4 bepflanzt. Es erfolgte im ersten Jahr eine Gründüngung in den Fahrgassen mit anschließendem Offenhalten von Fahrgassen und Baumstreifen. Der Pflanzabstand der Apfelbäume betrug 4m x 4m.

Zu Versuchsbeginn im Herbst 1968 erfolgte die 2. Bepflanzung mit 'Golden Delicious', 'Cox Orange' und 'Boskoop' Apfelbäumen auf der Unterlage M9 im Abstand 4m x 1,5m. Die Fahrgassen sind seit 1969 durch Graseinsaat dauerbegrünt und die Baumstreifen wurden mit Herbiziden von unerwünschtem Aufwuchs freigehalten. Grasmulch und Schnittholz verblieben in den Versuchspartellen. Zur Gesunderhaltung von Blättern und Bäumen erfolgte ein angepasster Pflanzenschutz.

Die Versuchspflanzung bestand aus acht Versuchsgliedern mit vier Wiederholungen für jede der drei untersuchten Sorten. Für die Sorte 'Golden Delicious' stand zusätzlich eine Variante "ohne Düngung" (8a) zur Verfügung.

Alle Düngergaben wurden pro Hektar Obstfläche berechnet und, mit Ausnahme der Kalk- und Mistgaben, nur in den 1,5 m breiten Baumstreifen appliziert. Bis 1975 wurde der Stickstoff in Form von schwefelsaurem Ammoniak (21 % N + 24

% S), danach als Rustika 20/8 und ab 1992 als Kalksalpeter (16 % N + 28 % CaO) auf den Boden der Baumstreifen gedüngt (Tab. 1: Behandlungen). Die dreigeteilte Stickstoffgabe in Parzelle 5 erfolgte immer nach der Blüte, nach dem Junifruchtfall und nach dem Triebabschluss. Die N-Bodendüngung in Behandlung 7 wurde immer nach Triebabschluss durchgeführt. Die 5 Harnstoffspritzungen (46 % N) erfolgten mit 750 l/ha Wasseraufwand während der Vegetation auf das entwickelte Laub.

Phosphat (60 kg P_2O_5 /ha/a) und Kalium (90 kg K_2O /ha/a) wurden abwechselnd als Hyperphos mit 60er Kali (30 % P_2O_5 + 45 % CaO, 60 % K_2O) und als Thomasphosphat mit 60er Kali (15 % P_2O_5 + 45 % CaO + geringer Anteil Spurenelemente, 60 % K_2O) in einer Gabe zum Herbst appliziert. Als Blattdünger wurde ein handelsübliches Flüssigpräparat (Complezal) mit 20% N, 15% K_2O , 4% MgO + Spurenelemente während der Vegetation mit 750 l/ha Wasseraufwand mit der Pflanzenschutzspritze appliziert.

In der zusätzlich mit 100 dt/ha/a Schweinemist behandelten Parzelle 3 wurde gegenüber den anderen kaliumgedüngten Parzellen die mineralische Kaliumgabe auf 45 kg K_2O /ha/a reduziert. Die mineralischen Phosphatgaben erfolgten hier, wie in den anderen phosphatgedüngten Parzellen, in vollem Aufwand. Der verwendete Schweinemist entstammte der Tierproduktion der Gutswirtschaft Klein-Altendorf des Instituts für landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre. Hier erfolgten auch die diesbezüglichen Nährstoffanalysen. Die Ausbringung des Mistes erfolgte jedes Jahr breitwürfig im Herbst. In allen Parzellen, mit Ausnahme der Parzellen 1 und 8a, erfolgten Hüttenkalkgaben (40% CaO, 7% MgO, 32% SiO_2 , 0,5-2% Mn + Spurennährstoffe) wie folgt: in den Jahren 1973, 1980 und 1981 flächig mit 25 dt Hüttenkalk /ha, sowie in den Jahren 1983 und 1984 mit 10 dt Hüttenkalk /ha in die Baumstreifen. Die Kalkung erfolgte immer in der Vegetationsruhe. (Tab. 1).

Tab. 1: Verabreichte Reinnährstoffgaben pro Hektar und Jahr im Langzeitdüngungsversuch bei Apfel in Klein-Altendorf in den Jahren 1969 - 1988

Behandlung	Reinnährstoff [kg/ha/a]		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1: Blattdünger (5 x 2 l/ha Complezal)	2	0	1,5
2: PK + Blattdünger (5 x 2 l/ha Compl.)	2	60	90 + 1,5
3: PK½ + 100 dt Schweinemist	50	60 + ca. 75	45 + ca. 60
4: PK + 60 kg N (Herbst)	60	60	90
5: PK + 3 x 20 kg N	60	60	90
6: PK	0	60	90
7: PK + 30 kg N + 5 x 10 kg Harnstoff	30 + 23	60	90
8: PK + 5 x 10 kg Harnstoff	23	60	90
8a: ohne Düngung (nur 'G.D.')	0	0	0

1982 wurden die Versuchspartellen mit 'Golden Delicious' gerodet und im 3. Nachbau mit 'Gloster' ersetzt. Als Pflanzmaterial wurden 1-jährige Veredelungen, auf virusfreien M9-Unterlagen, verwendet. Der Pflanzabstand betrug 4m x 1,8m (=1380 Bäume/ha). Die Behandlungen und die Düngerausbringung erfolgten wie seit 1969. Für jede Parzelle standen 8x4 Bäume zur Verfügung, mit Ausnahme der Varianten 8a: "ohne Düngung" (4x5 Bäume) und 8: "PK + Harnstoff" (4x5 Bäume).

1988 wurden die 'Cox Orange' und 'Boskoop' Quartiere gerodet und durch 'Elstar' bzw. 'Jonagold' ersetzt (3. Nachbau). Einjährige virusfreie Bäume auf M9-984 wurden im Abstand von 3,6m x 1,5m gepflanzt (=1850 Bäume/ha). Jedes Versuchsglied enthielt 20 Bäume (4 x 5 Bäume). Die Abgrenzung der Partellen erfolgte durch Trennbäume. Die Fahrgassen wurden dauerbegrünt und in den folgenden Jahren in betriebsüblichen Abständen 3-5 x /Jahr gemulcht. Die anfallende Biomasse (Mahd) wurde dabei, wie in modernen Obstanlagen üblich, teilweise in die Baumstreifen abgelegt. Die Baumerziehung erfolgte als 'Schmale

Spindel'. Das Schnittholz verblieb in der Anlage und wurde gehäckelt. Der Pflanzenschutz und die Ausdünnung wurden einheitlich und nach den Richtlinien für den Integrierten Pflanzenschutz im Rheinland durchgeführt. Für Frostschutz und Zusatzbewässerung stand eine Überkronenberegnung zur Verfügung. Der Einsatz erfolgte über alle Versuche einheitlich.

Auf Grund von Erfahrungen aus anderen Düngerversuchen wurde ab 1988 der Kalkung größere Aufmerksamkeit gewidmet. So erfolgte, außer bei Parzelle 1 und 8a, in allen übrigen eine jährliche Hüttenkalkgabe von 10 dt/ha in die Baumstreifen (außer 1996). Vor der Pflanzung von 'Jonagold' und 'Elstar' wurden 10 dt Simalith mit der Spatenmaschine eingearbeitet (außer Var. 1+8a). Ab 1988 wurden die Düngergaben bei allen Sorten leicht modifiziert, und es wurde auf eine Blattvolldüngung verzichtet (siehe Tab. 2). Die Ausbringungszeitpunkte der Nährstoffe erfolgten wie zum Versuchsbeginn 1969.

Tab. 2: Verabreichte Reinnährstoffgaben pro Hektar und Jahr im Langzeitdüngungsversuch bei Apfel in Klein-Altendorf ab dem Jahr 1988

Behandlung	Reinnährstoffe [kg/ha/a]		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1: ohne Düngung	0	0	0
2: CaO (= 10 dt Hüttenkalk)	0	0	0
3: CaO + 100 dt Schweinemist	ca. 50	ca. 75	ca. 60
4: CaO + 3 x 20 kg N	60	0	0
5: CaO + PK+ 3 x 20 kg N	60	60	90
6: CaO + PK	0	60	90
7: CaO + PK + 20 kg N (Herbst) + 5 x 10 kg Harnstoff	20 + 23	60	90
8: CaO + PK+ 5 x 10 kg Harnstoff	23	60	90
8a: ohne Düngung (nur 'Gloster')	0	0	0

2.1.2 Bodenbeschaffenheit

Bei dem Bodentyp am Versuchsstandort Klein-Altendorf handelt es sich um eine Parabraunerde aus Löß, die schwach erodiert ist. Die Bodenart im Ap-Horizont (0-30 cm) und im Al-Horizont (30-40 cm) ist ein schwach humoser, nährstoffreicher, lehmiger Schluff mit einer Rohdichte von durchschnittlich $1,55 \text{ g/cm}^3$. Die Parabraunerde ist mit 2 Bt-Horizonten typisch ausgeprägt. Diese halten große Sickerwassermengen oberhalb von 90 cm und damit in der für Pflanzen erreichbaren Tiefe fest. Der Boden ist gut durchwurzelbar, weist eine hohe biologische Aktivität auf und gehört mit einer Bodenwertzahl von 93 zu den besten Pflanzenstandorten Deutschlands. In der ungesättigten Zone (ab 100 cm) stehen weitere 12 m carbonathaltiger Löß über der Hauptterrasse des Rheins an. Die Grundwasseroberfläche liegt unterhalb von 20 m Tiefe (HEYDER 1993). Die Nährstoffzusammensetzungen, Humusgehalte, pH-Werte und andere Bodenparameter werden im Ergebnisteil dargestellt.

2.1.3 Klima und Witterung

Das Klima der Niederrheinischen Bucht ist atlantisch geprägt. Der Standort Klein-Altendorf liegt im Lee der Eifel, im wärmeren Teil der Niederrheinischen Bucht (HEYDER 1993).

Nach den Wetterdaten der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf betrug im langjährigen Mittel der Jahre 1956 bis 1996 der Jahresniederschlag 596 mm und die Jahresmitteltemperatur in 2 m Höhe 9,2 °C. In den Versuchsjahren 1995 und 1996 fielen jeweils 512 mm bzw. 465 mm Regen, und die Durchschnittstemperaturen betragen 10,1 °C bzw. 8,3 °C. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Vegetationsperiode von Mai bis Oktober fielen in diesem Zeitraum im langjährigen Mittel von 1956 bis 1996 jährlich 350 mm Regen, und es war eine Durchschnittstemperatur von 14,2 °C zu verzeichnen.

Während der Versuchsjahre 1995 und 1996 fielen im Zeitraum von Mai bis Oktober nur 238 mm bzw. 307 mm Regen und die Durchschnittstemperaturen betragen 15,6 °C und 13,8 °C. Die Klimadaten für die Jahre 1995 und 1996 sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

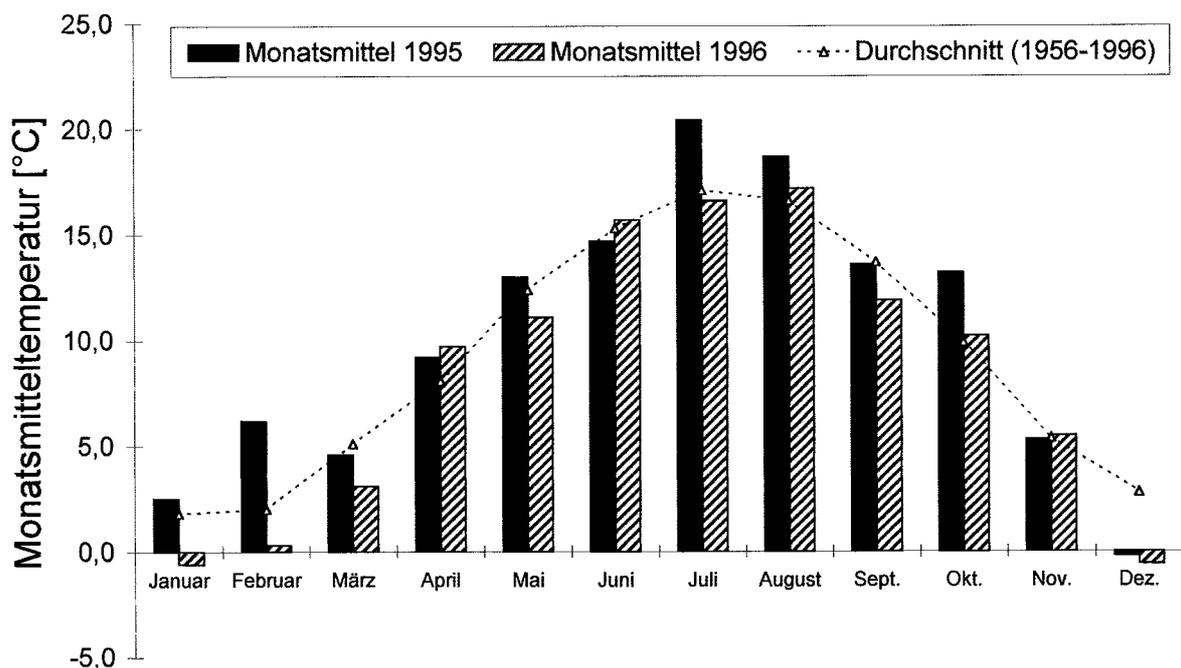


Abb. 1: Temperaturverlauf [°C] in den Versuchsjahren (1995 und 1996) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1956-1996) an der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf

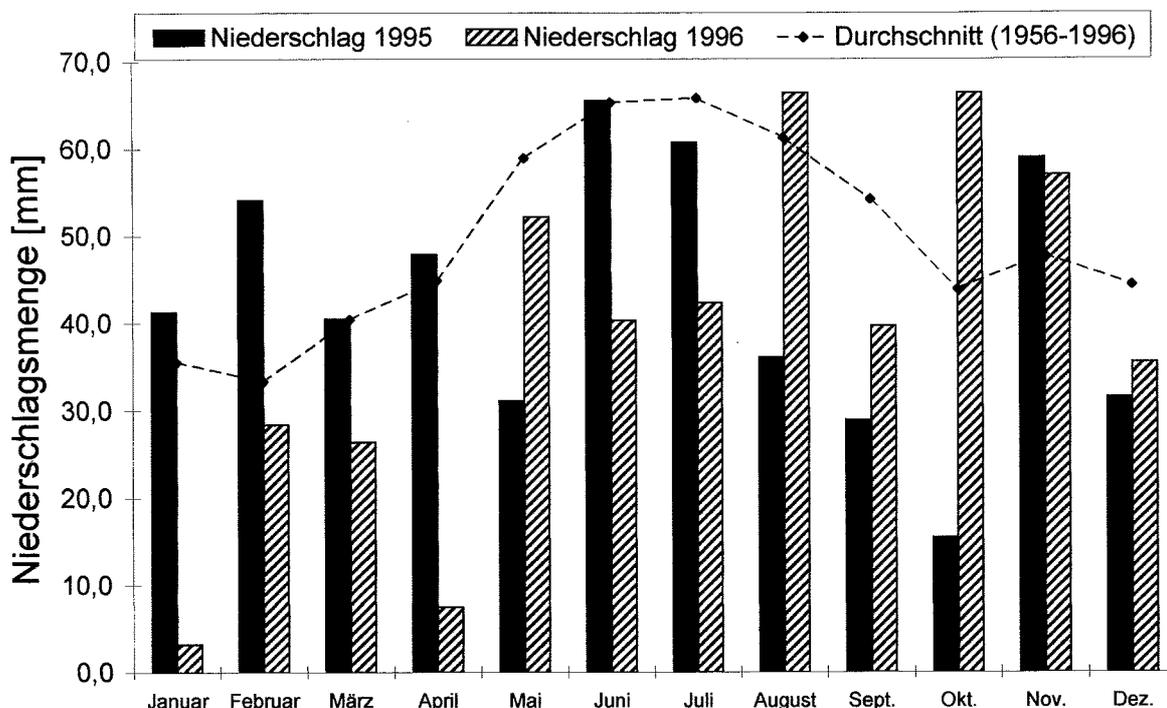


Abb. 2: Niederschlagsverlauf [mm] in den Versuchsjahren (1995 und 1996) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1956-1996) an der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf

2.2 Probennahme und Analysen

2.2.1 Bodenproben

Zur Erfassung der Bodennährstoffe wurden in den Jahren 1995 und 1996 aus den Bodenschichten 0-25 cm Tiefe und 25-50 cm Tiefe mit einem Pürkhauer-Bohrstock Bodenproben entnommen. Die Probennahme erfolgte in allen Versuchspartellen sowohl in den begrünten Fahrgassen als auch in den vegetationsfreien Baumstreifen, wobei die Rohhumusaufgabe verworfen wurde. Je Versuchsglied wurden 3 Bodenmischproben untersucht, die jeweils aus 8 Bodenentnahmen mit dem Pürkhauer-Bohrstock bestanden.

Daneben standen Bodenanalyseergebnisse der OVA Klein-Altendorf seit Versuchsbeginn in einfacher Wiederholung mit je 8 Einschlägen je Parzelle zur Verfügung. Die Nährstoffuntersuchungen auf Gesamt-N, P, K, Mg, Humus und pH-Wert erfolgten durch die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) in Bonn nach LUFA-Methoden.

2.2.2 Bestimmung der Mineralstoffe in den Apfelblättern

Zur Bestimmung von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium wurden Anfang August 1995 und 1996 in peripheren, brusthohen Baumbereichen Blätter von Langtrieben entnommen (4. Blatt von der Triebbasis). Es wurden je Behandlung 20 Blätter in 3 Wiederholungen von Bäumen mit gutem Fruchtbehang entnommen, in deionisiertem Wasser gewaschen, bei 65 °C getrocknet und gemahlen. Die Gesamt-Stickstoffkonzentration wurde nach einem Kjeldahl-Aufschluss (0,5 g Einwaage) bestimmt. Nach Zugabe eines Selenreaktionsgemisches wurden die Proben mit konz. Schwefelsäure (98 % H₂SO₄) bei 400 °C zwei Stunden in einem Metallblock aufgeschlossen. Die Proben wurden mit einer Säure-Salz-Lösung verdünnt und dialysiert. Dies verhinderte eine Verunreinigung, z.B. durch Eiweißmoleküle, die die Messung beeinflussen könnten. Ein auf 40 °C temperiertes Wasserbad gewährleistete eine gleichmäßige chemische Reaktion, bei der nach Zugabe von Salicylat und Hypochloridlösung das Ammoniumion mit einem starken blauen Farbkomplex reagierte. Die Extinktion war proportional zur Konzentration des Stickstoffs und wurde bei 630 nm gemessen (SKALAR 1984). Nach einem Mikrowellen-Aufschluss (0,3 g Einwaage) erfolgte die Messung der Konzentrationen an Kalium, Magnesium und Calcium mit Hilfe eines Atomabsorptionspektrometers (PERKIN-ELMER 373) bei 766,5 nm, 284,8 nm und 422,7 nm. Die Phosphormessung erfolgte photometrisch bei 880 nm (VEDDER 1989, PANTHACHOD 1996). Die photometrische Bestimmung von Phosphor und Kjeldahlstickstoff erfolgte mit einem "Segment Flow Analyser System" der Firma SKALAR (KÜNSCH et al. 1977).

2.3 Methodik der Versuche zur Grasmulchwirtschaft

Für unseren Versuch entwickelten wir ein neues Verfahren, um den Anteil der Mahd zu bestimmen, der beim Mähen der Fahrgassen in die Baumstreifen verlagert wird. Das im Folgenden beschriebene Verfahren wurde nach den bei JADCZUK (1989) beschriebenen Methoden weiterentwickelt. Bei jedem betriebsüblichen Mähdurchgang (5-mal 1995 und 3-mal 1996) erfolgten im Klein-Altendorfer Versuch Messungen des Gesamtaufwuchses in den Fahrgassen [kg

TM Gras über 2 cm] und der in die Baumstreifen verlagerten Mengen. Die Messungen erfolgten immer in je 6-facher Wiederholung in den Parzellen 1 (=ohne Düngung), 3 (=Hüttenkalk + Stallmist flächig) und 5 (=Hüttenkalk + NPK). Vor jedem Mähgang wurde von je 2 x 1 m² in den Fahrgassen der Gesamtgras- aufwuchs über 2 cm Höhe mit einer Schere entnommen und ihre Trockenmasse festgestellt. In den Baumstreifen wurde zu jedem Mähgang an 6 Stellen 2 x 1 m² Folien gespannt (Fahrgassen hier nicht beprobt). Anschließend wurden die Fahrgassen richtungstreu gemulcht, um mögliche Unterschiede im seitlichen Auswurfverhalten des verwendeten Kreiseljäherers AF 3000 der Firma HUMUS, Bermantingen auszugleichen. Der Auswurf der Mahd erfolgte zu beiden Seiten gleichmäßig auf die Baumstreifen verteilt. Die auf den Folien anfallenden Biomassen aus Grasmulch, alten Blättern und kleinen Zweigen wurden zusammen bei 65°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Aus dieser Trockenmasse erfolgte eine Analyse von N, P, K, Mg und Ca, analog zur Blattanalyse. Der begrünte Fahrgassenanteil betrug bei 4 m Reihenabstand und 1,5 m breiten Herbizidstreifen 6180 m² pro 1 Hektar Obstfläche. Die Berechnungen der verlagerten Mineralstoffmengen erfolgten für den Anteil der verlagerten Biomasse aus den 6180 m² Fahrgassen pro 1 Hektar Obstanlage.

2.4 Methoden der Frucht reife und -qualitätsbestimmung

Zum Erntezeitpunkt wurden je Parzelle 10 Äpfel der Größe 75-80 mm aus der Peripherie der Bäume in Brusthöhe entnommen und direkt untersucht. Für die Fruchtuntersuchung nach Kühllagerung wurden aus den Versuchen zum Lagerverhalten 10 gesunde Früchte nach Ende der Lagerung verwendet.

2.4.1 Messung der Ethylenkonzentration im Kernhaus

Jeweils direkt nach der Ernte und nach der Kühllagerung wurde den 10 ausgewählten Äpfeln mittels einer gasdichten Spritze eine 1 ml Gasprobe unter Wasserbad aus dem Kernhaus entnommen. Die Untersuchungen erfolgten mit einem Gaschromatographen vom Typ CARLO ERBA Modell FRACTOVAP 2350, auf den das obige Volumen direkt auf die Trennsäule dosiert wurde. Die Messbedingungen wurden ausführlich bei HÜRTER (1984) beschrieben.

2.4.2 Titrierbare Gesamtsäure (Fruchtsäuregehalt)

Der Säuregehalt der Früchte (g/l) wurde aus dem Presssaft durch Titration gegen 0,1 n NaOH mit Phenolphthalein als Indikator bis zum Farbumschlag bei pH 8,1 ermittelt und auf Äpfelsäure umgerechnet (PANTACHOD 1996).

2.4.3 Fruchtfleischfestigkeit

Im Übergangsbereich von Sonnen- zur Schattenseite der Früchte wurde an zwei gegenüberliegenden Stellen die Apfelschale entfernt. An diesen beiden Stellen wurden mit einem Handpenetrometer (Typ Effegi FT 327) die Fruchtfleischfestigkeiten (F) in kg/cm² gemessen und gemittelt. Die Stempelfläche des Penetrometers betrug 1 cm², die Eindringtiefe 0,8 cm.

2.4.4 Refraktometerwert (Zuckerkonzentration)

Die lösliche Trockensubstanz und damit die Zuckerkonzentration wurde im Fruchtsaft mit einem Refraktometer (Typ ZEISS OPTON) gemessen. Die Berechnung erfolgt bei diesem Messverfahren über die optische Dichte und dem Lichtbrechungsindex des zu messenden Presssaftes. Die Prozentzahlen [% Brix] wurden als Refraktometerwert (R) dargestellt.

2.4.5 Stärkeabbau

Die Früchte wurden am Fruchtäquator halbiert. Anschließend wurde die Stielseite mit Lugol'scher Lösung (Kaliumjodid) bestrichen. Stärke verfärbt sich danach schwarz, wobei der Stärkeabbau radial vom Kerngehäuse beginnt. Nach etwa 1 - 2 Minuten wurde die Verfärbung anhand des Boniturschemas von DE HAAS und WENNEMUTH (1964) in Klassen von 1 - 10 eingeteilt (3 = 30 % Aufhellung, 6 = 60 %, 10 = 100% Stärkeabbau und Aufhellung) und als Stärkewert (S) angegeben.

2.4.6 Reifeindex

Für jede untersuchte Frucht wurde der Reifeindex ($F / (R \times S)$) nach STREIF (1991) errechnet. Dabei wurde der Festigkeitswert (F) durch das Produkt aus Refraktometerwert (R) mal dem Stärkewert (S) geteilt.

2.4.7 Farbmessung

Die Messungen der Grundfarbe der Äpfel erfolgten mit Hilfe eines Chromameters der Firma MINOLTA. In den Jahren 1995/97 erfolgten die Messungen nach Kühlung, 1996/97 zur Ernte und nach Lagerung nach dem internationalen CIE-Standard (Commission Internationale de l'Éclairage, DIN 5033). Die räumliche Lage eines Farbtons wird darin durch den L-Wert und das Vorzeichen und den Wert von a^* bzw. b^* festgelegt, auf deren Achsen sich jeweils Grün und Rot (a^* -Wert) bzw. Blau und Gelb (b^* -Wert) gegenüber liegen (HÜRTER 1984 und McGUIRE 1992) (Abb. 3).

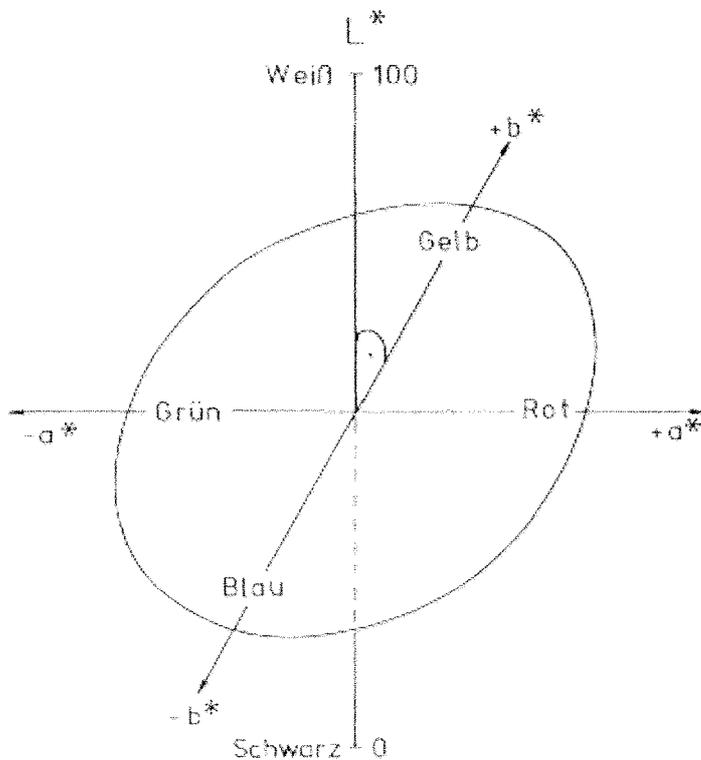


Abb. 3: Das CIELAB-Farbsystem, nach BROCKES (1980)

2.4.8 Mineralstoffkonzentrationen der Äpfel

Aus den beschriebenen 10 Früchten wurden 2 kortikale Stücke entnommen; Kerngehäuse und Stiele wurden verworfen (TURNER 1977). Das Fruchtfleisch wurde nach Ermittlung des Frischgewichtes mit 100 g pro Probe bei -20 °C in Polyethylen-tüten bis zur Analyse eingefroren und nach dem Gefriertrocknen gemahlen. Die Konzentrationen an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium wurden wie bei den Blattanalysen bestimmt. Aus den Ergebnissen wurden die K/Ca- sowie die (K+Mg)/Ca-Verhältnisse berechnet.

2.4.9 Lagerverhalten

Zur Beurteilung ihres Lagerverhaltens wurden je Behandlung von 3 Bäumen jeweils 10 kg Früchte/Baum (= 30 kg /Behandlung) im Kühllager bei 2°C und 90 % rel. Luftfeuchte gelagert. Die erste Bonitierung fand Anfang Januar statt. Gesunde Früchte wurden bis Anfang März weiter gelagert und erneut bonitiert. Die Früchte wurden auf Stippe (physiologischer Calciummangel), Schalenbräune und Fruchtfäulen untersucht. Der Anteil an erkrankten Früchten wurde in Gewichtsprozent [% w/w] angegeben.

2.5 Generatives Verhalten

2.5.1 Erträge

Die Ernte erfolgte betriebsüblich baumweise, um das Gesamtfruchtgewicht pro Baum zu ermitteln.

2.5.2 Marktfähige Früchte und Sortierergebnisse

Die übrigen im Versuch geernteten Äpfel wurden parzellenweise in ein CA-Kühllager gestellt. Ihre Sortierung erfolgte im Januar bzw. Februar nach Marktrichtlinien in 3 Handelsklassen und in 5 mm Abstufungen auf einer GREEFA Sortiermaschine vom Typ MSE 2000 mit optischer Vermessung, Gewichts- erfassung und Farbsortierung. Alle Früchte mit Beschädigungen, geringem Farbanteil unter 15 %, kleiner als 60 mm oder größer als 95 mm wurden von der Handelsklasse 1 ausgeschlossen.

2.6 Vegetatives Verhalten und Stammdurchmesser

Zur Bestimmung des Stammdurchmessers erfolgten jährlich 20 cm über der Veredlungsstelle je zwei Messungen mit der Schieblehre. Hieraus wurde der Mittelwert je Baum berechnet.

2.7 Statistische Auswertung

Die statistische Verrechnung der Versuchsdaten erfolgte mit dem Statistikprogramm STATGRAPH bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent. Die Voraussetzung für eine Varianzanalyse: Varianzhomogenität, Normalverteilung und Unabhängigkeit der Stichproben wurden getestet.

Für jede Sorte wurde getrennt eine einfaktorielle Varianzanalyse der untersuchten Parameter im Hinblick auf den interessierenden Einflussfaktor Düngung durchgeführt. Der multiple Mittelwertsvergleich erfolgte mit dem TUKEY/KRAMER-Test, der bei balanciertem Datenmaterial auf Grund seiner Trennschärfe anderen Tests vorzuziehen ist (DUFNER et al. 1992). Statistische Unterschiede der Mittelwerte innerhalb der Sorten und Jahre werden in den Tabellen durch unterschiedliche Buchstaben dargestellt. Bei den langjährigen Bodennährstoffgehalten musste auf Grund des geringen Probenumfangs auf eine statistische Verrechnung verzichtet werden.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss langjähriger Düngung auf den Boden

3.1.1 pH-Wert

Die in der ersten Versuchsperiode des statischen Feldversuchs von 1968 bis 1994 in Klein-Altendorf festgestellten pH-Werte in der obersten Bodenschicht von 0-25 cm sind in Abbildung 4 für alle drei Sorten aufgezeigt. In den mit schwefelsaurem Ammoniak gedüngten Parzellen (Var. 4, 5 und 7) sanken trotz regelmäßiger Kalkgaben die pH-Werte unter pH 5. In den nicht gedüngten Kontroll-Parzellen (Var. 1) sanken die pH-Werte ab Mitte der '80 Jahre im Durchschnitt unter pH 6. In den übrigen Parzellen führten die Umstellungen Anfang der neunziger Jahre auf jährliche Hüttenkalkgaben und Bodenstickstoffgaben als Kalksalpeter zu einem deutlichen Anstieg auf pH-Werte über pH 6,5 (Abb. 4).

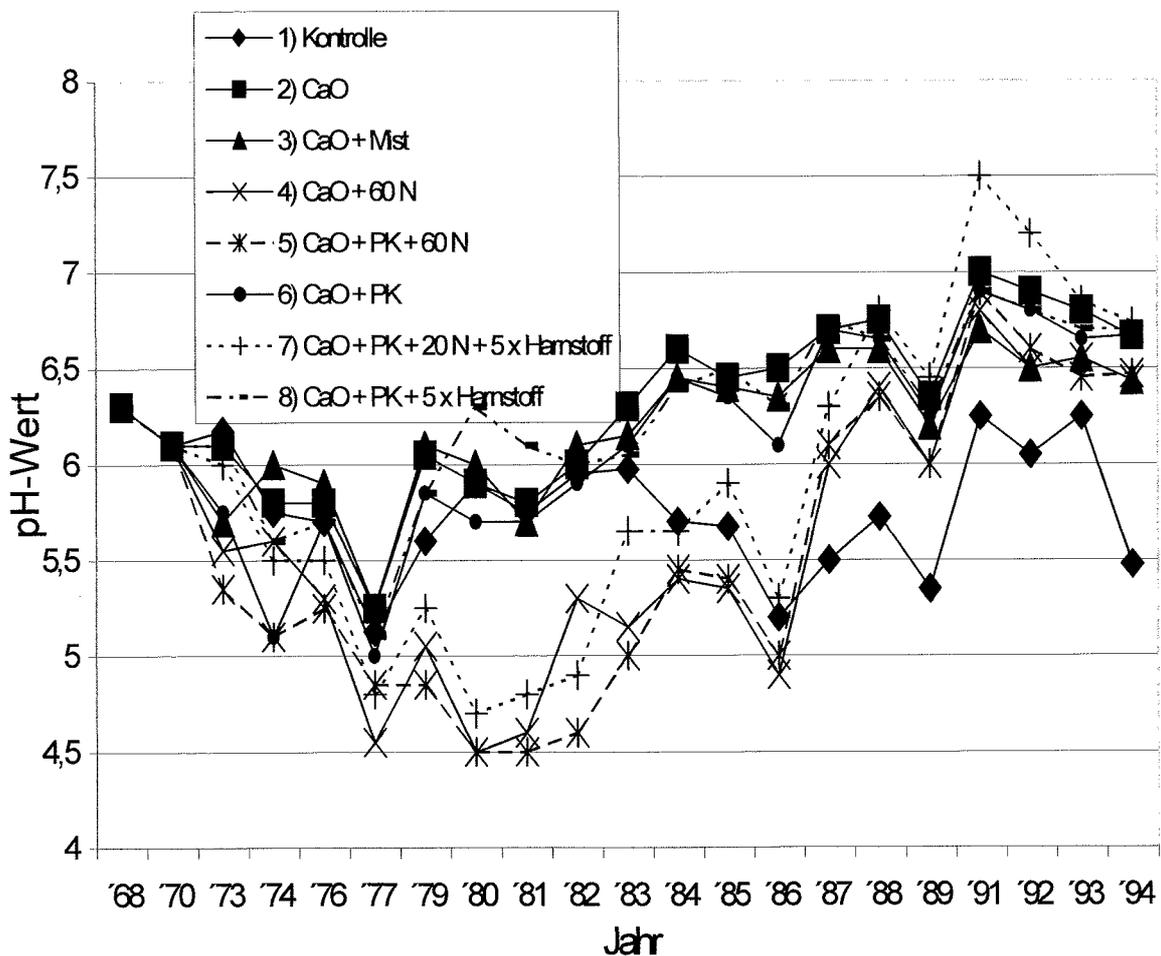


Abb. 4: Einfluss langjähriger Düngerbehandlungen auf den pH-Wert in der Bodenschicht von 0-25 cm der Baumstreifen im Durchschnitt aller Sorten für die Jahre 1968 - 1994

Die **pH-Werte** der Bodenschichten 0-25 cm und 25-50 cm in Parzellen mit 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' sind für die Jahre 1995 und 1996 in der Tabelle 3 für die **Baumstreifen** und in der Tabelle 4 für die Fahrgassen dargestellt. In den mit Hüttenkalk gedüngten Versuchspartzen (Var. 2-8) wurden gegenüber den Kontrollen (Var. 1) bei allen drei Sorten höhere pH-Werte gefunden. In den behandelten Baumstreifen waren die pH-Werte im Oberboden (0-25 cm) im Durchschnitt höher als in der darunter liegenden Bodenschicht (25-50 cm). In den unbehandelten Kontrollen waren diese Verhältnisse umgekehrt. Die Unterschiede zwischen den Jahren 1995 und 1996 waren in allen Versuchspartzen nur gering (Tab. 3).

Tab. 3: Einfluss langjähriger Düngung auf den pH-Wert im Baumstreifen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Bodenschichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	pH - Werte im Baumstreifen					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	5,00	5,08	5,50	5,39	6,00	5,99
	25 - 50	5,40	5,35	5,80	5,88	6,30	6,66
2) nur CaO	0 - 25	6,65	6,62	6,80	6,69	6,70	6,63
	25 - 50	6,55	6,50	6,60	6,64	6,80	6,67
3) CaO + Mist	0 - 25	6,30	6,36	6,50	6,47	6,50	6,38
	25 - 50	6,30	6,37	6,60	6,48	6,50	6,44
4) CaO + 60N	0 - 25	6,45	6,32	6,60	6,47	6,60	6,56
	25 - 50	6,25	6,12	6,40	6,46	6,30	6,55
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	6,40	6,43	6,40	6,37	6,60	6,64
	25 - 50	6,35	6,32	6,40	6,17	6,70	6,41
6) CaO + PK	0 - 25	6,75	6,71	6,70	6,69	6,80	6,87
	25 - 50	6,65	6,67	6,70	6,51	6,90	6,55
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	6,65	6,64	6,60	6,60	7,30	7,02
	25 - 50	6,65	6,57	6,60	6,46	7,40	6,99
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	6,90	6,81	6,70	6,74	6,80	6,80
	25 - 50	6,50	6,73	6,70	6,58	6,90	6,66

Der Hüttenkalk wurde mit einem Pendelstreuer zum größten Teil in die Baumstreifen verabreicht. Trotzdem wurden die **pH-Werte** auch im Boden **der begrünter Fahrgassen** bei allen drei untersuchten Sorten durch die Kalkung positiv - d.h. pH-Wert steigernd - beeinflusst, wenn auch in geringerer Intensität als in den Baumstreifen. In den ungedüngten Kontroll-Parzellen (Var. 1) wurde eine Absenkung des pH-Wertes unter pH 6 gefunden (0-25 cm). Diese Versauerung war in den Baumstreifen der entsprechenden Parzellen aber deutlicher. Im Gegensatz zu den pH-Werten in den Baumstreifen hatten die tieferen Bodenschichten (25-50 cm) der Fahrgassen in allen Parzellen höhere pH-Werte als der Oberboden (Tab. 4).

Tab. 4: Einfluss langjähriger Düngung auf den pH-Wert in den begrünter Fahrgassen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Bodenschichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

pH - Werte in den begrünter Fahrgassen							
Behandlung	Bodentiefe [cm]	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	5,63	5,82	6,00	6,00	5,70	5,63
	25 - 50	6,23	6,26	6,50	6,34	6,20	5,86
2) nur CaO	0 - 25	6,25	6,15	6,60	6,34	6,70	6,63
	25 - 50	6,45	6,43	6,80	6,70	6,80	6,79
3) CaO + Mist	0 - 25	6,35	6,37	6,50	6,48	6,50	6,53
	25 - 50	6,60	6,42	6,70	6,66	6,70	6,48
4) CaO + 60N	0 - 25	6,15	6,19	6,40	6,35	6,50	6,22
	25 - 50	6,35	6,48	6,80	6,56	6,60	6,33
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	6,20	6,19	6,50	6,20	6,60	6,30
	25 - 50	6,55	6,48	6,70	6,49	6,50	6,37
6) CaO + PK	0 - 25	6,25	6,26	6,50	6,34	6,60	6,55
	25 - 50	6,75	6,65	6,70	6,54	6,60	6,71
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	6,35	6,23	6,20	6,35	7,20	6,75
	25 - 50	6,75	6,71	6,70	6,74	7,30	6,91
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	6,40	6,33	6,30	6,39	6,70	6,51
	25 - 50	6,80	6,42	6,70	6,70	6,80	6,72

3.1.2 Gesamtstickstoffkonzentration

Der überwiegende Teil des Bodenstickstoffs liegt in Oberböden in organischer Bindung vor, und zwar in Form von Huminstoffen, Vegetationsrückständen, Biomasse und abgestorbene Organismen. Der $N_{(org.)}$ -Gehalt der Mineralböden korreliert eng mit dem $C_{(org.)}$ -Gehalt.

Der organisch gebundene Gesamtstickstoff [$N_{(org.)}$ in %] im Boden der Versuchspartellen wurde in den Jahren 1995 und 1996 untersucht. Zwischen den Düngungsvarianten ergaben sich auch nach langjährigen Behandlungen, mit Ausnahme der zusätzlich mit Schweinemist gedüngten Varianten (Var. 3), nur geringe Unterschiede. Sie waren ohne Sorteneinfluss. Die Gesamtstickstoffkonzentration in der Bodenschicht von 0-25 cm betrug in den Baumstreifen der Mist-Parzelle (Var. 3) im Durchschnitt 0,18 % N und in allen anderen Varianten 0,10 % N. Dies entspricht bei einer Bodendichte von 1,5 kg/l für einen Hektar einem Gesamtstickstoffvorrat in dieser Bodenschicht im Baumstreifen von 6700 kg N/ha (bei 0,18 % $N_{(org.)}$) bzw. 3750 kg N/ha (bei 0,10 % $N_{(org.)}$) Gesamtfläche.

In den tieferen Schichten von 25-50 cm konnte weder ein Einfluss der Behandlungen noch der Sorten festgestellt werden. Sowohl in den Baumstreifen wie in den Fahrgassen lag die Gesamt-N-Konzentration in allen Varianten bei 0,07 % N (entspricht 2625 kg N/ha).

Im Oberboden (0-25 cm) der begrüneten Fahrgassen lag in den langjährig mit Mist gedüngten Varianten (Var. 3) die Gesamtstickstoffkonzentration, wie in den Baumstreifen, bei 0,18 % N. In allen anderen Versuchsgliedern dieser Bodenschicht betrug die N-Konzentration 0,13 % N. In den Fahrgassen wurden somit höhere N-Gehalte gefunden als in entsprechenden Bodenschichten der Baumstreifen .

(ohne grafische Darstellung).

3.1.3 Phosphorgehalte

Bis 1982 wurden die Phosphatgehalte in den Baumstreifen durch die Düngung nur gering beeinflusst. In alle Parzellen wurden, mit Ausnahme der mit Mist gedüngten (Var. 3), sehr konstante Werte um 20 mg $P_2O_5/100$ g Boden gefunden. Dies entspricht den Werten gut versorgter Böden der Versorgungsstufe C. Die mit Mist gedüngte Variante erreichte in diesem Zeitraum dagegen Werte der Versorgungsstufe D (sehr hoch). Die ungedüngte Kontrolle (Var. 1) zeigte bis 1994 einen konstanten Phosphatgehalt von knapp unter 20 mg $P_2O_5/100$ g Boden. Ab 1983 hatten die mit Hüttenkalk gedüngten Parzellen (Var. 2-8) höhere Phosphatgehalte als die Kontrolle. Hierbei bewirkten zusätzliche Phosphorgaben (Var. 5-8) nicht immer eine weitere Steigerung der Bodengehalte. Erst ab 1983 führten die hohen Stallmistgaben in allen Parzellen zu extremen Steigerungen des Phosphatgehalts in den oberen Schichten der Baumstreifen (Abb. 5).

