



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# SCHRIFTENREIHE REAKTORSICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

## INTERZEPTION UND TRANSLOKATION VON RADIOCÄSIUM BEI OBST UND BEEREN

BMU - 2003-627



WIR STEuern UM AUF ERNEUERBARE ENERGIEN.

**BMU – 2003-627**

**Interzeption und Translokation von Radiocäsium bei  
Obst und Beeren**

G. Pröhl

I. Fiedler

H. Koch-Steindl

C. Leser

D. Treutter

## **IMPRESSUM**

Dieser Band enthält einen Abschlussbericht über ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördertes Vorhaben. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BMU übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Eigentümer behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichts vor.

Der Bericht wurde durch das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Strahlenschutz unter Mitwirkung der Technischen Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Fachgebiet für Obstbau erstellt.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der Auftragnehmer wieder und muss nicht mit der des BMU übereinstimmen.

### **Herausgeber:**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Arbeitsgruppe RS I 1  
Postfach 12 06 29  
53048 Bonn

ISSN 1612-6386

Erscheinungsjahr: 2003

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>BISHERIGE ARBEITEN ZUM THEMA</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>9</b>
3.1	Versuchsansatz	9
3.2	Versuchsstandort	9
3.3	Pflanzenmaterial	10
3.4	<sup>137</sup> Cs-Applikation	11
3.5	Ernte	13
3.6	Probenaufbereitung für die gammaspektroskopische <sup>137</sup> Cs-Messung	15
3.7	Messung der <sup>137</sup> Cs-Aktivität	16
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>17</b>
4.1	<b>Apfel</b>	<b>17</b>
4.1.1	Interzeption und Translokation	17
4.1.2	Cs-Verteilung im Apfel	19
4.1.3	Cs-Gehalt in Äpfeln im Folgejahr	20
4.1.4	Cs-Verteilung in Apfelbäumen	21
4.2	<b>Erdbeere</b>	<b>22</b>
4.2.1	Interzeption und Translokation	22
4.2.2	Cs-Verteilung in Erdbeerpflanzen	24
4.2.3	Cs-Gehalt in Erdbeeren im Folgejahr	26
4.3	<b>Himbeere</b>	<b>28</b>
4.3.1	Interzeption und Translokation	28
4.3.2	Cs-Verteilung in Himbeerpflanzen	29
4.3.3	Cs-Gehalt in Himbeeren im Folgejahr	31
<b>5</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE</b>	<b>33</b>
5.1	Interzeption	33
5.2	Translokation	33
5.3	Vergleich mit den Ergebnissen des radioökologischen Simulationsmodells ECOSYS	37
5.4	Abwitterungshalbwertszeiten	38
5.5	Kontamination in den Folgejahren	39
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>43</b>

<b>A1</b>	<b>ANHANG</b>	<b>45</b>
<b>A1.1</b>	<b>Aktivitätskonzentrationen</b>	<b>45</b>
A1.1.1	Apfel	45
A1.1.2	Erdbeere	47
A1.1.3	Himbeere	49
<b>A1.2</b>	<b>Erträge</b>	<b>52</b>
A1.2.1	Erträge Apfel	52
A1.2.2	Erträge Erdbeere	55
A1.2.3	Erträge Himbeere	61

## ***Kurzfassung***

Nach Freisetzung von Radionukliden während der Vegetationsperiode können Obst und Beeren direkt durch trockene und nasse Deposition kontaminiert werden. Das Ausmaß der Kontamination der erntereifen Produkte hängt dabei vom Wachstumsstadium ab, in dem sich die Pflanze zum Zeitpunkt der Kontamination befindet. Der morphologische Entwicklungszustand zum Zeitpunkt der Deposition bestimmt dabei die Interzeption, d.h. den Anteil der deponierten Aktivität, der anfänglich von den Pflanzen zurückgehalten wird. Die physiologische Entwicklung hat insbesondere Einfluss auf die Translokation von Radionukliden vom Blatt zu den ernährungsrelevanten Teilen der Pflanze.

Versuche zur Bestimmung der Translokation von Cäsium wurden in den Wachstumsperioden 2000 und 2001 in den Versuchsanlagen des Fachgebiets für Obstbau der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan durchgeführt. Zur Durchführung der Versuche wurden Äpfel, Himbeeren und Erdbeeren nach der im Erwerbsobstbau üblichen Praxis kultiviert. Die Pflanzen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode mit  $^{137}\text{Cs}$  behandelt. Zur Ernte wurden die Cäsiumaktivitäten in den Früchten und – soweit möglich – in Blättern und Stängeln bestimmt.

Radiocäsium wurde während eines simulierten Regens aufgebracht. Zur Applikation der Aktivität wurden die Pflanzen von einer Kunststoffolie so umhüllt, dass die Pflanzen von oben besprüht werden konnten. Damit wurde sichergestellt, dass die nicht von den Pflanzen zurückgehaltene Aktivität von der Folie aufgefangen wurde. Nach Eintrocknung der Sprühlösung wurde die Folie abgenommen und die Pflanzen ins Freiland gebracht.

Die Interzeption ergibt sich aus der Differenz der applizierten Aktivität und der Aktivität auf der Folie. Die gemessenen Werte für die Interzeption sind für die ersten Applikationen in den Versuchsreihen am geringsten, da diese Behandlungen in einer frühen Phase des vegetativen Wachstums durchgeführt wurden. Die hier bestimmten Werte für die Interzeption sind nicht für die Anwendung in radioökologischen Modellen geeignet, da die applizierten Lösungsmengen sehr gering waren und während der Applikation gezielt auf die Pflanze gesprüht wurden.

Bei Äpfeln wurden je nach Behandlungstermin im Jahr 2000 4-12 % und im Jahr 2001 1-4 % der auf den Baum applizierten Aktivität in den Früchten wiedergefunden. Für Erdbeeren liegen die wiedergefundenen Anteile im Bereich von 8-12