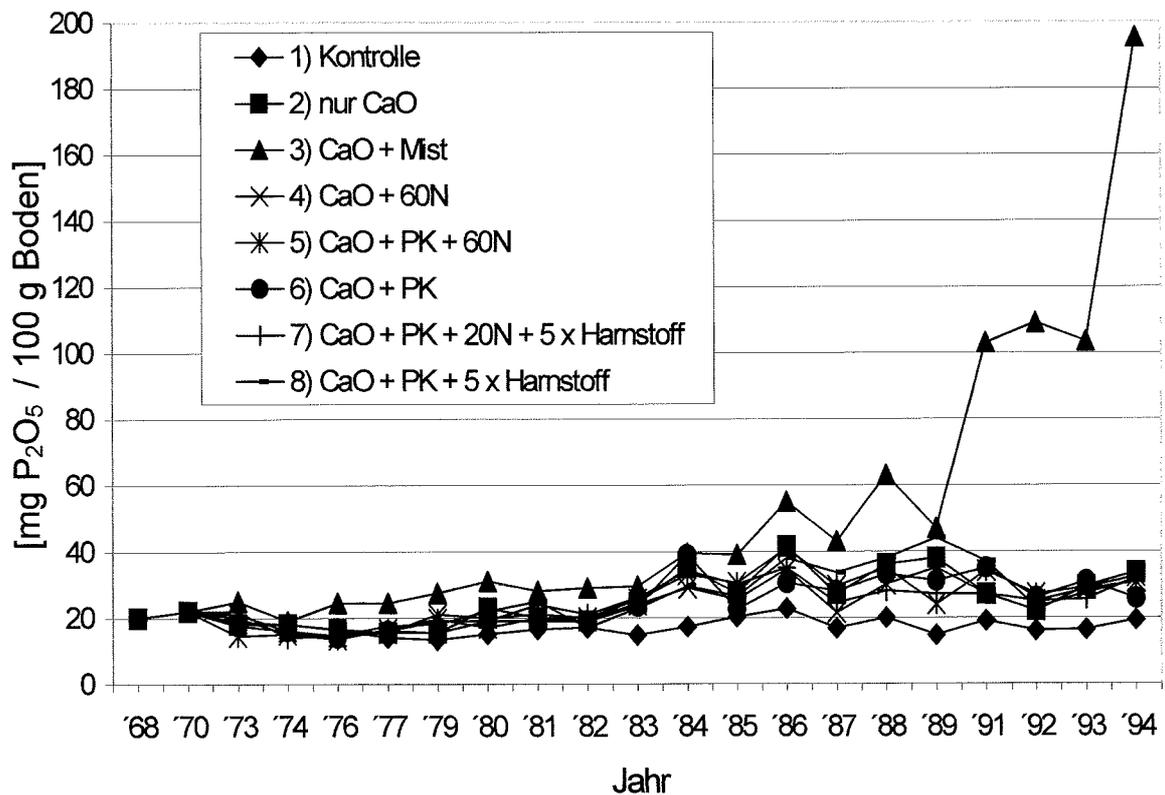


Abb. 5: Einfluss langjähriger Düngerbehandlungen auf den Phosphatgehalt [mg $P_2O_5/100$ g Boden] in der obersten Bodenschicht von 0-25 cm der Baumstreifen aller Sorten für die Jahre 1968 bis 1994

Für **Phosphat** wurden auch in den Jahren 1995 und 1996 bei allen untersuchten Sorten in der oberen Bodenschicht von 0-25 cm **des Baumstreifens** ähnliche Tendenzen wie Anfang der neunziger Jahre, allerdings mit noch höherem P-Anstieg in der "Mist"-Parzelle (Var. 3) und stagnierenden Werten in den übrigen gedüngten Versuchspartzen, gefunden. Die Werte der ungedüngten Kontrolle (Var.1) fielen in der oberen Bodenschicht auf ein Niveau von 9-14,7 mg P₂O₅/100 g Boden ab. In der Bodenschicht von 25-50 cm waren die Werte insgesamt deutlich niedriger, die Unterschiede zwischen den Parzellen entsprachen denen der oberen Bodenschicht. Im feuchteren Jahr 1995 waren die Phosphatgehalte in den meisten Parzellen höher als im trockeneren Jahr 1996; dies zeigte sich im Unterboden stärker als in der oberen Bodenschicht. In den Baumstreifen der Sorte 'Elstar' wurden im Verhältnis zu 'Gloster' und 'Jonagold' in beiden Jahren und in beiden Bodenschichten, mit Abweichungen, etwas geringere Werte gemessen (Tab. 5).

Tab. 5: Einfluss langjähriger Düngung auf die Phosphatgehalte [mg P₂O₅/100 g Boden] in den Baumstreifen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg P ₂ O ₅ /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	14,7	13,0	11,0	10,0	13,0	9,0
	25 - 50	6,3	3,3	2,0	1,0	9,0	1,0
2) nur CaO	0 - 25	30,5	24,5	29,0	20,0	25,0	16,0
	25 - 50	16,5	8,0	10,0	5,0	7,0	5,0
3) CaO + Mist	0 - 25	103,5	126,0	138,0	94,0	125,0	96,0
	25 - 50	38,0	38,5	37,0	39,0	47,0	37,0
4) CaO + 60N	0 - 25	29,5	27,0	28,0	23,0	20,0	16,0
	25 - 50	6,5	4,5	8,0	3,0	4,0	1,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	37,0	36,5	34,0	27,0	22,0	21,0
	25 - 50	13,5	9,0	14,0	8,0	5,0	2,0
6) CaO + PK	0 - 25	31,0	34,5	34,0	22,0	25,0	19,0
	25 - 50	15,0	6,5	16,0	4,0	6,0	1,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	39,5	32,0	31,0	29,0	23,0	17,0
	25 - 50	13,5	7,5	7,0	3,0	2,0	3,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	27,0	34,0	30,0	23,0	21,0	16,0
	25 - 50	14,0	6,0	10,0	3,0	6,0	2,0

In Tabelle 6 werden die **Phosphatgehalte** der beiden Bodenschichten der **Fahrgassen** aus den Jahren 1995 und 1996 dargestellt. In den beiden Bodenschichten der Fahrgassen waren die Phosphatgehalte geringer als in den Baumstreifen. Besonders in der unteren Bodenschicht von 25-50 cm fand sich, mit Ausnahme der ganzflächig behandelten Stallmist-Parzellen (Var. 3), nur sehr wenig pflanzenverfügbares Phosphat. Die Parzelle ohne Hüttenkalk (Var. 1) hatte bei den jeweiligen Sorten und Jahren immer die geringsten Phosphatwerte.

Tab. 6: Einfluss langjähriger Düngung auf die Phosphatgehalte [mg P₂O₅/100 g Boden] in den Fahrgassen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg P ₂ O ₅ /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	8,3	6,3	10,0	8,0	14,0	12,0
	25 - 50	2,7	0,7	1,0	1,0	8,0	3,0
2) nur CaO	0 - 25	12,5	13,0	16,0	11,0	27,0	26,0
	25 - 50	4,0	2,5	4,0	2,0	10,0	9,0
3) CaO + Mist	0 - 25	49,5	47,5	98,0	76,0	123,0	92,0
	25 - 50	9,0	6,0	21,0	12,0	59,0	34,0
4) CaO + 60N	0 - 25	10,5	9,0	18,0	11,0	23,0	26,0
	25 - 50	2,5	0,5	2,0	0,0	9,0	7,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	14,5	9,5	24,0	13,0	32,0	29,0
	25 - 50	1,5	2,5	4,0	3,0	7,0	5,0
6) CaO + PK	0 - 25	14,0	9,5	16,0	11,0	32,0	27,0
	25 - 50	3,0	0,5	3,0	1,0	13,0	7,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	13,0	8,0	15,0	10,0	30,0	26,0
	25 - 50	1,5	1,0	2,0	1,0	4,0	7,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	16,0	9,0	14,0	8,0	32,0	27,0
	25 - 50	2,0	0,0	4,0	1,0	14,0	5,0

3.1.4 Kaliumgehalte

In Abbildung 6 sind die Kaliumgehalte [mg K₂O/100 g Boden] der obersten Bodenschicht von 0-25 cm der Baumstreifen in den verschiedenen Düngerbehandlungen aller drei Sorten von Versuchsbeginn bis 1994 dargestellt. Dabei ist von Interesse, dass selbst die ungedüngten Kontroll-Parzellen (Var. 1) in jedem Jahr etwas mehr als 20 mg K₂O/100 g Boden aufwiesen und mit diesen Werten die Versorgungsstufe hoch bis sehr hoch (C-D) erreichten. Die verschiedenen Düngerkombinationen mit zusätzlichen Hüttenkalkgaben (Var. 2-8) bewirkten, unabhängig davon ob zusätzlich Kalium gedüngt wurde oder nicht, höhere Kaliumwerte im Oberboden als in der Kontrolle.

Die regelmäßigen mit Stallmistgaben versorgte Parzelle (Var. 3) hatte bis 1989 schon sehr hohe Kaliumwerte von 60 mg K₂O/100 mg Boden. Dies steigerte sich in den folgenden Jahren bis 1994 noch weiter auf Werte über 140 mg K₂O/100 g Boden.

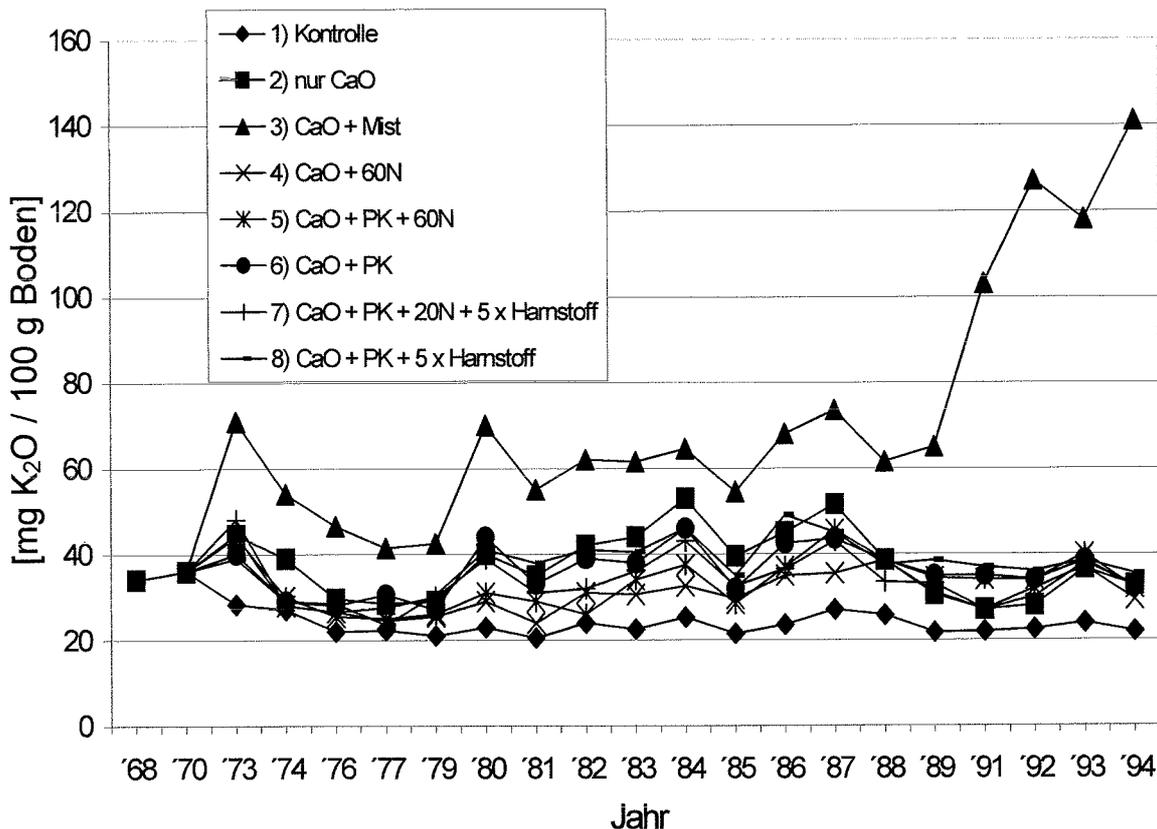


Abb. 6: Einfluss langjähriger Düngerbehandlungen auf den Kaliumgehalt [mg K₂O/100 g Boden] in der oberen Bodenschicht der Baumstreifen von 0-25 cm für die Jahre 1968 bis 1994

In Tabelle 7 werden die **Kaliumgehalte** (K_2O) aus zwei Bodentiefen der **Baumstreifen** der Jahre 1995 und 1996 dargestellt. Die Ergebnisse wurden durch die Düngung und die Bodentiefe deutlich beeinflusst. In der oberen Bodenschicht (0-25 cm) wurden deutlich höhere Kaliumgehalte gefunden als im tieferen Bereich von 25-50 cm. Ein Einfluss der Jahre war nicht festzustellen. In den länger bepflanzten Parzellen mit der Sorte 'Gloster' wurden tendenziell höhere Werte als bei 'Jonagold' und 'Elstar' festgestellt. Die höchsten Werte wurden in den oberen Bodenschichten der langjährig mit Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3) gefunden. Hier akkumulierte sich über die Jahre mehr als die 6-fache Menge an Kalium, die man sonst in gut versorgten Böden findet. Selbst in der Bodenschicht von 25-50 cm war in diesen Parzellen noch eine 4-fache Überversorgung zu verzeichnen. Die mit zusätzlichen Kaliumgaben versorgten Parzellen 5 - 8 wiesen dagegen keine deutlich höheren Kaliumwerte auf als die anderen unterschiedlichen Hüttenkalk-Varianten (Var. 2 und 4) auf. Die ungedüngten Kontrollen (Var. 1) hatten um ein Drittel geringere Kaliumgehalte, dies entsprachen aber noch hohen bis sehr hohen Versorgungsstufen (C-D).

Tab. 7: Einfluss langjähriger Düngung auf die Kaliumgehalte [mg K_2O /100 g Boden] in den Baumstreifen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg K_2O /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	20,0	22,7	19,0	17,0	14,0	9,0
	25 - 50	9,7	9,3	11,0	8,0	10,0	5,0
2) nur CaO	0 - 25	39,0	38,0	31,0	28,0	23,0	22,0
	25 - 50	28,5	25,5	24,0	18,0	13,0	12,0
3) CaO + Mist	0 - 25	143,0	126,5	130,0	123,0	119,0	117,0
	25 - 50	85,5	101,0	75,0	78,0	76,0	74,0
4) CaO + 60N	0 - 25	32,5	32,0	29,0	27,0	21,0	23,0
	25 - 50	18,0	22,5	17,0	13,0	11,0	10,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	39,0	43,0	28,0	33,0	25,0	31,0
	25 - 50	24,0	29,0	25,0	20,0	13,0	14,0
6) CaO + PK	0 - 25	36,0	44,0	27,0	32,0	25,0	32,0
	25 - 50	20,0	23,0	19,0	16,0	14,0	13,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	39,0	42,0	23,0	31,0	22,0	22,0
	25 - 50	18,5	20,0	11,0	12,0	10,0	10,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	31,0	50,0	28,0	32,0	26,0	23,0
	25 - 50	23,0	23,0	11,0	9,0	13,0	11,0

In Tabelle 8 werden die **Kaliumgehalte** (K_2O) aus zwei Bodentiefen der **begrünter Fahrgassen** der Jahre 1995 und 1996 dargestellt. Dabei zeigte sich, dass sowohl die Art der Düngung und die Bodentiefe großen Einfluss auf den Kaliumgehalt ausübten. Die Unterschiede zwischen den Jahren waren gering. In der oberen Bodenschicht von 0-25 cm wurden immer höhere Kaliumgehalte gefunden als im Bereich von 25-50 cm. Insgesamt wurden in den Baumstreifen (Tab. 7) höhere Kaliumgehalte gemessen als unter Gras (Tab. 8), wobei in den Parzellen mit der Sorte 'Gloster' tendenziell niedrigere Werte als bei 'Jonagold' und 'Elstar' festgestellt wurden (Tab. 8). Die höchsten Werte für die Fahrgassen wurden in den oberen Bodenschichten der langjährig vollflächig mit Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3) ermittelt. Hier akkumulierte sich über die Jahre mehr als die 3-fache Menge an Kalium, die man sonst nur in gut versorgten Böden findet. Die Kaliumwerte fielen dennoch in den begrünter Fahrgassen gegenüber den freien Baumstreifen gleicher Düngungspartellen (Var. 3) um die Hälfte ab. In den restlichen Parzellen schwankten die Werte im Oberboden der Fahrgassen zwischen 10 und 30 mg $K_2O/100$ g Boden. Dies entspricht mittleren bis hohen Versorgungsstufen. Die tiefere Bodenschicht wies bedeutend geringere Kaliumwerte als der Oberboden auf (teilweise nur 5 mg $K_2O/100$ g Boden).

Tab. 8: Einfluss langjähriger Düngung auf die Kaliumgehalte [mg $K_2O/100$ g Boden] in den begrünter Fahrgassen der Parzellen mit den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg K_2O /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	7,3	6,7	15,0	14,0	15,0	16,0
	25 - 50	4,0	3,0	8,0	7,0	12,0	9,0
2) nur CaO	0 - 25	16,5	14,0	18,0	20,0	27,0	29,0
	25 - 50	10,5	8,0	12,0	12,0	23,0	24,0
3) CaO + Mist	0 - 25	58,0	60,0	86,0	70,0	101,0	93,0
	25 - 50	17,5	14,0	45,0	39,0	67,0	52,0
4) CaO + 60N	0 - 25	10,0	11,5	18,0	17,0	22,0	23,0
	25 - 50	5,5	5,0	8,0	7,0	15,0	16,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	15,0	13,5	20,0	22,0	25,0	27,0
	25 - 50	5,5	5,5	11,0	11,0	17,0	20,0
6) CaO + PK	0 - 25	15,5	13,5	17,0	20,0	31,0	29,0
	25 - 50	6,0	3,5	9,0	12,0	22,0	21,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	12,0	8,5	13,0	15,0	23,0	25,0
	25 - 50	3,5	2,0	4,0	4,0	14,0	21,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	16,0	12,0	14,0	13,0	31,0	34,0
	25 - 50	6,0	2,0	3,0	1,0	22,0	25,0

3.1.5 Magnesiumgehalte

In Abbildung 7 sind die **Magnesiumgehalte (Mg)** in der Bodenschicht von 0-25 cm der **Baumstreifen** der unterschiedlichen Düngevarianten im Durchschnitt dreier Sorten von Versuchsbeginn **1968 bis 1994** dargestellt. Mit Ausnahme der zusätzlich mit Schweinemist gedüngten Parzelle (Var. 3) zeigten die Magnesiumgehalte der anderen Parzellen Werte zwischen 10 und 15 mg Mg/100 g Boden. Dabei nahmen die Werte der ungedüngten Kontrolle (Var. 1) eine mittlere Position ein. Es wurden in den Parzellen mit Stickstoffdüngung auf den Boden (Var. 4, 5 und 7) - besonders bei Verwendung von schwefelsaurem Ammoniak Anfang der 80er Jahre - in der Tendenz niedrigere Mg-Werte als in der Kontrolle (Var.1) gefunden. Die Kalk plus Stallmist Variante 3 verdoppelte ihren Magnesiumgehalt bis 1994 auf fast 30 mg Mg/100 g Boden.

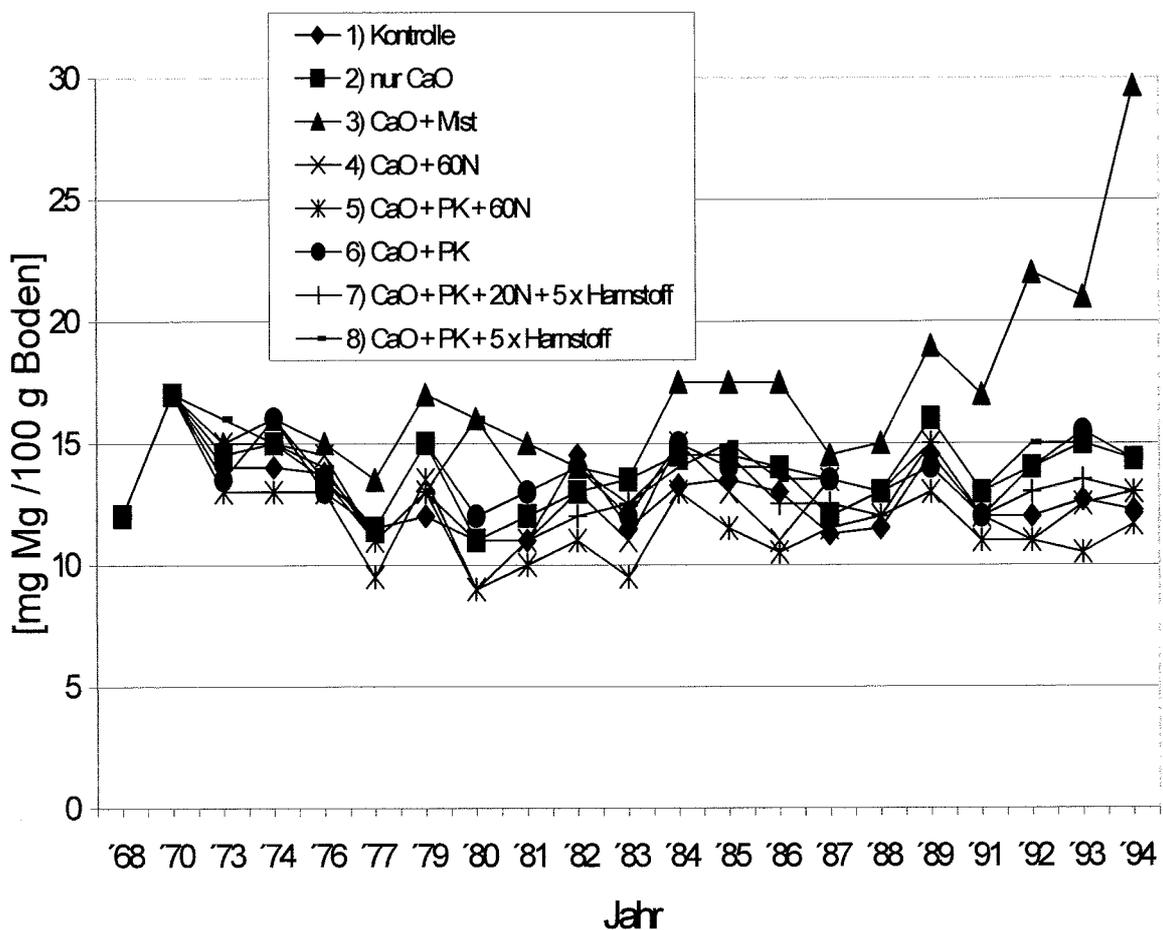


Abb. 7: Einfluss langjähriger Düngung auf den Magnesiumgehalt [mg Mg/100 g Boden] in der oberen Bodenschicht der Baumstreifen von 0-25 cm für die Jahre 1968 bis 1994

In Tabelle 9 werden die **Magnesiumgehalte (Mg)** aus zwei Bodentiefen der **Baumstreifen der Jahre 1995 und 1996** aller Parzellen dargestellt. Die Magnesiumgehalte im Boden wurden durch die Düngung und die Bodentiefe nur zum Teil beeinflusst. Ein Sorteneinfluss konnte nicht festgestellt werden. Es wurden Werte zwischen 11,7 mg und 29,5 mg Magnesium pro 100 g Boden gefunden. Die höchsten Werte wurden in der oberen Bodenschicht der langjährig mit Stallmist gedüngten Parzelle (Var. 3) gefunden. Im Jahr 1996 wurden im Durchschnitt geringfügig höhere Werte gemessen als 1995. Die ungedüngte Kontrolle (Var. 1) hatte im Vergleich zu den anderen Parzellen nicht immer die geringsten Magnesiumgehalte. Sie waren auch nach fast 30 Jahren ohne mineralische Mg Zufuhr noch hoch (Versorgungsstufe D) bis sehr hoch (Versorgungsstufe E).

Tab. 9: Einfluss langjähriger Düngung auf die Magnesiumgehalte [mg Mg/100 g Boden] in den Baumstreifen der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg Mg /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	11,7	12,7	14,0	16,0	12,0	14,0
	25 - 50	13,0	14,7	15,0	16,0	13,0	14,0
2) nur CaO	0 - 25	15,0	16,0	14,0	16,0	16,0	17,0
	25 - 50	15,5	16,5	15,0	18,0	14,0	14,0
3) CaO + Mist	0 - 25	20,5	29,5	23,0	25,0	24,0	26,0
	25 - 50	18,0	24,0	20,0	22,0	16,0	16,0
4) CaO + 60N	0 - 25	13,0	13,0	12,0	14,0	14,0	15,0
	25 - 50	16,5	17,5	15,0	17,0	12,0	15,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	12,0	13,0	14,0	13,0	16,0	13,0
	25 - 50	13,0	15,5	15,0	16,0	14,0	15,0
6) CaO + PK	0 - 25	14,5	16,5	13,0	17,0	14,0	18,0
	25 - 50	13,5	14,0	15,0	16,0	13,0	15,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	14,0	14,5	14,0	15,0	14,0	14,0
	25 - 50	14,5	14,5	11,0	14,0	18,0	19,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	15,0	16,0	15,0	17,0	16,0	17,0
	25 - 50	14,0	14,0	13,0	15,0	14,0	16,0

Die in Tabelle 10 dargestellten **Magnesiumgehalte in den begrünten Fahrgassen** ähneln den Werten aus den Baumstreifen. In den Parzellen mit zusätzlichen Schweinemistgaben (Var. 3) waren die Magnesiumgehalte im Boden ebenfalls im Vergleich zu den anderen Parzellen erhöht.

Tab. 10: Einfluss langjähriger Düngung auf die Magnesiumgehalte [mg Mg/100 g Boden] in den begrünten Fahrgassen der Parzellen mit den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	mg Mg /100 g Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	13,3	15,3	14,0	16,0	14,0	16,0
	25 - 50	12,3	12,7	14,0	15,0	15,0	15,0
2) nur CaO	0 - 25	14,0	15,0	16,0	16,0	13,0	15,0
	25 - 50	14,0	15,0	14,0	15,0	13,0	14,0
3) CaO + Mist	0 - 25	19,0	21,5	19,0	27,0	23,0	26,0
	25 - 50	16,0	17,0	17,0	19,0	19,0	20,0
4) CaO + 60N	0 - 25	16,0	16,0	15,0	15,0	13,0	16,0
	25 - 50	15,0	16,5	14,0	15,0	16,0	17,0
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	14,5	14,5	14,0	17,0	13,0	14,0
	25 - 50	14,0	13,5	14,0	15,0	12,0	14,0
6) CaO + PK	0 - 25	13,5	15,5	14,0	15,0	13,0	16,0
	25 - 50	13,0	12,0	12,0	16,0	13,0	15,0
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	15,0	14,5	15,0	16,0	12,0	15,0
	25 - 50	12,5	13,5	11,0	12,0	17,0	17,0
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	16,0	16,0	16,0	18,0	14,0	18,0
	25 - 50	13,0	13,0	12,0	13,0	15,0	18,0

3.1.6 Humusgehalte

Der Humusgehalt in der oberen Bodenschicht lag vor Versuchsbeginn 1968 bei 1,7 % der TM. Die Humusgehalte für die Jahre 1995 und 1996 in zwei Bodenschichten der Baumstreifen und Fahrgassen der Parzellen mit den Sorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' sind in den Tabellen 11 und 12 dargestellt.

Der **Humusgehalt** im Boden der **Baumstreifen** war stark von der Bodentiefe abhängig. Im Oberboden der Baumstreifen (ohne organische Auflage) stiegen die Humusgehalte in allen Versuchspartellen, mit Ausnahme der zusätzlich mit Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3), von Versuchsbeginn 1968 bis 1995 auf

Werte über 2 % (mittel humos) an. Werden Parabraunerden aus Löß ohne zusätzliche Humuszufuhr lange ackerbaulich genutzt, so stellt sich im Oberboden dagegen ein natürlicher Humusgehalt von 1,6 - 2,0 % (= schwach humos) ein. Die ungedüngte Kontrolle (Var. 1) des vorliegenden Versuches hatte in den untersuchten Jahren keine niedrigeren Humusgehalte als die Düngerbehandlungen mit Ausnahme der Stallmist-Parzellen (Var. 3). In den Stallmistparzellen konnten mit bis zu 3,8 % Humusanteil, bedingt durch die Zugabe großer Mengen organischen Materials, die höchsten Humusgehalte des vorliegenden Versuches gemessen werden. In der unteren Bodenschicht von 25-50 cm wurden deutlich geringere Humusgehalte mit Werten um 1,2 % festgestellt, die Stallmistparzellen lagen mit 1,4 - 2,0 % wiederum höher (Tab. 11).

Tab. 11: Einfluss langjähriger Düngung auf die Humusgehalte [% trockener Boden] in den Baumstreifen mit den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	Humusgehalt in % trockenen Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	1,9	2,0	2,5	2,6	2,0	2,2
	25 - 50	1,3	1,2	1,1	1,3	1,4	1,2
2) nur CaO	0 - 25	2,0	1,9	2,2	2,4	2,3	2,2
	25 - 50	1,4	1,2	1,2	1,4	1,3	1,1
3) CaO + Mist	0 - 25	2,6	3,3	3,8	3,4	3,3	3,4
	25 - 50	1,4	1,6	1,5	2,0	1,6	1,5
4) CaO + 60N	0 - 25	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,2
	25 - 50	1,1	1,2	1,2	1,3	1,1	1,3
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	1,9	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2
	25 - 50	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2	1,3
6) CaO + PK	0 - 25	1,9	2,0	2,2	2,1	2,3	2,1
	25 - 50	1,4	1,3	1,6	1,4	1,3	1,3
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	2,1	2,1	1,9	2,2	2,1	2,0
	25 - 50	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	1,9	2,2	2,1	2,3	2,2	2,5
	25 - 50	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2

Ebenso wie in den Baumstreifen hingen die **Humusgehalte** in den begrünten **Fahrgassen** von der Bodentiefe ab. Wiederum wurde in den ganzflächig zusätzlich mit Stallmist gedüngten Parzellen 3, in beiden Jahren und bei allen untersuchten Sorten höhere Humusgehalte als in den anderen Parzellen festgestellt. Insgesamt waren in den begrünten Fahrgassen die Humusanteile in der Bodenschicht von 0-25 cm in allen untersuchten Düngervarianten höher als in den entsprechenden Bodenschichten der Baumstreifen. In der unteren Bodenschicht von 25-50 cm unterschieden sich dagegen die einzelnen Humusgehalte nur unwesentlich von denen der freien Baumstreifen (Tab. 12).

Tab. 12: Einfluss langjähriger Düngung auf die Humusgehalte [% trockener Boden] in den begrünten Fahrgassen der Parzellen mit den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in den Schichten von 0-25 cm bzw. 25-50 cm, 1995 und 1996

Behandlung	Bodentiefe [cm]	Humusgehalt in % trockenen Boden					
		'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0 - 25	2,3	2,5	2,6	2,9	2,2	2,6
	25 - 50	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2
2) nur CaO	0 - 25	2,1	2,7	2,4	3,1	2,2	2,4
	25 - 50	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2
3) CaO + Mist	0 - 25	2,6	3,1	3,5	3,9	3,4	3,6
	25 - 50	1,2	1,3	1,6	1,6	2,2	1,7
4) CaO + 60N	0 - 25	2,3	2,8	2,7	2,7	2,1	2,5
	25 - 50	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
5) CaO + PK + 60N	0 - 25	2,7	2,6	2,3	2,7	2,2	2,4
	25 - 50	1,1	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2
6) CaO + PK	0 - 25	2,3	2,8	2,6	2,5	2,2	2,8
	25 - 50	0,6	1,1	1,1	1,3	1,6	1,3
7) CaO + PK + 20N + 5 x Harnstoff	0 - 25	2,4	2,6	2,5	2,8	2,2	2,6
	25 - 50	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,4
8) CaO + PK + 5 x Harnstoff	0 - 25	2,3	2,8	2,7	2,6	2,3	2,8
	25 - 50	1,2	1,1	1,2	1,2	1,4	1,3

3.2 Mineralstoffkonzentrationen der Blätter

Die **Stickstoffkonzentration** der **Langtriebblätter** fruchtender Apfelbäume war von der Düngung abhängig. Im August 1995 wurden bei allen untersuchten Sorten geringere N-Konzentrationen in den Blättern gefunden als im August 1996. Die niedrigsten Stickstoffkonzentrationen zeigten sich in den Parzellen (1), (2) und (6), die keine zusätzlichen Stickstoffgaben erhielten. Die höchsten N-Konzentrationen wurden immer in den stallmistgedüngten Parzellen (Var. 3) gefunden. Der in der Literatur (QUAST 1986) angenommene Optimalbereich von 2,2-2,6 % N in der TM wurde hier teilweise überschritten. 1995 fanden sich in den Parzellen mit einer ausschließlichen N-Düngung über das Blatt (Var. 8) signifikant niedrigere Blatt-N-Konzentrationen als in den mit 60 kg N/ha über den Boden gedüngten Parzellen (Var. 4 und 5). 1996 konnte dieser Unterschied statistisch nicht mehr gesichert werden (Tab. 13).

Tab. 13: Stickstoffkonzentration [% N in der Trockenmasse] der Blätter von Langtrieben fruchtender Bäume im August in Abhängigkeit von langjähriger Düngung bei den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	1,98 a	2,28 ab	1,74 b	2,11 a	1,89 c	2,47 bc
2) nur CaO	2,03 a	2,29 ab	1,61 a	2,22 ab	1,81 b	2,35 ab
3) CaO + Mist	2,68 d	2,78 d	2,18 d	2,77 d	2,52 f	2,62 cd
4) CaO + 60N	2,37 c	2,56 cd	2,01 c	2,51 bcd	2,39 e	2,51 bc
5) CaO + PK + 60N	2,40 c	2,55 bcd	2,01 c	2,46 bc	2,36 e	2,52 bc
6) CaO + PK	1,88 a	2,17 a	1,56 a	2,10 a	1,80 b	2,22 a
7) CaO + PK +20N +Harn.	2,20 b	2,54 bcd	2,03 c	2,59 cd	1,98 d	2,74 d
8) CaO + PK + Harnstoff	2,04 ab	2,45 bc	1,73 b	2,41 bc	1,64 a	2,36 ab

In Tabelle 14 sind die **Phosphorkonzentrationen** der Blattproben von Langtrieben im August 1995 und 1996 angegeben. 1995 ließen sich bei den untersuchten Sorten Unterschiede statistisch signifikant absichern. Im Folgejahr 1996 war dies wegen der biologischen Streuung nur bei der Sorte 'Elstar' möglich. Nur selten wurde der Optimalwert von über 0,15 % P in der TM unterschritten. Die höchsten Werte wurden bei der Sorte 'Gloster' gefunden. Im Jahr 1995 hatten bei allen drei Sorten, die mit ausschließlich Hüttenkalk gedüngten Parzellen (Var. 2) und Parzellen 6 (CaO + PK) deutlich höhere P-Konzentrationen als die anderen Parzellen. Bei 'Elstar' fanden sich 1996 zusätzlich auch bei Parzelle 8 hohe P-Konzentrationen in den Apfelblättern. Die Konzentrationen in den ungedüngten Parzellen (Var. 1) waren immer kleiner als in den nur mit Hüttenkalk gedüngten Parzellen (Var. 2), dagegen konnte ein Unterschied zu den Boden-Stickstoff-Düngebehandlungen (Var. 3, 4, 5 und 7) nur selten gefunden werden. Die kombinierten Stickstoff-Phosphordüngungen in den Parzellen 5, 7 und 8 führten im Vergleich zu den ohne PK-gedüngten Parzellen (Var. 4) meist nicht zu höheren Blattkonzentrationen an Phosphor.

Tab. 14: Phosphorkonzentration [% P in der Trockenmasse] der Blätter von Langtrieben fruchtender Bäume im August in Abhängigkeit von langjähriger Düngung bei den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', 1995 und 1996

	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0,15 a	0,46 ns	0,12 b	0,15 ns	0,18 d	0,16 a
2) nur CaO	0,26 bc	0,39 ns	0,19 c	0,19 ns	0,23 f	0,21 b
3) CaO + Mist	0,15 a	0,42 ns	0,11 ab	0,15 ns	0,16 c	0,16 a
4) CaO + 60N	0,13 a	0,32 ns	0,11 ab	0,13 ns	0,14 ab	0,14 a
5) CaO + PK + 60N	0,18 abc	0,29 ns	0,09 a	0,13 ns	0,14 b	0,14 a
6) CaO + PK	0,28 c	0,32 ns	0,17 c	0,21 ns	0,21 e	0,23 bc
7) CaO + PK +20N +Harn.	0,14 a	0,30 ns	0,09 a	0,14 ns	0,13 a	0,16 a
8) CaO + PK + Harnstoff	0,16 ab	0,33 ns	0,13 b	0,16 ns	0,14 b	0,24 c

Die verschiedenen langjährigen Düngungsvarianten hatten auf die **Blattkaliumkonzentrationen** im August nur für einzelne Kombinationen einen statistisch absicherbaren Einfluss. Auf Grund der biologischen Streuung konnten für 'Jonagold'-Blätter im Jahr 1995 keine Unterschiede statistisch gesichert werden. Obwohl die Stallmist-Parzellen (Var. 3) bei den Bodenkaliumberhalten extreme Werte aufzeigten, wirkte sich dies bei den Blattkonzentrationen nicht in dem Maße aus. Auch mineralische Kaliumdüngung in den Varianten 5-8 beeinflusste die Kaliumkonzentrationen der Apfelblätter nur unwesentlich. Häufig lagen die Werte im optimalen Versorgungsbereich (1,1-1,4 % K in der TM). Die Unterschiede zwischen den Jahren und den Sorten waren gegenüber den anderen Nährstoffen geringer (Tab. 15).

Tab. 15: Kaliumkonzentration [% K in der Trockenmasse] der Blättern von Langtrieben fruchtender Bäume im August in Abhängigkeit von langjähriger Düngung bei den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', 1995 und 1996

	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	1,32 ab	1,23 a	1,11 ns	1,30 ab	1,65 ab	1,12 a
2) nur CaO	1,56 b	1,38 ab	1,43 ns	1,49 ab	2,18 c	1,60 bcd
3) CaO + Mist	1,34 ab	1,45 ab	1,39 ns	1,51 b	1,73 b	2,08 e
4) CaO + 60N	1,17 a	1,28 ab	1,37 ns	1,19 a	1,26 a	1,35 abc
5) CaO + PK + 60N	1,24 ab	1,22 a	1,17 ns	1,24 ab	1,49 ab	1,42 abcd
6) CaO + PK	1,52 b	1,55 b	1,41 ns	1,50 ab	1,61 ab	1,84 de
7) CaO + PK + 20N + Harn.	1,42 ab	1,31 ab	1,24 ns	1,18 a	1,41 ab	1,21 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	1,34 ab	1,31 ab	1,33 ns	1,24 ab	1,35 ab	1,67 cde

Die langjährige Düngung beeinflusste teilweise die **Calciumkonzentration der Langtriebblätter** fruchtender Bäume. Die Ergebnisse über die Jahre und Sorten zeigen aber nicht immer eine einheitliche Tendenz. So hatten die Blätter im August 1995 von 'Jonagold' der Parzellen 8 mit 1,37 % Ca in der Trockenmasse eine niedrigere Konzentration als 1996; in der gleichen Behandlung wurde bei 'Elstar' 1996 mit 1,87 % sogar der insgesamt höchste Wert gemessen. Ein positiver Einfluss einer Bodenkalkung auf die Blattcalciumkonzentration ließ sich nicht erkennen. Im Gegenteil waren 1995 bei 'Jonagold' und 'Elstar' die Calciumgehalte in den ungedüngten Kontrollen (Var. 1) signifikant höher als in den ausschließlich gekalkten Parzellen (Var. 2). Insgesamt zeigten die mit Stallmist gedüngten Parzellen die niedrigsten Werte. Der Schwellenwert für eine gute Versorgung von 1,00 % Ca in der TM wurden in allen Parzellen weit überschritten (Tab. 16).

Tab. 16: Calciumkonzentration [% Ca in der Trockenmasse] der Blätter von Langtrieben fruchtender Bäume im August in Abhängigkeit von langjähriger Düngung bei den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', 1995 und 1996

	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	1,70 cd	1,70 ab	1,65 e	1,71 ns	1,41 c	1,67 bc
2) nur CaO	1,72 cd	1,64 ab	1,45 bc	1,64 ns	1,15 a	1,54 ab
3) CaO + Mist	1,49 a	1,37 a	1,46 bcd	1,59 ns	1,41 c	1,33 a
4) CaO + 60N	1,66 bcd	1,69 ab	1,51 cd	1,72 ns	1,62 d	1,60 b
5) CaO + PK + 60N	1,76 d	1,82 b	1,52 d	1,64 ns	1,76 e	1,59 b
6) CaO + PK	1,59 abc	1,60 ab	1,43 ab	1,59 ns	1,15 a	1,49 ab
7) CaO + PK +20N +Harn.	1,55 ab	1,69 ab	1,61 e	1,73 ns	1,24 b	1,62 b
8) CaO + PK + Harnstoff	1,67 bcd	1,77 b	1,37 a	1,70 ns	1,32 b	1,87 c

Ein Einfluss der Düngung auf die **Magnesiumkonzentration in Blättern** im August konnte in einigen Varianten gefunden werden. Einen Effekt der langjährigen Bodenkalkung ließ sich in den zwei Untersuchungsjahren nicht ableiten. 1996 wurden im Vergleich zu 1995 insgesamt höhere Magnesiumkonzentrationen gemessen. Blattkonzentrationen über 0,20 % Mg in der TM gelten als optimaler Versorgungsbereich, diese Konzentration wurde in den meisten Parzellen überschritten. Der Einfluss der Jahre war scheinbar größer als der Effekt der Behandlungen. Ein Einfluss der Sorten zeigte sich nicht. Die ausschließlich mit Hüttenkalk gedüngten Parzellen (Var. 2) und die Parzellen 6 (CaO + PK) wiesen in den Apfelblätter meist geringere Magnesiumkonzentrationen auf als Blätter von Apfelbäumen anderer Parzellen (Tab. 17). Dies verhielt sich umgekehrt zu den Blatt-Phosphorkonzentrationen.

Tab. 17: Magnesiumkonzentration [% Mg in der Trockenmasse] der Blätter von Langtrieben fruchtender Bäume im August in Abhängigkeit von langjähriger Düngung bei den Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', 1995 und 1996

	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	0,28 a	0,36 ab	0,26 c	0,38 ns	0,23 c	0,37 b
2) nur CaO	0,27 a	0,32 a	0,21 b	0,30 ns	0,20 b	0,30 ab
3) CaO + Mist	0,26 a	0,36 ab	0,25 c	0,38 ns	0,28 e	0,35 b
4) CaO + 60N	0,26 a	0,36 ab	0,23 bc	0,38 ns	0,26 d	0,36 b
5) CaO + PK + 60N	0,31 b	0,39 b	0,22 b	0,34 ns	0,28 de	0,33 b
6) CaO + PK	0,26 a	0,31 a	0,18 a	0,28 ns	0,17 a	0,24 a
7) CaO + PK +20N +Harn.	0,26 a	0,34 ab	0,24 c	0,38 ns	0,18 a	0,32 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	0,27 a	0,37 ab	0,21 ab	0,34 ns	0,20 b	0,29 ab

3.3 Nährstoffverlagerungen durch die Grasmulchwirtschaft

Mit einem neu entwickelten Verfahren konnte erstmals der Biomasse- und Nährstofffluss exakt ermittelt werden, der sich beim Mähen der Fahrgassen von modernen Apfelanlagen ergibt. Für die Messungen des Trockenmasseaufwuchses wurde zwischen zwei Mähdurchgängen immer nur der Biomassenzuwachs über 2 cm Höhe bestimmt. Der eigentliche Mähvorgang der Fahrgassen erfolgte mit einem Kreiselmulcher Humus AF 3000. Dieses Gerät zeichnet sich durch gute Mähqualität und beidseitige Ablage der Mulchmasse auf die Baumstreifen aus.

3.3.1 Biomasseproduktion in den Fahrgassen und Verlagerung mit der Mahd in die Baumstreifen

In den Abbildungen 8 und 9 sind die Biomasseproduktionen in den Fahrgassen entsprechend ihrem Anteil an einem Hektar Obstfläche (=6180 m² Fahrgassen) und die verlagerte Mahd in die Baumstreifen für die Jahre 1995 und 1996 dargestellt. Die statistische Verrechnung erfolgte getrennt, Unterschiede wurden mit den Buchstaben a-b bzw. y-z bezeichnet. Die Biomasseproduktion war 1995 mit 5 Mähdurchgängen höher als in 1996 mit 3 Mähdurchgängen. In beiden Jahren fanden sich in den ungedüngten Kontrollparzellen (Var. 1) im Vergleich zu den gedüngten Varianten (Var. 3 und 5) die signifikant niedrigeren Biomassenzuwächse in den Fahrgassen. 1995 wurde gegenüber 1996 mehr Biomasse in die Baumstreifen verlagert. Das Verhältnis von Aufwuchsleistung zu Verlagerung verringerte sich jedoch. Nur 1995 konnten die unterschiedlichen Mengen an verlagerten Trockenmassen (TM) aus gedüngten (Var. 3 und 5) und ungedüngten Fahrgassen (Var. 1) auch statistisch gesichert werden. Die ungedüngte Kontrolle (Var. 1) wies den niedrigsten Wert mit 554 kg TM (von 6180 m² Fahrgassenanteil) bezogen auf einen Hektar Obstfläche und Jahr auf; der höchste Wert wurde in der Volldünger-Variante (Var. 5) mit 803 kg TM gemessen.

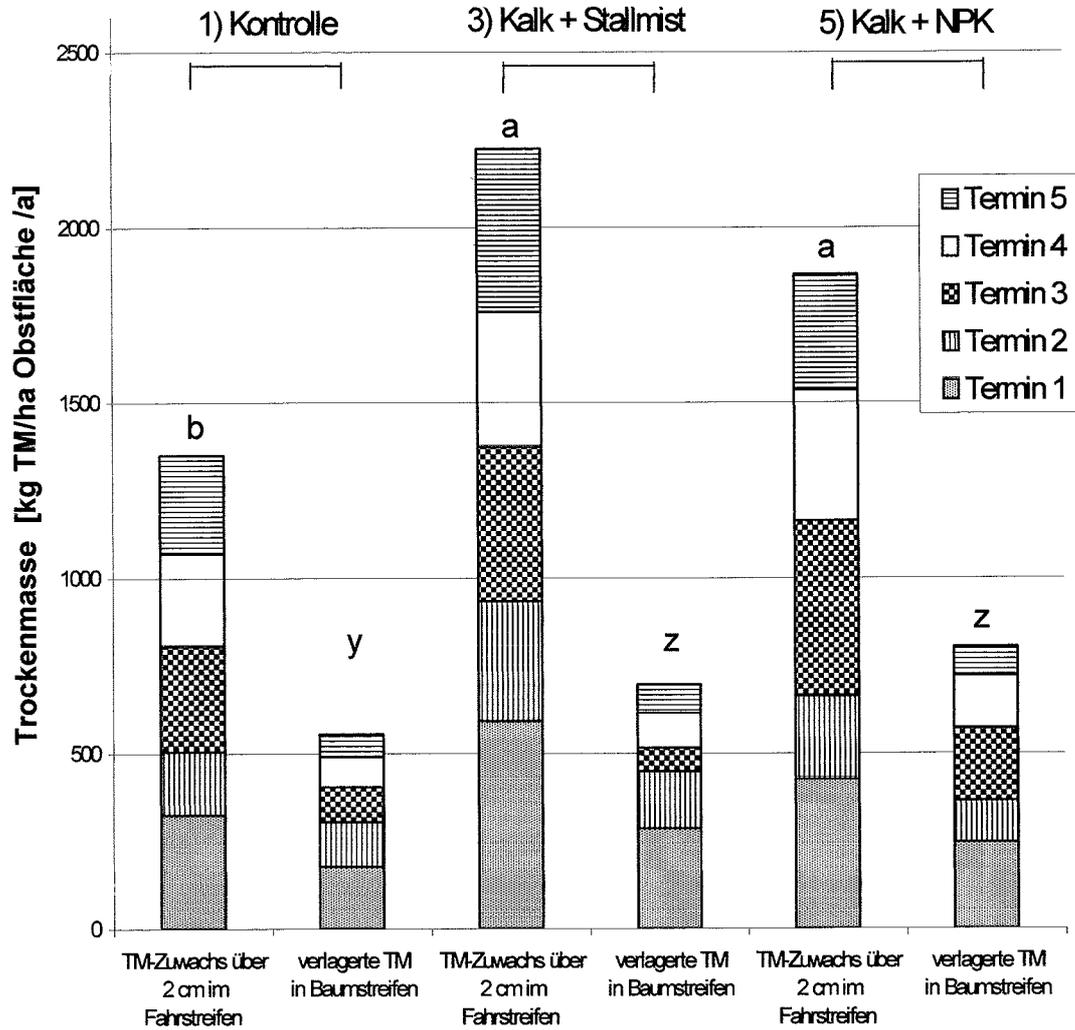


Abb. 8: Einfluss von 3 ausgesuchten Düngebehandlungen auf die jährlich akkumulierte Trockenmasseproduktion (TM) von 6180 m² Fahrgassenanteil/ha Obstfläche (a-b) und den durch die Mulch-Mähwirtschaft verlagerten Anteil auf die Baumstreifen (y-z) im Jahr 1995 (5 Mähtermine, statistische Unterschiede bei ungleichen Buchstaben zwischen a-b bzw. y-z)

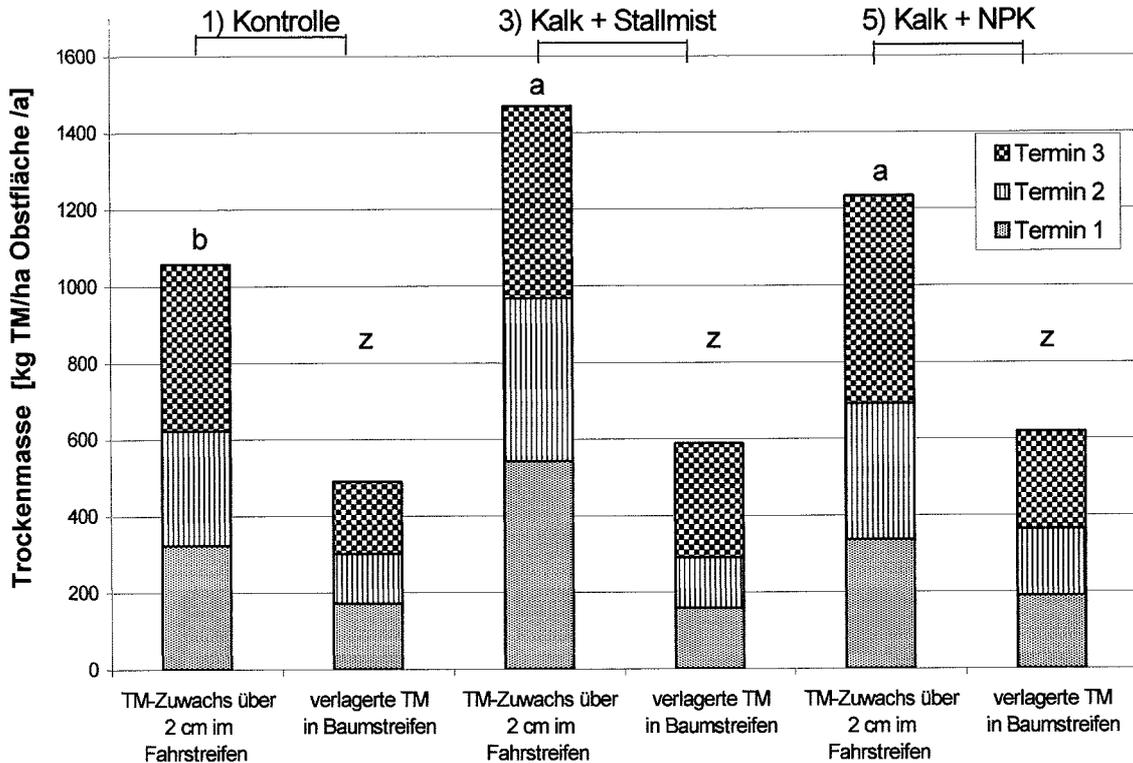


Abb. 9: Einfluss von 3 ausgesuchten Düngebehandlungen auf die jährlich akkumulierte Trockenmasseproduktion (TM) von 6180 m² Fahrgassenanteil/ha Obstfläche und den durch die Mulch-Mähwirtschaft verlagerten Anteil auf die Baumstreifen im Jahr 1996

3.3.2 Stickstoff- und Mineralstoffkonzentrationen in der Mahd

Die flächige Düngung mit Stallmist (Var. 3) erhöhte, im Vergleich mit den Varianten "Ungedüngt" (Var. 1) und "NPK in den Baumstreifen" (Var. 5), die Stickstoff- (für das Jahr 1995 von 2,28-3,02 % N in der TM auf 3,02-3,94 % N in der TM) und die Kaliumkonzentrationen (für das Jahr 1995 von 2,16-2,89 % K in der TM auf 3,20-4,09 % K in der TM) in dem Mähgut und verringerte die Calciumkonzentrationen (für das Jahr 1995 von 0,58-0,73 % Ca in der TM auf 0,43-0,63 % Ca in der TM). Im Vegetationsverlauf eines Jahres änderten sich die Mineralstoffkonzentrationen in dem Mähgut der jeweiligen Behandlungen, mit Ausnahme der Stickstoffkonzentrationen, nur geringfügig. Die Stickstoff- und Kaliumkonzentrationen in der Mahd unterlagen auch zwischen den untersuchten Jahren gewissen Schwankungen (Tab. 18 und Tab. 19).

Tab. 18: Einfluss unterschiedlicher Düngebehandlungen im Jahr 1995 auf die durchschnittlichen Mineralstoffkonzentrationen [% in der TM] im Grasschnitt (Mittelwert von 6 Proben je Grasschnitttermin) der Versuchsanlage im Jahresverlauf

Behandlung	Grasschnitt	MW-N % TM	MW-P % TM	MW-K % TM	MW-Ca %TM	MW-Mg %TM
1	1	2,37	0,40	2,89	0,58	0,16
1	2	2,28	0,49	2,72	0,67	0,19
1	3	2,28	0,45	2,16	0,73	0,18
1	4	2,69	0,49	2,66	0,63	0,18
1	5	3,02	0,57	2,73	0,73	0,21
3	1	3,20	0,49	4,09	0,43	0,24
3	2	3,02	0,37	3,23	0,45	0,21
3	3	3,50	0,44	3,20	0,57	0,25
3	4	3,53	0,46	3,77	0,57	0,25
3	5	3,94	0,59	4,02	0,63	0,33
5	1	2,43	0,43	2,83	0,55	0,16
5	2	2,33	0,47	2,71	0,63	0,17
5	3	2,63	0,47	2,46	0,62	0,18
5	4	2,99	0,51	2,77	0,62	0,16
5	5	3,22	0,55	3,01	0,69	0,21

Tab. 19: Einfluss unterschiedlicher Düngebehandlungen im Jahr 1996 auf die durchschnittlichen Mineralstoffkonzentrationen [% in der TM] im Grasschnitt (Mittelwert von 6 Proben je Grasschnitttermin) der Versuchsanlage im Jahresverlauf

Behandlung	Grasschnitt	MW-N % TM	MW-P % TM	MW-K % TM	MW-Ca %TM	MW-Mg %TM
1	1	2,37	0,39	2,87	0,46	0,17
1	2	1,98	0,42	2,79	0,61	0,21
1	3	2,46	0,38	2,88	0,70	0,23
3	1	2,92	0,46	3,07	0,30	0,19
3	2	2,58	0,40	3,13	0,40	0,23
3	3	2,90	0,39	2,74	0,51	0,24
5	1	2,57	0,38	2,84	0,64	0,17
5	2	2,08	0,39	2,84	0,53	0,18
5	3	2,52	0,35	2,75	0,70	0,21

3.3.3 Nährstoffverlagerung in die Baumstreifen durch die Mahd

Aus der bei jedem Mähdurchgang in die Baumstreifen verlagerten Biomasse und den jeweiligen Mineralstoffkonzentrationen wurden die Gesamtmengen an verlagerten Mineralstoffen pro Jahr berechnet. Es ist zu vermuten, dass diese Nährstoffe nach einer gewissen Umsetzungszeit den Bäumen wieder zur Verfügung stehen. Unterschiede in den verlagerten Nährstoffmengen konnten, analog zu den verlagerten Trockenmassen, nur für das Jahr 1995 zwischen der ungedüngten (Var. 1) und den gedüngten Parzellen (Var. 3 und 5) statistisch

gesichert werden. Tabellen 20 und 21 geben einen Überblick über die Nährstoffverlagerungen durch Grasmulch. Aus den ungedüngten Fahrgassen (Var. 1) wurden im Vergleich zu den gedüngten Fahrgassen (Var. 3 und 5) weniger Stickstoff und weniger Kalium in den Baumstreifen verfrachtet. Im feuchteren Jahr 1995 schwankten die verlagerten Stickstoffmengen zwischen 13,6 kg N und 23,1 kg N pro Hektar Obstfläche und Jahr. 1996 wurden mit 11,3 kg N in "Unbehandelt" (Var. 1) und 16,6 kg N/ha in den "Stallmist" Parzellen (Var. 3) etwas weniger umverteilt. Die Kaliumverlagerung verhielt sich analog zur Stickstoffverlagerung. Die Verlagerungen pro Jahr und Hektar von Phosphor, Calcium und Magnesium beliefen sich in allen Fällen unter 5 kg pro Hektar je Nährstoff.

Tab. 20: Verlagerung von Biomasse und Mineralelementen durch Mulchen aus den Fahrgassen in die Baumstreifen für 1 ha Apfelanlage im Jahr 1995

Behandlung	verlagerte Biomasse [kg TM /ha /a]	verlagerte Mineralelemente [kg /ha /a]				
		N	P	K	Ca	Mg
1) Kontrolle	553,6	13,6	2,6	14,8	3,6	1,0
3) 1.0 t Kalk + 10.0 t Stallmist	695,3	23,1	3,2	26,1	3,4	1,7
5) 1.0 t Kalk + NPK	802,9	21,3	3,8	21,9	4,9	1,4

Tab. 21: Verlagerung von Biomasse und Mineralelementen durch Mulchen aus den Fahrgassen in die Baumstreifen für 1 ha Apfelanlage im Jahr 1996

Behandlung	verlagerte Biomasse [kg TM /ha /a]	verlagerte Mineralelemente [kg /ha /a]				
		N	P	K	Ca	Mg
1) Kontrolle	489,1	11,3	1,9	14,0	2,9	1,0
3) 1.0 t Kalk + 10.0 t Stallmist	586,8	16,6	2,4	17,1	2,5	1,3
5) 1.0 t Kalk + NPK	617,9	14,9	2,3	17,3	3,9	1,2

3.4 Fruchtreife und -qualität

3.4.1 Grundfarbe der Früchte

Die Grundfarbe kann zur Beurteilung der äußeren Fruchtqualität herangezogen werden, da nur Äpfel mit grüner - nicht aber gelber - Grundfarbe verkäuflich sind. Die nach dem optischen Minolta-Reflectance-Verfahren ermittelten a^* -Werte der Messfunktion $L^*a^*b^*$ sind im Grünbereich negativ und steigen, wenn die Intensität der Grünfärbung abnimmt und ins Gelbe übergeht.

Bei der Sorte 'Jonagold' war die Grundfarbe sowohl nach Lagerung im Jahr 1995 wie auch zu beiden Messterminen im Jahr 1996 durch die Düngung beeinflusst. Früchte aus Parzellen ohne Stickstoffdüngung (Varianten 1, 2 und 6) waren deutlich weniger grün als Früchte, die mit Stickstoff gedüngt waren. Wie zu erwarten, veränderten die Früchte während der Lagerung 1996 ihre Grundfarbe. Die Farbveränderungen verliefen in allen Parzellen in gleicher Weise von grün zu weniger grün zu gelb (Tab. 22). Für die Sorte 'Gloster' konnte das vorgenannte Ergebnis zur Ernte 1996 bestätigt werden (im Anhang, Tab. A1). Auch die Messungen an Früchten der Sorte 'Elstar' (Tab. A2) brachten ähnliche Ergebnisse wie bei der Sorte 'Jonagold' (Tab. 22).

Tab. 22: Einfluss langjähriger Düngung auf die Farbkomponente a^* [a^* -CIELAB-Wert] der Schalengrundfarbe von Früchten der Apfelsorte 'Jonagold' zur Ernte 1996 und nach Kühlagerung, 1995/96 und 1996/97, MINOLTA-Chroma Meter II Reflectance

Ernte	1995		1996	
	Lager 05/03/96 (grüne Meßstelle)	Ernte 14/10/96 (grüne Meßstelle)	Lager 22/05/97 (grüne Meßstelle)	
1) ohne Düngung	-3,64 abc	-11,96 bc	-07,23 abc	
2) nur CaO	-3,40 bc	-12,50 bc	-06,48 bc	
3) CaO + Mist	-7,63 a	-15,49 a	-10,59 a	
4) CaO + 60N	-4,94 abc	-15,27 a	-08,95 abc	
5) CaO + PK + 60N	-6,75 abc	-15,59 a	-09,34 ab	
6) CaO + PK	-2,81 c	-11,77 c	-05,44 c	
7) CaO + PK + 20N + Harn.	-7,44 ab	-14,40 ab	-07,99 abc	
8) CaO + PK + Harnstoff	-5,54 abc	-14,06 abc	-07,26 abc	

P = 5%

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

3.4.2 Ethylenkonzentration im Kernhaus der Früchte

Die Ethylenkonzentration im Kerngehäuse kann als Maß für den Reifegrad von Apfelfrüchten herangezogen werden. Im Stadium der Pflückreife liegt der Schwellenwert für den Atmungsanstieg im Bereich von 0,1-1,0 ppm C₂H₄. Zur Ernte in beiden Versuchsjahren lagen die Ethylenkonzentrationen in den Kerngehäusen aller untersuchter Sorten und Düngungsvarianten in diesem Bereich. Die Ausnahme war 'Jonagold' zur Ernte 1995 mit mehr als 10 ppm C₂H₄ im Kernhaus, was auf einen verspäteten Pflücktermin deutet (Tab. A3). Die Unterschiede in den Ethylenkonzentrationen zwischen den Behandlungen waren zur Ernte gering und ließen sich nur in wenigen Fällen statistisch absichern. Nach der Kühllagerung stiegen die Ethylenkonzentrationen in den Kerngehäusen in beiden Jahren, wie zu erwarten war, deutlich an. Dabei ergaben sich, bei großen Streubreiten, erhebliche Sortenunterschiede. Bei 'Jonagold' konnten die höchsten Ethylenkonzentrationen im Kernhaus gemessen werden. Die gefundenen Unterschiede zeigten keinen deutlichen Trend in der Abhängigkeit von der Behandlung. Bei allen Sorten konnten aber die niedrigsten Werte meist in den Parzellen ohne Stickstoffzugaben (Var. 1, 2 und 6) gefunden werden. Im Gegensatz zu 'Jonagold' lagen die Ethylenkonzentrationen bei 'Elstar' (Tab. 23) und 'Gloster' (Tab. A4) in ähnlicher Größenordnung.

Tab. 23: Einfluss langjähriger Düngung auf die Ethylenkonzentration [ppm C₂H₄] im Kernhaus von Früchten der Apfelsorte 'Elstar' zur Ernte und nach Kühllagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 26/09/95	Lager 22/02/96	Ernte 27/09/96	Lager 22/05/97
1) ohne Düngung	0,15 ab	48,14 ab	0,03	37,61 a
2) nur CaO	0,14 ab	26,90 a	0,05	44,71 ab
3) CaO + Mist	0,26 b	102,13 b	0,05	46,54 ab
4) CaO + 60N	0,22 ab	67,05 ab	0,03	69,59 abc
5) CaO + PK + 60N	0,12 ab	99,24 b	0,03	56,74 abc
6) CaO + PK	0,11 a	22,58 a	0,03	101,74 bc
7) CaO + PK + 20N + Harn.	0,14 ab	70,64 ab	0,02	88,88 abc
8) CaO + PK + Harnstoff	0,20 ab	86,58 ab	0,02	116,43 c
P = 5%			n.s.	

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

3.4.3 Säurekonzentration der Früchte

Die Düngung beeinflusste bei allen drei Sorten die Äpfelsäurekonzentration in den Früchten. Innerhalb der Verteilung ergaben sich aber homogene Gruppen und die Rangfolgen waren nicht immer gleich. Tendenziell wurden in Früchten aus den zusätzlich mit Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3) die höchsten Äpfelsäurekonzentrationen gemessen. Die Parzellen, die nur gekalkt wurden (Var. 2) oder gänzlich ohne Düngung blieben (Var. 1), hatten nicht die niedrigsten Säurekonzentrationen. Die Säurekonzentrationen zur Ernte waren bei 'Elstar' mit 0,87-1,31 % Äpfelsäure deutlich höher (Tab. 24) als bei den anderen beiden Sorten mit 0,66-0,75 % Äpfelsäure für 'Jonagold' (Tab. A5), bzw. mit 0,62-0,86 % Äpfelsäure für 'Gloster' (Tab. A6). Ebenfalls konnte ein deutlicher Jahreseinfluss beobachtet werden. Von der Ernte bis zur Auslagerung erfolgte bei allen Sorten ein Säureabbau. Bei 'Gloster' verlief dieser Säureabbau in beiden Untersuchungsjahren ähnlich und war scheinbar nicht von der Lagerdauer beeinflusst. Bei 'Jonagold' und 'Elstar' wurden hingegen in dem Jahr mit der längeren Lagerdauer (1997) auch die niedrigsten Äpfelsäurekonzentrationen gemessen.

Tab. 24: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtsäurekonzentration [% Äpfelsäure] bei der Sorte 'Elstar', zur Ernte und nach Kühllagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 26/09/95	Lager 22/02/96	Ernte 27/09/96	Lager 22/05/97
1) ohne Düngung	1,03 abc	0,67 ab	0,96 bc	0,32 a
2) nur CaO	1,09 abcd	0,74 d	0,96 bc	0,35 abc
3) CaO + Mist	1,31 e	0,73 cd	1,04 de	0,42 de
4) CaO + 60N	0,93 a	0,64 a	1,12 e	0,44 e
5) CaO + PK + 60N	1,00 ab	0,69 bc	1,05 de	0,37 bcd
6) CaO + PK	1,22 de	0,81 e	0,99 cd	0,38 cd
7) CaO + PK + 20N + Harn.	1,16 cde	0,70 bc	0,89 ab	0,33 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	1,14 abcd	0,74 d	0,87 a	0,41 de
P = 5%				

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

3.4.4 Fruchtfleischfestigkeit, Refraktometerwert, Entwicklung des Stärkeabbaues und des Reifeindex nach STREIF zur Ernte sowie nach Lagerung

Ein signifikanter Einfluss der verschiedenen Düngerbehandlungen auf die Fruchtfleischfestigkeit war zur Ernte hauptsächlich bei der Sorte 'Elstar' zu erkennen (Tab. 25; Tab. A7; Tab. A9). Hohe Stallmistgaben (Var. 3) und Stickstoffdüngung mit 60 kg N über den Boden (Var. 4 und 5) verminderten die Fruchtfestigkeit um 1 kg/cm² gegenüber Früchten ohne Stickstoffdüngung (Var. 1, 2 und 6) oder mit Harnstoff behandelten (Var. 7 und 8). Für 'Jonagold' konnten diese Ergebnisse in der Tendenz für das Jahr 1995 bestätigt werden. Für die Sorte 'Gloster' war ein Einfluss nicht absicherbar. Nach langer Kühllagerung von 3-5 Monaten fielen die Festigkeitswerte bei allen drei Sorten und in beiden Versuchsjahren in Bereiche von 3-5 kg/cm² (Tab. 26; Tab. A8; Tab. A10). Solche geringen Festigkeitswerte werden vom Konsumenten als zu weich empfunden. Die zur Ernte gefundenen Relationen zwischen den Behandlungen veränderten sich auch nach der Kühllagerung nicht. Die höchsten Festigkeitswerte bei 'Elstar' (Tab. 26) und bei 'Gloster' (nur 1995, Tab. A8) wurden bei Auslagerung in den mit Hüttenkalk, PK und Harnstoff behandelten Parzellen (Var. 8) gefunden.

Refraktometerwert

Der Refraktometerwert war zur Ernte, wie auch bei der später dargestellten Trockenmasse, nur wenig von den Düngerbehandlungen abhängig. Für die Sorte 'Gloster' konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen ermittelt werden. Für die anderen beiden Sorten war ein Einfluss meist nur schwach vorhanden. Die niedrigsten Zuckerkonzentrationen in Früchten der Sorte 'Elstar' wurden 1995 mit 10,63 % in den Parzellen mit hohen Stallmistgaben (Var. 3) gefunden. Fast 5 % mehr Zucker wiesen 'Elstar'-Äpfel der Parzellen 6 und 8 auf. Im anderen Jahr und bei den anderen beiden Sorten waren die Unterschiede meist sehr gering. Nach 5 Monaten Kühllagerung konnten die niedrigsten Refraktometerwerte von 11,67-13,57 % in Äpfeln aller Sorten aus den mit Stallmistgaben gedüngten Parzellen (Var. 3) analysiert werden. Die Zuckerkonzentrationen stiegen während der Lagerung meist geringfügig an. Zwischen den Jahren gab es meist größere Unterschiede als zwischen den Behandlungen.

Stärkeabbau

Der Stärkeabbau wird als ein Maß für die Pflückreife genutzt. In den vorgestellten Versuchen konnte nach der Ernte nur im Jahr 1995 für 'Elstar' und im Jahr 1996 für 'Gloster' ein Unterschied im Stärkeabbau zwischen den Düngerbehandlungen herausgearbeitet werden. Sowohl bei 'Elstar' im Jahr 1995 als auch bei 'Gloster' im Jahr 1996 wiesen die Früchte aus ungedüngten Parzellen (Var. 1) den geringsten Stärkeabbau auf und waren damit weniger reif als Früchte aus den übrigen Parzellen. Im Jahr 1996 war die Ernte relativ spät und zum Untersuchungszeitraum war die Stärke bis zum Endwert 10 abgebaut.

Da die Sorte 'Jonagold' erst bei relativ fortgeschrittenem Stärkeabbau (7-8) geerntet wird, waren statistische Unterschiede nicht unbedingt zu erwarten. Zum Zeitpunkt nach der Lagerung konnten keine Unterschiede mehr beobachtet werden, da bei allen Sorten die gesamte Stärke, wie erwartet abgebaut, war.

Streifindex

Der Reifeindex nach STREIF ist ein weiteres Kriterium, um den Pflückzeitpunkt von Äpfeln zu bestimmen. Je kleiner der Index, um so reifer sind die Früchte. Da schon die Ausgangsparameter Festigkeit, Refraktometerwert und Stärkeabbau wenig von der Düngung beeinflusst waren, waren auch die Unterschiede bei den errechneten Streifindizes gering. Nur in wenigen Fällen ließ sich ein Einfluss der Düngung statistisch nachweisen.

Tab. 25: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtfleischfestigkeit (F) [kg/cm²], die löslichen Trockenmasse als Refraktometerwert R [in % Zucker], Entwicklung des Stärkeabbaues S [Boniturnoten 1-10] und des Reifeindex nach STREIF [F/(R x S)] von Früchten der Apfelsorten 'Elstar' zur Ernte, 1995 und 1996

Behandlung	Fruchtfleischfestigkeit (F) kg/cm ²		Refraktometerwert (R) % Zucker		Stärkeabbau (S) Wert 1-10		Reifeindex [F/ (R x S)]	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	8,03 bc	7,77 ab	14,00 bc	13,17 ab	2,8 a	10,0	0,21	0,059 bc
2) nur CaO	8,31 c	7,94 b	14,02 bc	12,86 a	3,2 ab	10,0	0,19	0,061 c
3) CaO + Mist	6,90 a	7,37 ab	10,63 a	13,79 b	4,1 ab	10,0	0,17	0,053 a
4) CaO + 60N	7,14 ab	7,69 ab	12,94 b	13,19 ab	3,5 ab	10,0	0,17	0,058 abc
5) CaO + PK + 60N	7,10 ab	7,64 ab	12,83 b	12,61 a	3,2 ab	10,0	0,15	0,061 c
6) CaO + PK	8,69 c	7,70 ab	15,58 c	13,20 ab	4,0 ab	10,0	0,19	0,058 abc
7) CaO + PK +20N +Harn.	8,18 c	7,25 a	14,31 bc	13,13 ab	3,2 ab	10,0	0,14	0,055 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	8,38 c	7,58 ab	15,57 c	12,68 a	4,4 b	10,0	0,19	0,059 bc
P = 5%						n.s.		n.s.

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Die langjährige Düngung hatte bei allen untersuchten Apfelsorten einen statistisch gesicherten Einfluss auf den **Stickstoffgehalt** erntereifer Früchte. Die in unseren Früchten gefundenen N-Gehalte entsprachen den empfohlenen Sollwerten von 35-60 mg N/100 g FM (HINZ 1989, LAFER 1995 und 2002a). In alle untersuchten Sorten und Jahren konnten in denen mit Kalk und zusätzlichem Schweinemist gedüngten Parzellen (Var. 3) die höchsten Werte gefunden werden. Um $\frac{1}{3}$ kleiner waren die Stickstoffgehalte in Früchten aus ungedüngten (Var.1) oder ausschließlich gekalkten Parzellen (Var. 2). Die niedrigsten Werte fanden sich in den stickstofffrei gedüngten Parzellen 6 (Tab. 28).

Tab. 28: Stickstoffgehalte [mg N in 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit gutem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	36,04 cd	47,38 abc	34,91 d	39,50 cd	49,34 bc	51,37 bc
2) nur CaO	38,89 c	37,50 bc	27,90 e	35,64 d	42,86 cd	50,87 bc
3) CaO + Mist	54,86 a	54,32 a	55,51 a	65,25 a	71,08 a	69,37 a
4) CaO + 60N	52,32 ab	49,12 abc	42,16 c	52,46 abc	47,24 bcd	55,21 ab
5) CaO + PK + 60N	49,14 b	57,88 a	46,40 b	56,49 ab	52,23 bc	57,20 ab
6) CaO + PK	39,79 c	35,97 c	21,48 f	43,93 bcd	38,54 d	43,02 bc
7) CaO + PK + 20N + Harn.	39,23 c	51,03 ab	42,19 c	52,34 abc	54,62 b	50,58 bc
8) CaO + PK + Harnstoff	31,77 d	50,93 ab	26,59 e	44,67 bcd	54,63 b	38,88 c
P = 5%						
signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte						

In Tabelle 29 sind die **Phosphatgehalte** erntereifer Früchte dargestellt. Als Sollwert für einen normalen Phosphorgehalt in Apfelfrüchten gelten 10-12 mg P/ 100 g FM. Ein Einfluss der Düngebehandlungen konnte in den vorliegenden Untersuchungen nur bei wenigen Varianten statistisch gesichert werden. Die Früchte aus Parzellen mit Stallmistdüngung (Var. 3) und mit 60 Kg N (Var. 4 und 5) hatten über alle Sorten und Jahre meist die geringsten Phosphorgehalte. Ein positiver Einfluss der Bodendüngung mit Phosphat auf die Phosphorgehalte der Früchte war nicht zu erkennen.

Tab. 29: Phosphorgehalte [mg P in 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit gutem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'		
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	
1) ohne Düngung	9,51 abc	10,57 abc	9,35 ab	9,15 bc	12,06 b	13,46	
2) nur CaO	10,19 ab	12,48 a	11,89 a	10,83 bc	12,32 b	12,57	
3) CaO + Mist	9,80 abc	9,14 bc	8,28 ab	8,44 c	12,04 b	12,88	
4) CaO + 60N	7,96 c	8,68 c	7,79 b	9,09 bc	8,03 c	12,12	
5) CaO + PK + 60N	8,53 bc	9,09 c	9,76 ab	10,83 bc	8,61 c	11,47	
6) CaO + PK	10,14 abc	12,11 ab	11,27 ab	11,07 ab	13,20 b	13,83	
7) CaO + PK +20N +Harn.	9,51 abc	9,27 bc	8,47 ab	11,41 ab	11,37 b	11,20	
8) CaO + PK + Harnstoff	10,92 a	11,33 abc	9,16 ab	13,54 a	15,93 a	11,60	
P = 5%						n.s.	
signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte							

Ein statistischer Einfluss der Düngebehandlungen auf den **Kaliumgehalt** der Früchte konnte nicht in allen untersuchten Jahren und Sorten gefunden werden. Die Kaliumwerte schwankten jahresbedingt innerhalb der Sorten. 'Elstar'-Früchte hatten in beiden untersuchten Jahren jeweils die höchsten Kaliumgehalte. Früchte aus den Parzellen 3 mit zusätzlichen Stallmistgaben und daraus resultierenden hohen Kaliumgehalten im Boden hatten nicht in allen Fällen höhere Kaliumwerte als die Früchte aus anderen Düngebehandlungen (Tab. 30). Für eine Lagerung gelten Früchte mit einem niedrigen (100-120 mg K/100 g FM) bis hohen (120-150 mg K/100 g FM) Kaliumgehalt als geeignet. Sehr niedrige Fruchtkaliumgehalte (unter 100 mg K/100 g FM) oder sehr hohe Fruchtkaliumgehalte (über 150 mg K/100 g FM) wirken sich dagegen negativ auf die Lagerstabilität der Äpfel aus.

Tab. 30: Kaliumgehalte [mg K in 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit gutem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	115,31 ab	97,97	132,68 bc	95,70 b	179,85	124,72 ab
2) nur CaO	117,33 ab	108,15	150,81 a	100,42 ab	155,65	121,70 ab
3) CaO + Mist	118,76 ab	110,21	143,12 ab	116,40 a	168,72	164,13 a
4) CaO + 60N	131,29 a	100,29	123,58 c	98,30 b	175,51	127,00 ab
5) CaO + PK + 60N	110,75 b	105,03	125,73 c	105,70 ab	144,01	131,64 ab
6) CaO + PK	112,59 ab	109,90	153,36 a	108,97 ab	172,89	141,52 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	121,51 ab	99,46	125,56 c	101,46 ab	154,29	102,93 b
8) CaO + PK + Harnstoff	130,30 a	106,14	135,89 bc	103,66 ab	179,35	108,58 b
P = 5%	n.s.				n.s.	
signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte						

Ein Einfluss der Behandlungen auf den **Fruchtcalciumgehalt** konnte nur für wenige Kombinationen gesichert werden. Insgesamt bewegten sich die gefundenen Calciumgehalte auf Grund der gewählten Fruchtsektoranalyse auf einem niedrigen Niveau, wobei die Werte 1996 größer waren als 1995. Der Sollwert von 3,5-4,5 mg Ca/100 g FM wurde kaum erreicht. Die niedrigsten Calciumgehalte von 1,16-3,0 mg/100 g FM wurden meist in Früchten der Parzellen 3 gefunden. Ein Unterschied zwischen den über 30 Jahren ungedüngten Kontrollen (Var. 1) und den ausschließlich mit Hüttenkalk behandelten Parzellen (Var. 2) konnte in keinem Fall statistisch gesichert werden (Tab. 31).

Tab. 31: Calciumgehalte [mg Ca in 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit gutem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	1,87 ab	3,33	2,04 bc	2,47 b	2,66 ab	3,56
2) nur CaO	1,82 ab	3,61	2,17 bc	3,07 ab	2,92 a	3,58
3) CaO + Mist	1,77 ab	2,88	1,16 d	3,00 ab	1,64 b	2,17
4) CaO + 60N	1,89 ab	3,66	1,40 cd	4,01 a	2,18 ab	3,14
5) CaO + PK + 60N	1,66 b	3,32	2,13 bc	3,26 ab	2,17 ab	3,67
6) CaO + PK	1,73 ab	3,33	3,00 a	2,79 b	2,21 ab	3,40
7) CaO + PK + 20N + Harn.	2,14 ab	3,67	1,88 bcd	3,44 ab	1,96 ab	3,05
8) CaO + PK + Harnstoff	2,34 a	2,94	2,22 b	3,02 ab	1,79 ab	2,89
P = 5%	n.s.				n.s.	
	signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte					

Tabelle 32 zeigt die **Magnesiumgehalte** erntereifer Früchte unter dem Einfluss unterschiedlicher Düngerbehandlungen. Statistische Unterschiede der Magnesiumgehalte in den Früchten konnten nur für wenige Kombinationen gesichert werden. Der Sollwert für eine normale Versorgung (4,5-6 mg Mg/100 g FM) wurde meist erreicht. Die Magnesiumwerte waren 1996 in der Tendenz leicht höher als 1995. Die niedrigsten Werte wurden 1995 bei 'Elstar' in den Parzellen 5 gefunden (4,08 mg Mg/100 g FM), die höchsten 1996 in den 'Elstar'-Parzellen 3 mit 6,64 mg Mg/100 g FM. Insgesamt hatten Früchte aus den Behandlungen 3 und 8 in der Tendenz relativ hohe Mg-Gehalte.

Tab. 32: Magnesiumgehalte [mg Mg in 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit gutem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	4,38	5,24 ab	4,46	4,93 abc	4,19 b	6,16 ab
2) nur CaO	4,12	5,28 ab	4,72	4,51 c	4,25 b	5,81 ab
3) CaO + Mist	5,07	5,64 a	5,14	5,15 a	5,24 ab	6,64 a
4) CaO + 60N	4,40	5,48 ab	4,87	4,53 bc	4,61 ab	6,13 ab
5) CaO + PK + 60N	4,81	5,46 ab	4,72	5,08 ab	4,08 b	6,54 a
6) CaO + PK	4,49	4,82 b	5,06	4,57 bc	5,10 ab	6,02 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	4,84	5,38 ab	4,73	5,00 abc	4,49 ab	5,67 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	5,21	5,70 a	4,71	4,79 abc	6,00 a	5,31 b
P = 5%	n.s.		n.s.			
	signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte					

In Tabelle 33 wird das **(K+Mg)/Ca-Verhältnis** der Äpfel zur Ernte aufgezeigt. Dieser Quotient wird als ein Indikator zur Prognose physiologischer Fruchtkrankheiten genutzt und sollte im optimalen Fall kleiner 36 sein. Das ebenfalls häufig verwendete K/Ca-Verhältnis in den Früchten kam im vorliegenden Versuch zu gleichen Verhältniszahlen und wurde nicht separat dargestellt. Im Jahr 1995 konnte auf Grund der biologischen Streuungen ein Düngeeinfluss auf die untersuchte Verhältniszahl nur für die Sorte 'Jonagold' gesichert werden. Im Jahr 1996 hatte bei allen drei Sorten die Düngung einen Einfluss auf das K+Mg/Ca-Verhältnis. 1995 waren die Quotienten bei allen untersuchten Sorten und Behandlungen deutlich größer als im Jahr 1996. Die größten Quotienten und damit die ungünstigsten Werte wurden bei den drei Sorten und in beiden Jahren in den Parzellen 3 = CaO + Stallmist gefunden.

Tab. 33: K+Mg/Ca-Verhältnis [bezogen auf 100 g Frischmasse] erntereifer Früchte von Bäumen mit normalem Fruchtbehang der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar' in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1995 und 1996

Behandlung	'Gloster'		'Jonagold'		'Elstar'	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	64,62	31,27 ab	67,83 bc	40,70 a	74,99	37,56 b
2) nur CaO	67,66	31,60 ab	71,73 bc	34,79 ab	54,82	36,19 b
3) CaO + Mist	71,16	40,47 a	28,03 a	40,74 a	105,78	80,47 a
4) CaO + 60N	72,20	29,28 b	95,10 b	25,94 b	86,33	45,09 b
5) CaO + PK + 60N	69,88	33,34 ab	61,83 c	34,38 ab	74,69	38,64 b
6) CaO + PK	69,61	34,50 ab	52,94 c	40,87 a	80,77	43,27 b
7) CaO + PK + 20N + Harn.	59,15	28,71 b	70,24 bc	30,96 ab	81,41	35,74 b
8) CaO + PK + Harnstoff	58,25	38,64 ab	65,66 bc	36,41 ab	104,74	39,63 b
P = 5%	n.s.				n.s.	
	signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte					

3.4.6 Lagerverhalten und physiologische Fruchterkrankungen

Nach langer Kühllagerung über 5-6 Monaten bis März des Folgejahres konnten nur an 'Jonagold'- und 'Elstar'-Äpfeln aus den Stallmist gedüngten Parzellen 3 Stippe als physiologische Fruchterkrankung festgestellt werden. Im Jahr 1995 wiesen im Durchschnitt 35% aller 'Jonagold' aus Parzelle 3 Stippe auf. Für 'Elstar' ergab sich ein Anteil von 23 % stippigen Früchten in Parzelle 3. In allen anderen Parzellen und bei der Sorte 'Gloster' war keine Stippe festzustellen. Im Jahr 1996 konnte nur bei der Sorte 'Jonagold' aus Parzelle 3 ein schwacher Befall von 2-3 % stippigen Früchten beobachtet werden. Früchte aller anderen untersuchten Sorten-Düngungs-Kombinationen zeigten selbst unter den langen Lagerungsbedingungen keine Anzeichen von Stippigkeit. Die Ergebnisse der Bonituren auf Fruchtfäulen und Fleischbräune streuten stark. Eine Abhängigkeit von der Düngungsform ließ sich statistisch nicht nachweisen. Bei 'Elstar' fanden sich 1995 in den Parzellen im Schnitt Werte zwischen 1-4,5 % faule Früchte zum Lagerende, 1996 waren mit bis zu 9 % mehr faule Früchte zu beobachten. Für 'Jonagold' ergaben sich für das Jahr 1995 und 1996 Werte zwischen 1,5 % und 6,3 % bzw. 2,6-6,6 % befallener Äpfel. Gloster zeigte im Lagerungsversuch 1995 auffallend viele Früchte mit Fleischbräune. Hier waren im Schnitt 4,3 bis 23,3 % der Früchte befallen. Im Jahr 1996 fanden sich in den unterschiedlichen Lagerungspartien nur 2,1-10,7 % fleischbraune Früchte. Die sonst bei 'Gloster' häufig beobachtet Kernhausfäule trat nicht auf (keine grafische Darstellung).

3.5 Vegetatives Verhalten und Stammdurchmesser

Wie zu erwarten wurden die Stammdurchmesser durch die Sorten beeinflusst. Die langjährige Düngung beeinflusste den Stammdurchmesser der Sorten 'Gloster' und 'Elstar' dagegen nur durch geringfügig. Innerhalb der Verteilungen gab es homogene Gruppen. Für die Sorte 'Gloster' wurden die größten Stammdurchmesser mit 9,49 cm für die Düngerkombination mit jährlicher Kalkung, PK und zusätzlichen Harnstoffspritzungen (Var. 8) festgestellt. Nur zu dieser Kombination konnten einige Unterschiede gesichert werden. Auffallend war, dass sich die Stammdurchmesser der ungedüngten Kontrollbäume (Var.1) bei 'Gloster' und den anderen Sorten nur unwesentlich von gedüngten Varianten unterschieden. Für 'Jonagold' konnten keine Unterschiede statistisch gesichert werden. Der Düngereinfluss auf das vegetative Wachstum trat noch am deutlichsten bei der Sorte 'Elstar' in Erscheinung. Hier zeigten die zusätzlich mit Kalk und hohen Gaben an Stallmist gedüngten Bäume (Var. 3) die höchsten vegetativen Zuwächse, dargestellt als Stammdurchmesser (Tab. 34).

Tab. 34: Stammdurchmesser [cm] der Apfelsorten 'Gloster', 'Jonagold' und 'Elstar', in Abhängigkeit von langjähriger Düngung, 1998

Behandlung	'Gloster'	'Jonagold'	'Elstar'
1) ohne Düngung	9,14 bc	8,19	9,21 ab
2) nur CaO	8,34 ab	7,49	9,68 abc
3) CaO + Mist	8,28 a	7,77	10,37 c
4) CaO + 60N	8,53 abc	8,02	10,06 bc
5) CaO + PK + 60N	8,69 abc	8,04	9,87 abc
6) CaO + PK	8,80 abc	8,29	9,58 abc
7) CaO + PK + 20N + Harn.	8,66 abc	8,27	9,04 a
8) CaO + PK + Harnstoff	9,49 c	8,29	9,59 abc
P = 5%		n.s.	

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

3.6 Generatives Verhalten, Erträge, Anteile Handelsklasse I

In Abbildung 10 sind die **kumulierten Gesamterträge der Sorte 'Gloster'** und der davon vermarktungsfähige Anteil der Handelsklasse-I (HK-I) pro Baum in der Vollertragphase der Jahre 1995-1998 dargestellt. Um das Ergebnis besser abzusichern, wurden im Gegensatz zu 'Elstar' und 'Jonagold' ein weiteres 4. Ertragsjahr in die Darstellung aufgenommen. Trotzdem konnte ein Düngeeinfluss weder auf den Gesamtertrag pro Baum, noch auf den Anteil der HK-I-Früchte statistisch nachgewiesen werden ($p = 5\%$). In der Tendenz hatte die Parzelle 7 (PK+20 kg N + Harnstoff) sowohl den höchsten kumulierten Gesamtertrag als auch den höchsten vermarktungsfähigen Ertrag mit 127 kg/Baum. Der kumulierte Handelsklasse-I-Ertrag für 4 Jahre war pro Baum in der ungedüngten Kontrolle (Var. 1) nur insgesamt 10 kg geringer als in der ertragstärksten Parzelle 7.

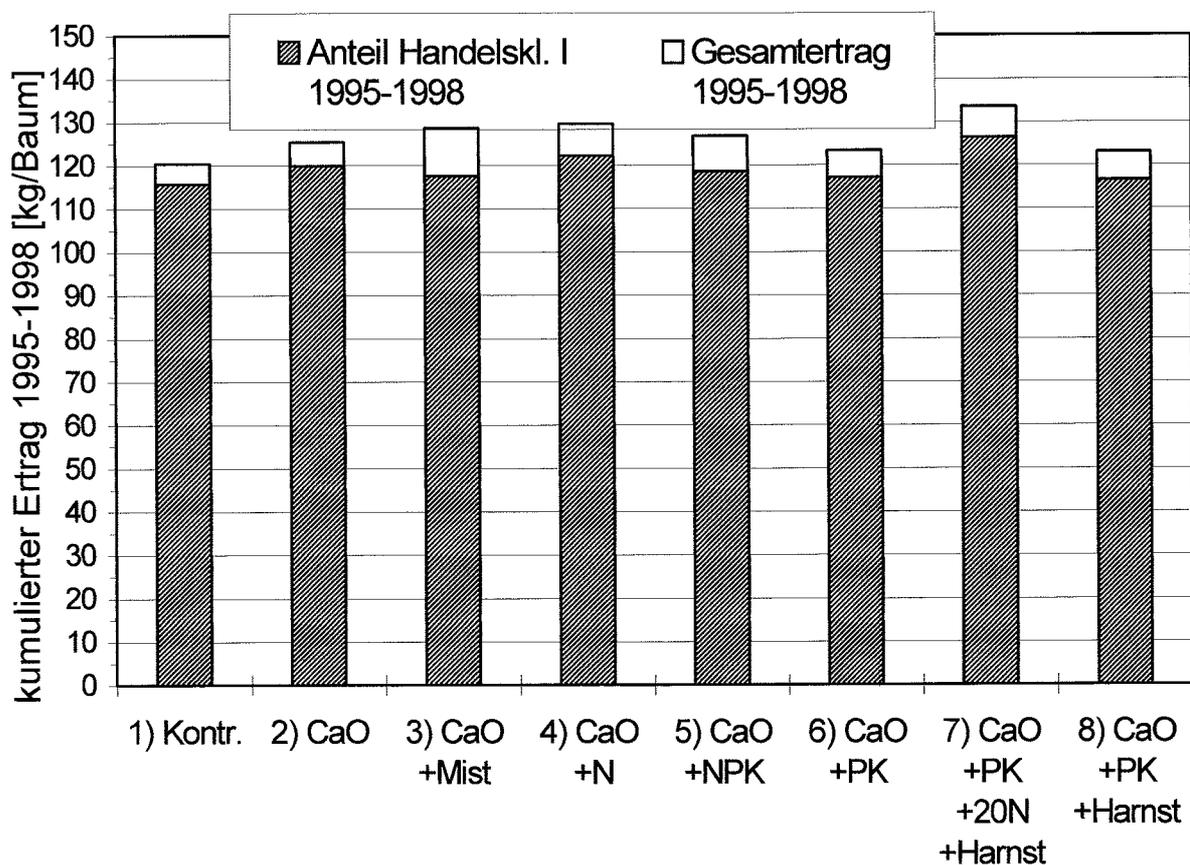


Abb. 10: Einfluss langjähriger Düngung auf den kumulierten Gesamtertrag und Anteil Handelsklasse-I bei 'Gloster' von 1995-1998 [kg/Baum] ($p=0,05$; nicht signifikant)

In der Abbildung 11 sind die **kumulierten Gesamterträge** und die **Anteile an vermarktungsfähiger Handelsklasse-I bei 'Elstar'** pro Baum für die Vollertragsjahre 1995 bis 1997 dargestellt. Für die Parzelle 3 konnte kein HK-I-Anteil errechnet werden, da das Sortierergebnis aus dem Jahr 1996 wegen eines technischen Fehlers nicht auswertbar war. In den anderen Jahren wies die Parzelle 3 aber immer den höchsten Anteil an nicht vermarktungsfähigen Früchten auf. Die Parzellen mit Stickstoffdüngung (Var. 3-5 und 7-8) wiesen höhere Erträge auf als die ohne (Var. 1, 2 und 6). Wurde nur der vermarktungsfähige Anteil der Klasse-I-Früchte berücksichtigt, so konnten Unterschiede nur für die beiden Parzellen mit Harnstoffanteilen gesichert werden. In Parzelle 7 wurden mit über 42 kg pro Baum die höchsten kumulierten Erträge an Früchten der Handelsklasse-I für den Zeitraum von 1995 bis 1997 festgestellt. Die geringsten Erträge produzierten die Bäume in der Parzelle 6 (ohne N-Gaben).

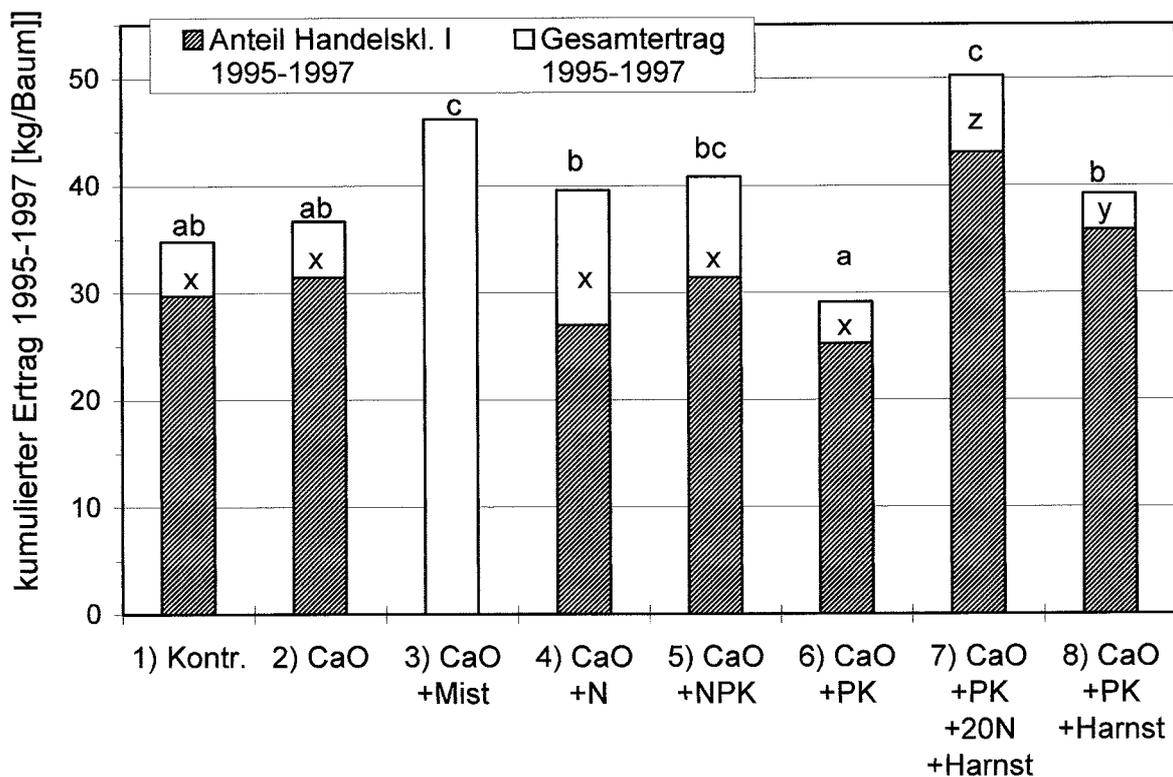


Abb. 11: Einfluss langjähriger Düngung auf den kumulierten Gesamtertrag (a-c) und Anteil Handelsklasse-I (x-z) bei 'Elstar' von 1995-1997 [kg/Baum], statistische Unterschiede (p=0,05) bei ungleichen Buchstaben zwischen a-c bzw. x-z

Bei der Sorte 'Jonagold' (Abb. 12) wurden durch die Düngung nur die **kumulierten Gesamterträge** der Parzellen 3-5 während der drei untersuchten Vollertragsjahren positiv beeinflusst. Für die **vermarktungsfähigen Erträge** der Handelsklasse-I konnte in den Jahren 1995-1997 ein Einfluss statistisch jedoch nicht nachgewiesen werden ($p = 5\%$). Den geringsten kumulierten, vermarktungsfähigen Ertrag, mit unter 50 kg/Baum, wies die Parzelle 6 (Phosphor, Kalium und Hüttenkalkgaben) auf. Für die anderen Behandlungen ergaben sich für die drei Jahre Erträge von 50 bis 57 kg/Baum.

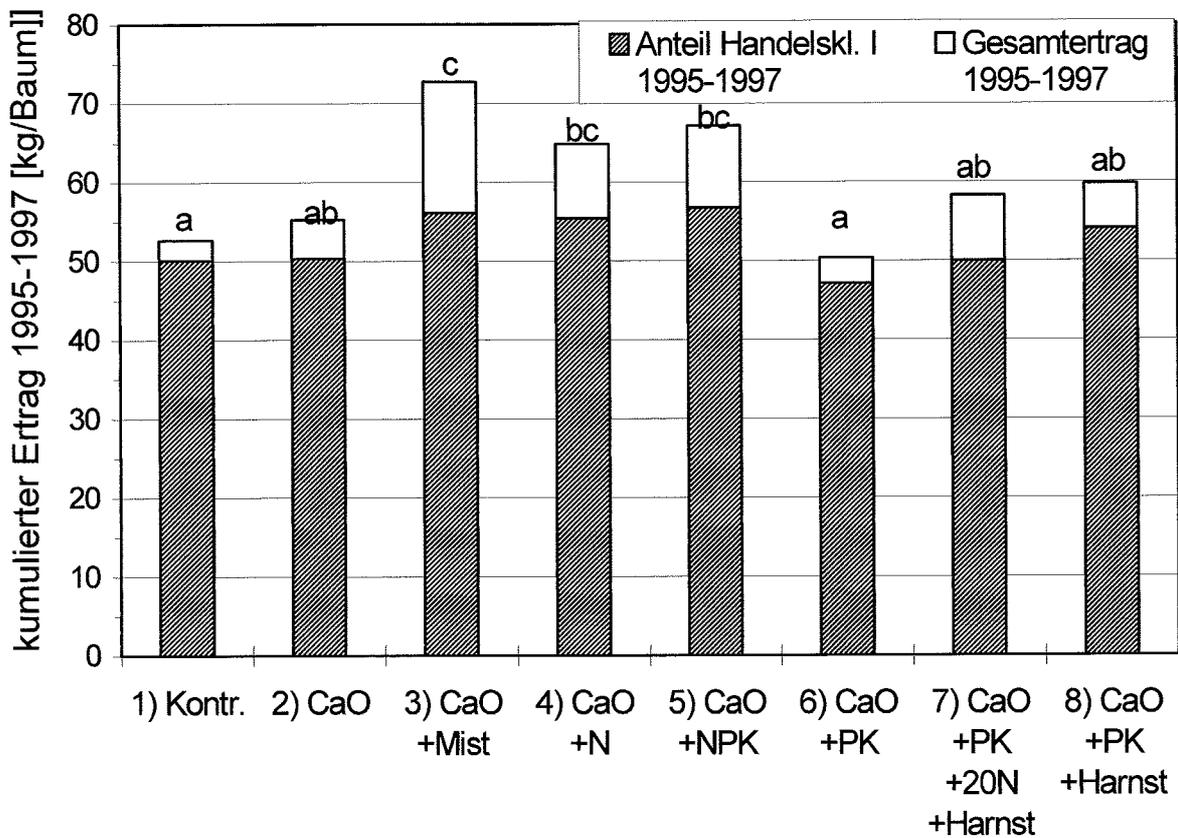


Abb. 12: Einfluss langjähriger Düngung auf den kumulierten Gesamtertrag (a-c) und Anteil Handelsklasse-I bei 'Jonagold' 1995-1997 [kg/Baum], ($p = 0,05$ für Gesamtertrag, Anteil Handelsklasse-I nicht signifikant)

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Durch die vorliegende Untersuchung sollte gezeigt werden, welchen Einfluss die Düngung in einem fast 30-jähriger Dauerdüngungsversuch auf Boden, Ertrag, Fruchtqualität und Lagerverhalten von Apfel auf M9 im dritten Nachbau hat. Da es in der Literatur kaum valide Daten zur Nährstoffverlagerung aus den Fahrgassen in die Baumstreifen durch Grasmulchwirtschaft gab, sollte auch dieser Einfluss bei der Interpretation der Düngung mit untersucht werden. Es zeigte sich in unseren Versuchen, dass durch die Grasmulchwirtschaft pro Hektar und Jahr ca. 15-20 kg N, 2-4 kg P, 15-25 kg K, 2,5-5 kg Ca und 1-1,5 kg Mg aus den Fahrgassen in die Baumstreifen verlagert werden und damit zur Versorgung der Obstgehölze beitragen (Tab. 20 und 21). Diese Verlagerung führte zu keiner übermäßigen Akkumulation an Nährstoffen in den Baumstreifen.

Die langjährigen Düngungsvarianten am Versuchsstandort Klein-Altendorf beeinflussten, mit Ausnahme der stallmistgedüngten, die Nährstoffgehalte im Boden (Abb. 4-7 und Tab. 3-12), die Nährstoffkonzentrationen im Blatt (Tab. 13-17) und die Fruchtparameter (Tab. 22-33) weniger als erwartet. Die gekalkten Parzellen mit reduzierter Düngung brachten ausreichend hohe Erträge an festen, gut ausgefärbten Handesklasse-I-Früchten hervor (Abb. 10-12). Scheinbar bedingt durch die hohe Bodenfruchtbarkeit und die gute Nährstoffnachlieferung am Standort Klein-Altendorf fielen die Mangelerscheinungen in den fast 30 Jahren ungedüngten Kontrollen geringer aus als erwartet. Die Anpassungsfähigkeit und das Puffervermögen von Boden und Apfelbäumen auf M9 scheint nach den vorliegenden Daten höher zu sein als allgemein angenommen. Um dies weiter abzuklären, wurden nach Ende der vorliegenden Ergebnisse die Versuchsfläche gerodet, mit der 4. Apfelgeneration auf M9 neu bepflanzt und in der selben Düngerparzellierung fortgeführt. Der Dauerdüngungsversuch in Klein-Altendorf gehört damit weltweit zu den langjährigsten Untersuchungen mit Apfelbäumen in diesem Bereich und ist inzwischen (2003) von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) akkreditiert.

Die meisten Düngungsversuche bei Apfel, sowohl im Freiland (VISSERS und SLAGER 1974, LÜDDERS und BÜNEMANN 1976, GOODE et al. 1978, DELVER

1987, SADOWSKI et al. 1990, VEDDER 1995 und SCHULTE 2004) als auch in Gefäßen (BÜNEMANN und LÜDDERS 1969, HILL-COTTINGHAM und COOPER 1970, HILL-COTTINGHAM und LLOYD-JONES 1975, WERNER und LENZ 1980, FABY 1984 FABY und NAUMANN 1985 und 1986, THIEBUS-KAESBERG und LENZ 1994, ZHOU 1995 und PANTHACHOD 1996), berücksichtigten bisher vor allem die Nährstoffwirkung auf Wachstum und Ertrag von jungen Apfelbäumen. Unberücksichtigt blieben dabei die Einflüsse von langfristigen Düngerbehandlungen auf die Veränderung von Bodenparametern und die Effekte auf folgende Baumgenerationen. Meist erstreckten sich die Versuche nur über einen kürzeren Zeitraum (ENGEL et al. 1982) und langfristige Untersuchungen wie der 30-jährige Birnendüngerversuch von DARFELD und LENZ (1985) oder der 19-jährige Apfeldüngerversuch von ENGEL (1988a) wurden für moderne Apfelanlagen auf M9 selten beschrieben.

Die unterschiedlichen Reaktionen der Apfelsorten auf Düngung und Bodenpflege sind bekannt, so dass die Ergebnisse bei Bedarf sortenspezifisch diskutiert werden. Aussagen über absolute Effekte bei der Ernährung von Obstgehölzen sind immer im Zusammenhang mit den umgebenden Verhältnissen zu sehen. Der Fruchtbehang übt bei Apfelbäumen bekanntlich einen großen Einfluss auf die Mineralstoffgehalte in Blatt und Frucht aus (SADOWSKI et al. 1995, BUWALDA und LENZ 1992). Alle Pflanzenproben wurden deshalb von fruchtenden Bäumen entnommen.

Fahrgassen und Baumstreifen

Untersuchungen in den Niederlanden (BOON und DAS, 1968 bis 1978) fanden in den Bodenbereichen der Fahrgassen und der Baumstreifen für die Nährstoffe Phosphat, Kalium und Magnesium höhere Gehalte in den Baumstreifen als in den Fahrgassen. Bei den pH-Werten gab es einen Trend zu niedrigeren Werten in den Baumstreifen. Dies galt für schwerere Böden mit Grasmulchwirtschaft. Auf leichteren Böden fand man nur für die Gehalte an Nitratstickstoff Unterschiede. Bei den anderen Nährstoffen, einschließlich pH-Wert, war in den oben genannten Untersuchungen ein Unterschied zwischen Fahrgassen und Baumstreifen nur

sehr gering bzw. nicht eindeutig nachweisbar.

Obwohl in unseren Versuchen die Kalkungen mit dem Pendelstreuer vorwiegend in die Baumstreifen erfolgten, fehlten bei uns für pH-Werte und Magnesiumgehalte entsprechende Unterschiede zwischen Fahrgassen und Baumstreifen. Bei den anderen untersuchten Parametern ergaben sich, resultierend aus der ausschließlichen Düngung in die Baumstreifen von Hand, zwischen den unterschiedlichen Bodenbereichen zum Teil erhebliche Abweichungen. Die im Baumstreifen gefundenen Bodenwerte aller untersuchten Nährstoffe entsprachen, mit Ausnahme der Extremparzellen "ohne Düngung" und "Hüttenkalk + Stallmist", in den meisten Fällen, dem bei QUAST (1986) angegebenen Bereich der gut bis sehr gut versorgten Böden.

pH-Wert im Boden

In Übereinstimmung mit Ergebnissen von ENGEL und SCHNEIDER (1969), ENGEL et al. (1982), ENGEL (1985a und 1988a), DARFELD und LENZ (1985) und ROSENBERG (1988a und 1988b) ergaben sich durch die langjährigen unterschiedlichen Düngerbehandlungen nennenswerte Veränderungen in der Bodenreaktion. Der Gehalt eines Bodens an basisch wirksamen Substanzen (vorrangig CaCO_3) ist von entscheidender Bedeutung für den nach Bodenart anzustrebenden pH-Wert. So ist der indirekte Einfluss von Bodencalcium bedeutender als seine direkte Wirkung als Pflanzennährstoff. Der direkte Entzug durch Pflanzen ist geringer als der Anteil durch Auswaschung, der auf leichten, humusarmen Böden über 500 kg CaO /ha pro Jahr betragen kann (AMBERGER und SCHWEIGER 1979, MÜLLER 2001).

In den vorliegenden Versuchen sanken die pH-Werte im Oberboden in den unbehandelten Kontrollen ohne Kalkgaben (Tab. 3), durch Auswaschung und Versauerung bis zum von SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1989) beschriebenen Pufferbereich der Silikate von pH 5 bis 6 und hatten damit einen negativen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit. Dies konnte in unseren Versuchen für die Bodengehalte an Phosphor (Abb. 5, Tab. 5-6) und Kalium (Abb. 6, Tab. 7-8) belegt werden. Außerdem verschlechtert sich durch die niedrigen pH-

Werte die mikrobiologische Aktivität und damit einhergehend die Stickstoff-Freisetzung aus organischer Substanz. Fehlen mehrwertige Kationen wie Mg^{++} und Ca^{++} , so ist die Vernetzung von Ton- und Humusteilchen vermindert und die Bodenstruktur negativ beeinflusst (QUAST 1986 und GALLER 2002).

Die in den gekalkten Varianten (Var. 2-8) gefundenen H^+ -Ionenkonzentrationen lagen, unabhängig von der sonstigen Düngung, in den Baumstreifen um das 10–100-fache niedriger als in den Kontrollen und damit in dem von QUAST (1986), ENGEL (1985b), KASTEN (2002) und BAAB (2004e) für humusarme Lehmböden optimal angegebenen pH-Bereich von 6,5 bis 6,8. Unter diesen Bedingungen erfolgt noch eine ungestörte Aufnahme von Mangan und einigen weiteren Spurenelementen durch die Apfelbäume, die bei höheren pH-Werten sonst gestört ist.

Die pH-Werte in den unterschiedlichen Bodentiefen der Fahrgassen verhielten sich wie unter Grünland, analog zu den Beschreibungen von GEIBLER (1988).

Gesamt-Stickstoffgehalte im Boden

Da der Gesamt-Stickstoff (N_{org}) im Boden zum größten Teil auf organische Verbindungen zurückzuführen ist, steht er in engem Zusammenhang mit dem Humusgehalt (RID und PFLUGFELDER 1965, DIETZ 1984 und 1985 und QUAST 1986). In unseren Untersuchungen konnten für die Bodenschichten der durchwurzelbaren Zonen von 0-50 cm Stickstoffmengen pro Hektar von ca. 9300 kg N (Stallmist-Parzelle) bzw. 6300 kg N (übrigen Parzellen) berechnet werden. FRANKEN und HURTMANN (1985) fanden in Parzellen des Dauerdüngungsversuches Dikopshof, die seit 1904 mit Stallmist gedüngt werden, ebensolche erhöhten Humusgehalte und damit auch erhöhte N_{org} -Gehalte wie in unseren Untersuchungen. WELLER (1977) gab in einer umfangreichen Arbeit zum Stickstoffkreislauf für obstbaulich genutzte Böden eine Spanne von 2000 bis 10000 kg Stickstoff je ha an und lag damit im Rahmen der Werte des Klein-Altendorfer Versuches (6300-9300 kg (N_{org})/ha für die Bodentiefe 0-50 cm). KEIPERT 1994 fand in einer Erhebung in nordrheinischen Obstbetrieben in den Oberböden Gesamt-N-Gehalte von 0,04 bis 0,16 % N_{org} und Humusgehalte von

1,7-3,5 % im trocken Boden. Diese Werte korrespondieren, mit Ausnahme der Stallmistparzellen, mit unseren Ergebnissen (um 0,1 % Gesamt-N in der TM und 1,9-2,5 % Humus in der TM im Oberboden 0-25 cm). Unsere Gesamtstickstoffwerte (Kap. 3.1.2) wurden auch durch langjährige Bodenpflegeversuche von ENGEL und SCHNEIDER (1969), LUX-WELLENHOF (1973) und ENGEL und GEZEREL 1981 für den Standort Klein-Altendorf bestätigt. Die N-Nachlieferung aus diesem Stickstoffpool kann erheblich zur N-Versorgung der Pflanzen beitragen und erklärt teilweise die, wie auch im vorliegenden Versuch beobachtet, geringen Effekte in Düngerversuchen bei Apfel. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die N-Nachlieferung während der Vegetationsperiode zwischen 50 und 100 Kg N/ha und oft sogar darüber liegt (WELLER 1979, KÖHLER 1983, FABY und NAUMANN 1987b, DIEREND und SPETHMANN 1994a, 1994b, KEIPERT 1994, DIEREND und SPETHMANN 1997a, 1997b und QUAST 1998). QUAST (1986) fand in Baumstreifen von Obstanlagen in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Bodens eine jährliche N-Nachlieferung von 38 bis sogar 648 kg N/ha. LOOK (1982) beschreibt, dass sich in älteren Anlagen ein Gleichgewichtszustand zwischen Stickstoffbindung und -freisetzung und den Verlusten einstellt. Durch die Düngung muss deshalb nur der ertragsbezogene Nährstoffbedarf, die Festlegungen im Holz und die Verluste durch Auswaschung und Denitrifikation ausgeglichen werden (BERTSCHINGER 2003). So ist zu erklären, dass in unseren Untersuchungen, mit Ausnahme der zusätzlich organisch gedüngten Parzellen, auch nach fast 30-jähriger gleichbleibender Düngung keine nennenswerten Veränderungen in den Stickstoffgesamtwerten der unterschiedlichen Parzellen beobachtet wurden. Dies galt auch für die ungedüngten Varianten. Dies ist umso erstaunlicher, da eigene Untersuchungen zu N-min Gehalten (Ergebnisse nicht dargestellt) und Nitrat-Untersuchungen von HANNEN und LENZ (1986), sowie HEYDER (1993) am Standort Klein-Altendorf eine Verminderung des Gesamtstickstoffvorrates zumindest im Oberboden der Baumstreifen hätten vermuten lassen. In diesen Untersuchungen wurden auch unter langjährig ungedüngten Parzellen, bis in tiefere Schichten erhebliche Mengen an löslichem Stickstoff gefunden. Dieser lösliche Stickstoff könnte auch

lateral verlagert werden und hätte zu Verfälschungen in den vorliegenden Untersuchungen führen können. An Hand der unterschiedlichen Blattstickstoffkonzentrationen der verschiedenen Parzellen konnten wir aber zeigen, dass die Bäume in unserem Versuch diese Stickstoffquelle nicht erreichten. Auch die Mutmaßung von BROESHART und KEPPEL (1984b) aus Haidegg/Steiermark, dass es durch die Mulchwirtschaft zu Stickstoffverarmung in den Fahrgassen kommen kann, war aus unseren Daten auf dem nährstoffreicheren Standort Klein-Altendorf nicht abzulesen. Dies wird durch WELLER (1977) bestätigt, der für die Fahrgassen keinen Einfluss einer Stickstoffdüngung ausmachen konnte. ATKINSON (1977) beobachtet in East Malling, dass der Stickstoffbedarf der Apfelbäume ('Cox'/MM106) zum überwiegenden Teil aus den N-Vorräten innerhalb des Herbizidstreifens gedeckt wird. In unserer Untersuchung waren die Gesamt-Stickstoffgehalte im Oberboden der Fahrgassen zwar höher als in den Baumstreifen, aber dies war sicherlich nicht auf unterschiedliche Stickstoffentzüge sondern auf die höheren Humusgehalte in den Fahrgassen zurückzuführen.

Humus

Mit der Gabe von großen Mengen an Mist konnten der Humusgehalt und damit indirekt auch der Gesamtstickstoff von 2,5 % Humus auf 3,5 % Humus im Oberboden erhöht werden (Tab. 11 und 12). Dies zeigt den großen Einfluss der Bodenpflege. Die geringen Veränderungen in den Humusgehalten der sonstigen Behandlungen sind nach KLIMANEK und KÖRSCHENS (1982) auch dadurch erklärbar, dass die Differenzen im Humusgehalt zwischen verschiedenen Standorten überwiegend durch den stabilen, an den Umsetzungsprozessen wenig oder gar nicht beteiligten Humusanteil hervorgerufen wird. Hohe Humusanteile im Boden sagen daher nicht direkt etwas über die umsetzbare Menge und die N-Nachlieferung aus. Auch DIJK 1968 kam bei Inkubationsversuchen zu vergleichbaren Ergebnissen. Dazu im Gegensatz fordert GUTBERLETT-GEISINGER (2005) bei natürlich niedrigen Humusgehalten von 1-2 % Humus eine Anhebung auf 3 % Humus im trockenen Boden. Unsere Ergebnisse (Tab. 11) und die von DARFELD und LENZ (1985) zeigen, dass eine solche Anhebung nur durch

langjährig hohe Gaben an Stallmist oder Komposten (ENGEL et al. 2001, BOHNE und KREMER 2004 und BAAB 2004f) möglich ist und zu deutlichen Ungleichgewichten im Nährstoffkreislauf führen kann (wie z.B. in den Stallmistparzellen (Var. 3) des vorliegenden Versuches).

Auch eine vermutete Humusanreicherung durch Verlagerung von den gemulchten Fahrgassen zu den Baumstreifen fand in unseren Untersuchungen nicht statt. Statt dessen erfolgte, in Übereinstimmung mit WELLER (1977 und 1987), unter Dauergras (Tab. 12) eine weitere Akkumulation von Humus und Stickstoff im Vergleich zu den vegetationsfreien Baumstreifen. Durch Mineralisation wird vermutlich ein Teil davon wieder pflanzenverfügbar und gelangt so wieder in den Nährstoffkreislauf.

Phosphor im Boden

Auch durch langjährige moderate NPK-Düngungen erfolgten in unseren Versuchen, mit Ausnahme der Stallmist gedüngten Parzellen, nur geringe Phosphor- und Kalium-Anreicherungen (Abb. 5, Tab. 5). Wie schon ENGEL (1988a) feststellte, sanken auch in unseren Versuchen die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat im Oberboden der ungedüngten Kontrollen auf 10-15 mg $P_2O_5/100$ g Boden ab, im Gegensatz zu Phosphor gedüngten Parzellen (20-30 mg $P_2O_5/100$ g Boden). In den nicht gekalkten Parzellen kam es wegen den niedrigen pH-Wert zu Phosphat-Festlegungen. Nach MENGEL (1991) kommt es unter diesen Bedingungen zur Abspaltung von OH^- und zur Ausbildung binuclear adsorbierter Phosphate. In den 19-jährigen Versuchen von ENGEL (1988a) führten jährliche Gaben von 100 dt Schweinemist zu einer Verdoppelung der Phosphatgehalte auf 43 mg $P_2O_5/100$ g Boden, die in unserem Versuch nach 10 weiteren Jahren zu Gehalten über 100 mg $P_2O_5/100$ g Boden führten. Phosphat liegt im Boden zu über 50 % in organischen Verbindungen vor, was die Abhängigkeit vom Humusgehalt erklärt. Düngerphosphate können leicht in stabile, wenig lösliche Bodenphosphate umgebaut werden (QUAST 1986). In dem Dauerdüngungsversuch "Ewiger Roggenanbau, Halle" von 1878 waren die

Reserven an leichtverfügbarem P und K bei ausschließlicher N-Düngung und leichten Kalkgaben erst nach 30 Jahren verbraucht. Danach bewirkte der weniger verfügbare, aber den Pflanzen nicht unzugängliche P- und K-Anteil, dass die Relativerträge nicht unter 65 % abfielen (GARZ et al. 1996). Wie sich auch in unseren Versuchen zeigte, reagieren Obstgehölze in den meisten Böden wenig auf Phosphordüngung. Dies resultiert einerseits aus dem geringen Phosphat-Bedarf der Apfelbäume und andererseits aus der P-Aneignungseffizienz durch die Mithilfe von symbiotischen Mykorrhiza-Pilzen an den Baumwurzeln, die erst bei P-Mangel aktiv werden (REINKEN 1969, KOCH et al. 1982, RAES 1987, NEILSEN et al. 1990). Unter guten Zersetzungsverhältnissen (regelmäßige Niederschlagsverteilung), wie auch in Klein-Altendorf gegeben, stehen den Obstbäumen darüber hinaus auch stets 30-60 kg P_2O_5 /ha/a gut lösliches Phosphat aus mikrobieller Umsetzung zur Verfügung (DELVER 1987). Die Aktivitäten der Mykorrhizen und damit die Phosphatverfügbarkeit wird durch Mist gefördert (BUBAN et al. 1995). Durch niedrige Humus- und pH-Werte und durch fehlende Kalkgaben verschlechtert sich die Verfügbarkeit von Phosphat (SWENSON et al., 1949). Beide Vorgänge werden durch die Beobachtungen in den Klein-Altendorfer Versuchen bestätigt. KOLBE (1987) fand in seinen 20-jährigen Bodenpflegeversuchen in den Fahrgassen höhere P_2O_5 -Werte als in den Baumstreifen. Im Gegensatz dazu fanden wir, gestützt durch Versuche von BOON und DAS (1968 bis 1978), in den begrüneten Fahrgassen deutlich niedrigere Werte. Dabei waren die Werte in den unteren Bodenschichten, wie schon von LANGENBRUCH (1970) beschrieben, auf Grund der schlechten Verlagerbarkeit von Phosphor, immer deutlich geringer als im Oberboden.

Kalium im Boden

QUAST (1986) zeigte in langjährigen Untersuchungen von Obstanlagen ohne Kaliumdüngung, dass die Kaliumversorgung einer Obstanlage nicht nur von den Düngungsmaßnahmen, sondern in erster Linie auch von den K-Bodenvorräten abhängig ist. Die Bedeutung der Bodenfeuchtigkeit für die Aufnahme von Kalium

belegt DELVER (1986), da neben dem Massenfluss von Kalium auch die Diffusionsgeschwindigkeit des K-Ions vom Ton-Humus-Komplex bis an die Wurzel eine große Rolle spielt. Diese wird nicht nur vom Diffusionsgradienten, also vom Kaliumsättigungsgrad der Ton-Humusteile (chemischer Kaliumreichtum) bedingt, sondern in nicht geringem Maße auch vom Wassergehalt des Bodens. Die K-Aufnahme kann in einem relativ kaliumarmen Boden unter idealen Feuchtigkeitsverhältnissen deshalb ebenso gut oder sogar besser sein als in einem kaliumreichen, aber trockenen oder schlecht strukturierten Boden. Dies wird durch unsere Beobachtungen in den langjährig ungedüngten Parzellen bestätigt, die noch ausreichend mit Kalium versorgt waren (Abb. 6, Tab. 7). Auf Grund des niedrigeren pH-Wertes und der geringeren freien Ca-Ionen (MENGEL 1991) waren in unseren Versuchen die Kaliumfreisetzungen in den ungekalkten Kontrollen geringer als in ausschließlich gekalkten Varianten. NOSAL et al. (1990) fanden in ihren Versuchen in den ungedüngten Parzellen nur $\frac{1}{4}$ der Kaliumwerte aus Klein-Altendorf und nach 10 Jahren Düngung mit bis zu 240 kg $K_2O/ha/a$ konnten die Bodenwerte nur bis zur Hälfte unserer Werte gesteigert werden. Dagegen zeigten sich in der vorliegenden Arbeit in den Parzellen nach fast 30 Jahren mit geringeren mineralischen Kaliumgaben keine gravierenden Veränderungen in Kaliumbodenwerten. Eine Ausnahme bildeten die mit Stallmist gedüngten Parzellen. Neben den K-Mengen, die mit Düngung und dem Stallmist gegeben wurden, kam es vermutlich auch zu einer Verminderung der Kaliumfixierung infolge Blockierung der Tonmineral-Zwischenschichten durch die organische Substanz, wie sie auch SCHROEDER (1955), STRUKLEC (1970), SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1989) beobachteten. In langjährigen Stickstoff- und Kaliumdüngerversuchen bei Apfel fanden NOSAL et al. (1990), analog zu unseren Ergebnissen, zu Versuchsende unter den grasbewachsenen Fahrgassen geringere Kaliumgehalte als in den Baumstreifen. In unseren Untersuchungen war dieser Effekt bei der Sorte 'Gloster' bedingt durch die längere Standzeit stärker als bei den anderen beiden Sorten.

Magnesium im Boden

Die im Lößboden in Klein-Altendorf gemessenen Magnesium-Gehalte (Abb. 7, Tab. 9) verhielten sich wie bei ENGEL (1988a) und wurden, mit Ausnahme der Stallmistparzellen, weder durch die Behandlung noch gravierend durch die Tiefe oder den Probenort Gasse (Tab. 10) oder Baumstreifen (Tab. 9) beeinflusst und können als gut versorgt gelten. Ein direkter Mangel ließ sich auch in anderen Dauerdüngungsversuchen für das Element Magnesium fast nie belegen (STUMPE, 1979).

Blattnährstoffkonzentrationen

Die Blattnährstoffanalysen können lediglich Momentaufnahmen darstellen (BLÄSING 1992) und bedürfen immer einer Wertung unter Einbeziehung aller sonstigen Einflüsse (QUAST 1981b, FRIEDRICH und FISCHER 2000 und BAAB 2004d). Die Nährstoffversorgung der Bäume ist in starkem Maße auch abhängig von Wurzelwachstum und -verteilung (FINK 1990) und dem Wasserstatus von Boden und Bäumen (GIULIVO 1990). ATKINSON (1978) zeigte, dass in engeren M9-Pflanzungen das Wurzelwachstum und die Nährstofferschließung größer waren als in weiteren Pflanzabständen. Auch das Bodenpflegesystem, mit begrastem Fahrstreifen und unkrautfreien Baumstreifen, ist für die Nährstoffaufnahme bedeutsam. Durch die verringerte Nährstoffkonkurrenz auf unkrautfreien Flächen ohne Bodenbearbeitung wird die nährstoffreichere obere Bodenschicht besser ausgenutzt, während in der begrastem Fahrgasse mit der Zeit von den Wurzeln auch Ressourcen aus dem Unterboden erschlossen werden.

Zwar zeigte sich auch in der vorliegenden Arbeit ein deutlicher Einfluss von Boden- und Blattdüngung auf die Blattnährstoffkonzentrationen von Bäumen mit gutem Fruchtbehang (Tab. 13-17), wie dies teilweise auch in anderen Untersuchungen beschrieben wurde (HUNDGEBURT 1972, ENGEL und GEZEREL 1981, DECKERS et al. 2000). Ebenso konnte aber auch der starke Einfluss vom Fruchtbehang (nicht dargestellt) und vom Jahr bemerkt werden. Dies beobachteten auch FABY und NAUMANN (1988), FAILLA et al. (1990), MUSTER und HÜBNER (1994), LIPECKI und JADCZUK 1997 und RUPP und HÜBNER

(1995). Letztere berichteten über Langzeit-Stickstoffversuche bei Apfel am Standort Heuchlingen. An diesem mit Klein-Altendorf vergleichbaren Standort (MUSTER und HÜBNER 1994) ergaben sich analog zu unseren Untersuchungen Streuungen zwischen den Jahren von bis zu 25 % und der Düngereinfluss trat weit hinter den jahresbedingten Effekten zurück. Auch GEZEREL (1974) am Standort Klein-Altendorf, DARFELD und LENZ (1985) und HORNIG und BÜNEMANN (1996) konnten in Ihren Düngerversuchen geringe Einflüsse der Düngung auf die Blatt Nährstoffkonzentrationen finden. Die Erkenntnis, dass die Stärke des Fruchtbehanges die Kohlenstoff- und Mineralstoffkonzentrationen der Blätter stark beeinflussen (DELVER 1975, HANSEN 1980, OHME und LÜDDERS 1983, LENZ und SIEBERTZ 1980, SIEBERTZ und LENZ 1982, LENZ 1989, BUWALDA und LENZ 1992, WITTE 1994, SADOWSKI et al. 1995, ZHOU 1995) wurde in den vorliegenden Untersuchungen gleichfalls bei einigen 'Jonagold' und 'Elstar'-Parzellen mit vermindertem Fruchtbehang im Jahr 1995 beobachtet. Im Umkehrschluss ergaben sich bei regelmäßigen Erträgen unter Bodenverhältnissen wie in Klein-Altendorf hohe und optimale Blatt Nährstoffkonzentrationen. Die in meist älteren Anbausystemen gewonnenen Erkenntnisse zu Blatt Nährstoffversorgung bei Apfel führten zu umfangreichen empfohlenen Standardwerten (CHILDERS 1969, QUAST 1986, STILES und REID 1991, BERGMANN 1993 und KODDE et al. 1993). Dabei wurden meist ein optimaler Gesamtertrag zu Grunde gelegt und weniger Augenmerk auf den qualitätsbetonten, vermarktungsfähigen Anteil an Früchten gelegt. Auf diese Aspekte wird in dieser Arbeit im Abschnitt "Ertrag und Qualität" näher eingegangen.

Stickstoff im Blatt

Bei der Blattuntersuchung kommt der Stickstoffbestimmung eine besondere Bedeutung zu, da für die Düngerbemessungen keine einfachen Bodenuntersuchungen, wie für Phosphor, Kalium, Magnesium und für den Kalkbedarf zur Verfügung stehen. So wird traditionell der Stickstoffstatus von Apfelbäumen durch Blatt-N-Konzentrationen ermittelt (FAUST, 1989). In den vorliegenden Untersuchungen entsprachen im günstigeren Jahr 1996 selbst in den stickstofffrei

ernährten Parzellen die Blatt-N-Konzentrationen dem Stickstoffstatus, der als gut versorgt gilt (Tab. 13).

Apfelbäume reagieren nachgewiesenermaßen bei größerer N-Versorgung nicht mehr mit zunehmender, sondern mit verringerter Blütenbildung und Ertragskapazität (QUAST 2002). DELVER (1986) konnte unter speziellen holländischen Bedingungen bei Blattstickstoffkonzentrationen unter 2,3 % N in der TM bei 'Golden Delicious' und unter 2,5 % N bei 'Cox Orange' im Gegensatz zu unseren Ergebnissen noch positive Ertragssteigerungen durch jährliche Stickstoffgaben von 50 kg/ha finden. In vielen anderen Stickstoffsteigerungsversuchen waren dagegen, wie bei uns, ebenfalls keine positiven Effekte auf den Ertrag und die Qualität erkennbar (LOOK 1982, DIEREND und SPETHMANN 1996, RAES und DRAKE 1997, DECKERS et al. 2000, DIEREND 2001). Obwohl sich hohe Stickstoffkonzentrationen negativ auf die Fruchtqualitäten auswirken (SHARPLES 1980), werden in der Literatur für die Blattstickstoffkonzentrationen noch relativ hohe Werte bis 2,60 % N in der Trockenmasse (TM) empfohlen. MARSH et al. (1996) bestätigen für neuseeländische Verhältnisse, dass Blatt-N-Konzentrationen über 2,5 % N und starkes vegetatives Wachstum negativ mit der Deckfarbe korreliert waren. In Versuchen von FABY und NAUMANN (1988) erreichten diese bereits Höchstertträge gut ausgefärbter Früchte mit Düngergaben von 40 kg N pro ha und Jahr, bei Blatt-N-Konzentrationen von ca. 2,20 % N. Daraus schlossen sie, dass der Optimalbereich für die Blatt-N-Konzentration in Wirklichkeit bei etwa 2,20 bis 2,25 % N in der TM und nicht bei 2,60 % N in der TM liegen müsste. LINK (1994) gibt sortenspezifische Optimalwerte für 'Gloster' mit 2,3 - 2,5 % N in der TM und für 'Elstar' bzw. 'Jonagold' 2,2 - 2,4 % N in der TM an. Mit unserer vorliegenden Arbeit konnte dagegen gezeigt werden, dass für Bodenverhältnisse wie am Standort Klein-Altendorf, in etablierten Apfelanlagen selbst Blattstickstoffkonzentrationen um 2,0 % N für einen optimalen Qualitätsertrag ausreichend erscheinen. SCIBIZC und LENZ (1993) zeigten in Gefäßversuchen mit Apfel, dass bei niedrigen Nährstoffapplikationen zwar die Hauptelemente in den Blättern deutlich in einen vermeidlichen Mangelbereich absanken (1,22 % N; 0,09 % P; 0,77 % K), sich aber keine nährstoffbedingten

Unterschiede in den Photosyntheseraten der Blätter ergaben. Auf Grund des guten Anpassungsvermögens scheinen bei Apfel extrem niedrige Mineralstoffkonzentrationen der Blätter notwendig zu sein, um den Photosyntheseprozess zu hemmen. Auch bei MERVIN und STILES (1994) erreichten in ihren Bodenpflegeversuchen Blatt-N-Konzentrationen um die 2 % N /TM für einen optimalen Ertrag aus. DECKERS et al. (2000) fanden in ihren Untersuchungen in Langzeitdüngerversuchen mit den Sorten 'Jonagold' und 'Boskoop' in ungedüngten Parzellen während der Ertragsphasen niedrige Blattstickstoffkonzentrationen unter 2,0 % N, ohne negative Auswirkungen auf Ertrag und Qualität. Unsere Stickstoffgaben erfolgten nach der Blüte, im Sommer und im Herbst und dürften nach NEILSEN et al. (2002) voll pflanzenwirksam gewesen sein. NEILSEN et al. (2002) konnten nachweisen, dass der Stickstoffbedarf von 2-jährigen Bäumen der Sorte 'Fuji' auf M9, bis zum Ende der Vollblüte fast ausschließlich aus remobilisiertem N aus dem Holz gedeckt wurde. Die Aufnahme von Stickstoff aus Dünger begann erst ab Vollblüte und stieg bis zum maximalen Wert, 200 Tage nach Vollblüte an. Ähnlich den Ergebnissen von MEHERIUK et al. (1996) waren die Blatt-N-Konzentrationen der harnstoffgedüngten Bäume nicht höher als die der bodengedüngten.

Phosphor im Blatt

Wie auch von ATKINSON (1980), QUAST (1981a, 1986) und NEILSEN et al. (1990) beschrieben, fanden sich in der vorliegenden Arbeit nur geringe Zusammenhänge zwischen Düngung, Phosphorgehalten im Boden und in den Blättern (Tab. 14). Wegen der geringen Phosphatkonzentration der Bodenlösung wird die Phosphatversorgung der Pflanzen besonders stark von der Phosphatpufferung des Bodens und der Durchwurzelungsintensität der Pflanzen beeinflusst (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1989). ATKINSON (1973) stellte in einer Untersuchung fest, dass die Phosphataufnahme ausgewachsener Bäume aus 30 cm und 90 cm Tiefe in der begrasten Fläche höher als aus dem Oberboden des Herbizidstreifens war. So ist erklärbar, dass in unseren Versuchen die Stallmist gedüngten Parzellen zwar die höchsten Bodengehalte aufzeigten, aber diese Extreme in den Blattkonzentrationen nicht wiedergefunden werden konnten.

Während nach BAAB (1995) im Juni 1995, nach Trockenheit, viele Anlagen im Rheinland geringe Blatt-Phosphorkonzentrationen aufwiesen, so waren die Werte in den Versuchen am Standort Klein-Altendorf im August 1995 nach starken Niederschlägen meist wieder ausreichend. Entgegen den Empfehlungen von SHEAR und FAUST (1980) und QUAST (1986) mit einer Mindestblattkonzentration von 0,15 % P, scheinen auf den Lößböden in Klein-Altendorf Phosphatkonzentrationen von 0,10 % in der Trockenmasse der Blätter ausreichend zu sein. Wurde in den vorliegenden Versuchen nur Kalk gegeben oder nur Kalium und Phosphor ohne Stickstoff gedüngt, so erhöhten sich wie bei DORNBUSCH (1967) die Phosphorblattkonzentrationen wahrscheinlich auf Grund der besseren Löslichkeit bzw. wegen fehlender Ionenkonkurrenz des Nitratstickstoffs. Nicht erklärt werden konnten die hohen Phosphorkonzentrationen der Sorte 'Gloster' in dem Jahr 1996.

Kalium im Blatt

Die Kaliumkonzentrationen der Blätter veränderten sich in unserem Versuch durch die Düngung und die zum Teil sehr unterschiedlichen Bodengehalte, wie bei QUAST (1986) und NOSAL et al. (1990) beschrieben, nur unwesentlich (Tab. 15). DELVER (1987) fand ebenfalls nur einen schwachen Zusammenhang zwischen Bodengehalten und Blattkaliumkonzentrationen. Für die Blattkaliumkonzentrationen müssten unter Klein-Altendorfer Bedingungen also die sonstigen Bodenfaktoren eine entscheidende Rolle gespielt haben. Die Bedeutung der Bodenfeuchtigkeit für die Aufnahme von Kalium, wie schon bei den Bodennährstoffen angesprochen, belegte DELVER (1986). Die beschriebenen Effekte lassen sich durch unsere Beobachtungen in den langjährig ungedüngten Parzellen bestätigen. Die Blattkaliumkonzentrationen reichten hier von 1,10 bis 1,65 % K in der TM und wiesen somit Versorgungsstufen von Optimal (= 1,1-1,4 % K in der TM) bis Überhöht (= über 1,4 % K in der TM) auf. Obwohl nach HANSEN (1980) bei gutem Fruchtbehang in Folge der "sink"-Wirkung der Früchte mit sinkenden Blattkaliumkonzentrationen in den Blättern hätte gerechnet werden können, entsprachen die Konzentrationen in unseren Versuchen eher hohen Versorgungs-

stufen. BÜNEMANN und LÜDDERS (1975), WEISSENBORN und QUAST (1977) und QUAST (1981c, 1986) fanden bei Kaliumkonzentrationen von mehr als 1,4 % in der TM der Blätter eine Förderung der Stippigkeit der Früchte. Dieser enge Grenzbereich konnte mit den vorliegenden Daten nicht bestätigt werden. MEHERIUK et al. (1996) fanden bei Blattdüngerversuchen mit hohen Harnstoffgaben eine Erniedrigung der Blatt-Kalium-Konzentration, was wir in der vorliegenden Arbeit nicht beobachteten.

Calcium im Blatt

Ein durchgängiger Einfluss der Kalkgaben auf Calcium und die anderen Blattmineralstoffe konnte in den eigenen Untersuchungen (Tab. 16), wie schon von DORNBUSCH (1967) und QUAST (1986) beschrieben, nicht gefunden werden. BOON (1980b) konnte in Calciumdüngerversuchen auf sandigen Standorten mit Kalk- und Gips-Bodengaben dagegen eine leichte Anhebung der Blattcalciumkonzentrationen erreichen. Für Calcium und Kalium lagen die Blattnährstoffkonzentrationen in unseren Untersuchungen, auch in den ungedüngten Parzellen, in den optimal Bereichen von 1,2-2,0 % Ca in der TM bzw. 1,1-1,6 % K in der TM und entsprachen den Angaben von AICNER et al. (1997).

Magnesium im Blatt

QUAST (1986) fand im Gegensatz zu DORNBUSCH (1967) für Magnesium eine recht deutliche Abhängigkeit zwischen Blattkonzentrationen und Bodenversorgungsgrad. Dies bestätigte sich in den vorliegenden Versuchen in den zusätzlich mit starken Mistgaben versorgten Parzellen (Tab. 17). Wie in unseren Untersuchungen fanden auch MEHERIUK et al. (1996) in ihren Stickstoffdüngerversuchen keine Veränderungen in den Magnesiumwerten. Es waren allerdings nach BAAB (2004g) unter Bodenbedingungen wie in Klein-Altendorf (feucht-warme, mittelschwerer Boden, pH-Wert zw. 5,5-6,5 und ausgewogenes Verhältnis zu den Antagonisten Kalium, Calcium, Ammonium und Mangan) auch keine Versorgungsprobleme zu erwarten. Mangelerscheinungen an den Blättern sind meist auf gestörte Aufnahmebedingungen, wie z. B. durch fehlende Bodenfeuchte, zurückzuführen.

Nährstoffverlagerungen durch die Grasmulchwirtschaft

Bis dato waren meist Bodenpflege und Gründüngung innerhalb der Reihen (ENGEL 1971, HAYNES und GOH 1980a, ENGEL und GEZEREL 1981, ENGEL 1985b und 1988c, HORNIG und BÜNEMANN 1995, MERWIN und STILES 1994a und 1994b) bzw. nur in den Baumstreifen (NEILSEN et al. 1984, ENGEL 1988b, DIETZ 1998) Gegenstand von Untersuchungen. In nur wenigen Versuchen wurde bisher der Bedeutung der begrünten Fahrgassen (DELVER 1980, BROESHART und KEPPEL 1984b und 1985, JADCZUK 1990) bzw. Grasschnitt aus flächig begrünten Obstanlagen (HAYNES und GOH 1980b, 1980c, GOH und HAYNES 1983) als Nährstoffquellen, nachgegangen. SATO et al. (1978) fanden bei solchen flächigen Düngungsversuchen mit stabil markiertem ^{15}N , dass das Gras im Baum- und Fahrstreifen den Stickstoff zu 53 % aus dem mineralischen Bodenvorrat, nur zu 38 % direkt aus dem markiertem Dünger und zu 9 % aus organischem Material aufnahm. Damit spielt das Gras im Stickstoffkreislauf eine bedeutende Rolle als Stickstoffspeicher und als langsamwirkender Dünger. In einem Folgeversuch wurde untersucht, wie die Stickstoffaufnahme in vegetationslosen Baumstreifen und unter Grasbewuchs erfolgt. Hier konnten SATO und SASAKI (1982) zeigen, dass in Herbizidstreifen zumindest 36 % der Stickstoffdüngermenge direkt von den Apfelbäumen aufgenommen werden kann. War der Boden aber, wie z.B. in den Fahrstreifen, mit Gras bewachsen, so wurden 70 % des Stickstoffs vom Gras aufgenommen und nur noch 1 % von den darunter wachsenden Obstbaumwurzeln. Dies belegt, dass den Fahrgassen und vegetationsfreien Baumstreifen, aus Sicht der Düngerapplikation, unterschiedliche Bedeutungen zukommen und das Gras in den Fahrgassen als Nährstoffspeicher berücksichtigt werden muss.

Im vorliegenden Versuch konnte die Nährstoffverlagerung aus den Fahrstreifen in die Baumreihen in Folge der Grasmulchwirtschaft, auch in etablierten Apfelanlagen quantifiziert und statistisch abgesichert werden (Abb. 8-9 und Tab. 18-21). Die Nährstoffkonzentrationen in der Biomasse der Mahd korrespondierten mit den Angaben von SHRIBBS und SKROCH (1986). Nur für Stickstoff (1,98-3,94 % N in der TM) und Calcium (0,30-0,73 % Ca in der TM) fanden wir

erheblich höhere Konzentrationen als die obigen Autoren mit 1,39-1,92 % N in der TM bzw. 0,28-0,41 % Ca in der TM. Der Großteil der verlagerten Biomasse bestand aus den in den Fahrgassen wachsenden Gräsern. Nur in ganz geringem Maße wurden altes, gehäckseltes Schnittholz und abgefallene Äpfel von dem Mulchgerät erfasst und zurück auf die Baumstreifen transportiert. Dieser in den Fahrgassen verbliebene Rest stand dem Nährstoffkreislauf der Baumreihen nicht mehr direkt zur Verfügung und konnte erst über die Grasmulchwirtschaft in die Baumreihen zurückverlagert werden. In den Versuchen in Klein-Altendorf erfolgten durch Sommer- und Winterschnitt weitere Nährstoffverlagerungen aus den Bereichen "Baum" bzw. "Baumstreifen", zurück in die begrünten Fahrgassen. Auch gelangten geringe Teile der im Sommer ausgedünnten Äpfel und des Falllaubes in die Fahrgassen und wurden hier wieder umgesetzt. Der größte Teil an ausgedünnten Früchten und der Blätter verblieb aber direkt im Baumstreifen. Die Verluste aus dem Bereich "Baumstreifen" zugunsten der "Fahrgasse" konnten im vorliegenden Versuch nicht eindeutig quantifiziert werden. FRIEDRICH und FISCHER (2000) stellten die unterschiedlichen Entzugswerte für Apfelanlagen von verschiedenen Autoren zusammen (siehe unten), wobei sie abfallende Blüten, Jungfrüchtchen, Blätter und Schnittholz voll zu den jährlichen Rückführungen zählten, die der Boden nur kurzfristig zurückhält, um sie dann den Bäumen wieder voll zur Verfügung zu stellen. Eine Unterteilung der Umsetzungsorte Fahrgasse und Baumstreifen fand in diesen Aufstellungen nicht statt, auch eine Bewertung der Mulchrückstände wurde hier nicht vorgenommen. Die separaten Angaben für die durchschnittlichen jährlichen Nährstoffmengen im Schnittholz, welche in die Fahrgassen abgelegt wurden, erreichten, mit Ausnahme von Calcium, ungefähr die Hälfte der Nährstoffgehalte, der in unseren Versuchen durch die Mahd transferierten Mengen. Somit könnte man in unseren Versuchen eine positive Nährstoffverlagerung von den Fahrgassen zurück in die Baumstreifen annehmen.

NEILSEN et al. (2002) berichten aus Versuchen mit markiertem Stickstoff und fanden analog zu KOMAMURA (1991), dass etwa je 50 % von dem aufgenommenen Düngerstickstoff in den ausdauernden Holz- und Wurzelorganen und den

jährlich wachsenden Teilen verbleiben. In den Früchten und Blättern von 'Elstar' auf M9 wurden Stickstoffmengen von 8,9 kg/ha (1. Standjahr) bis 41 kg/ha (6-jährige Bäume) gebunden. Berücksichtigen muss man, dass zum Blattfall ungefähr die Hälfte der Blattgehalte an Stickstoff und Phosphor wieder in die Speicherorgane der Bäume zurückverlagert werden. Für Kalium sind dies nur etwa 10 % und Calcium und Magnesium werden so gut wie gar nicht rücktransportiert (FABY und NAUMANN 1987a). DIEREND et al. (1996) ermittelten für 3-jährige Bäume der Sorte 'Elstar' eine jährliche N-Aufnahme von 31,5 kg/ha. Auch DIETZ (1984) und LINK (1987a) geben für Apfel Stickstoffentzüge von jährlich 30-40 kg N/ha an. Dabei blieb unberücksichtigt, dass bei einem höheren Produktionsniveau der Obstanlage zwar mehr Stickstoff durch die Früchte entzogen wird, der Bedarf für die Holzproduktion wegen der verminderten vegetativen Leistung aber sinkt und somit der Gesamt-N-Bedarf mit zunehmendem Ertrag abnimmt (NÄGELE und LINK 1993a und 1993b). FRIEDRICH und FISCHER (2000) geben den Verbrauch bzw. Verlust an Makronährstoffen durch Früchte und langfristige Festlegung im Holz (jährliche Rückführung bereits abgezogen) von einem Hektar Apfelbäume mit 300 dt Ertrag, wie folgt an: Stickstoff 32,7 kg/ha, Phosphor 7,7 kg/ha, Kalium 54,4 kg/ha, Magnesium 3,9 kg/ha und für Calcium 39,1 kg/ha. Die von WITTE (1994) ermittelten jährlichen Mineralstoffentzüge für die oberirdischen Organe 6-jähriger 'Gloster' (mit Fruchtbehang, 368 dt Ertrag) waren fast identisch: Stickstoff 33,2 kg/ha, Phosphor 6,3 kg/ha, Kalium 42,1 kg/ha, Magnesium 3,8 kg/ha und für Calcium 29,1 kg/ha. Die von uns in der verlagerten Mahd gefundenen Mengen an Mineralelementen decken bei Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium fast die Hälfte und bei Calcium 1/10 der angegebenen Verbrauchswerte für eine Apfelanlage mit 300 dt Ertrag.

Durch die fehlende flächige Fahrgassendüngung kam es in unseren Untersuchungen wie erwartet zu einer deutlichen Wuchsminderung von Kräutern und Gräsern in den ungedüngten Fahrgassen. Der Bewuchs der ungedüngten Fahrgassen bestand in unseren Versuchen durch häufiges Mähen, wie auch bei HARRIS (1978) beschrieben, vorrangig aus den Untergräsern *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) und *Poa pratensis* (Wiesenrispengras). In den Parzellen mit flächigen

Stallmistgaben waren auch nennenswerte Anteile von *Agropyron repens* (Gemeine Quecke) anzutreffen. Waren die Gräser zwischen zwei Mulchgängen in den Fahrgassen länger gewachsen, so lagerte dann *Agropyron repens* leichter als andere Grasarten und wurde von dem verwendeten Mulchgerät der Fa. Humus nur schwer erfasst. Von dem gebildeten Gesamtaufwuchs in den Fahrgassen wurden, je nach Mähfähigkeit der Gräser, nur 25-50 % in die Baumstreifen abgelegt. Der Rest wurde entweder niedergedrückt und nicht gemulcht oder verblieb als Mulchmasse in den Fahrgassen. In Kaliumdüngungsversuchen in Sauerkirschen von JADCZUK (1990) wurden dagegen bei der Verwendung anderer Mähgeräte 60-80 % der gemulchten Frischmasse in die Streifen verlagert. Die in diesem Versuch angegebenen Werte über die verlagerten Nährstoffe pro Hektar Obstfläche und die Angaben von DELVER (1987) zu Stickstoff in Grasmulch (10-20 kg N/ha) bestätigen unsere Ergebnisse. In Bodenpflegeversuchen anderer Versuchsansteller wurden häufig ganzflächige Raseneinsaaten mit verschiedenen Baumstreifenbehandlungen verglichen. Dabei wurden meist die Flächen ganzer Obstanlagen und nicht nur die reinen Fahrgassenanteile berücksichtigt, und es wurden so erheblich höhere Nährstofffrachten berechnet (HAYNES 1981, GOH und HAYNES 1983, SHRIBBS und SKROCH 1986). WELLER (1970) fand im Rahmen ähnlicher Untersuchungen, dass in ganzflächigen, mit 150 kg N/ha/a gedüngten Raseneinsaaten, im gemulchten Rasen bis zu 200 kg N/ha im Umlauf sind. Solche Werte konnten mit den vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden.

In unseren Versuchen lagen für einen Hektar Obstanlage mit 4 m Reihenabstand und 6180 m² Fahrgassenanteil die gebildete Gesamttrockenmasse zum Teil deutlich unter dem von KLAPP (1971) für eine solche Grünlandfläche angegebenen Wert. KLAPP (1971) gab für intensiv gedüngte Schnittwiesen mit 19-maliger Mahd umgerechnet Werte von ca. 24 dt TM/6180 m²/a an. Diese ermittelten Werte wurden in unseren Untersuchungen nur im feuchteren Untersuchungsjahr 1995 in den mit Stallmist gedüngten Parzellen erreicht. DELVER (1987) schätzte den Stickstoffeintrag aus den gemulchten Fahrgassen auf 10-20 kg N/ha und lag damit in dem von uns ermittelten Bereich. BAAB (2004a) nahm in seinen

theoretischen Überlegungen zu Nährstoffverlagerungen aus den Fahrgassen eine Aufwuchsleistung von 50 dt Trockenmasse /ha /Fahrgassen an. Hierbei blieb unberücksichtigt, dass der Fahrgassenanteil meist nur $\frac{2}{3}$ der GesamtoStanlage ausmacht. Nach den Überlegungen von BAAB werden 50 % des Grasaufwuchses und damit 40 kg N, 17 kg P_2O_5 (ca. 7,4 kg P), 62 kg K_2O (ca. 51,6 kg K) und 10 kg MgO (ca. 6 kg Mg) mit der Mahd verlagert. Weder die Aufwuchsleistungen noch die Nährstofffrachten korrespondieren mit den Ergebnissen in unseren Versuchen (hier max. ca. 15-20 kg N, 2-4 kg P, 15-25 kg K, 2,5-5 kg Ca und 1-1,5 kg Mg). BAAB (2004a), gestützt durch Untersuchungen von STÖRZER (1966), DELVER (1980), HAYNES und GOH (1980a) und JADCZUK (1990), nahm an, dass durch den Grasauswurf auch der Kaliumgehalt in den Baumstreifen ansteigen und dadurch auch die Gefahr von physiologischen Krankheiten vergrößert werden müsste. Solch ein Einfluss konnte in unseren fast 30-jährigen Behandlungen und in 19-jährigen bzw. 29-jährigen Birnen-Düngerversuchen von STRUKLEC (1970) und DARFELD und LENZ (1985) nicht gefunden werden. Dies kann als Zeichen gewertet werden, dass sich in diesen Langzeitversuchen für Kalium bereits ein Gleichgewicht, zwischen Zufuhr und Freisetzung einerseits und Auswaschung, Fixierung und Entzug andererseits, eingestellt hatte.

BROESHART und KEPPEL (1984b) konnten unter Verwendung von stabil markiertem ^{15}N zeigen, in welchem Ausmaß der Stickstoff für die Apfelbäume durch die Grasmahd geliefert werden kann. Ähnlich wie bei den Untersuchungen von KULESZA und SZAFRANEK (1990) brachte das in die grasbedeckten Gassen gedüngte Ammoniumsulfat (67 kg N/ha) den Bäumen im Versuchsjahr nur einen sehr kleinen N-Anteil. Der Hauptteil des Mineraldüngerstickstoffs verblieb in der Grasdecke und im Boden. Mit 4 Mähgängen von Hand wurden hier je Baum ca. 47 g Stickstoff mit der Mahd verlagert, nur 0,2 % dieses Stickstoffes wurde von den Bäumen direkt im Versuchsjahr aufgenommen. Rechnet man diese 47 g N/Baum auf unsere Versuchsbedingungen um, so ergäben sich ca. 87 kg verlagertes Stickstoff/ha/a. Diese Zahl korrespondiert mit den Stickstoffgehalten in der Gesamttrockenmasseproduktion (ebenfalls mit der Hand geschnitten) der gedüngten Varianten des vorliegenden Versuches für das

feuchtere, biomassereichere Versuchsjahr 1995. In unseren Versuchen konnte gezeigt werden, dass mit praxisüblichen Mulchgeräten zwar nur ca. die $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ des Gesamtaufwuchses der Fahrgassen beim Mulchen auf die Baumstreifen verlagert wurden, aber damit noch nennenswerte Mineralstoffverlagerungen in die Baumstreifen stattfanden.

Werden spezielle Gründüngungseinsaaten in den Fahrgassen gemulcht und in die Baumstreifen abgelegt, so können im Vergleich zu unseren Ergebnissen, 4-fach höhere Nährstofffrachten erreicht werden (MARSH et al. 1996, MARSH et al. 1998).

Vegetatives Wachstum

Auch wenn der Stammdurchmesser bzw. die Stammgrundfläche ein anerkanntes Maß zur Beschreibung der Wuchsstärke von insbesondere jungen Obstgehölzen ist (FISCHER 1989), so konnten in unserer Untersuchung am Merkmal "Stammdurchmesser" die vorhandenen Wuchsunterschiede nicht in der Deutlichkeit wie erwartet gezeigt werden (Tab. 34). Die stickstofffrei ernährten Bäume aller Sorten zeigten aber gegenüber den anderen Varianten einen deutlich weniger wüchsigen Habitus und die Schnittholz mengen des Sommerschnittes (Ergebnisse nicht dargestellt) waren hier deutlich niedriger. Auch in den NPK-Düngerversuchen von HUNDGEBURT (1972) am Standort Klein-Altendorf ergaben sich bei jungen 'Cox Orange' und 'Golden Delicious' Bäumen gegenüber ungedüngten einen fördernden Effekt auf das Triebwachstum, das sich ebenfalls nicht in den Stammdurchmessern wiederfand. Engel (1988a) konnte nur für die Sorte 'Cox Orange' einen fördernden Einfluss von Stickstoff- und Stallmistgaben auf den Stammdurchmesser finden, bei den Sorten 'Golden Delicious' und 'Boskoop' fanden sich wie bei uns keine statistisch absicherbaren Unterschiede. Bei SCHEMBECKER und LÜDDERS (1989) wirkte sich eine Erhöhung des N-Angebotes fördernd auf das Triebwachstum und reduzierend auf das Wurzelwachstum aus. Eine solche Förderung des vegetativen Wachstums führte, wie in unseren Versuchen auch beobachtet, häufig zu schlechterer Fruchtausfärbungen (SAURE 1990). Wie schon BUWALDA und LENZ (1992) feststellten, waren auch in den vorliegenden Versuchen die Gesamtblattflächen pro Hektar (siehe unter

Diskussion "ERTRÄGE") der ungedüngten Parzellen bei 'Elstar' und 'Gloster' gegenüber den "Stallmist-Parzellen" (Var. 3) und den "NPK-Parzellen" deutlich vermindert. Die kleineren Blattflächen führen zu einer Verringerung der Gesamtkohlendioxidaufnahme und des Biomassezuwachses. Trotzdem schienen sich die Stammdurchmesser der älterer Apfelbäume auf der Unterlage M9, unabhängig von der Düngung, mit den Jahren mehr und mehr anzugleichen. Dies traf vor allem bei den Sorten 'Jonagold' und 'Gloster' zu. Die Sorte 'Elstar' reagierte in ihrem vegetativen Wachstum stärker auf die unterschiedlichen Düngungsmaßnahmen und dies lies sich auch an den Stammdurchmesser-Werten ablesen. Aber auch in anderen Langzeitdüngungsversuchen, mit zum Teil anderen Sorten und Unterlagen, waren die Einflüsse auf den Stammdurchmesser und andere vegetative Merkmale, wie Kronendurchmesser (m^2) oder Schnittholz (kg) zwischen gedüngten und ungedüngten Varianten, oft nicht signifikant (SCUDELLARI et al. 1993).

Aus einer Vielzahl an Untersuchungen war bekannt, dass am Versuchsstandort durch den 3. Nachbau von Apfel nach Apfel mit gleichmäßigen Wuchsdepressionen durch spezifische Bodenmüdigkeit gerechnet werden musste (ENGEL 1974, 1986, 1987 und 1988d, KÜMMELER 1981 und SCHULTE 2004). Diese apfelspezifische Bodenmüdigkeit wird wahrscheinlich durch Bakterienarten, die für Apfel toxische Kohlenwasserstoffe produzieren (KÜMMELER 1981) und durch Aktinomyzeten, die das äußere Wurzelgewebe zerstören (OTTO et al. 1993, SZABO 1999), phytohormon-ähnliche Substanzen bilden und indirekt das Pflanzenwachstum hemmen (WESTSCOTT et al. 1987), ausgelöst. Da keine nährstoffabhängigen Ursachen vorlagen, konnten in Versuchen die Wuchseinschränkungen von apfelmüden gegenüber jungfräulichen Standorten auch nicht durch alleinige Düngermaßnahmen beseitigt werden (SAVORY 1967, HEIN 1972, VANACHTER 1973, SADOWSKI et al. 1988 und ENGEL 1994). Eine unterschiedliche Düngung könnte sich demnach unter Klein-Altendorfer Bodenverhältnissen auch im dritten Nachbau nur dann deutlich auswirken, wenn durch die Düngungsmaßnahmen die Bedingungen für die bodenmüdigkeitsauslösenden Faktoren (Bakterien und Aktinomyzeten) verschlechtert würden. Dies war aber in

den vorliegenden Versuchen nicht zu erkennen. Dazu im Widerspruch beobachteten ROM et al. (1994) in Nachbauversuchen mit Stickstoffdüngung und gleichzeitiger pH-Wert-Absenkung einen positiven Effekt auf den ersten Ertrag von 3-jährigen Apfelbäumen. Auch SCHULTE (2004) beobachtete in kombinierten Bewässerungs- und Düngungsversuchen (Fertigation) in apfelmüden Böden am Standort Klein-Altendorf, im Gegensatz zu VEDDER (1995), einen positiven Einfluss auf das vegetative Wachstum von Apfelbäumen auf M9 durch Bewässerung + Stickstoffgaben im Vergleich mit ausschließlicher Bewässerung. ENGEL und BAUMANN (1986) fanden bei Düngungsversuchen mit virusfreien und getesteten M9-Unterlagen mit der Sorte 'Gloster' keinen Einfluss der Düngung auf den Stammdurchmesser, sondern nur einen Einfluss des Virusstatus und bestätigen damit unsere Ergebnisse.

Auch für jungfräuliche Apfelflächen fanden HIPPS et al. (1990) sowie RAES und DRAKE (1997) kein Einfluss unterschiedlicher Düngerbehandlungen auf vegetatives Wachstum bzw. auf den Stammquerschnitt. DIEREND (2001) konnte in Düngerversuchen zur Pflanzung von Apfelbäumen, im Gegensatz zu QUAST (1980), keine Steigerung von vegetativen oder generativen Leistungen beobachten. BAAB (2000) förderte bei Pflanzlochdüngerversuchen mit unterschiedlichen N-P- bzw. P-Düngern bei der Apfelsorte 'Braeburn' im Nachbau das Triebwachstum und auch den Ertrag.

Auch unterschiedliche K-Steigerungsversuche, die auf K-Mangelstandorten durchgeführt wurden, erbrachten beim Apfel zunächst in Abstufungen positive Effekte für das Fruchtgrößenwachstum, dann beim Ertrag und zuletzt beim vegetativen Wachstum (CATZEFLIS 1971, und HOLLAND et al. 1975). Auf anderen Standorten waren bei K-Steigerungsversuchen mit Obstgehölzen keine positiven Effekte auf das generative und vegetative Wachstum zu finden (BRUCHHOLZ und FIEDLER 1979, MANTINGER 1979, UEBEL 1982, YSTAAS 1990 und WRONA et al. 1995). Unsere unterschiedlichen Phosphor- und Kaliumdüngerbehandlungen spiegelten sich ebenfalls, wie bei den Blattkonzentrationen schon dargestellt, nicht in den Ergebnissen wider. In Gefäßversuchen konnten LÜDDERS und BÜNEMANN (1975) eine Verringerung der Triebleistung

bei ausschließlicher Kaliumernährung im Herbst aufzeigen. In unseren Extremparzellen (Var. 6) ohne Stickstoff- und ausschließlicher Kalium-, Phosphor- und Kalkversorgung konnte diese Verringerung nur für das Merkmal "Ertrag" und nicht für das Merkmal "Stammdurchmesser" belegt werden.

Früchte

Der Handel und die Verbraucher haben in den letzten Jahren neue Richtwerte für die Fruchtqualitäten von Tafeläpfeln gesetzt. Von besonderem Interesse sind dabei die Parameter, mit denen Frische und Qualität verbunden werden. Die **Grundfarbe der Früchte** gehört dazu. Dabei sollte der Farbumschlag von grün nach gelb maximal bis zur Vermarktung verzögert werden. Die bei HÜRTER (1984) beschriebene objektive Messung der Grundfarbe ist in den zurückliegenden Jahren in der Obstsartierung technisch umgesetzt worden und gehört in großen Sortiermaschinen zum Standard. Im vorliegenden Versuch übte die Stickstoffdüngung für einige Fälle einen signifikanten Einfluss auf die Schalengrundfarbe von 'Jonagold' und 'Elstar' Früchten aus, ohne sich deutlich auf den Reifeindex nach STREIF auszuwirken (Tab. 22 und Tab. A2). Bei 'Gloster' überdeckte die rote Ausfärbung in den meisten Fällen die Grundfarbe und die Ergebnisse waren hinsichtlich der Grundfarbe nur eingeschränkt zu werten (Tab. 1). Der Stickstoffeinfluss war zu erwarten, da schon GORSKI und CREAMY (1977) und KNEE (1980) die verzögerte Chlorophylldegradation, mit Stickstoff als wichtigen Bestandteil, als Bestimmungsgröße für den Farbumschlag von grün nach gelb beschrieben. KNEE (1980) berichtete in diesem Zusammenhang aber auch von einem von Jahr zu Jahr schwankenden Schalenchlorophyllgehalt. MEHERIUK (1990) und MEHERIUK et al. (1996) fanden in Ihren Untersuchungen, im Gegensatz zu uns, einen deutlich positiven Einfluss von vier Spritzungen mit 1 % bzw. 0,5 %-tigen Harnstofflösungen. Die Grünfärbung ihrer untersuchten Apfelsorten war sowohl zur Ernte, als auch nach 120 Tagen Kühlung gegenüber unbehandelten Früchten ausgeprägter. Wurden nur zwei Bodendüngerstufen mit 80 kg N/ha und 160 kg N/ha miteinander verglichen, so konnten keine Unterschiede in der Grundfarbe zur Ernte oder nach Lagerung gefunden

werden. Eine unbehandelte Kontrolle fehlte in den vorgenannten Versuchen. VANG-PETERSEN et al. (1977), FALLAHI et al. (1985a), RICHARDSON (1986) sowie YSTÄAS und FRÖYNES (1991) berichten dazu im Gegensatz von einer Förderung der Grünfärbung durch hohe Bodenstickstoffgaben. Auch MARSH et al. (1996) konnten einen Zusammenhang von Chlorophyllkonzentrationen und hohen Frucht-N-Gehalten zeigen. Die hohen Chlorophyllkonzentrationen waren gleichzeitig mit schlechter Rotfärbung der 'Fuji'-Äpfel korreliert. In unseren Untersuchungen konnten wir zur Ernte 1996 in den NPK gedüngten 'Jonagold'-Parzellen (Var. 5) die grünsten Früchte, mit einem a^* -CIELAB-Wert von -15,59 und einem Stickstoffgehalt von 56 mg N/100 g FM ernten. Dazu wiesen im Gegensatz Früchte aus unbehandelten Parzellen Werte von -11,96 a^* mit einem Stickstoffgehalt von 39 mg N/100 g FM auf und waren weniger grün. Nach 7-monatiger Lagerung war dieser Unterschied zwar noch erkennbar, aber statistisch nicht absicherbar.

Ethylengehalt im Kernhaus der Früchte

Untersuchungen über den Wert der Analyse von Ethylenkonzentrationen im Kernhaus für die Bestimmung bzw. Vorhersage des Reifeklimakteriums von Äpfeln sind von KNEE et al. (1983), HÜRTER (1984), BLANPIED und PRITTS (1987), CHU (1988), BLANPIED (1986 und 1989), QUAST (1992), sowie von GUSSMAN et al. (1993) vorgenommen worden. Ähnlich den Beobachtungen in unseren Versuchen (Tab. 23, Tab. A3-4), wurden dabei große Variationsbreiten der Ethylengehalte von Einzel Früchten gleicher Prüfgruppen festgestellt. Einzelne reife Früchte überdeckten dabei eine größere Zahl unreifer Früchte und die Reaktionszeit für die steigende Ethylenproduktion im reifenden Apfel betrug teilweise nur wenige Tage. Wenn auch DILLEY (1980) und HÜRTER (1984) Möglichkeiten für eine Vorhersage des Erntetermins sahen, scheidet die Messung des Ethylengehaltes im Kerngehäuse wegen der hohen Variabilität auch als Indikator für eine Geschmacks- und Lagereignungsbewertung von Äpfeln aus (BLANPIED und BLAK 1976, SALTVEIT 1983, BLANKENSHIP und UNRATH 1988, BLANPIED 1989, TESTONI und ZERBINI 1989, GRAELL et al. 1993). Die

Beobachtungen von CHU (1988), mit großen Streuungen zwischen den Jahren und großen Unterschieden zwischen den Sorten, konnten wir in unseren Untersuchungen bestätigen. Der Schwankungsbereich der Messwerte erstreckte sich mindestens über eine Zehnerpotenz (KNEE et al. 1983). Nach BLANPIED und PRITTS (1987) sollten wegen der Streuung mindestens 20-30 Äpfel untersucht werden und Werte größer als 1,00 ppm Ethylen sollten geglättet werden, da sie zur Reifeermittlung nur eine geringe Aussage zulassen. In unseren Untersuchungen reichten in den meisten Fällen die Stichprobe von 10 Äpfeln aus, um ein statistisch absicherbare Ergebnisse zu erzielen. Trotzdem ließ sich im Gegensatz zu SCHULTE (2004), der in Fertigungsversuchen am Standort Klein-Altendorf einen fördernden Düngereinfluss auf die Ethylenproduktion von gelagerten Früchten fand, in unseren Untersuchungen nur in wenigen Fällen ein Einfluss der Düngung ableiten. Nur nach Kühlung waren bei allen Sorten in den Kombinationen ohne zusätzliche Stickstoffgaben (Var. 1, 2 und 6) tendenziell geringere Ethylengehalte zu beobachten als in Äpfeln aus den anderen Parzellen. Durch die niedrigeren Fruchtstickstoffgehalte war scheinbar die Ethylensynthese in den Kerngehäusen vermindert. Nach HÜRTER (1984) ist 1 ppm [C₂H₄] auch der Grenzbereich, der zur Pflückreife von Äpfeln erreicht wird. In unseren Versuchen fanden wir zur Ernte Werte, die von unterhalb der Messgrenze von 0,01 ppm Ethylen [C₂H₄] (Gloster) bis über 20 ppm [C₂H₄] (Jonagold) reichten. Die letzteren Ergebnisse stehen im Widerspruch zu Untersuchungen von CHU 1984, der bei 'Jonagold' selbst nach dem optimalen Pflücktermin nur interne Ethylenkonzentrationen kleiner als 1 ppm [C₂H₄] fand. Nach Lagerung stiegen in unseren Versuchen die Werte auf 20 ppm bis über 1000 ppm [C₂H₄] (Jonagold) an. Es bestätigte sich die bekannt niedrige Ethylenproduktion von 'Elstar' (SCHAIK 1996, SCHULTE 2004) und 'Gloster', im Gegensatz zu der hohen Ethylenproduktion von 'Jonagold'. In Kühlung herrschen meist Ethylenkonzentrationen von 2-100 ppm, geringe Konzentrationen von 0,6-0,9 ppm Ethylen in der Lagerluft reichen aus, um die Fruchtreife und den Abbau der Fruchtfleischfestigkeit voranzutreiben (BUFLER 1986, BRACKMANN et al. 1994 und SCHAIK 1996). Da im vorliegenden Versuch die Sorten und Parzellen zusammengelagert wurden, war eine

gegenseitige Beeinflussung nicht auszuschließen. Trotzdem blieben zumindest die Sortenunterschiede erhalten. Durch die Zulassung des Ethylenblockers 1-Methylcyclopropan (1-MCP) in den Niederlanden, USA und vielen Ländern der südlichen Erdhalbkugel hat sich die Lagerhaltung von Äpfeln revolutioniert. Auch für Deutschland wird eine Zulassung von 1-MCP angestrebt. Durch den Einsatz von 1-MCP wird die Ethylenproduktion der Äpfel so stark herabgesetzt, dass die negativen Einflüsse von Ethylen auf Fruchtreife, Atmung, Grundfarbe und Festigkeit deutlich vermindert werden (LAFER 2002b, LEUMANN et al. 2005) und die Ethylenbildung in der Lagerluft deutlich vermindert wird (STREIF und SAQUET 2002).

Fruchtfestigkeit, Zuckerkonzentration, titrierbare Säure, Stärkeabbau, Streifindex und Fruchtreife nach Ernte und Lagerung

Im Rahmen der Qualitätsobstproduktion und des Qualitätsmanagements für Äpfel ist die Ermittlung des optimalen Pflücktermins unabdingbar. STREIF (1989 und 1991) hat mit der Formulierung eines **Reifeindex** für Äpfel einen wesentlichen Beitrag zur praktischen Ermittlung des optimalen Erntezeitpunktes geleistet. Dieser Reifeindex errechnet sich nach folgender Formel: $F/RxS\text{-Wert} = \text{Fruchtfleischfestigkeit in kg/cm}^2 / \text{°Brix bzw. Zuckerkonzentration in \% FM} \times \text{Stärkewert}$ (STREIF 1991). Auch in unseren Versuchen wurde der Erntetermin nach dem Streif-Index bestimmt, der sich aber nicht deutlich durch die Düngung beeinflusst zeigte. Je kleiner der Index, desto reifer sind die Früchte. 1996 wurde 'Elstar' und 'Jonagold' etwas reifer als in den Jahren zuvor geerntet. Insgesamt lagen zur Ernte die **Fruchtfleischfestigkeiten**, die **Zuckerkonzentrationen**, die **Stärkeabbauwerte** und die Reife-Indices in den von HÖHN et al. (1999) empfohlenen sortenspezifischen Bandbreiten. Die Fruchtfleischfestigkeit unterliegt dabei einer Vielzahl von Einflussfaktoren wie: Behangdichte (LAFER 2003, WEIBEL et al. 2004), Fruchtgröße, Mineralstoffversorgung, Sorte, Erntetermin, Standort, Farbe, Refraktometerwert, Witterung und Lagerung (LAFER 2002a), Ausgestaltung der Mittellamelle, Zellstruktur und -dichte der Äpfel (NELGEN 1982, KERS und VOLLER 2002) und den Messbedingungen (GRIMM-WETZEL

und EHLERS 2000, QUAST 2001). Unterschiedliche Fruchtgrößen und -temperaturen führen zu erheblichen Messunterschieden (GRIMM-WETZEL 2001), weshalb unsere Bestimmungen der Fruchtfestigkeiten an einheitlichen Kalibern der Größenklasse 75-80 mm bei Zimmertemperatur erfolgten. In den vorliegenden Untersuchungen führten die höheren Stickstoffgaben (z.B. Stallmist-Parzellen) besonders bei der Sorte 'Elstar' zur Ernte zu weicheren Früchten (6,9 bzw. 7,37 kg/cm²) mit weniger Zucker und mehr Säure, im Gegensatz zu Früchten aus Parzellen mit ausschließlicher Kalkdüngung, die härter (8,31 bzw. 7,94 kg/cm²), zuckerreicher und säureärmer waren. SCUDELLARI et al. (1993) fanden in ihren N-P-K gedüngten Parzellen ebenfalls weichere Früchte als in den unbehandelten Kontrollen, ein Düngereinfluss auf titrierbare Säure und Zuckerkonzentration ergab sich nicht. RUEß (2001) senkte in Versuchen durch Wurzelschnitt die Blattstickstoffkonzentration von 2,0 % N in der TM in "Unbehandelt", auf 1,7 % N in der TM in wurzelbehandelten Parzellen, senkte die Frucht-Kalium-Konzentration, erhöhte die Frucht-Calcium-Konzentration und erreichte durch diese triebberuhigende Maßnahme auch eine Steigerung der Fruchtfleischfestigkeit um 0,5 kg/cm². Der negative Einfluss von hohen Stickstoffgaben auf die Fruchtfleischfestigkeit beobachteten auch andere Versuchsansteller (HIPPS und PERRING 1989). MEHERIUK et al. (1996) fanden dagegen bei Düngerversuchen mit Harnstoff über das Blatt und auch mit Bodenstickstoffgaben von 80 kg bzw. 160 kg N/ha, ebenso wie LINK (1987b) und MUSTER und HÜBNER (1994), keinen Einfluss auf Fruchtfestigkeit oder titrierbare Säure.

Auch nach Lagerung fanden sich bei den von uns untersuchten Merkmalen die Verhältnisse wie zur Ernte wieder. Während der Lagerung, unter bewusst suboptimalen Bedingungen, sank die Fruchtfleischfestigkeit auf Werte unter 5 kg/cm², bei 'Elstar' sogar unter 4 kg/cm². Solche niedrigen Werte werden von den Konsumenten als zu weich empfunden (HÖHN et al. 2002 und LAFER 2002) und sollten nach HÖHN (2001) mindestens 5,5-6,0 kg/cm² betragen. Ein negativer Einfluss von Stickstoffdüngung auf die Fruchtfestigkeit nach Lagerung wird durch die Ergebnisse von RICHARDSON (1986) und PUTTER und JAGER (1996) bestätigt. In Versuchen von NEILSEN et al. (2002) förderten späte N-Düngung 8-

12 Wochen nach Blüte im Gegensatz zu einer Düngung 0-4 Wochen nach der Blüte die Fruchtreife (mehr lösliche Trockensubstanz, mehr Säure und weniger Stärke). CONWAY et al. (1995) steigerten mit Calciumchlorid in Nacherntebehandlungen die Calciumgehalte von Apfelfrüchten und verbesserten auch die Fruchtfestigkeit. Calcium verbindet die Pektinketten in den Zellwände, aktiviert verschiedene Enzyme in den Membranen und ist wichtig für die Aufrechterhaltung der Potentialdifferenz zwischen äußerer und innerer Oberfläche der Membranen. Calciumpektate im wasserunlöslichen Protopektinzustand bilden die vorherrschende Kittsubstanz der Mittellamelle (DIEREND und FABY 2002). In unseren Versuchen konnten wir diesen deutlichen Zusammenhang zwischen Calciumgehalt in den Früchten und Festigkeit nicht zeigen. Nach KERS und VOLLER 2002 müssten sich Frucht-P-Gehalte unter 9 mg P/100 g FM negativ auf die Fruchtfestigkeit auswirken. In den vorliegenden Klein-Altendorfer Versuchen fanden wir zwar in den Früchten aus den Parzellen mit Stickstoffgaben von 60 kg N/ha über den Boden (Var. 4 und 5) häufiger Frucht-Phosphorgehalte unter 9 mg P/100 g FM (Tab. 29), aber eine schlechtere Fruchtfestigkeit war nur bei 'Elstar' im Jahr 1995 abzulesen (Tab. 25). 'Gloster' (Tab. A7-8) und 'Jonagold' (Tab. A9-10) zeigten im Gegensatz auch bei niedrigeren Frucht-Phosphorgehalte ausreichende Fruchtfestigkeiten. Die Fruchtfestigkeit ist besonders für die Konsumentenbeurteilung wichtig und ist mindestens zu 50 % am Zustandekommen einer guten oder schlechten Geschmacksbewertung von Äpfeln beteiligt. Die Knackigkeit der Äpfel ist dabei für die Beurteilung wichtiger als Aroma und Saftigkeit. Wenn die Mittellamellen schwächer als die Primärzellwände sind, wird beim Verzehr im Mund weniger Zellsaft frei und die Äpfel schmecken eher mehlig und weniger knackig (DOVER et al. 1999). Da der Geschmack bzw. die Essqualität einer Apfelsorte nicht nur durch die Messungen der Fruchtfestigkeit, den Zucker- und Säurekonzentrationen beschrieben werden kann, so sind dies doch nützliche Bewertungskriterien (LEUMANN et al. 2005).

Äpfelsäure

Konträr zu den Ergebnissen von SCHULTE (2004), der bei Düngungsversuchen mit und ohne Bewässerung bei den Sorten 'Elstar' und 'Golden 'Delicious' nach

Lagerung keinen Einfluss auf die titrierbare Säure fand, zeigten in unseren Erhebungen besonders Äpfel aus Parzellen mit zusätzlichen Stallmistgaben höhere Säurekonzentrationen als aus andere Parzellen (Tab. 24 und Tab. A5-6). Auch nach LÜDDERS und BÜNEMANN (1970) sind der Säuregehalt und der Refraktometerwert der Früchte bei einer reichlichen N-Düngung erhöht. MEHERIUK et al. (1996) und NEILSEN et al. (1984) konnte dazu im Gegensatz keinen Einfluss der unterschiedlichen N-Gaben auf Festigkeit, titrierbare Säure, Frucht-P-Gehalte und Fruchtreife finden. Wie erwartet erfolgte während der Lagerung ein Abbau von Zucker und Säure. Die Säurekonzentrationen von 'Elstar' waren höher als von 'Gloster' und 'Jonagold'. Für letztere Sorte bestätigte LAFER (1991) unsere Beobachtungen nach Lagerung. Insgesamt lagen die Zucker- Säurekonzentrationen abhängig von der Sorte auf einem engeren Niveau und lagen zur Ernte in den von PANTHACHOD (1996) und SCHULTE (2004) beschriebenen Bereichen von 12-14 % Zucker bzw. 0,7-1,3 % titrierbare Säure. RAES und DRAKE (1997) fanden eine starke negative Beziehung zwischen Fruchtqualität und Stickstoffgehalten in Blatt bzw. Frucht. Ähnlich unseren Untersuchungen wurden hier mit den niedrigsten N-Düngermengen (28,4 kg/ha/a) die best ausgefärbten Früchte mit hoher Fruchtfleischfestigkeit, höchsten Zuckerkonzentrationen, höchsten Fruchtcalciumgehalten und geringsten Ausfällen durch Stippigkeit und Fleischbräune beobachtet. Die titrierbare Säure verhielt sich in dieser Untersuchung unabhängig von der Stickstoffgabe.

Trockensubstanz- und Mineralstoffgehalte der Früchte

Die **Trockensubstanzgehalte** zur Ernte erreichten im Versuch Werte, wie bei SILBEREISEN und NEUBELLER (1970), LINK (1973), WITTE (1994) und ZHOU (1995) beschrieben. Ein Einfluss der Behandlung ließ sich in unseren Untersuchungen nicht ableiten (Tab. 27). Parzellen mit nicht optimalem Ertrag hatten auf Grund eines engeren Blatt-Frucht-Verhältnisses, wie von HANSEN (1978) beschrieben, in der Tendenz auch höhere Trockensubstanzgehalte. Dies wird bestätigt durch SCHULTE (2004), der bei Düngungs- und Bewässerungsversuchen der Sorte 'Golden Delicious' in den Parzellen mit den niedrigsten Erträgen auch die höchsten Trockensubstanzgehalte fand.

Stickstoff in der Frucht

Um eine Aussage über den Nährstoffeinfluss auf die Fruchtqualität zu machen, hat sich die Kombination von Blatt- und Fruchtanalyse bewährt (FALLAHI et al. 1985b, RAES and STAIFF 1990). Dabei kommt dem Gehalt an Frucht-Stickstoff eine besondere Bedeutung zu. RAES and WILLIAMS (1974), FALLAHI et al. (1985b), WESTWOOD (1993) und FALLAHI und SIMONS (1996) beschreiben einen engen negativen Zusammenhang zwischen Stickstoffgehalten in den Früchten, sowie Fruchtreife und Ausfärbung. In unseren Untersuchungen konnten in den mit Stallmist versorgten Parzellen bei allen Sorten ein solcher Einfluss gefunden werden (Tab. 28), wohingegen bei RAES und DRAKE (1997) die unterschiedlichen Bodenstickstoffvarianten sich nicht in den Fruchtgehalten widerspiegelten. MEHERIUK et al. (1996) fanden einen Einfluss zwischen vier Harnstoffspritzungen von April bis Mai, mit je 0 %, 0,5 % bzw. 1 %igen Harnstofflösungen. Sie fanden zur Ernte in den Früchten in "Unbehandelt" zwischen 28-31 mg N/100 g FM, für die 0,5 %-Variante 34-40 mg N/100 g FM und für die 1,0 %-Variante 41-48 mg N/100 g FM. In unseren Ergebnissen streuten die Stickstoffgehalte in den Früchten viel weiter und ein positiver Einfluss zusätzlicher Harnstoffspritzungen (Var. 8) zu Unbehandelt (Var. 1) war für keine Sorte statistisch zu sichern (Tab. 28). Früchte aus unseren unbehandelten Parzellen enthielten bereits bei allen Sorten Gehalte von 36-51 mg N/100 g FM und damit teilweise mehr als im vorgenannten Versuch. Die in unseren Früchten gefundenen N-Gehalte entsprachen den empfohlenen Sollwerten von 35-60 mg N/100 g FM (HINZ 1989, LAFER 1995 und 2002a). Etwa die gleichen Gehalte wie aus den ungedüngten Parzellen fanden sich mit 26,59-54,63 mg N/100 g FM auch in unseren Früchten, die 5 mal mit 1 % Harnstoff (insg. 23 kg N/ha) behandelt worden waren. Früchte aus Stallmist-gedüngten Parzellen hatten bei allen Sorten immer die höchsten Frucht-N-Gehalte (54-71 mg N/100 g FM) und bei den Sortierungen die höchsten Anteile an schlecht ausgefärbten Früchten. In Parzellen in denen nur die Stickstoffdüngung ausgelassen wurde (Var. 6), zeigten sich bei unterdurchschnittlichen Fruchtstickstoffgehalten ebenfalls hohe Anteile schlecht gefärbter Früchte. Durch die zusätzlichen Kalium- und Phosphorgaben

wurde hier die Aufnahme von Stickstoff in den Früchten scheinbar vermindert und die Fruchtstickstoffgehalte lagen hier um $\frac{1}{3}$ niedriger als in den ausgewogen gedüngten Parzellen. Die von uns gemessenen Werte korrespondierten mit solchen, die ZHOU (1995) bei Lysimeterversuchen und WITTE (1995) bei der Sorte 'Gloster' fanden. Die Stickstoffentzüge durch Früchte lagen im vorliegenden Versuch je nach Sorte und Jahr zwischen 2,1 kg N/100 dt Früchte ('Jonagold' 1995, P6=CaO+PK) bis 7,1 kg N/100 dt Früchte ('Elstar' 1995, P3=CaO+Stallmist). BERGMANN et al. (1981) fanden nicht unsere niedrigen Werte und gaben eine Spanne von 4,6-7,1 kg N/100 dt Früchte an.

Calcium in der Frucht

DECKERS et al. (2000) fanden in 10-jährigen Boden- und Blattdüngerversuchen mit Gaben zwischen 30-90 kg N/ha in den gedüngten Varianten nur Effekte auf den Fruchtstickstoffgehalt aber keinen Einfluss auf den Calciumgehalt oder den Kaliumgehalt in den Früchten. Dies bestätigen unsere Ergebnisse teilweise, mit Ausnahme der extrem hoch gedüngten Stallmistparzellen (Tab. 31). Die Frucht-N-Werte, und damit auch N/Ca-Verhältnisse, waren bei DECKERS et al. (2000) gegenüber den ungedüngten Parzellen höher. Die erzielten Ergebnisse belegen unsere Beobachtungen, besonders für die Stallmist gedüngten Parzellen. Das höhere N/Ca-Verhältnis führte bei DECKERS et al. (2000) zu einem auf Calciummangel beruhenden höheren Stippebefall während der Lagerung, was ebenfalls in der vorliegenden Untersuchung im Jahr 1995 bei den Sorten 'Jonagold' und 'Elstar' in den zusätzlich mit Stallmist gedüngten Parzellen beobachtet wurde. Zusätzlich werden diese Beobachtungen durch BAAB (2004b) belegt, der in den Früchten, die von wurzelgeschnittenen und damit geschwächten Bäumen stammten, mehr Calcium, weniger Stickstoff und damit weniger Stippe als in Früchten von unbehandelten Bäumen fand. Zusätzliche praxisübliche unterschiedliche Calciumfruchtapplikationen reichten bei BAAB (2004b) nicht aus, um die Ergebnisse aus den ungespritzten, aber wurzelbehandelten Parzellen zu übertreffen. Höhere Frucht-Ca-Gehalte bei gleichzeitig niedrigem Triebwachstum werden auch von PRESTON und PERRING (1974), sowie LEWIS

et al. (1977) in ihren Arbeiten beschrieben. RAES und DRAKE (1997) fanden in Früchten von Bäumen, die geringer mit Stickstoff versorgt waren, ebenfalls etwas geringere Calciumwerte als in solchen von höher versorgten. Gleichzeitig stellten sie aber eine enge Beziehung zwischen Frucht-N-Gehalt bzw. vom N/Ca-Verhältnis und Stippigkeit sowie Fleischbräune fest. Der Calciumgehalt alleine stand überraschenderweise nicht in Zusammenhang mit physiologischen Fruchterkrankungen.

Der Fruchtcalciumgehalt und dessen Einfluss auf Stippigkeit wurde in vielen Arbeiten untersucht (WIENECKE 1968, WIENECKE und FÜHR 1973 und 1975, BANGERTH 1973, SCHMITZ und ENGEL 1973, BOON 1980a und 1980b, SCHUMACHER 1980, GROß 1981, HIMELRICK und McDUFFIE 1983, BRAMLAGE et al. 1990, TOMALA und DILLEY 1990, FERGUSON und WATKINS 1992, ZOCCHI und MIGNANI 1995, NÖTHEN 2001, MAYER und SCHRÖDER 2002, SCHLEGEL und SCHÖNHERR 2002a, 2002b und 2002c). Eine starke Beziehung besteht auch zwischen Fruchtcalciumgehalt und Fruchtfleischfestigkeit (LAFER 2002a). DOVER et al. (1999) fanden in Einzelzellenuntersuchungen in den primären Zellwänden und in den Mittellamellen von weicheren Früchten mehr Calcium und weniger Stickstoff als in festeren Früchten. In der Praxis werden aber seit Jahrzehnten calciumhaltige Blattdünger ausgebracht, um die Calciumgehalte der Apfelschalen zu erhöhen (meist max. 30 % = 0,5-0,8 mg pro 100 g Frischmasse) (DRAHORAD 1994, 1995 und BAAB 1998), die Stippigkeit zu vermindern und die Fruchtfleischfestigkeit zu erhöhen (QUAST 1981a und 1986, HEWETT und WATKINS 1991, KLEIN und LURIE 1994). Diese Behandlungen waren nicht immer erfolgreich, besonders wenn viele natürliche Faktoren vorlagen, die Stippe und lokalen Calciummangel in den Früchten förderten (BANGERTH 1974, VIGL et al. 1997 und SCHÖNHERR 2003). Der Calciumgehalt behandelte Früchte korrelierte dabei nicht immer mit dem späteren Stippebefall (GALLERANI et al. 1990 und BAAB 1998). Die Effizienz dieser Spritzungen war meist gering, da nur der kleine, direkt von den Früchten aufgenommene, wasserlösliche Calciumanteil wirksam werden konnte (SCHÖNHERR 2000, 2001, 2003 und SCHLEGEL 2003, 2004). Deshalb wurden mit Calcium-Tauchbehandlungen nach der Ernte oft

bessere Effekte gegen die Stippigkeit erzielt als mit Spritzungen über das Blatt (ENGEL und ZACHARIAE 1976). Wie schon BANGERTH (1979), GROß (1981), KOLBE (1986) und ROSENBERG (1988a, 1988b) zeigten, war auch in unseren Untersuchungen kein Einfluss der Bodenkalkungen auf die Calciumgehalte in den Früchten nachweisbar, da der größte Teil von dem über die Wurzeln aufgenommenen Calciums zunächst in Blätter, Holz und Rinde eingelagert wird. Es scheint so, dass auch in unseren ohne Kalk gedüngten Parzellen, die Calciumaufnahme ausreichend war, um die von WIENEKE (1976) beschriebene sekundäre Verlagerung von Calcium im Folgejahr sicherzustellen. Eine von GUTBERLETT-GEISINGER 2005 geforderte fruchtqualitätsfördernde Kalkdüngung kann also nur indirekt den Früchten zu Gute kommen. Insgesamt kommt deshalb der Verbesserung der natürlichen Frucht-Calciumaufnahme bei der Stippebekämpfung eine entscheidende Bedeutung zu (WINDHOLZ 1988 und MANTINGER 2001). In den stärker mit Stickstoff versorgten Parzellen und den damit stärker wachsenden Bäumen wurden in unseren Untersuchungen die niedrigsten Frucht-Calciumgehalte gefunden. Dies beobachteten schon COOPER (1974), WIENEKE (1975) und FERGUSON (1980). Das besondere Transportverhalten des Calciums im Baum wurde von ihnen für den Zusammenhang zwischen Triebwachstum und Frucht-Ca-Gehalt verantwortlich gemacht. Zu Beginn der Fruchtentwicklung, wenn die Ca-Versorgung der Früchte vorwiegend über das Xylem erfolgt, werden große Teile des im Laufe der Entwicklung in die Frucht eingelagerten Calciums zu den Früchten transportiert (WIENEKE und FÜHR 1973). Ist das Triebwachstum im Juni und Juli besonders stark, so konkurrieren die wachsenden Triebspitzen mit den Äpfeln um das Calcium und stellen für das Calcium eine "Sinkwirkung" dar (LINK 1974 und SCHUMACHER et al. 1980).

Während der zweiten Hälfte der Fruchtentwicklung wird auf dem Weg zum Aufnahmeort, von dem das Gefäßsystem umgebenden Gewebe, laufend Calcium aus dem Xylemsaft entnommen. Das Calcium wird in starkem Maße lateral in die Rinde und in geringem Maße in den Holzteil transferiert (WIENEKE 1975 und HANGER 1979). Der Transpirationsstrom zur Frucht ist gering (MIX und MARSCHNER 1976), und die Nährstoffversorgung der Früchte erfolgt vorwiegend

über das Phloem (TROMP 1975), in dem das Calcium nur schwer verlagerbar ist (WIENEKE 1975, FERGUSON 1980 und MARSCHNER 1995). Nach Untersuchungen von WIENEKE und FÜHR (1973) mit markiertem Calcium erreichte im Zeitraum der Zellstreckung und Fruchtvergrößerung bis zur Ernte nur noch wenig Calcium die Früchte. NELGEN (1982) konnte dazu im Gegensatz zeigen, dass die Calciumkonzentration in der Frucht zwar auf Grund der überproportionalen Größenzunahme abnimmt, dass aber der Gesamt-Calciumgehalt pro Frucht, trotz sinkendem Transpirationsstrom, über den gesamten Wachstumsprozess weiter steigt. Dies bestätigen auch die Ergebnisse von TOMALA et al. (1989) und NÖTHEN (2001), die pro Apfelfrucht zum Zeitpunkt "Walnussgröße" nur 25-50 % der Calciummengen erntereifer Früchte fanden. Der Calciumgehalt in der Schale ist dabei deutlich größer als im Fruchtfleisch (KOHL 1967, WIENECKE 1968 und GROß 1981). In unseren Untersuchungen wurden, wie bei TURNER et al. (1977) beschrieben, nur Apfelsegmente von erntereifen Früchten ohne Samen und Kernhaus analysiert. Bei dieser Methode wird, besonders bei Verwendung größerer Früchte, im Verhältnis mehr Fruchtfleisch als Schale untersucht und es ergeben sich niedrigere Calciumgehalte unter 5 mg Ca/100 g Frischfruchtmasse. Solche niedrigen Gehalte, wie sie in unseren Untersuchungen auftraten, werden durch PERRING (1968), FERGUSON und WATKINS (1992), BAAB (2004c), QUAST (2004) und LORENZ-GROMALA et al. (2004) bestätigt. Auch HORNIG und BÜNEMANN (1996) fanden in ihren Versuchen im Schnitt nur Ca-Gehalte von 2,7 bis 4,6 mg/100 g Frischfruchtmasse. In der Literatur werden teilweise unterschiedliche Analysenmethoden benutzt, die auf Grund des höheren Schalenanteils dann auch zu höheren Fruchtcalciumwerten führen. Als Grenze für sicher stippefreie Früchte werden für diese Methoden Werte zwischen 4,5 und 5,0 mg Ca/100 g Frischmasse angegeben (KODDE et al. 1993), diese Mindestwerte konnten durch unsere Ergebnisse nicht belegt werden. QUAST (1986) fand in mehrjährigen Fruchtcalciumuntersuchungen starke Schwankungen zwischen den Jahreswerten und höhere Anteile an Fruchtportionen, die weniger als 4 mg Ca/100 g FM enthielten. Hierbei war der Zusammenhang zwischen natürlichem Fruchtcalciumgehalt und Stippebefall ebenfalls nicht immer eindeutig. Viele der

untersuchten Anlagen wiesen, wie in unseren Versuchen, auch bei niedrigen Fruchtcalciumgehalten nur geringe Anteile stippiger Früchte auf.

Negative Einflüsse auf die Stippigkeit und den natürlichen Calciumgehalt, die im vorliegenden Versuch nicht beobachtet wurden, üben u.a. folgende Faktoren aus: kleiner Fruchtbehang (FERGUSON und WATKINS 1989 und 1992), überdimensionierte Fruchtgrößen (PERRING und JACKSON 1975), ungünstige Fruchtposition im Baum (FERGUSON und TRIGGS 1990) und an den Trieben (LIEBERZ 1992), schlechtes Blatt - Fruchtverhältnis am Fruchtstand (BOON 1980b, JONES und SAMUELSON 1983), fehlender Sommerschnitt (SCHMITZ und ENGEL 1973, PANTHACHOD 1996 und STRUKLEC 1994), starke Wüchsigkeit des Baumes (SILBEREISEN und LINK 1985), später Blüte- und früher Erntezeitpunkt (VUKOVITS 1965, NELGEN 1980 und VOLZ et al. 1996). In letzterer Untersuchung und bei BROOKFIELD et al. (1996) wurde nochmals der großen Einfluss der Blütenbestäubung auf den späteren Calciumgehalt in den Früchten nachgewiesen. Handbestäubte Äpfel hatten mehr Kerne und auch mehr Calcium, als sich in natürlich abgeblühten Früchten fanden. Wichtiger für den Calciumgehalt war aber noch der Blütezeitpunkt. Wurden die ersten Apfelblüten gut befruchtet (mit Hand oder mit Bienen, Abstand zu Befruchterbäumen weniger als 14 m), so hatten sie zur Ernte zwar im Schnitt weniger Kerne aber mehr Fruchtcalcium als Früchte, die aus später blühenden Knospen entstanden (VOLZ et al. 1996). Für Einzelfrüchte konnte somit, entgegen den Beobachtungen von BRAMLAGE et al. (1990) und TOMALA und DILLEY (1990), die ihre Untersuchungen auf die Gesamternte bezogen, kein Zusammenhang zwischen Samenzahl und Calciumgehalt von Früchten des selben Blühzeitraumes gefunden werden (BROOKFIELD et al. 1996 und VOLZ et al. 1996). Die Befruchtungsverhältnisse am Standort Klein-Altendorf wurden in jedem Jahr durch die Einwanderung von einer großen Anzahl Bienenvölker optimiert, so dass je nach Witterung von einer frühen, optimalen Bestäubung ausgegangen werden konnte und dies für ausreichende Fruchtcalciumwerte ohne zusätzliche Calciumspritzungen sorgte.

Phosphor, Kalium und Magnesium in der Frucht

Ein Einfluss der Phosphor- und Stickstoff-Düngungen auf die Phosphatgehalte der Früchte war in unseren Untersuchungen nicht zu erkennen. Die Phosphorgehalte der Früchte aus Parzellen mit zusätzlichen Bodenstickstoffgaben waren zwar leicht erniedrigt, eindeutig interpretierbare Zusammenhänge zwischen Bodendüngung und Frucht-P-Gehalten ließen sich aber nicht herleiten (Tab. 29). Auch RAES und DRAKE (1997) konnten in unterschiedlichen Stickstoffvarianten bei der Apfelsorte 'Fuji' keine Unterschiede in den P-Gehalten von Schale bzw. Fruchtfleisch finden. Die in unseren Untersuchungen gefundenen Phosphorgehalte und hohen **Kaliumgehalte** (Tab. 30) stimmen für die Sorte 'Elstar' mit den Angaben von HORNIG und BÜNEMANN (1996) überein (13 mg P/100 g FM, bzw. 130 mg K/100 g FM), während die Empfehlungen von KODDE et al. (1993) für die Sorten 'Cox Orange', 'Jonagold' und 'Boskoop' darüber liegen. QUAST (1986) berichtet über einen starken Zusammenhang von Blatt-Kalium-Gehalt im Juli / August und anschließendem Frucht-K-Gehalt zur Ernte. Er führte dies auf die hohe Kaliummobilität in der Pflanze zurück. Da in unseren Versuchen aber schon kein klarer Zusammenhang zwischen Kalium-Gehalt des Bodens und der Blattversorgung zu finden war, konnte nur bedingt für die extrem gedüngten Mistparzellen ein Einfluss auf den Fruchtkaliumgehalt ausgemacht werden.

Die gefundenen **Magnesiumgehalte** in den Früchten (Tab. 32) erreichten die anzustrebenden Bereiche von 4,5-6 mg Mg/100 g FM (DELVER und SCHOUTEN 1980, HINZ 1989). Übereinstimmend mit ROSENBERG (1988a und 1988b) übten in unseren Versuchen die verschiedenen Kalkgaben keinen Einfluss auf die Magnesiumwerte in den Früchten aus.

Auf Grund der geringen Calcium- und der relativ hohen Kaliumwerte waren die in den vorliegenden Untersuchungen gefundenen **Quotienten aus (K+Mg)/Ca** (eq/eq), wie bei PANTHACHOD (1996), ebenfalls sehr hoch (Tab. 33). Nur in wenigen Fällen wurden die von BOON (1980b), JOHNSON (1981) und BAAB (2004b) empfohlenen Werte <25 bzw. <36 (MAYER und SCHRÖDER 2002) erreicht. Die erwarteten extremen negativen Auswirkungen auf die Fruchtqualität und die Förderung von Stippigkeit und Fleischbräune stellten sich in unseren

Untersuchungen allerdings nicht ein. Die Sorten 'Elstar' und 'Gloster' haben allerdings im Gegensatz zu 'Jonagold' geringere Stippeprobleme. LUNE und GOOR (1979) fanden eine sehr enge Beziehung zwischen dem Verhältnis von $(K+Mg)/Ca$ in den Früchten und der späteren Stippigkeit. In unseren Untersuchungen konnten wir diesen Zusammenhang bei 'Jonagold' nicht finden, und auch BOON (1980b) berichtet von einer mangelnder Konsistenz dieses Indices.

Der Einfluss der einzelnen Düngerbehandlungen auf die Fruchtnährstoffgehalte war bei uns (wie auch bei HORNIG und BÜNEMANN 1996) allgemein geringer als der von Sorten und Jahre. Nur die Extremparzellen mit hohen Stallmistgaben verschlechterten die Werte bei allen Sorten erheblich.

Erträge und Fruchtqualitäten

In älteren Düngerversuchen bei Apfel wurde das Hauptaugenmerk auf die Steigerung des Gesamtertrages gelegt und die Fruchtqualität fand weniger Beachtung. Ein positiver Einfluss der N-Düngung auf Ertrag und Alternanz wurde von DECKERS et al. (2000) nicht gefunden. In der Tendenz neigten aber Früchte aus Prüfgruppen ohne Stickstoffdüngung zu weniger Stippebefall. Dies konnten wir nur gegenüber den extrem wüchsigen, zusätzlich mit Stallmist gedüngten Parzellen bei den Sorten 'Jonagold' und 'Elstar' nachweisen. Bei der unanfälligen Sorte 'Gloster' waren physiologische Erkrankungen der Früchte, auch nach Lagerung, von untergeordneter Bedeutung. Dies war dadurch zu erklären, dass die Bäume auf Grund des Nachbaues, der Erziehung und des Fruchtbehanges ein "ruhiges Wachstum" zeigten. Ein ausgeglichenes Wachstum ist die Basis für physiologisch gesunde Früchte (ENGEL 1985b und SCHUMACHER 1989). So konnte ENGEL (1985b) am Standort Klein-Altendorf die negativen Auswirkungen von hohen Stickstoffgaben kurz nach der Ernte (200 kg N/ha) auf Ertrag, Stippigkeit und Fleischbräune bei den Sorten 'James Grieve' und 'Cox Orange' bis zum 14. Standjahr zeigen. In einem anderen Versuch (Engel 1988a), der unseren Erhebungen vorangegangen war, reagierten die Sorten 'Cox' und 'Boskoop' schon bei Stickstoffgaben von 60 kg N/ha, mit erhöhtem Anteil stippiger Früchte, wenn der Stickstoff entweder wiederum nur im

Spätherbst oder als Stallmistgabe bei Vegetationsbeginn gegeben wurde. Ertrag und Fruchtgröße waren nicht vergrößert. Bei ENGEL (1985b) blieb dagegen die gleiche Stickstoffmenge in drei-geteilten Gaben (kurz nach der Blüte, kurz nach Fruchtfall und nach Triebabschluss) gegenüber den Kontrollen ohne Effekte. In den vorliegenden Untersuchungen wurden die Herbstgaben mit 60 kg N/ha zu Versuchsbeginn umgestellt in eine drei-geteilte Düngung und so war erklärbar, warum die negativen Auswirkungen der Stickstoffdüngungen nur in den Stallmist-Parzellen (Var. 3) beobachtet werden konnte (Abb. 10-12).

Während DELVER (1986) unter speziellen holländischen Bedingungen bei 'Golden Delicious' und 'Cox Orange' und auch FABY und NAUMANN (1988) und PAPP (1997) im Gegensatz zu unseren Ergebnissen noch positive Ertragssteigerungen durch jährliche Stickstoffgaben von 40-50 kg N/ha fanden, war in anderen Untersuchungen der Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag weniger deutlich (VISSERS und SLAGER 1974, GOODE et al. 1978 und SADOWSKI et al. 1990). DELVER (1987) konnte in 15-jährigen Düngungsversuchen mit Apfelbäumen nachweisen, dass die Durchwurzelbarkeit der Böden und ihre Qualität die Wirkung einer N-Düngung überdeckt. Dabei spielt die Eigenregulation bei verminderter Nährstoffverfügbarkeit eine große Rolle. So können die Apfelunterlagen zum einen die Wurzeloberfläche vergrößern und die räumliche Nährstoffverfügbarkeit erhöhen und zum anderen die chemische Verfügbarkeit über gezielte pH-Veränderungen oder Wurzelabscheidungen in der Rhizosphäre verbessern (ATKINSON 1978 und RÖMHELD 1994). Moderne Anbausysteme wie am Versuchsstandort in Klein-Altendorf mit begrünten Fahrgassen, chemischer Fruchtausdünnung zur Alternanzbrechung, Beregnungsmöglichkeiten, Herbizidanwendung in den Baumstreifen und Verzicht auf mechanische Bearbeitung im Wurzelraum begünstigen solche Vorgänge. Dies kann als eine mögliche Erklärung angesehen werden, warum in unserem Versuch kaum positive Düngereffekte auf den Ertrag und die Qualität erkennbar waren (LOOK 1982, DIEREND und SPETHMANN 1996, RAES und DRAKE 1997, DECKERS et al. 2000 und DIEREND 2001). Ebenfalls besteht bei Apfelbäumen eine große Abhängigkeit zwischen Blattfläche und Ertrag. LENZ (1994) gibt eine optimale

Blattfläche, bei gleichmäßiger Wasser- und Nährstoffversorgung, mit 30.000 m²/ha an und fand bei 8-jährigen 'Elstar' mit 1933 Bäumen/ha ein Ertragsverhältnis von 665 m² Blattfläche pro t erzeugten Äpfeln.

In unseren Versuchen wurden in den Parzellen "Unbehandelt" (Var. 1), "Stallmist" (Var. 3) und "NPK" (Var. 5) für 'Gloster' und 'Elstar' in den Jahren 1996 und 1997 Blattflächen ermittelt. Je vier Bäume aus den drei Behandlungen wurden vor dem natürlichen Blattfall entblättert und die Gesamtblattflächen/Baum wurden, wie bei WITTE (1994) beschrieben, bestimmt. In den weitgepflanzten 14-jährigen 'Gloster' (Pflanzabstand 4m x 1,8m =1380 Bäume/ha) wurden in den ungedüngten Parzellen in den Jahren 1997 und 1996 der von LENZ (1994) angegebene Wert mit umgerechnet 13.588-18.486 m² Blattfläche/ha nur zu Hälfte erreicht. Auch in den Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3) und den NPK Parzellen (Var. 5) ergaben sich nur 15.800-17.380 m² Blattfläche/ha. Bei ca. 40-45 t Ertrag /ha und durchschnittlich 16.000 m² Blattfläche/ha ergab sich mit 400 m² Blattfläche pro t Ertrag ein günstigeres Ertragsverhältnis als bei LENZ (1994) beschrieben. Die 8-jährigen 'Elstar' (Pflanzabstand 3,6m x 1,5m =1850 Bäume/ha) erreichten in den Klein-Altendorfer Düngerversuchen in den unbehandelten Parzellen in den Jahren 1997 und 1996 nur 18.315-24.050 m² Blattfläche pro Hektar. In den Stallmist gedüngten Parzellen (Var. 3) und den NPK-Parzellen (Var. 5) ergaben sich für 'Elstar' 20.350-30.525 m² Blattfläche/ha und der von LENZ (1994) anzustrebende Wert wurde knapp erreicht. Das Ertragsverhältnis war für diese Sorte deutlich ungünstiger und betrug bei einem Ertrag von 20-25 t/ha und durchschnittlich 22.000 m² Blattfläche/ha ca. 880 m² Blattfläche pro t Ertrag.

Neben der Größe der Blattfläche muss auch die Blattstellung und -verteilung optimal sein, sonst kann sich nach TAYLOR und LENZ (1991) und WÜNSCHE et al. (1994) in stärker wachsenden Bäumen die Selbstbeschattung negativ auf Infloreszenzen und Ertrag auswirken. So fanden LEPSIS und BLANKE (2001) am Standort Klein-Altendorf die optimale Lichtausnutzung in stärkerwachsenden 'Elstar' bereits in weitgepflanzten Einzelreihen (3,5 m x 1,8 m) und nicht in engeren Mehrreihensystemen oder engeren Einzelreihen. ENGEL (1959) konnte in einem Bodenpflegeversuch nachweisen, dass das Kleinklima im Bestand von

Bedeutung für die vegetative und generative Leistung der Obstbäume sein kann und so mögliche Düngungseinflüsse ausgleicht oder sogar überdeckt. Dies könnte ein weiterer Grund sein, warum wir und DECKERS et al. (2000) im Vergleich von ungedüngten Apfel-Parzellen zu unterschiedlichen Stickstoffvarianten keine gesicherten Ertragsunterschiede fanden. Die Früchte von Bäumen ohne Stickstoffdüngung wiesen in der Erhebung von DECKERS et al. (2000) auch eine bessere rote Fruchtfärbung auf. Diese Ergebnisse teilen sich mit unseren Beobachtungen und denen von RAES and WILLIAMS (1974), FALLAHI et al. (1985b), PEETERS (1991), WESTWOOD (1993) und MUSTER und HÜBNER (1994). In unseren Untersuchungen zeigten die Blätter der Parzellen ohne Stickstoffdüngung die schlechtere Versorgung nicht nur durch kleinere Gesamtblattflächen pro Baum an, sondern auch durch deutlich hellere Grünfärbung der Blätter, durch einen früheren Triebabschluss und Blattfall an. Obwohl diese vermeintlichen Mangelparzellen, wie im Ergebnisteil dargestellt, einen verminderten kumulierten Gesamtertrag hatten, unterschied sich statistisch der vermarktungsfähige Anteil (grüne, übergroße und zu kleine Früchte abgezogen) nicht von besser versorgten Varianten. Eine Ausnahme bildeten die mit Harnstoff behandelten 'Elstar'-Parzellen. Hier führten, neben den scheinbar positiven gleichmäßigen Blattstickstoffgaben, möglicherweise leichte Ausdünneffekte während der Blüte zu gleichmäßigeren und damit höheren kumulierten Klasse-I-Erntemengen. Diese Aussage ließe sich durch Ausdünnversuche mit Gaben von 20-40 kg Harnstoff /ha von ZIMMER et al. (1996) bestätigen. HOLLENSTEIN (2004) konnte dagegen in 4-jährigen Blattdüngerversuchen mit Harnstoff auch bei der Sorte 'Elstar' keinen Einfluss auf die Alternanz feststellen.

In den vorliegenden Versuchen reichten meist schon die Kalkgaben in Verbindung mit der Nährstoffnachlieferung aus unkrautfreiem Boden und Grasmulch aus, um maximale vermarktungsfähige Erträge zu erzielen. In der Literatur werden vielfach, analog zu den vorliegenden Ergebnissen negative Auswirkungen von Stickstoffgaben auf die Ausfärbung, Stippe und Lagerqualität von Früchten beschrieben (ENGEL 1975). So wurde auch in unseren Versuchen, in den mit weniger Stickstoff versorgten Parzellen, die Ausfärbung der Sorten 'Jonagold' und

'Elstar' verbessert. Dies führte wiederum zu einem höheren Anteil Klasse-I-Früchten. RAES und DRAKE (1997) fanden starke, negative Beziehungen zwischen Fruchtqualität und Stickstoffgehalt in Blatt bzw. Frucht. Ähnlich wie in unserer Untersuchungen wurden hier mit den niedrigsten N-Düngermengen (28,4 kg N/ha) die bestausgefärbtesten Früchte mit guter Fruchtfleischfestigkeit, höchsten Zuckergehalten, höchsten Fruchtcalciumgehalten und geringsten Ausfällen durch Stippigkeit und Fleischbräune ermittelt. Dagegen hatten bei MARKS und ANDREWS (1990) die Stickstoffdüngung keinen Einfluss auf Ertrag, Grundfarbe, Fruchtfestigkeit und Lagerkrankheiten. In Versuchen von KOLBE und HILKENBÄUMER (1976) führte die fehlende Kalium- und Magnesiumdüngung zu geringeren Erträgen als eine Volldüngung mit NPK Mg und Ca. Dazu im Gegensatz hatten in unseren Versuchen die Düngungen mit oder ohne Phosphor und Kalium, wie bei Kaliumdüngerversuchen von BOJIC et al. (1996) mit 'Golden Delicious', keinen Einfluss auf den Ertrag. Nur in den Parzellen mit zusätzlichen Gaben an Phosphor und Kalium, bei gleichzeitiger fehlender Stickstoffdüngung kam es wahrscheinlich zu einer verminderten natürlichen Stickstoffaufnahme durch Ionenantagonismus und damit zu Ertragseinbußen. Dieses Erkenntnis wird durch einen 20-jährigen Versuch von KOLBE (1986) gestützt. In der gleichen Arbeit wurde auch ein positiver Einfluss von hohen Kalkgaben im Februar festgestellt. Fruchtfäulen, wie *Gloeosporium*, *Botrytis* und *Penicillium* wurden wahrscheinlich durch phytosanitäre Effekte vermindert. Diesen Einfluss fanden wir nicht. Auch stellte KOLBE (1986) einen großen positiven Einfluss von alleinigen Kalkgaben bei Auslassung von Stickstoffdüngungen auf Ertrag und Anteil vermarktungsfähiger Ware fest. Auch in unserer Arbeit fanden wir über alle Sorten den höchsten Anteil vermarktungsfähiger, gut ausgefärbter Früchte in Parzellen, die ausschließlich mit Hüttenkalk gedüngt worden waren.

Schlussfolgerungen

In Klein-Altendorf führten die Standortverhältnisse und die durchgeführte Bodenpflege mit begrüntem Fahrgassen und vegetationsfreien Baumstreifen zu einer hohen Bodenfruchtbarkeit mit guter Nährstoffnachlieferung. Die durch die Mahd in die Baumstreifen verlagerten Nährstoffe deckten dabei schon fast die Hälfte der Verbrauchswerte einer Apfelanlage mit 300 dt Ertrag ab. Ein positiver Einfluss von unterschiedlichen Nährstoffgaben konnte nicht gefunden werden. Maximale vermarktungsfähige Apfelerträge mit guter Ausfärbung und hoher Lagerstabilität wurden bei allen untersuchten Sorten bereits mit Blattstickstoffgehalten von 2,0-2,2 % N in der Trockenmasse (TM) erreicht. Empfohlene Gehalte von 2,3-2,5 % N in der TM müssen als zu hoch bewertet werden. Die unter anderen Qualitätskriterien erarbeiteten Sollwerte für Blattnährstoffe müssten dringend sortenspezifisch überarbeitet werden, da heutzutage Erträge in hoher Farbqualität, sowie geringeres vegetatives Wachstum der Bäume mit geringem Schnitt- und Pflegeaufwand gefordert werden. Bei der Sorte 'Elstar' müsste der Nutzen von Harnstoffgaben über das Blatt weiter abgeklärt werden.

Der Bodenpflege, dem gleichmäßigen Fruchtbehang mit Fruchtausdünnung, der Bewässerung, dem Pflanzenschutz und der optimalen Belichtung der Blätter von Apfelbäumen kommt eine größere Bedeutung zu als deren Düngung. Die Anpassungsfähigkeit und das Nährstoffpuffervermögen von Apfelbäumen auf M9 scheint höher als allgemein angenommen zu sein. Aus den Ergebnissen ist daher der Schluss zu ziehen, dass unter den Bodenverhältnissen wie in Klein-Altendorf und in Kombination von Mulchwirtschaft, Holzverhäckselung und Herbizidstreifen bei Apfel im Nachbau langjährig auf jegliche Bodendüngung, mit Ausnahme von jährlichen Hüttenkalkgaben in Höhe von 500-1000 kg/ha, verzichtet werden kann. Diese von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) akkreditierte Untersuchung sollte fortgeführt werden, um die weiteren langjährigen Auswirkungen der Düngung, besonders der reduzierten Nährstoffgaben, zu beobachten.

5 Zusammenfassung

Im Herbst 1968 wurde auf der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf des Instituts für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn ein Boden- und Blattdüngungsversuch mit Apfel auf M9 im Nachbau angelegt. Auf einer Versuchsfläche von 0,5 ha (nährstoffreiche Parabraunerde) erfolgt seitdem der Apfelanbau in unveränderten Düngerparzellen. Für die vorliegende Arbeit standen Bodendaten aus fast 30-jähriger Versuchsdauer zur Verfügung. Die Untersuchungen an Baum und Frucht erfolgten an Apfelbäumen auf der Unterlage M9 in dritter Generation. 1982 wurden die Bäume der Sorte 'Golden Delicious' gerodet und im 3. Nachbau durch 'Gloster' ersetzt. Als Pflanzmaterial wurden 1-jährige Veredelungen, auf virusfreien M9-Unterlagen, verwendet. Der Pflanzabstand betrug 4m x 1,8m (=1380 Bäume/ha).

1988 wurden die 'Cox Orange' und 'Boskoop' Quartiere gerodet und durch 'Elstar' bzw. 'Jonagold' ersetzt (3. Nachbau). Einjährige virusfreie Bäume auf M9-984 wurden im Abstand von 3,6m x 1,5m gepflanzt (=1850 Bäume/ha).

Die Düngerstufen /ha/a waren wie folgt :

- 1) ohne Düngung
 - 2) 10 dt Hüttenkalk (= CaO)
 - 3) CaO + 100 dt Schweinemist (= ca. 50 kg N, ca. 75 Kg P₂O₅, ca. 60 K₂O)
 - 4) CaO + 3 x 20 kg N (Frühjahr, Sommer, Herbst)
 - 5) CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 3 x 20 kg N
 - 6) CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O
 - 7) CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 20 kg N + 5 x 10 kg Harnstoffspritzungen
 - 8) CaO + 60 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O + 5 x 10 kg Harnstoffspritzungen (= 23 kg N)
- Hüttenkalk- und Schweinemistgaben erfolgten vollflächig, die anderen Dünger wurden von Hand in die Baumstreifen gegeben.

Die begrünten Fahrgassen wurden 3-5 mal gemäht und die Mahd wurde dabei teilweise in die Baumstreifen abgelegt. Der Pflanzenschutz erfolgte nach den Richtlinien zum Integrierten Anbau. Für Frostschutz und Bewässerung stand eine Überkronenberegnung zur Verfügung.

Ziel der Studie war es, den Einfluss der Düngung eines fast 30-jährigen Dauerversuches auf den Boden, auf die Nährstoffaufnahme der Bäume, auf das

vegetative und generative Verhalten der Bäume und besonders auf Ertrag, Fruchtqualität und Lagerverhalten von Apfelbäumen auf M9 im dritten Nachbau zu untersuchen. Dabei waren besonders die Auswirkungen einer langjährigen Reduktion oder ein gänzlicher Verzicht der mineralische Düngung von Interesse. Die Bedeutung der Grasmulchwirtschaft der begrüneten Fahrgassen ist bis dato wenig untersucht worden. Deshalb wurde in den Jahren 1995-1996 in den Parzellen 1), 3) und 5) genau ermittelt, wie viel Nährstoffe durch die Mahd der begrüneten Fahrgassen zu den Bäumen gelangt.

Es zeigte sich in unseren Versuchen, dass die Grasmulchwirtschaft zwar nennenswert zur Nährstoffverlagerung aus den Fahrgassen in die Baumstreifen und damit zur Versorgung der Obstgehölze beitragen kann, aber nicht zu einer übermäßigen Akkumulation an Nährstoffen in den Baumstreifen führte. Eine Förderung der Stippe durch die Mulchwirtschaft war in unserer Untersuchung nicht abzulesen. Durch Mulchen wurden pro Jahr und Hektar Obstanlage 25-50 % des Aufwuchses aus den Fahrgassen auf die Baumstreifen verlagert und damit 10 bis 25 kg N, 2-4 kg P, 15-25 kg K, 3-5 kg Ca und 1-2 kg Mg. Die von uns in der verlagerten Mahd gefundenen Mengen an Mineralelementen decken bei Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium fast die Hälfte und bei Calcium 1/10 der angegebenen Verbrauchswerte für eine Apfelanlage mit 300 dt Ertrag.

Die Düngung am Standort Klein-Altendorf, mit Ausnahme der stallmistgedüngten Varianten und den ungedüngten Kontrollen, beeinflussten die Nährstoffgehalte im Boden (Abb. 4-7 und Tab. 3-12), die Nährstoffkonzentrationen im Blatt (Tab. 13-17) und die Fruchtparameter (Tab. 22-33) weniger als erwartet. Nur die besonders hohen Gaben Stallmist verzehnfachten die Gehalte an Phosphor und Kalium auf je 140-150 mg/100 g Boden. In diesen Parzellen stieg der Humusgehalt in der Bodenschicht bis 25 cm um das Doppelte auf 4 % im trockenen Boden an. Der pH-Wert in der unbehandelten Kontrolle sank auf pH 5,0-5,5 ab. Er stieg in den gekalkten Parzellen auf pH 6,8 an.

Blattstickstoffkonzentrationen von 2,0-2,2 % N in der TM reichten in den meisten Fällen für optimal Erträge aus. Empfohlene Gehalte von 2,3-2,5 % N in der TM müssen als zu hoch bewertet werden. Alle anderen Blattmineralstoffkonzentrationen lagen immer, bei allen Behandlungen und Sorten, in Bereichen guter

Versorgung. Stark mit Stickstoff versorgte Parzellen verursachten höhere N-Gehalte in den Früchten und höhere Ausfälle durch Stippe. Trotz geringer Ca-Fruchtgehalte, war das Stippeproblem nach Lagerung nicht ausgeprägt.

Die Erträge von 'Gloster' zeigten sich unbeeinflusst von der Düngung. Bei 'Jonagold' hatten die N gedüngten Varianten zwar höhere dreijährige kumulierte Baumerträge. Wurde nur der vermarktungsfähige Anteil der Handelsklasse 1-Früchte berücksichtigt (stippige, kleine, übergroße und schlechtgefärbte Früchte abgezogen), so ergaben sich keine absicherbaren Unterschiede zwischen den Behandlungen. Einzig bei der Sorte 'Elstar' ergaben die Varianten 7) und 8) mit zusätzlichen Harnstoffgaben im Vergleich zu allen anderen Behandlungen eine positive Reaktion auf Ertrag in Kombination mit Qualität. Die gekalkten Parzellen mit reduzierter Düngung zeigten über alle Sorten einen ausgewogenen Wuchs mit hohen Erträgen an stabilen, gut ausgefärbten Handelsklasse-I-Früchten (Tab. 10-12). Der Sommerschnitt-Aufwand, wie auch die Blattflächen, waren in den ungedüngten Kontrollen (Var. 1) am niedrigsten und in den Stallmist Varianten 3) am größten.

Bedingt durch die hohe Bodenfruchtbarkeit und die gute Nährstoffnachlieferung am Standort Klein-Altendorf fielen die Mangelerscheinungen in den fast 30 Jahren ungedüngten Kontrollen geringer aus als erwartet. Der Dauerdüngungsversuch in Klein-Altendorf gehört weltweit zu den langjährigsten Untersuchungen in diesem Bereich und ist seit 2003 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) akkreditiert. Nach den vorliegenden Daten scheint die Anpassungsfähigkeit und das Puffervermögen von Apfelbäumen auf M9 höher als allgemein angenommen zu sein. Aus den Ergebnissen ist daher der Schluss zu ziehen, dass unter den Bodenverhältnissen von Klein-Altendorf und in Kombination von Mulchwirtschaft, Holzverhäckselung, Bewässerung und Herbizidstreifen bei Apfel im Nachbau langjährig auf jegliche Düngung, mit Ausnahme einer jährlichen Gabe mit Hüttenkalk von 500-1000 kg/ha, verzichtet werden kann.

6 Literaturverzeichnis

- AICNER, M., ANDREAUS, O., PASQUALE, G., und MANTINGER, H., 1997: Richtwerte der Nährstoffgehalte in den Blättern. *Obstbau Weinbau* 11/1997, 308-309.
- AMBERGER, A. und SCHWEIGER, P., 1979: Ca-Bilanz und Ca-Auswaschung in einem langjährigen Lysimeterversuch. *Z. Acker- und Pflanzenbau*, **148**, 393-402.
- ATKINSON, D., 1973: Root studies. Rep. East Malling Research Station 1972, 56-60.
- ATKINSON, D., 1977: Some observations on the root growth of young apple trees and their uptake of nutrients when grown in herbicided stripes in grassed orchards. *Plant and Soil* **46**, 459-471.
- ATKINSON, D., 1978: The use of soil resources in high density planting systems. *Acta Horti*. **65**, 79-89.
- ATKINSON, D., 1980: The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Hort. Rev.* **2**, 424-490.
- BAAB, G. und AMBROS, W., 2004: Rechtliche Grundlagen der Düngung. *Obstbau* 1/2004, 13-16.
- BAAB, G. und BUSCH, R., 2004: Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung im Obstbau. *Obstbau* 4/2004, 192-200.
- BAAB, G., 1995: Blattanalyseergebnisse 1995 im Rheinland. *Monatsschrift* 8/95, 474-475.
- BAAB, G., 1998: Maßnahmen zur Stippebekämpfung. *Obstbau* 5/98, 238-245.
- BAAB, G., 2000: Düngegaben ins Pflanzloch. *Obstbau* **25**, 122-126.
- BAAB, G., 2004a: Bedarforientierte Düngung im Obstbau. (Teil II) *Obstbau* **29**, 68-72.
- BAAB, G., 2004b: Das Nährelement Calcium (Teil1). *Obstbau* 7/2004, 369-373.
- BAAB, G., 2004c: Das Nährelement Calcium. Teil 2 - Calciumdüngung. *Obstbau* 8/2004, 412-416.
- BAAB, G., 2004d: Die Blattanalyse - ein wichtiger Beitrag zum Leistungszustand der Blätter. *Obstbau* 8/2004, 417-421.
- BAAB, G., 2004e: Bedarforientierte Düngung im Obstbau. Einflussfaktoren auf die Nährelementaufnahme - Düngetechnik - Teil 3. *Obstbau* (3/2004), 122-127.
- BAAB, G., 2004f: Ausbringtechnik für Komposte und Mist im Obstbau. *Monatsschrift* 6/2004, 353-355.
- BAAB, G., 2004g: Magnesium im Obstbau. *Obstbau* 6/2004, 317-323.

- BANGERTH, F., 1973: Investigations upon Ca related physiological disorders. *Phytopath. Z.*, **77**, 20-37.
- BANGERTH, F., 1974: Untersuchungen und Überlegungen zur Vorrasschätzung des Stippenbefalls. *Erwerbsobstbau* **16**, 169-172.
- BANGERTH, F., 1979: Calcium related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* **17**, 97-122.
- BERGMANN, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen - Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. 3. Erw. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, 711 S.
- BERGMANN, W., FLEISCHMANN, C. und SELIGER, S., 1981: Makro- und Mikronährstoffgehalte der Früchte von Kern- und Steinobstarten sowie Entzüge durch 100 dt Früchte. *Erfurt, Iga-Kurzinformation* **26**, 12 S.
- BERTSCHINGER, L., 2003: Neue Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 3/2003, 4-7.
- BLANKENSHIP, S.M. und UNRATH, C.R., 1988: Internal ethylene levels and maturity of 'Delicious' and 'Golden Delicious' apples destined for prompt consumption. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **113**, 88-91.
- BLANPIED, G.D. und BLAK, V.A., 1976: Relationship between ethylene level and varietal flavour in 'Delicious' apples. *HortScience* **11**, 596-597.
- BLANPIED, G.D. und PRITTS, M.P., 1987: Estimating ethylene climacteric initiation dates in apple orchards. *Acta Hort.* **201**, 61-68.
- BLANPIED, G.D., 1986: A study of the relationship between fruit internal ethylene concentration at harvest and post-storage fruit quality of cv empire apples. *J. Hort. Sci.* **61**, 65-470.
- BLANPIED, G.D., 1989: Measurements of internal ethylene concentration and studies of its efficacy as a predictor of empire apple storage life. *Acta Horti.* **258**, 429-436.
- BLÄSING, D., 1992: Der Einfluß von Wurzelsystem und Reservestoffhaushalt auf die Ernährung von Obstgehölzen. *Erwerbsobstbau* **34**, 133-139.
- BMELF (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN), 1996: Die neue Düngerverordnung. Verordnungstext und Erläuterung, Best.-Nr. 312-21/96, Referat für Öffentlichkeitsarbeit 312, Postfach, 53107 Bonn
- BOHNE, H. und KREMER, P., 2004: Die Eignung unterschiedlicher Komposte im Vergleich zu Stallmist für die organische Düngung in der Baumschule. *Erwerbsobstbau* **46**, 13-19.

- BOJIC, M., JANKOVIC, R. und MILOSEVIC, T., 1996: Effect of differering rates of potassium fertilization on the yield and dynamics of N, P, K, Ca, Mg, levels in the leaves of apple cv. Golden Delicious. *Zemljiste i biljka (Yugoslavia)* **45** (1), 13-22.
- BOON, J. van der und DAS, A., 1968 bis 1978: Onderzoek naar de invloed van grasstrokcultuur op de chemische bodemvruchtbaarheid in de fruitteelt. I-VIII Rijkstuinbouwconsulentenschap voor Bodemmangelegenheden, Wageningen 1968 bis 1978.
- BOON, J. van der, 1980a: Prediction and control of bitter pit in apples. I. Prediction based on mineral leaf composition, cropping levels and summer temperatures. *J. of Hort. Sci.* **55**, 307-312.
- BOON, J. van der, 1980b: Prediction and control of bitter pit in apples. II. Control by summer pruning, fruit thinning, delayed harvesting and soil calcium dressings. *J. of Hort. Sci.* **55**, 313-321.
- BÖßER, N., 1993: Untersuchung der Nitratgehalte in Obstanlagen. *Obstbau* **18**, 367-369.
- BRACKMANN, J., STREIF, J. und BANGERTH, F., 1994: Einfluß von CA- bzw. ULO-Lagerbedingungen auf Fruchtqualität und Reife bei präklimakterisch und klimakterisch geernteten Äpfeln: I. Auswirkung auf Farbe, Fruchtfleischfestigkeit, Säure und lösliche Trockensubstanz. *Gartenbauwissenschaft* **59**, 252-257.
- BRAMLAGE, W.J., WEIS, S.A. und GREENE, D.W., 1990: Observations on relationships among seed number, fruit calcium, and senescent breakdown in apples. *HortScience* **25**, 352-353.
- BROESHART, H. und KEPPEL, H., 1984a: Die Verwendung von radioaktiven Elementen zum Studium der aktiven Wurzelausbreitung von Apfelbäumen. *Mitt. Klosterneuburg* **34**, 14-16.
- BROESHART, H. und KEPPEL, H., 1984b: Ein Vergleich der Stickstoffaufnahme aus Mineraldünger und dem Mulch von Apfelbäumen unter Verwendung von Techniken mit markiertem ¹⁵N. *Mitt. Klosterneuburg* **34**, 89-93.
- BROESHART, H. und KEPPEL, H., 1985: Die Stickstoffaufnahme der Apfelbäume aus dem Grasmulch nach Art und Zeit der Anwendung. *Mitt. Klosterneuburg* **35**, 28-30.
- BROOKFIELD, P.L., FERGUSON, I.B., WATKINS, C.B. und BOWEN, J.H., 1996: Seed number and calcium concentrations of 'Braeburn' apple fruits. *J. of Hort. Sc.* **71**, 265-271.
- BRUCHHOLZ, H. und FIEDLER, W., 1979: Untersuchungen über den Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen Kalidüngermitteln sowie unterschiedlichen Stickstoff- und Kalimengen auf Leistungsmerkmale von Apfelniederstammanlagen an verschiedenen Standorten der DDR. 1. Einfluß auf Ertrag und Stammzuwachs. *Archiv f. Gartenbau* **27**, 165-180.

- BUBAN, T., HELMECZI, B., PAPP, J., DORGO, E., JAKAP, I., MERWIN, I., POLENSY, F., MÜLLER, W., OLSZAK, R. W., 1995: IFP-compatible ground-cover management systems in new-planted apple orchard. *Acta Hort.* **422**, 263-267.
- BUFLER, G., 1986: Die Regulierung der Ethylensynthese von Äpfeln während der Fruchtreife und Lagerung. *Erwerbsobstbau* **28**, 164-166.
- BUWALDA, J.G. und LENZ, F., 1992: Effects of cropping, nutrition and water supply on accumulation and distribution of biomass and nutrients for apple trees on 'M9' root systems. *Physiologia Plantarum* **84**, 21-28.
- BÜNEMANN, G. und LÜDDERS, P., 1969: Der Einfluß jahreszeitlich unterschiedlicher Stickstoffversorgung auf Wachstum von Apfelbäumen. III. Der Einfluß auf den Wasserverbrauch und die Nährstoffaufnahme. *Gartenbauwissenschaften* **34**, 435-458.
- BÜNEMANN, G., und LÜDDERS, P., 1975: Die Wirkung jahreszeitlicher unterschiedlicher Kaliumverfügbarkeit auf Apfelbäume. VI. Einfluß auf Fruchtkrankheiten. *Gartenbauwiss.* **40**, 208-214.
- CATZEFLIS, J., 1971: Correction de carences potassiques des pommiers. *Rev. Suisse Viticult., Arboricult. et Hortic.* **3**, 35-40.
- CHILDERS, N. F., 1969: *Modern fruit science*. Horticultural Publications, Rutgers Univ., New Jersey 912 S.
- CHU, C.L., 1984: Use of internal ethylene concentration as a maturity index of eleven apple cultivars. *Acta Hort.* **157**, 129-134.
- CHU, C.L., 1988: Internal ethylene concentration of 'McIntosh', 'Northern Spy', 'Empire', 'Mutsu', and 'Idared' apples during the harvest season. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **113**, 226-229.
- CONWAY, W.S., SAMS, C.E. und WATADA, A.E., 1995: Relationship between total and cell wall bound calcium in apples following postharvest pressure infiltration of calcium chloride. *Acta Horti.* **398**, 31-39.
- COOPER, C.T. 1974: Die Wirkung erhöhter Calcium- und Magnesium-Gehalte in Früchten der Apfelsorte "Cox Orange" auf Inhaltsstoffe und physiologische Zustandsänderungen unter Berücksichtigung der Stippigkeit. *Diss. Uni Hohenheim*.
- DARFELD, H.J. und LENZ, F., 1985: Langjähriger Einfluß unterschiedlicher Nährstoffversorgung bei Birnen. *Erwerbsobstbau* **27**, 236-239.
- DECKERS, T., SCHOOF, H., DAEMEN, E., MISSOTTEN, C. und HÄHNDEL, R., 2000: Einfluss der Stickstoffdüngung über Boden und Blatt auf eine Jonagold und Boskoop-Anlage. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **23**, 599-603.
- DELVER, P. und SCHOUTEN, S.P., 1980: Fruchtanalyse und Lagerfähigkeit von Äpfeln. *Fruittteelt* **70**, 1120.

- DELVER, P., 1975: Toepassingsmogelijkheden van bladanalyse in de fruitteelt. *Bedrijfontwikkeling* **6**, 751-760.
- DELVER, P., 1980: Uptake of nutrients by trees in herbicide strips. In: "Mineral Nutrition of Fruit Trees" (D. Atkinson, J.E. Jackson, R.O Sharples, W.M. Waller - editors), Butterworth an Co (publishers) Ltd, London, 229-240
- DELVER, P., 1986: Blattanalyse als Hilfsmittel bei der Düngeempfehlung für Obstanlagen. *Obst und Garten*, 8/1986, 413-415.
- DELVER, P., 1987: Der Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Nährstoffversorgung und den Nährstoffbedarf in Obstanlagen. *Erwerbsobstbau* **29**, 68-70, 72-75.
- DIEREND, W. und FABY, R., 2002: Calcium- und Kalium-Versorgung von Erdbeeren - Teil I: Ergebnisse einer Erhebungsuntersuchung. *Erwerbsobstbau* **44**, 40-48.
- DIEREND, W. und SPETHMANN, W., 1994a: Ergebnisse eines bundesweiten N-Düngungsversuches. *Gehölzforschung I*, Institut für Obstbau und Baumschule, Fachbereich Gartenbau, Universität Hannover.
- DIEREND, W. und SPETHMANN, W., 1994b: Einfluß der N-Düngung auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens sowie das Wachstum und die N-Aufnahme von *Malus* in der Obstbaumschule. *Erwerbsobstbau* **36**, 42-44.
- DIEREND, W. und SPETHMANN, W., 1996: Einfluß der N-Düngung auf das Wachstum von Apfelunterlagen und einjährigen Apfelbäumen. *Erwerbsobstbau* **38**, 90-93.
- DIEREND, W. und SPETHMANN, W., 1997a: Einfluß von N-Angebot, Standort und Kulturjahr auf das Wachstum und die N-Aufnahme von Gehölzen und den Mineralstickstoffgehalt des Bodens im Herbst. I. Wachstum und N-Aufnahme. *Gartenbauwissenschaften* **62**, 169-179.
- DIEREND, W. und SPETHMANN, W., 1997b: Einfluß von N-Angebot, Standort und Kulturjahr auf das Wachstum und die N-Aufnahme von Gehölzen und den Mineralstickstoffgehalt des Bodens im Herbst. II. N_{\min} -Restmenge des Bodens im Herbst. *Gartenbauwissenschaften* **62**, 260-267.
- DIEREND, W., 2001: N-Düngung von Apfelbäumen zur Pflanzung. *Erwerbsobstbau* **43**, 167-176.
- DIEREND, W., HÖVEL, B., BISCHOFF, J., SPETHMANN, W., 1996: N-Aufnahme von Apfelbäumen während der Vegetationsperiode. *Erwerbsobstbau* **38**, 34-37.
- DIETZ, H.J., 1984: Optimale Stickstoffdüngung bei Obstgehölzen. *Obstbau* **9**, 115-118.
- DIETZ, H.J., 1985: Nitrat im Obstbau - Ergebnisse und Empfehlungen. *Obstbau* **10**, 220-222.
- DIETZ, H.J., 1998: Praxisversuche in Obstanlagen. *Monatsschrift* 2/1998, 78-79.

- DIJK, H. van, 1968: Das C/N-Verhältnis im A_{1(p)}-Horizont von kultivierten Sandböden im Zusammenhang mit Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisierung. *Stickstoff* **12**, 89-96.
- DILLEY, D.R., 1980: Assessing fruit maturity and ripening and techniques to delay ripening in storage. 110th Ann. Rep. Michigan State Hort. Soc., 132-146.
- DIN 5033, 1972: Deutsche Normen. Farbmessung, Teil 7.
- DORNBUSCH, J., 1967: Einfluß einer Kalkdüngung auf den Mineralstoffgehalt von Apfelblättern unter besonderen Berücksichtigung des Calciumgehaltes. Diss. Uni Bonn.
- DOVER, C., JOHNSON, D. und SEYMOUR, G., 1999: Improving the texture of 'Cox' apples. Horticulture Research International, UK, Report 1997-99, 88-89.
- DRAHORAD, W., 1994: Kalzium festigt Zellen und Fruchtgewebe. *Obstbau-Weinbau*, 6/1994, 181-182.
- DRAHORAD, W., 1995: Kalzium und Kalium in der Frucht beeinflussen die Haltbarkeit. *Obstbau-Weinbau* 6/1995, 177.
- DUFNER et al., 1992: Statistik mit SAS, B.G. Teubner Verlag Stuttgart.
- ENGEL, A. und LENZ, F., 1997: Yield, fruit quality and storage life of apples as dependent on long-term nutrient and herbicide treatment. Internationales Seminar in Warschau/Polen, Ecological aspects of nutrition and alternatives for herbicides in horticulture. ISBN 83-86980-65-6, S. 17-18.
- ENGEL, A. und LENZ, F., 1998: Einfluß langjähriger Boden- und Blattdüngung auf Fruchthaltsstoffe, Qualität und Lagerverhalten von Äpfeln auf M9. *BDGL-Schriftenreihe Band 16*.
- ENGEL, A. und LENZ, F., 1999: Einfluß langjähriger Boden- und Blattdüngung auf Fruchthaltsstoffe, Qualität und Lagerverhalten von Äpfeln auf M9 im Nachbau. *BDGL-Schriftenreihe Band 17*.
- ENGEL, A., KUNZ, A. und BLANKE, M., 2001: Einflüsse von Kompost und Holzhäcksel auf Nährstoffdynamik im Boden, vegetatives Wachstum, Fruchtertrag und Fruchtqualität bei Apfel im Nachbau. *Erwerbsobstbau* **43**, 153-160.
- ENGEL, G. und BAUMANN, G., 1986: Virusfreie Unterlagen und deren Selektionen bei M 9. *Erwerbsobstbau* **28**, 70-71.
- ENGEL, G. und GEZEREL, Ö., 1981: Einfluß von Stickstoff und Bodenbearbeitung auf Wachstum und Ertrag von Obstgehölzen. *Erwerbsobstbau* **23**, 141-144.
- ENGEL, G. und SCHNEIDER, R., 1969: Bodenpflege. *Rheinische Monatsschrift* 11/1969, 385-387.
- ENGEL, G. und ZACHARIAE, A., 1976: Berieselung mit Antistipp von Äpfeln in Großkisten. *Erwerbsobstbau* **18**, 133-134.

- ENGEL, G., 1959: Der Einfluß verschiedener Bodenpflegemaßnahmen auf das Klima im Obstbestand und auf die vegetative und generative Entwicklung der Obstgehölze. Dissertation Uni Bonn.
- ENGEL, G., 1971: Der Einfluß auf den Verlauf der Feuchtigkeit im Boden der Fahrmiten und Baumstreifen der Jahre 1967 bis 1969 in der Versuchsanlage Klein-Altendorf. *Erwerbsobstbau* **13**, 161-163.
- ENGEL, G., 1974: Pflanzweiten und Kronenerziehung bei Apfelsorten auf M 9 im Nachbau. *Erwerbsobstbau* **16**, 20-23.
- ENGEL, G., 1975: Sortengerechte N-Düngung beim Apfel. *Rheinische Monatszeitschrift* **63**, 70-72.
- ENGEL, G., 1985a: Die Kalkdüngung im Wandel der Zeit. *Obstbau* **10**, 452-453.
- ENGEL, G., 1985b: Einfluß von Bodenpflege und Stickstoffversorgung auf Fruchtqualitätsmerkmale bei Äpfeln. *Erwerbsobstbau* **27**, 246-248.
- ENGEL, G., 1987: Auswirkungen der Bodenmüdigkeit und ihrer Bekämpfung in der Praxis. *Obst und Garten* 1/1987, 31-33.
- ENGEL, G., 1988a: Einfluß von langjährigen Boden- und Blattdüngungsmaßnahmen im Nachbau auf die Leistung von Äpfeln auf M 9. *Rheinische Monatsschrift* **76**, 408-409.
- ENGEL, G., 1988b: Der Einfluß unterschiedlicher Baumzeilenbehandlungen bei Apfel auf M9. *Erwerbsobstbau* **30**, 217-220.
- ENGEL, G., 1988c: Gründüngung mit Leguminosen. *Obstbau* **13**, 58-60.
- ENGEL, G., 1988d: Results of trials on apple replant problem at Klein-Altendorf Experimental Station. *Acta Horti*. **233**, 95-101.
- ENGEL, G., 1994: Versuchsergebnisse zur Wasserversorgung in der OVA-Klein-Altendorf. *Rheinische Monatsschrift* 1/1994, 11-13.
- ENGEL, G., 1996: Ergebnisse langjähriger Versuchsarbeit in Klein-Altendorf für die Praxis. *Monatsschrift* 5/1996, 320-323.
- ENGEL, G., GEZEREL, Ö., WANDER, M., 1982: Nährstoffgehalte im Boden in Abhängigkeit von Düngung und Bodenpflegemaßnahmen. *Rheinische Monatsschrift* **70**, 158-160.
- FABY, R. und NAUMANN, W.D., 1985: Der Einfluß der N-Reserven im Baum auf die generative Leistung junger Apfelbäume. 1. Einlagerung und Mobilisierung von N-Reserven in Rinde und Holz. *Angew. Botanik* **59**, 367-392.
- FABY, R. und NAUMANN, W.-D., 1986: Der Einfluß der N-Reserven im Baum auf die generative Leistung junger Apfelbäume. II. Generative Leistung. *Angew. Botanik* **60**, 7-21.

- FABY, R. und NAUMANN, W.-D., 1987a: Die Bedeutung der Einlagerung von Reservestoffen im Herbst bei Apfelbäumen, dargestellt an Entblätterungsversuchen. I. Stickstoffhaltige Reservestoffe. II. Mineralstoffe und Kohlenhydrate. *Erwerbsobstbau* **29**, 51-60.
- FABY, R. und NAUMANN, W.-D., 1987b: Möglichkeiten und Grenzen der N_{\min} -Methode zur Ermittlung des Stickstoff-Düngerbedarfs von Apfelbäumen. *Erwerbsobstbau* **29**, 147-156.
- FABY, R. und NAUMANN, W.-D., 1988: Welchen Wert hat die Blattanalyse zur Ermittlung des Stickstoff-Düngerbedarfs von Apfelbäumen? *Erwerbsobstbau* **30**, 11-16.
- FABY, R., 1984: Der Einfluß der N-Reserven im Baum auf die generative Leistung junger Apfelbäume. Diss. Universität Hannover.
- FAILLA, O., SCIENZA, A., MESCALCHIN, E., AGNOLIN, C., STRINGARI, G. und FOX, P., 1990: Apple and grapevine leaf analysis in advisory work in Trento district (Northern Italy). *Acta Horti*. **274**, 129-140.
- FALLAHI, E., RICHARDSON, D.G. and WESTWOOD, M.N., 1985a: Quality of apple fruit from a high density orchard as influenced by rootstocks, fertilizers, maturity, and storage. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **110**, 71-74.
- FALLAHI, E., RIGHETTI, T.L. and RICHARDSON, D.G., 1985b: Predictions of quality by preharvest fruit and leaf mineral analyses in 'Starkspur Golden Delicious'. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **110**, 524-527.
- FAUST, M., 1989: *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- FERGUSON, I.B. und TRIGGS, C.M., 1990: Sampling factors affecting the use of mineral analysis of apple fruit for prediction of bitter pit. *N.Z. J. Crop Hort. Sci.* **18**, 147-152.
- FERGUSON, I.B. und WATKINS, C.B., 1989: Bitter pit in apple fruit. *Hort. Rev.* **11**, 289-355.
- FERGUSON, I.B. und WATKINS, C.B., 1992: Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in 'Cox's Orange Pippin' apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **117**, 373-376.
- FERGUSON, I.B., 1980: The uptake and transport of calcium in the fruit trees. In: ATKINSON, D., JACKSON, J.E., SHARPLES, R.O. and WALLER, W.M. (Hrsg.): *Mineral nutrition of fruit trees*. Butterworths, London-Boston-Sydney-Wellington-Durban-Toronto, 183-192.
- FINK, V., 1990: Einfluß von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Wurzelverteilung und Nährstoffversorgung der Obstgehölze. *Obst und Garten* 7/1990, 348-349.
- FISCHER, M., 1989: Frühzeitige Ermittlung der obstbaulichen Leistungsfähigkeit von Apfelunterlagen-Neuzüchtungen. *Arch. Gartenbau* **37**, 57-72.

- FRANKEN, H. und HURTMANN, E., 1985: Der Einfluß langjähriger Düngungsmaßnahmen auf die Dynamik der Bodenstruktur. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **148**, 159-168.
- FRIEDRICH, G. und FISCHER, M., 2000: Physiologische Grundlagen des Obstbaues. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- GALLER, J., 2002: Wann welchen Kalk verwenden. Der Pflanzenarzt 7/2002, 22-24.
- GALLERANI, G., PRATELLA, G.C., BERTOLINI, P. und MARCHI, A., 1990: Lack of relationship between total calcium of apple fruit and a calcium deficiency related disorder (bitter pit): A four year report. Acta Hort. **274**, 141-148.
- GARZ, J., STUMPE, H., SCHLIEPHAKE, W. und HAGEDORN, E., 1996: Ertragsentwicklung im Dauerversuch *Ewiger Roggenbau* Halle nach den 1990 vorgenommenen Umstellungen in der Düngung. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **159**, 373-376.
- GEIßLER, G., 1988: Pflanzenbau, Verlag Paul Parey.
- GEZEREL, Ö., 1974: Bodenpflege durch Herbizidanwendung und Stickstoffregulierung durch Ammonium-Nitrifizide in einer Junganlage von Cox Orange auf M 9. Diss. Uni Bonn.
- GIULIVO, C., 1990: Interactions between mineral nutrition and tree and soil water status. Acta Horti. **274**, 149-167.
- GOH, K.M. und HAYNES, R.J., 1983: Nutrient inputs and outputs in a commercial orchard and their practical implications. New Zealand J. of Expt. Agr. **11**, 59-62.
- GOODE, J.E., HIGGS, K.H. und HYRYCZ, K.J., 1978: Nitrogen and water effects on the nutrition, growth, crop yield and fruit quality of orchard-grown 'Cox's Orange Pippin' apple trees. J. Hort. Sci. **53**, 295-306.
- GORSKI, P.M. und CREASY, L.L., 1977: Color development in 'Golden Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **102**, 73-75.
- GRAELL, J., RECASENS, I., SALAS, J. und VENDRELL, M., 1993: Variability of internal ethylene concentration as a parameter of maturity in apples. Acta Horti. **326**, 277-284.
- GREENHAM, D.W.P., 1980: Nutrient cycling: the estimation of orchard nutrient uptake. Acta Horti. **92**, 345-352.
- GRIMM-WETZEL, P., 2001: Untersuchung der Fruchtfleischfestigkeit von Äpfeln in Abhängigkeit von Temperatur und Größe. Erwerbsobstbau **43**, 39-42.
- GRIMM-WETZEL, P., und EHLERS, W., 2000: Verminderte Präzision bei unterschiedlichem Ableseverhalten von einer Messkala bei der Bestimmung der Fruchtfleischfestigkeit. Erwerbsobstbau **42**, 83-86.
- GROß, K.-J., 1981: Versuche zur Verbesserung der Calciumernährung von Obstgehölzen. Dissertation Uni Bonn.

- GUSSMAN, C.D., GOFFREDA, J.C., und GIANFAGNA, T.J., 1993: Ethylene produktion and fruitsoftening rates in several apple fruit ripening variants. *HortScience* **28**, 135-137.
- GUTBERLETT-GEISINGER, B., 2005: Die Bodenprobe. Grundlage für eine angepasste Düngung. *Obstbau* 2/2005, 62-66.
- GYSI, CH., 1990: Modelling and measurement of nitrogen cycle in a vegetable field in Switzerland. 1. A soilplant model for the nitrogen cycle. *Z. F. Pflanzenernährung Bodenk.* **153**, 181-187.
- HAAS, P.-G. de und WENNEMUTH, 1964: Reifeverlauf und Lagerverhalten bei Äpfeln in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Ernte. I. Untersuchungen zum Reifeverlauf der Ernte. *Gartenbauwissenschaften* **29**, 213-244.
- HANGER, B.C., 1979: The movement of calcium in plants. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.* **10**, 171-193.
- HANNEN, M. und LENZ, F., 1986: Nitratgehalte in verschiedenen Bodentiefen eines obstbaulich genutzten Lößbodens. *Erwerbsobstbau* **28**, 32-33.
- HANSEN, P., 1978: Blatt/Frucht-Verhältnisse, Assimilatversorgung und Fruchtentwicklung. *Erwerbsobstbau* **20**, 228-231.
- HANSEN, P., 1980: Crop load and nutrient translokation. In: ATKINSON, D., JACKSON, J.E., SHARPLES, R.O. and WALLER, W.M. (Hrsg.): *Mineral nutrition of fruit trees*. Butterworths, London-Boston-Sydney-Wellington-Durban-Toronto, 202-211.
- HARRIS, W., 1978: Defoliation as a determinant of growth persistence and composition of pasture. In J.R. WILSON (Hsg.) *Plant relations in Pastures*, CSIRO, Australien, 67-85.
- HAYNES, R., 1981: Some observations on the effect of grassing-down, nitrogen fertilisation and irrigation on the growth, leaf nutrient content and fruit quality of young Golden Delicious apple trees. *J. Sci. Food Agric.* **32**, 1005-1013.
- HAYNES, R.J. und GOH, K.M., 1980a: Some effects of orchard soil management on sward composition, levels of available nutrients in the soil and leaf nutrient content of mature Golden Delicious apple trees. *Scientia Horticulturae* **13**, 15-25.
- HAYNES, R.J. und GOH, K.M., 1980b: Some observations on surface soil pH, base saturation and leaching cations under three contrasting orchard soil management practices. *Plant and Soil* **56**, 429-438.
- HAYNES, R.J. und GOH, K.M., 1980c: Distribution and budget of nutrients in a commercial apple orchard. *Plant Soil* **56**, 429-438.
- HEIN, K., 1972: Beiträge zum Problem der Bodenmüdigkeit. *Gartenbauwissenschaften* **35**, 47-71.

- HEWETT, E.W. und WATKINS, C.B., 1991: Bitter pit control by spray and vacuum infiltration of calcium in 'Cox Orange Pippin' apples. *HortScience* **26**, 284-286.
- HEYDER, D., 1993: Nitratverlagerung, Wasserhaushalt und Denitrifikationspotential in mächtigen Lößdecken und einem Tonboden bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. Dissertation Universität Bonn, Bonner Bodenkundliche Abhandlung, Band **10**.
- HILL-COTTINGHAM, D.G. und COOPER, D.R., 1970: Effect of time of application of fertiliser nitrogen on the distribution and identity of the nitrogenous constituents of young apple trees. *J. Sci. Fd. Agric.* **21**, 172-177.
- HILL-COTTINGHAM, D.G. und LLOYD-JONES, C.P., 1975: Nitrogen-15 in apple nutrition investigations. *J. Sci. Fd. Agric.* **26**, 165-173.
- HIMELRICK, D.G. und McDUFFIE, R.F., 1983: The calcium cycle: Uptake and distribution in apple trees. *HortScience* **18**, 147-151.
- HINZ, M., 1989: Der Einfluß der Stickstoffdüngung auf Boden, Baum und Frucht bei der Sorte 'Golden Delicious' (syn. 'Gelber Köstlicher'). Teil I: der Einfluß der Stickstoffdüngung auf den N-Gehalt in Boden, Blatt und Frucht. *Archiv für Gartenbau* **37**, 141-151.
- HIPPS, N.A. und PERRING, M.A., 1989: Effects of soil management systems and nitrogen fertiliser on the firmness and mean fruit weight of Cox's Orange Pippins apples at harvest. *J. Sci. Food Agric.* **48**, 507-510.
- HIPPS, N.A., RIDOUT, M.S. und ATKINSON, D., 1990: Effects of alley sward width, irrigation and nitrogen fertilizer on growth and yield of Cox's Orange Pippin' apple trees. *J. Sci. Food. Agr.* **48**, 507-510.
- HOFFMANN, G., 1983: Bodenuntersuchung und Düngerempfehlung im Erwerbsobstbau. *Obst und Garten* **6**, 303-305.
- HOLLAND, D.A., ALLEN M., LITTLE, R.C., und WALLER, W.M., 1975: Potash response in relation to leaf and soil potassium in commercial apple orchards. I. The response to five years application of potash. *Exper. Hortic.* **27**, 39-47.
- HOLLENSTEIN, R., 2004: Regelmässiger Erträge dank Blattdüngung? *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **19**, 17.
- HORNIG, R., und BÜNEMANN, G., 1995: Baumstreifenbegrünung und Fertigation im integrierten Apfelanbau. I. Wachstum, Ertrag und Fruchtqualität. *Gartenbauwiss.*, **60**, 262-268.
- HORNIG, R., und BÜNEMANN, G., 1996: Baumstreifenbegrünung und Fertigation im integrierten Apfelanbau. II. Nährstoffversorgung der Apfelbäume. *Gartenbauwiss.* **61**, 1-7.
- HÖHN, E., 2001: Fruchtfleischfestigkeit bei Tafeläpfeln: Marktanspruch, Erntezeitpunkt und Lagerung. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **137**, 410-413.

- HÖHN, E., DÄTWYLER, D., GASSER, F. und JAMPEN, M., 1999: Streifindex und optimaler Pflückzeitpunkt von Tafelkernobst. Schweiz. Z. Obst-Weinbau **135**, 443-446.
- HÖHN, E., WINKLER, S., WIDMER, A., BERTSCHINGER, L. und ZÜBLIN, J., 2002: Tafeläpfel vom Produzenten bis zum Konsumenten: Richtwerte für "innere" Qualitätsanforderungen. Schweiz. Z. Obstbau-Weinbau 18/2002, 466-468.
- HUNDGEBURT, H.J., 1972: Der Einfluss unterschiedlicher Gaben von Makro- und Mikronährstoffen auf den Boden sowie auf Blatt und Frucht von Cox Orange und Golden Delicious. Diss. Uni Bonn.
- HÜRTER, C., 1984: Instrumentelle Farb- und Ethylenmessung als ergänzendes Hilfsmittel zur objektiven Reifebestimmung am Beispiel ausgewählter Apfelsorten und Anbaugebiete. Dissertation Uni Bonn.
- JADCZUK, E., 1990: Transport of mineral elements from grassed alleyways to herbicide strips as a result of grass mowing. Acta Hort. **274**, 201-205.
- JOHNSON, D.S., 1981: Effects of postharvest treatments on storage quality. Rep. E. Malling Res. Stn. for 1980, 120.
- JONES, H.G. und SAMUELSON, T.J., 1983: Ca uptake by developing apple fruits. II. The role of spur leaves. J. Hort. Sci., **58**, 183-190.
- KASTEN, P., 2002: Ackerböden gut versorgt? LZ 26/2002, 18-22.
- KEIPERT, K., 1994: Zur Stickstoffdüngung im nordrheinischen Apfelanbau. Rheinische Monatsschrift 2/1994, 70-71.
- KERS, M. und VOLLER, C.P., 2002: Aan hardheid moet jaarrond worden gewerkt. Fruitteelt 4/2002, 8-10.
- KIPP, J.A., 1992: Thirty years fertilization and irrigation in Dutch apple orchards: a review. Fertilizer Research **32**, 149-156.
- KLAPP, E., 1971: Wiesen und Weiden. 4. Aufl. Berlin/Hamburg: Verlag P. Parey.
- KLEIN, J.D. und LURIE, S., 1994: Time, temperature and calcium interact in scald reduction and firmness retention in apples. HortScience **29**, 194-195.
- KLIMANEK, E.-M. und KÖRSCHENS, M., 1982: Die Mineralisierungsleistung unterschiedlicher Böden und ihre Beziehung zum Gehalt an umsetzbarem Humus. Arch. Acker- und Pflanzenbau, Bodenkunde **26**, 289-294.
- KNEE, M., 1980: Methods of measuring green colour and chlorophyll content of apple fruits. J. Fd. Techn. **15**, 493-500.
- KNEE, M., SMITH, S.M. und JOHNSON, D.S., 1983: Comparison of methods for estimating the onset of respiration climacteric in unpicked apples. Journ. Hort. Sci. **58**, 521-526.

- KODDE, K., WAART, A.J.P. van de und JAGER, A.de, 1993: Advisering van de bewaarduur van fruit op basis van vruchtanalyse. Hrsg. vom Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw (Afdeling Fruitteelt) en proefstation voor de Fruitteelt, Wilhelminadorp.
- KOHL, W., 1967: Die Calcium-Verteilung im Apfel und ihre Beziehung zur Stippigkeit. *Erwerbsobstbau* **9**, 212-214.
- KOLBE, W. und HILKENBÄUMER, F., 1976: Einfluß mineralischer Düngung und von Calciumspritzungen auf den Befall mit Lagerkrankheiten an Apfelsorten bei einheitlichen Pflanzenschutzmaßnahmen (1967-1975). *Erwerbsobstbau* **18**, 163-165.
- KOLBE, W., 1986: Einfluß mineralischer Düngung auf Krankheitsbefall und Winterfestigkeit von Apfelsorten im Dauerversuch Lacherhof (1967-1986). *Erwerbsobstbau* **28**, 205-211.
- KOLBE, W., 1987: Einfluß verschiedener Bodenpflegemaßnahmen auf Apfel-ertrag, Fruchtqualität und Krankheitsbefall im Dauerversuch Höfchen (1961-1986). *Erwerbsobstbau* **29**, 39-51.
- KOMAMURA, K., 1991: Trace of ¹⁵N applied to deciduous fruit trees. *JARQ (Japan)*, **25**, 141-147.
- KÖHLER, J., 1983: Eignung von Methoden der Bodenanalyse zur Erfassung der N-Nachlieferung von Lössböden und zur Erfassung der Stickstoffspätgaben zu Winterweizen. Dissertation Uni Hannover.
- KULESZA, W. und SZAFRANEK, R.Cz., 1990: Effect of nitrogen rate and position of application on growth and yield of apple trees. *Acta Hort.* **274**, 267-273.
- KÜMMELER, M., 1981: Zusammenhang zwischen dem Kohlenwasserstoff- bzw. Phenolgehalt des Bodens und dem Auftreten von Bodenmüdigkeit bei Apfel. Dissertation Uni Bonn.
- KÜNSCH, U., SCHÄFER, H. und TEMPERLI, A., 1977: Zur Automatisierung der Bodenanalyse. *Schweiz. Landw. Forsch.* **16**, 141-153.
- LAFER, G., 1991: Welche Kriterien beeinflussen die Geschmacksqualität?. *Besseres Obst* **7**, 15-17.
- LAFER, G., 1995: Mineralstoffanalysen von Früchten 1993 bis 1994 (Teil 1). Ergebnisse, Interpretationen und Schlußfolgerungen für die Praxis. *Besseres Obst* **40**, 3-7.
- LAFER, G., 2002a: Fruchtfleischfestigkeit von Äpfeln. Förderung durch gezielte Kulturmaßnahmen, Teil 1. *Besseres Obst*, 8/2002, 10-14.
- LAFER, G., 2002b: Fruchtfleischfestigkeit von Äpfeln. Teil 2 - Einfluss von Sorte, Standort, Erntetermin und Lagerung. *Besseres Obst*, 9/2002, 9-12.

- LAFER, G., 2003: Auswirkungen der Applikation verschiedener Bioregulatoren auf die Ertragsleistung, Fruchtqualität, Lagerfähigkeit und vegetative Entwicklung der Apfelsorten 'Elstar' und 'Gala'. *Erwerbsobstbau* **45**, 69-96.
- LANGENBRUCH, G., 1970: Der Ernährungszustand von Birnbäumen und die Beeinflussung des Bodennährstoffgehalts bei einheitlicher Mineraldüngung auf bisher langjährig unterschiedlich versorgten Flächen. Diss. Uni Bonn.
- LENZ, F. und SIEBERTZ, G., 1980: Trockensubstanzbildung und Stärkegehalt bei Wurzeln von 'Golden Delicious' in Abhängigkeit vom Fruchtbehang. *Erwerbsobstbau* **22**, 203-204.
- LENZ, F., 1989: Effect of training on growth, yield, water consumption and nutrient uptake of density planted trees. *Acta Horti.* **243**, 195-207.
- LENZ, F., 1994: Die Bedeutung des Lichtes für die Ertragsleistung von Obstgewächsen. *Rheinische Monatsschrift* 11/1994, 585.
- LEPSIS, J. und BLANKE, M., 2001: Lichtausnutzung und Stammquerschnitt als Maßstäbe für die prognostische Bewertung von Pflanzsystemen bei Apfel. *Erwerbsobstbau* **43**, 142-150.
- LEUMANN, R., KELLERHALS, M., SCHÄRER, H. und HÖHN, E., 2005: Konsumententest von Apfelsorten. *Obstbau* 2/2005, 58-62.
- LEWIS, T.L., MARTIN, D. und CERNY, J., 1977: The effects of sheltered environment on the mineral element composition of Merton Worcester apple fruits leaves and the incidence of bitter pit at harvest. *J. Hort. Sci.* **52**, 401-407.
- LIEBERZ, S., 1992: Mineralstoffkonzentration und Stippigkeit in Abhängigkeit von der Position der Früchte im Baum bei "Golden Delicious"-Äpfeln in Südafrika. Diplomarbeit Universität Hohenheim (Prof. Bangerth), unveröffentlicht.
- LINK, H., 1973: Effect of fruit thinning on some components of fruit quality in apples. *Acta Hort.* **45**, 445-448.
- LINK, H., 1974: Ca-uptake an translocation by plants with special regard to apple trees. *Acta Hort.* **45**, 53-60.
- LINK, H., 1986: Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung im intensiven Apfelanbau. *Obst und Garten* **3**, 154-157.
- LINK, H., 1987a: Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung (1). *Besseres Obst* **32**, 122-123.
- LINK, H., 1987b: Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung (2). *Besseres Obst* **32**, 134-135.
- LINK, H., 1993: Erntesicherung durch optimierte Pflanzenernährung. *Rheinische Monatszeitschrift* 7/1993, 400.
- LINK, H., 1994: Beurteilung der Ernährung der Bäume durch Blattanalysen. *Obst und Garten* **113**, 323.

- LIPECKI, M. und JADCZUK, E., 1997: Nutritional status of 'katja' apple trees as affected by rootstock and season. Internationales Seminar in Warschau/Polen, Ecological aspects of nutrition and alternatives for herbicides in horticulture. ISBN 83-86980-65-6, S. 49-50.
- LOOK, K., 1982: Ergebnisse einer 3-jährigen Untersuchung von obstbaulich genutzten Böden auf Mineralstickstoff. Mitt OVR Jork **37**, 323-336.
- LORENZ-GROMALA, J., SCHMITZ-EIBERGER, M., WITZENBERGER, A. und HÄUSER-HAHN, I., 2004: Physiologische Wirkung von Strobilurinen und ihr Einfluss auf die Qualität und das Lagerverhalten bei Apfel. 54. Deutsche Pflanzenschutztagung, Tagungsband.
- LUNE, P. van und GOOR, B.J. van, 1979: Extractability of calcium from apple fruit and apple leaf tissue and occurrence of bitter pit. J. of Hort. Sci. **54**, 327-331.
- LUX-WELLENHOF, E., 1973: Einfluß unterschiedlicher Bodenpflegemaßnahmen auf Nährstoffgehalt, Wachstum und Ertrag der Apfelsorten Cox Orange und Golden Delicious auf M 7. Dissertation Universität Bonn.
- LÜDDERS, P. und BÜNEMANN, G., 1970: Der Einfluß jahreszeitlich unterschiedlicher Stickstoffversorgung auf das Wachstum von Apfelbäumen. V. Der Einfluss auf die Blatt- und Fruchthaltsstoffe. Gartenbauwissenschaften **35**, 185-216.
- LÜDDERS, P. und BÜNEMANN, G., 1975: Der Einfluß jahreszeitlich unterschiedlicher Kaliumverfügbarkeit auf das vegetative und generative Wachstum von Apfelbäumen. Erwerbsobstbau **17**, 83-87.
- LÜDDERS, P. und BÜNEMANN, G., 1976: Einfluß von Höhe und Termin einer N- und K-Düngung auf das vegetative und generative Wachstum von Apfelbäumen. Erwerbsobstbau **18**, 74-77.
- MANTINGER, H., 1979: Einfluß von Witterung und Düngung auf Ertrag und Qualität bei 'Jonathan'. Schweiz. Zeitschr. Obst- und Weinbau **16**, 161-163.
- MANTINGER, H., 2001: Problemfall Stippe. Düngung und Fruchtqualität mit Schwerpunkt Stippe. Besseres Obst 7/2001, 4-14.
- MARKS, M.J. und ANDREWS, L., 1990: The response of Bramley's seedling apple trees grown on different rootstocks to spring and autumn applied nitrogen. Acta Hort. **274**, 321-329.
- MARSCHNER, H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 2. Edition.
- MARSH, K., DALY, M. und RAHMAN, A., 1998: Sustainable fruit production: nutrient cycling to manage the orchard floor. The Orchardist 9/1998, 28-30.
- MARSH, K.B., VOLZ, R.K., CASHMORE, W., REAY, P., 1996: Fruit colour, leaf nitrogen level, and tree vigour in 'Fuji' apples. NZ J. of Crop and Horti. Science **24**, 393-399.

- MAYER, U. und SCHRÖDER, M., 2002: Einsatz von calciumhaltigen Blattdüngern zur Stippebekämpfung. Dreijährige Untersuchungen. *Obstbau* 6/2002, 293-297.
- McGUIRE, R.G., 1992: Reporting of objective colour measurements. *HortScience* **27**, 1254-1255.
- MEHERIUK, M., 1990: Skin colour in 'Newton' apples treated with calcium nitrate, urea, diphenylamine, and a film coating. *HortScience* **25**, 775-776.
- MEHERIUK, M., McKENZIE, D.-L., NEILSEN, G.H. und HALL, J.W., 1996: Fruit pigmentation of four green apple cultivars responds to urea sprays but not to nitrogen fertilization. *HortScience* **31**, 992-993.
- MENGEL, K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- MERWIN, I. und STILES, W., 1994a: Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield, and nutrient availability and uptake. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **119**, 209-215.
- MERWIN, I. und STILES, W., 1994b: Orchard groundcover management impacts on soil physical properties. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **119**, 216-222.
- MIX, G.P. und MARSCHNER, H., 1976: Calciumgehalt der Früchte von Paprika, Bohnen, Quitten und Hagebutte im Verlauf des Fruchtwachstums. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* **139**, 537-549.
- MUSTER, G. und HÜBNER, H., 1994: Stickstoff, Ertrag und Fruchtqualität beim Apfel. Ergebnisse aus einem langjährigen Düngeversuch. *Erwerbsobstbau* **36**, 44-48.
- MÜLLER, E., 2001: Kalkung von Weinbergsböden. *Das deutsche Weinmagazin* **23**, 8-9.
- NÄGELE, B. und LINK, H., 1993a: Ergebnisse aus einem Fertigungsversuch (1). *Obst und Garten* **112**, 314-317.
- NÄGELE, B. und LINK, H., 1993b: Ergebnisse aus einem Fertigungsversuch (2). *Obst und Garten* **112**, 355-359.
- NEILSEN, D., NEILSEN, G.H., GUAK, S., PARCHOMCHUK, P. und HOGUE, E.J., 2002: Management of water and nitrogen in high density apple orchards. *The Compact Fruit Tree*, **35**, 92-96.
- NEILSEN, G.H., HOGUE, E.J. und YORSTON, J., 1990: Response of fruit trees to phosphorus fertilization. *Acta Hort.* **274**, 347-359.
- NEILSEN, G.H., MEHERIUK, M., HOGUE, E.J., 1984: The effect of orchard floor management and nitrogen fertilization on nutrient uptake and fruit quality of 'Golden Delicious' apple trees. *HortScience* **19**, 547-550.
- NELGEN, N., 1980: Sommerschnitt - was ist dabei zu beachten? - *Erwerbsobstbau* **22**, 200-203.

- NELGEN, N., 1982: Über Beziehungen zwischen vegetativer Entwicklung, Fruchtentwicklung und Fruchtqualität bei den Apfelsorten 'Cox Orange', 'Golden Delicious' und 'Boskoop'. Diss. Uni Hohenheim.
- NOSAL, K., PONIEDZIALEK, W., KROPP, K. und POREBSKI, S., 1990: Effectiveness of nitrogen and potassium fertilization of apple trees. *Acta Hort.* **274**, 361-364.
- NÖTHEN, M. 2001: Einfluß von Kontaktfungizidspritzungen auf den Mineralstoffgehalt und die generative und vegetative Entwicklung beim Apfel. Dissertation Uni Bonn.
- OHME, J. und LÜDDERS, P., 1983: Einfluß von Stickstoff und Fruchtbehang auf den Mineralstoffgehalt holziger Teile von Apfelbäumen. *Mitt. Klosterneuburg* **33**, 222-225.
- OTTO, G., 1992: Bodenmüdigkeit bei Apfel - nur ein Nachbauprobem? *Forschung & Entwicklung* **1**, 97-98.
- OTTO, G., WINKLER, H. und SZABÓ, K., 1993: Untersuchungen zum Verlauf des Befalls der Faserwurzeln von Apfelsämlingen durch wurzelpathogene Aktinomyzeten in apfelmüden Böden. *Zentralbl. Mikrobiol.* **148**, 467-476.
- PANTHACHOD, S., 1996: Vegetatives und generatives Wachstum sowie Wasserverbrauch und Nährstoffaufnahme bei Apfelbäumen in Abhängigkeit von Fruchtbehang und Sommerschnitt. Dissertation Universität Bonn.
- PAPP, J., 1997: Studies on nitrogen supply to 'Jonathan' apple trees in long-term experiments. Internationales Seminar in Warschau/Polen, Ecological aspects of nutrition and alternatives for herbicides in horticulture. ISBN 83-86980-65-6, S. 61.
- PEETERS, J., 1991: Düngung bei Apfel- und Birnbäumen. 1. Teil: N und K. *Besseres Obst* **36**, 19-20.
- PERRING, M.A. und JACKSON, C.H., 1975: The mineral composition of apples. Calcium concentration and bitter pit in relation to mean Mass per apple. *J. Sci. Food Agr.* **26**, 1493-1502.
- PERRING, M.A., 1968: Mineral composition of apples. VIII.-Further investigations into the relationship between composition and disorders of the fruit. *J. Sci. Fd. Agric.* **19**, 640-645.
- PRESTON, A.P. und PERRING, M.A., 1974: The effect of summer pruning and nitrogen on growth, cropping, and storage quality of Cox's Orange Pippin apple. *J. Hort. Sci.* **49**, 77-83.
- PUTTER, H. de und JAGER, A. de, 1996: Fruit quality in relation to orchard and climatic factors. Annual Report Fruit Research Station Wilhelminadorp (NL), 91-94.
- QUAST, P., 1980: Untersuchungsergebnisse zum Einsatz des Langzeitdüngers "Osmocote" beim Pflanzen von Obstbäumen. *Mitt. OVR Jork* **35**, 105-109.

- QUAST, P., 1981a: Weitere Ergebnisse aus Spritz- und Lagerversuchen zur Bekämpfung von Stippigkeit und Fleischbräune bei 'Cox Orange'. Mittl. OVR **36**, 223-231.
- QUAST, P., 1981b: Blattanalyse zur Düngerberatung für alle Nährstoffe bei Obstgehölzen. Mittl. OVR des Alten Landes **36**, 244-257.
- QUAST, P., 1981c: Weitere Ergebnisse für einen sachgerechten Düngereinsatz nach dem Bedarf der Obstanlage. Mittl. OVR des Alten Landes **36**, 244-257.
- QUAST, P., 1986: Düngung, Bewässerung und Bodenpflege im Obstbau. Verlag Eugen Ulmer.
- QUAST, P., 1992: Vorhersage des Reifeklimakteriums von Äpfeln durch Testbehandlung der Ehyllensynthese. Erwerbsobstbau **34**, 64-70.
- QUAST, P., 1996: Die obstbauliche Düngung im Licht der neuen Düngerverordnung. Mitt. OVR Jork **61**, 299-307.
- QUAST, P., 1998: Die Bemessung und Überwachung der Stickstoffdüngung im kontrollierten Integrierten Obstbau. Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes **53**, 5-11.
- QUAST, P., 2001: Der Zusammenhang zwischen der Festigkeit und Saftigkeit von 'Elstar'-Äpfeln nach CA/ULO-Lagerung. Mitt OVR **56**, 56-63.
- QUAST, P., 2002: Stickstoffdüngung im kontrollierten Obstbau. Monatsschrift 4/2002, 268-271.
- QUAST, P., 2004: Einfluss von Fungiziden und Blattdüngern auf die Entstehung von 'Elstar'-Schalenflecken nach CA/ULO-Lagerung. Mitt. OVR **59**, 296-299.
- QUAST, P., 2005: Bedarfsgerechte Düngung im Obstbau. Mitt. OVR **60**, 9-16.
- RAES, J.T. and STAIFF, D.C., 1990: Fruit calcium, quality and disorders of apples and pears influenced by fertilizers. In: M.L. van Beusichem (Hrsg.), Plant Nutrition-Physiology and Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- RAES, J.T. and WILLIAMS, M.W., 1974: The relationship between fruit color of 'Golden Delicious' apples and nitrogen content and color of leaves. J. Am. Soc. Hort. Sci. **99**, 332-334.
- RAES, J.T. und DRAKE, S.R., 1997: Nitrogen fertilization and elemental composition affects fruit quality of 'Fuji' apples. Journal of Plant Nutrition **20**, 1797-1809.
- RAES, J.T., 1987: Fruit quality, growth and phosphorus increased with monoammonium phosphate fertilization of 'Golden Delicious apple trees in a low-phosphorus soil. J. Plant Nutr. **10**, 2007-2015.
- REINKEN, G., 1969: Der Einfluß der Phosphatversorgung auf das Wachstum von Apfelbäumen unter Berücksichtigung von Assimilation und Transpiration. Habilitationsschrift Uni Bonn.

- RICHARDSON, A., 1986: The effects of herbicide soil management systems and nitrogen fertilizer on the eating quality of Cox's Orange Pippin apples. *J. Hort. Sci.* **61**, 447-456.
- RID, H. und PFLUGFELDER, E., 1965: Untersuchungen über Dauerwirkung einer Untergrundlockerung, den Einfluß der Mulchwirtschaft und der Minereraldüngung auf physikalische Bodeneigenschaften. *Erwerbsobstbau* **9**, 172-175.
- ROM, C.R., KUPPERMAN, K., NARAGUMA, J. und ALLEN, R.A., 1994: Establishing a replant high density apple orchard: A study of preplant soil preparation and fertilization practices. *Compact fruit tree* 27/1994, 69-72.
- ROSENBERG, A. von, 1988a: Ergebnisse eines langjährigen Kalk-Düngungsversuchs. *Obst und Garten* 4/1988, 117-119.
- ROSENBERG, A. von, 1988b: Ergebnisse eines langjährigen Kalk-Düngungsversuchs (Schluss). *Obst und Garten* 4/1988, 191-193.
- RÖMHELD, V., 1994: Düngung im Apfelanbau. *Obst und Garten* 6/1994, 245-247.
- RUEß, F., 2001: Kulturmaßnahme beim Apfel. Wurzelschnitt. *Obst und Garten* 2/2001, 56-59.
- RUPP, D. und HÜBNER, H., 1995: Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Blatt Nährstoffgehalte bei Apfelbäumen - Ergebnisse aus einem langjährigen Düngeversuch. *Erwerbsobstbau* **37**, 29-31.
- RUPP, D., 1993: Zur Stickstoffdüngung bei Kernobst - Beziehungen zwischen Dünghöhe, N_{\min} -Gehalten in Bodenproben, Nitrat im Bodenwasser und der Stickstoffauswaschung. *Erwerbsobstbau* **35**, 153-159.
- SADOWSKI, A., KEPKA, M., LENZ, F. und Engel, G., 1995: Effect of fruit load on leaf nutrient content of apple trees. *Acta Horti.* **383**, 67-71.
- SADOWSKI, A., MOSZYNSKI, M., WRONA, D., SZWEDO, J., ZMUDA, E., PACHOLAK, E., KOZERA, G., OSTROWSKA, J. und MAKOSZ, E., 1990: Effect of nitrogen fertilization in field trials conducted in commercial fruit orchards. *Acta Horti.* **247**, 413-418.
- SADOWSKI, A., SCIBISZ, K., TOMALA, K., KOZANECKA, T. und KEPKA, M., 1988: Negative effects of excessive nitrogen and potassium fertilization in a replant apple orchard. *Acta Horti.* **233**, 85-89.
- SALTVEIT, M.E., 1983: Relationship between ethylene production and taste panel preference of 'Starkrimson Red Delicious' apples. *Can. J. Plant Sci.* **63**, 303-306.
- SATO, Y. et al., 1978: Studies on the application of nitrogen fertilizer in the apple orchards. I. Behaviors of nitrogen in the sod apple orchard. *Bull. Fukushima Hort. Exp. Sta.* **8**, 1-16 (Japanisch mit englischer Zusammenfassung). Zitiert bei: KOMAMURA, K., 1991: Trace of ^{15}N applied to deciduous fruit trees. *JARQ (Japan)* **25**, 141-147.

- SATO, Y. und SASAKI, I., 1982: Studies on the application of nitrogen fertilizer in the apple orchards. II. Effects of sod culture and mulch on the uptake of nitrogen apple trees. Bull. Fukushima Hort. Exp. Sta. **10**, 23-33 (Japanisch mit englischer Zusammenfassung) Zitiert bei: KOMAMURA, K., 1991: Trace of ¹⁵N applied to deciduous fruit trees. JARQ (Japan) **25**, 141-147.
- SAURE, M., 1990: External control of anthocyanin formation in apple. *Scientia horticulturae* **42**, 181-218.
- SAVORY, B.M., 1967: Specific replant diseases of apple and cherry. Ann. Rep. East malling Res. Stn. For 1966, 205-208.
- SCHAIK, A.v., 1996: Ethyleenmanagement kan hardheidsverlies bij Elstar beperken. *Fruittelt* 35/1996, 10-11.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P., 1989: Lehrbuch der Bodenkunde, F. Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHEMBECKER, F.-K. und LÜDDERS, P., 1989: Einfluss der N-Ernährung auf das vegetative Wachstum von 'Cox Orange'-M9/J9-Klonkombinationen. *Erwerbsobstbau* **31**, 16-19.
- SCHLEGEL, K., 2003: Fruchtdüngung mit Calciumsalzen - Einflussfaktoren auf die Effizienz der Behandlung. *Erwerbsobstbau* **45**, 1-7.
- SCHLEGEL, T.K. und SCHÖNHERR, J., 2002a: Selektive permeability of cuticles over stomata and trichomes to calcium chloride. *Acta Horti*. **549**, 91-96.
- SCHLEGEL, T.K. und SCHÖNHERR, J., 2002b: Penetration of calcium chloride into apple fruits as affected by stage of development. *Acta Horti*. **549**, 527-533.
- SCHLEGEL, T.K. und SCHÖNHERR, J., 2002c: Stage of development affects penetration of calcium chloride into apple fruits. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **165**, 738-745.
- SCHLEGEL, T.K., 2004: Schorffungizide - Ihr Einfluss auf die Penetration von Kalziumchlorid in Äpfeln. *Erwerbsobstbau* **46**, 46-51.
- SCHMITZ, K.J. und ENGEL, G., 1973: Untersuchungen und Beobachtungen zur Stippigkeit. *Erwerbsobstbau* **15**, 9-11.
- SCHOLZ, K.P. und HELM, H.-U., 2000: Stickstoffernährung beim Apfel, 1. Teil: Grundlagen der N-Versorgung. *Erwerbsobstbau* **42**, 192-200.
- SCHOLZ, K.P. und HELM, H.-U., 2001: Stickstoffernährung beim Apfel, 2. Teil: Erfassung des N-Versorgungszustandes und Düngungsmaßnahmen. *Erwerbsobstbau* **43**, 7-14.
- SCHÖNHERR, J., 2000: Calciumchloride penetrates plant cuticles via aqueous pores. *Planta* **212**, 112-118.
- SCHÖNHERR, J., 2001: Cuticular penetration of calcium salts: effect of humidity, anions and adjuvants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **164**, 225-231.

- SCHÖNHERR, J., 2003: Neues zur Blattdüngung mit Kalziumsalzen. Monatschrift 6/2003, 335-337.
- SCHROEDER, D., 1955: Kalium-Festlegung und Kalium-Nachlieferung von Lößböden. Landw. Forsch. **8**, 1-7
- SCHULTE, R., 2004: Einfluß von Hügelpflanzsystemen und kontrollierten Wasser- und Nährstoffgaben auf das vegetative und generative Wachstumsverhalten und die Fruchtqualität von Apfelbäumen der Sorten 'Elstar' und 'Golden Delicious' auf der Unterlage M9 im Nachbau. Dissertation Uni Bonn.
- SCHUMACHER, R., 1980: Mögliche Ursachen für das Auftreten physiologischer Krankheiten beim Apfel. Schweiz. Z. Obst- und Weinbau **116**, 467-473
- SCHUMACHER, R., 1989: Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze. Verlag Eugen Ulmer.
- SCHUMACHER, R., FANKHAUSER, F. und STADLER, W., 1980: Influence of shoot growth, average fruit weight and daminozide on bitter pit. In: ATKINSON, D., JACKSON, J.E., SHARPLES, R.O. und WALLER, W.M. (Hrsg.): Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths, London-Boston-Sydney-Wellington-Durban-Toronto, 83-92.
- SCIBIZC, K. und LENZ, F., 1993: Blattfläche und CO₂-Assimilation bei Apfelsorten in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung. Erwerbsobstbau **35**, 46-49.
- SCUDELLARI, D., MARANGONI, B., COBIANCHI, D., FAEDI, W. und MALTONI, M.L., 1993: Effects of fertilization on apple tree development, yield and fruit quality. 457-462. In "Optimization of Plant Nutrition". van Beuchtsichem, M.L. (Eds.) und Fragosa, M.A.C., Kluwer Academie Publishers NL.
- SHARPLES, R.O., 1980: The influence of orchard nutrition on storage quality of apples and pears in the United Kingdom. In: ATKINSON, D., JACKSON, J.E., SHARPLES, R.O. and WALLER, W.M. (Hrsg.): Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths, London-Boston-Sydney-Wellington-Durban-Toronto, 17-28.
- SHEAR, C.B. und FAUST, M., 1980: Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. Hort. Rev. **2**, 142-163.
- SHRIBBS, J. M. und SKROCH, W.A., 1986: Influence of 12 Ground Cover Systems on Young 'Smoothie Golden Delicious' Appel Trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **111**, 525-528 und 529-533.
- SIEBERTZ, G. und LENZ, F., 1982: Kohlenhydratgehalte von Apfelblättern. Erwerbsobstbau **24**, 9-12.
- SILBEREISEN, R. und LINK, H., 1985: Züchterische und anbautechnische Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung beim Apfel. Besseres Obst **30**, 337-339.
- SILBEREISEN, R. und NEUBELLER, J., 1970: Abhängigkeit organischer Inhaltsstoffe bei Früchten der Sorte Golden Delicious vom Licht/Wärme-Klima und von der Behangdichte. Erwerbsobstbau **13**, 22-26.

- SKALAR 1984: Betriebsanleitung für Autoanalyser-Systeme. Skalar analytical, Breda NL.
- STILES, W.C. und REID, W.S., 1991: Orchard nutrition management. Cornell Univ. Coop. Ext., Ithaca, N.Y. Info. Bul. **219**.
- STÖRZER, M., 1966: Der Einfluß verschiedener obstbaulicher Bodenpflegemaßnahmen auf die Verfügbarkeit von Kalium und Phosphor im Boden. Arch. Gartenbau. **14**, 105-119.
- STREIF, J. und SAQUET, A.A., 2002: MCP - welche Auswirkungen für die Lagerung sind zu erwarten? Obstbau 9/2002, 446-450.
- STREIF, J., 1989: Erfahrungen mit Ernteterminuntersuchungen bei Äpfeln. Besseres Obst **34**, 235-238.
- STREIF, J., 1991: zitiert in MEIER-PLOEGER, A. und VOGTMANN, H. (Hrsg.). Lebensmittelqualität: Ganzheitliche Methoden und Konzepte, S. 67. 2. Auflage. / Stiftung Ökologie und Landbau. - Karlsruhe: Müller.
- STRUKLEC, A., 1994: Effect of summer pruning on fruit calcium concentration and physiological disorders in apples. Erwerbsobstbau **36**, 158-160.
- STRUKLEC, M., 1970: Einfluß einer langjährigen, unterschiedlichen Düngung auf die Mineralstoffkonzentration in Blatt und Rinde und die vegetative Leistung von Birnen der Sorte Alexander Lucas auf Quitte A im Jugendstadium sowie auf den Bodennährstoffgehalt. Dissertation Universität Bonn.
- STUMPE, H., 1979: Ergebnisse des Versuches *Ewiger Roggenbau* Halle nach seiner Teilung im Jahr 1961. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde **23**, 573-580.
- SWENSON, R.M., COLE, C.V. and SIELING, D.H., 1949: Fixation of phosphate by iron and aluminium and replacement by organic and inorganic ions. Soil Sci. **67**, 3-22.
- SZABO, K., 1999: Das Phänomen der Bodenmüdigkeit. Obstbau 9/1999, 495-498.
- TARTACHNYK, I. und BLANKE, M., 2004: Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves. New Phytologist **164**, 441-450.
- TAYLOR, B.H. und LENZ, F., 1991: Kronenform, Licht und Fruchtbehang beeinflussen den Blattmineralstoffgehalt, Blütenansatz und Fruchtertrag bei Apfelbäumen. Erwerbsobstbau **33**, 143-146.
- TESTONI, A. und ZERBINI, P.E., 1989: Picking time and quality in apple storage. Acta Hort. **258**, 445-454.
- THIEBUS-KAESBERG, P. und LENZ, F., 1994: Einfluß des Fruchtbehanges auf Wachstum, Kohlenhydrat- und Mineralstoffkonzentration von 'Golden Delicious'-Apfelbäumen. Erwerbsobstbau **36**, 120-132.

- TOMALA, K. und DILLEY, D.R., 1990: Some factors influencing the calcium level in apple fruits. *Acta Hort.* **274**, 481-487.
- TOMALA, K., ARAUCZ, M. und ZACZEK, B., 1989: Growth dynamics and calcium content in McIntosh and Spartan apples. *Commun. in Soil Sci. Plant. Ana.* **20**, 529-537
- TROMP, J., 1975: The effect of root temperature on growth and mineral nutrition of fruits of apple, with special reference to calcium. *Physiol. Plant.* **33**, 87-93.
- TURNER, N.A., I.B. FERGUSON und R.O. SHARPLES, 1977: Sampling and analysis for determining the relationship of calcium concentration to bitter pit in apple fruit. *N.Z. J. Agr. Res.* **20**, 525-532.
- UEBEL, E., 1982: Ergebnisse langjähriger Kalidüngungsversuchen zu Johannisbeere und Apfel im südböhmischen Obstbaugebiet der CSSR. 1. Ergebnisse der Boden-, Ertrags- und Blattuntersuchungen bei Johannisbeere. 2. Ergebnisse der Boden-, Ertrags- Stammumfangs-, und Blattuntersuchungen bei Apfel. *Archiv f. Gartenbau* **30**, 349-359.
- VANACHTER, A., 1973: La fatigue spécifique du pommier: cause et méthodes de lutte. *Fruit Belge* **41**, 269-272.
- VANG-PETERSEN, O., KAAK, K. und RASMUSSEN, P.M., 1977: Nitrogen nutrition for fruit trees. III. The effect on [apple] fruit colour and content of acid, sugar and aroma components. *Tidsskrift for Planteavl* **81**, 159-164.
- VEDDER, G., 1995: Kontrollierte Wasser- und Nährstoffversorgung von Apfelneuanlagen durch Fertigation. Dissertation Uni Bonn.
- VEDDER, H.M., 1989: Nährstoffaufnahme, Nährstoffverteilung und Nährstoffbedarf bei Sauerkirsche. Dissertation Universität Bonn.
- VIGL, J., AICHNER, M. und MITARBEITER, 1997: Wann Kalzium spritzen. *Obstbau-Weinbau* 11/1997, 299-302.
- VISSERS, J. und SLAGER, H., 1974: Invloed von stikstofbemesting op opbrengst, vruchtkwaliteiten, smaak bij apples. *Fruittelt* **64** 1039-1043, 1056-1059, 1074-1078.
- VOLZ, R.K., TUSTIN, S., FERGUSON, I., 1996: Pollination effects on fruit mineral composition, seeds and cropping characteristics of 'Braeburn' apple trees. *Scientia Horticulturae* **66**, 169-180.
- VUKOVITS, G., 1965: Ursachen der Stippigkeit und Möglichkeiten ihrer Bekämpfung. *Der Pflanzenarzt*, **18**, 54-56.
- WEIBEL, F., WIDMER, A. und HUSISTEIN, A., 2004: Systemvergleichsversuch: Integrierte und biologische Apfelproduktion. Teil III: Innere Qualität - Inhaltsstoffe und Sensorik. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **140**, 10-13.

- WEISSENBORN, K. und QUAST, P., 1977: Ein Beitrag zur Abhängigkeit der Fruchtgesundheit vom Ernährungszustand bei Apfelbäumen. *Erwerbsobstbau* **19**, 202-206.
- WELLER, F., 1970: Zur Abhängigkeit des Stickstoffangebotes im Boden von Witterung und Bodenpflege. *Tagungsbericht d. Deutsch. Akad. d. Landwirtschaftswiss. Berlin* **99**, 119-131.
- WELLER, F., 1977: Stickstoffnachlieferung und Stickstoffbilanz obstbaulich genutzter Böden. *Erwerbsobstbau* **19**, 130-135.
- WELLER, F., 1979: Stickstoffversorgung in Abhängigkeit von der Bodenpflege. *Obstbau* **4**, 356-360.
- WELLER, F., 1987: Bodenpflege, Rasenmulch und Stickstoffversorgung. *Garten organisch* 1/1987, 11-13.
- WERNER, H. und LENZ, F., 1980: Gefäßversuchsanlage für Obstgehölze. *Erwerbsobstbau* **22**, 27-28.
- WESTSCOTT, S.W., BEER, S.V. und ISRAEL, H.W., 1987: Interactions between actinomycete-like organisms and young apple roots grown in soil conducive to apple replant disease. *Phytopathology* **77**, 1071-1077.
- WESTWOOD, M.R., 1993: *Temperature Zone Pomology*. In: *Physiology and Culture*. Timber Press, Portland, OR.
- WIENECKE, J. und FÜHR, F., 1973: Mikroautoradiographischer Nachweis von ⁴⁵Ca-Kristallablagerungen im Apfelstiel- und Fruchtgewebe. *Angew. Botanik* **47**, 107-112.
- WIENECKE, J. und FÜHR, F., 1975: Untersuchungen zur Translokation von ⁴⁵Ca im Apfelbaum. 4. Sekundäre Ca-Verlagerung nach der Ruheperiode. *Gartenbauwissenschaften* **3**, 105-112.
- WIENECKE, J., 1968: Untersuchungen an Apfelfrüchten zur Aufnahme und Verlagerung von ⁴⁵Ca-Chlorid nach Applikation auf die Schale in verschiedenen Stadien der Fruchtentwicklung. *Atompraxis* **14**, 305-308.
- WIENECKE, J., 1975: Calciumtransport und Entstehung lokaler Ca-Mangel-Schäden in der Pflanze. *Jahresbericht Kernforschungsanstalt Jülich*, 35-42.
- WIENECKE, J., 1976: Bilanz und Schlußbetrachtung über Versuche zur Sekundärverlagerung von Calcium im Apfelbaum. *Erwerbsobstbau* **18**, 135-138.
- WIERSUM, L.K. 1979: Effects of environment and cultural practices on calcium nutrition. *Communs Soil Sci. Pl. Anaysis* **10**, 259-278.
- WINDHOLZ, H., 1988: Stickstoff, Kalium, Kalzium und die Stippe. *Besseres Obst* 3/1988, 55-57.
- WITTE, M., 1994: Jahreszeitliche Entwicklung von Apfelbäumen der Sorte 'Gloster'/M9 in Abhängigkeit vom Fruchtbehang. *Dissertation Uni Bonn*.

- WRONA, D., SADOWSKI, A. and OSTROWSKA, J., 1995: Potassium fertilization trials in commercial apple orchards in Poland. *Acta Horticulturae* **383**, 481-486.
- WÜNSCHE, J., LAKSO, A. und LENZ, F., 1994: Die Grundlage der Ertragsleistung bei Apfel-Anbausystemen - Die Rolle der Lichtaufnahme bei Kurz- und Langtrieben. *Erwerbsobstbau* **36**, 188-193
- YSTAAS, J. und FROYNES, O., 1991: Nitrogen and potassium nutrition of 'Aroma' apples. Effects of different N and K applications on yield, fruit size and fruit quality. *Norwegian J. Agr. Sci.* **5**, 385-391.
- YSTAAS, J., 1990: Nutritional requirement of sweet cherries. *Acta Horticulturae* **274**, 521-526.
- ZHOU, Q., 1995: Jahreszeitliche Veränderung und Verteilung von Trockensubstanz, Gesamtstickstoff und Kohlenhydraten bei Apfel der Sorte 'Gloster' auf der Unterlage M9. Dissertation Universität Bonn.
- ZIMMER, J., HANDSCHACK, M. und LÜDDERS, P., 1996: Einfluß der Blütenausdünnung mit stickstoffhaltigen Düngemitteln auf Wachstum und Fruchtqualität beim Apfel. *Erwerbsobstbau* **38**, 81-85.
- ZOCCHI, G. und MIGNANI, I., 1995: Calcium physiology and metabolism in fruit trees. *Acta Horti.* **383**, 15-24.

7 Anhang

Tab. A1: Einfluss langjähriger Düngung auf die Farbkomponente a* [a*-CIELAB-Wert] der Schalengrundfarbe von Früchten der Apfelsorte 'Gloster' zur Ernte 1996 und nach Kühlung, 1995/96 und 1996/97, MINOLTA-Chroma Meter II Reflectance

Ernte Behandlung	1995	1996	
	Lager 25/02/96 (rote Meßstelle)	Ernte 17/10/96 (grüne Meßstelle)	Lager 26/05/97 (rote Meßstelle)
1) ohne Düngung	29,03	- 2,12 abc	23,31 b
2) nur CaO	30,47	+ 0,96 bc	33,52 d
3) CaO + Mist	26,89	-10,66 a	31,17 cd
4) CaO + 60N	28,09	- 8,30 ab	31,71 cd
5) CaO + PK + 60N	26,72	-10,03 a	24,76 bc
6) CaO + PK	29,74	+ 6,75 c	18,75 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	29,20	- 6,36 ab	12,32 a
8) CaO + PK + Harnstoff	28,12	- 6,41 ab	31,85 cd
P = 5%	n.s.		

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A2: Einfluss langjähriger Düngung auf die Farbkomponente a* [a*-CIELAB-Wert] der Schalengrundfarbe von Früchten der Apfelsorte 'Elstar' zur Ernte 1996 und nach Kühlung, 1995/96 und 1996/97, MINOLTA-Chroma Meter II Reflectance

Ernte Behandlung	1995	1996	
	Lager 22/02/96 (grüne Meßstelle)	Ernte 27/09/96 (grüne Meßstelle)	Lager 22/05/97 (grüne Meßstelle)
1) ohne Düngung	-4,65 b	-11,64 a	-0,40 b
2) nur CaO	-3,86 b	-12,54 a	-3,58 ab
3) CaO + Mist	-8,23 a	-13,71 a	-5,52 a
4) CaO + 60N	-6,24 ab	-11,94 a	-5,12 ab
5) CaO + PK + 60N	-6,38 ab	-11,76 a	-3,24 ab
6) CaO + PK	-4,49 b	-11,25 ab	-3,23 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	-6,37 ab	-12,37 a	-5,49 a
8) CaO + PK + Harnstoff	-6,25 ab	-08,88 b	-1,96 ab
P = 5%			

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A3: Einfluss langjähriger Düngung auf die Ethylenkonzentration [ppm C₂H₄] im Kernhaus von Früchten der Apfelsorte 'Jonagold' zur Ernte und nach Kühlagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 12/10/95	Lager 05/03/96	Ernte 14/10/96	Lager 22/05/97
1) ohne Düngung	12,19	126,56 ab	0,08 a	742,56 ab
2) nur CaO	14,06	115,15 a	0,09 a	639,66 a
3) CaO + Mist	27,86	231,69 abc	0,22 a	1184,90 b
4) CaO + 60N	24,12	198,72 abc	0,52 ab	687,24 ab
5) CaO + PK + 60N	16,96	314,51 c	0,08 a	684,29 ab
6) CaO + PK	23,30	138,68 ab	0,08 a	497,16 a
7) CaO + PK + 20N + Harn.	24,75	232,70 abc	0,11 a	769,30 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	19,39	242,39 bc	1,54 b	652,24 a
P = 5%	n.s.			

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A4: Einfluss langjähriger Düngung auf die Ethylenkonzentration [ppm C₂H₄] im Kernhaus von Früchten der Apfelsorte 'Gloster' zur Ernte und nach Kühlagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 13/10/95	Lager 25/02/96	Ernte 17/10/96	Lager 26/05/97
1) ohne Düngung	1,23 abc	29,54 ab	<0,01	49,43 abc
2) nur CaO	2,78 d	28,43 ab	<0,01	47,66 abc
3) CaO + Mist	1,74 cd	41,28 ab	<0,01	51,95 abc
4) CaO + 60N	1,53 bc	35,08 ab	<0,01	66,86 c
5) CaO + PK + 60N	1,05 abc	36,79 ab	<0,01	40,63 ab
6) CaO + PK	0,59 ab	23,12 a	<0,01	42,63 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	0,39 a	38,64 ab	<0,01	34,41 a
8) CaO + PK + Harnstoff	0,78 abc	42,98 b	<0,01	64,15 bc
P = 5%			n.s.	

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A5: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtsäurekonzentration [% Äpfelsäure] bei der Sorte 'Jonagold', zur Ernte und nach Kühlagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 12/10/95	Lager 05/03/96	Ernte 14/10/96	Lager 22/05/97
1) ohne Düngung	0,72	0,32 a	0,68 ab	0,27 bc
2) nur CaO	0,70	0,36 abcd	0,67 ab	0,35 d
3) CaO + Mist	0,73	0,41 e	0,68 ab	0,29 cd
4) CaO + 60N	0,68	0,37 bcd	0,66 a	0,21 ab
5) CaO + PK + 60N	0,73	0,35 ab	0,68 ab	0,27 bc
6) CaO + PK	0,74	0,35 abc	0,67 ab	0,20 a
7) CaO + PK + 20N + Harn.	0,75	0,39 cde	0,66 a	0,24 abc
8) CaO + PK + Harnstoff	0,72	0,40 de	0,69 b	0,24 abc
P = 5%	n.s.			

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A6: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtsäurekonzentration [% Äpfelsäure] bei der Sorte 'Gloster', zur Ernte und nach Kühllagerung, 1995/96 und 1996/97

Behandlung	1995		1996	
	Ernte 13/10/95	Lager 25/02/96	Ernte 17/10/96	Lager 26/05/97
1) ohne Düngung	0,71 b	0,53 bc	0,81 b	0,49 a
2) nur CaO	0,73 b	0,54 bc	0,81 b	0,54 b
3) CaO + Mist	0,83 c	0,60 d	0,91 c	0,58 c
4) CaO + 60N	0,62 a	0,48 a	0,82 b	0,52 b
5) CaO + PK + 60N	0,63 a	0,49 ab	0,82 b	0,53 b
6) CaO + PK	0,64 a	0,52 abc	0,81 b	0,54 b
7) CaO + PK + 20N + Harn.	0,75 b	0,55 c	0,81 b	0,51 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	0,86 c	0,65 d	0,76 a	0,53 b
P = 5%				
signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte				

Tab. A7: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtfleischfestigkeit (F) [kg/cm²], die lösliche Trockenmasse als Refraktometerwert R [in % Zucker], Entwicklung des Stärkeabbaues S [Boniturnoten 1-10] und des Reifeindex nach STREIF [F/(R x S)] von Früchten der Apfelsorte 'Gloster' zur Ernte, 1995 und 1996

Behandlung	Fruchtfleischfestigkeit (F) kg/cm ²		Refraktometerwert (R) % Zucker		Stärkeabbau (S) Wert 1-10		Reifeindex [F/ (R x S)]	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
	1) ohne Düngung	9,52	9,57	13,0	13,58	5,85	4,50 a	0,17
2) nur CaO	9,22	10,06	12,6	13,91	6,50	4,80 ab	0,13	0,17 b
3) CaO + Mist	8,87	9,26	12,7	13,89	7,00	5,55 abcd	0,10	0,14 ab
4) CaO + 60N	9,26	9,28	13,1	14,01	5,90	6,10 cd	0,13	0,11 a
5) CaO + PK + 60N	9,45	9,46	12,3	13,66	6,80	6,35 d	0,12	0,11 a
6) CaO + PK	9,71	9,84	12,2	13,22	6,60	5,85 bcd	0,13	0,13 ab
7) CaO + PK + 20N + Harn.	9,86	9,24	13,4	13,65	5,60	4,90 ab	0,14	0,14 ab
8) CaO + PK + Harnstoff	9,23	9,17	13,4	13,61	6,50	5,00 abc	0,11	0,14 ab
P = 5%	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	
signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte								

Tab. A8: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtfleischfestigkeit (F) [kg/cm²], die lösliche Trockenmasse als Refraktometerwert R [in % Zucker], Entwicklung des Stärkeabbaues S [Boniturnoten 1-10] und des Reifeindex nach STREIF [F/(R x S)] von Früchten der Apfelsorte 'Gloster' nach Kühlung, 1995 und 1996

Behandlung	Fruchtfleischfestigkeit (F) kg/cm ²		Refraktometerwert (R) % Zucker		Stärkeabbau (S) Wert 1-10		Reifeindex [F/ (R x S)]	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	5,07 cd	4,97 b	14,63 b	13,28 b	10,00	10,00	0,04	0,04
2) nur CaO	5,00 bcd	4,96 ab	13,95 ab	12,59 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
3) CaO + Mist	4,49 a	4,46 a	12,95 a	12,81 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
4) CaO + 60N	4,69 ab	4,70 ab	13,18 a	13,24 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
5) CaO + PK + 60N	4,89 abc	4,79 ab	13,45 ab	12,25 a	10,00	10,00	0,04	0,04
6) CaO + PK	4,70 ab	4,71 ab	13,10 a	12,92 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
7) CaO + PK +20N +Harn.	4,93 bcd	4,78 ab	14,07 ab	12,32 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
8) CaO + PK + Harnstoff	5,33 d	4,67 ab	14,71 b	12,36 ab	10,00	10,00	0,04	0,04
P = 5%					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A9: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtfleischfestigkeit (F) [kg/cm²], die lösliche Trockenmasse als Refraktometerwert R [in % Zucker], Entwicklung des Stärkeabbaues S [Boniturnoten 1-10] und des Reifeindex nach STREIF [F/(R x S)] von Früchten der Apfelsorte 'Jonagold' zur Ernte, 1995 und 1996

Behandlung	Fruchtfleischfestigkeit (F) kg/cm ²		Refraktometerwert (R) % Zucker		Stärkeabbau (S) Wert 1-10		Reifeindex [F/ (R x S)]	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	7,83 ab	7,91	13,9	13,76 ab	9,20	10,00	0,06 ab	0,06
2) nur CaO	7,55 a	7,85	14,5	13,56 ab	9,20	10,00	0,05 a	0,06
3) CaO + Mist	7,34 a	8,10	13,2	13,90 ab	9,40	10,00	0,06 ab	0,06
4) CaO + 60N	7,81 ab	8,19	14,1	13,72 ab	9,20	10,00	0,06 ab	0,06
5) CaO + PK + 60N	7,95 ab	8,10	13,4	13,47 ab	9,40	10,00	0,06 ab	0,06
6) CaO + PK	8,64 b	8,23	14,4	13,30 a	9,10	10,00	0,07 b	0,06
7) CaO + PK +20N +Harn.	8,09 ab	8,26	14,1	14,02 b	8,90	10,00	0,06 ab	0,06
8) CaO + PK + Harnstoff	8,02 ab	8,26	14,5	13,62 ab	9,20	10,00	0,06 ab	0,06
P = 5%		n.s.	n.s.		n.s.	n.s.		n.s.

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Tab. A10: Einfluss langjähriger Düngung auf die Fruchtfleischfestigkeit (F) [kg/cm²], die lösliche Trockenmasse als Refraktometerwert R [in % Zucker], Entwicklung des Stärkeabbaues S [Boniturnoten 1-10] und des Reifeindex nach STREIF [F/(R x S)] von Früchten der Apfelsorte 'Jonagold' nach Kühlung, 1995 und 1996

Behandlung	Fruchtfleischfestigkeit (F) kg/cm ²		Refraktometerwert (R) % Zucker		Stärkeabbau (S) Wert 1-10		Reifeindex [F/ (R x S)]	
	1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
1) ohne Düngung	4,63 abc	4,38 ab	14,16 b	12,30	10,00	10,00	0,033 ab	0,04
2) nur CaO	4,77 abc	4,50 ab	14,26 b	12,18	10,00	10,00	0,033 ab	0,04
3) CaO + Mist	4,25 a	4,23 a	12,69 a	11,67	10,00	10,00	0,033 ab	0,04
4) CaO + 60N	5,25 c	4,74 ab	14,04 b	12,05	10,00	10,00	0,037 c	0,04
5) CaO + PK + 60N	4,58 ab	4,60 ab	13,50 ab	12,30	10,00	10,00	0,034 abc	0,04
6) CaO + PK	5,09 bc	4,59 ab	14,24 b	12,48	10,00	10,00	0,036 bc	0,04
7) CaO + PK +20N +Harn.	4,74 abc	4,79 ab	13,77 ab	12,47	10,00	10,00	0,034 abc	0,04
8) CaO + PK + Harnstoff	4,49 ab	4,42 ab	14,06 b	12,12	10,00	10,00	0,031 a	0,04
P = 5%				n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

signifikante Unterschiede = ungleiche Buchstaben in einer Spalte

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. F. Lenz für die Überlassung des Themas, seinen wertvollen Anregungen, seine Geduld sowie sein stetes Interesse am Fortgang der Arbeit.

Herrn Dr. H.W. Scherer danke ich herzlich für die Übernahme der Korreferates und Herrn Prof. Dr. H. Franken für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Ganz besonders danken möchte ich meinem Vater Herrn Dr. G. Engel, Herrn Dr. Heinrich Weidenfeld und Herrn Dr. Michael Blanke für Ihre Unterstützung sowie den Meinungs- und Erfahrungsaustausch, für die stetige Motivation und die kritische Durchsicht der vorliegenden Arbeit.

Mein Dank gilt ebenso allen Mitarbeitern des Instituts für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn, besonders Frau Soravia für die Aufmunterungen, Frau Ulrike Freitag, Frau Maria Monheimius, Frau Ute Krebber, Frau Libeth Schwager und allen, die mich bei den Laborarbeiten unterstützten.

Allen Mitarbeitern der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf möchte ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Versuche danken.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie, unserer lieben Tochter Johanna, unserem gerade geborenen Sohn Jasper und bei meiner geliebten Frau Sandra für ihre moralischen Unterstützungen, für den Zusammenhalt und ihr Verständnis in allen wechselvollen Phasen dieser Arbeit.

In Gedanken schließe ich unseren Sohn Jakob, genannt "Apuk", ein, der uns während seines kurzen Lebens soviel Freude bereitete.

Sein Geist ist Teil dieser Arbeit. Bis zum Mond und wieder zurück!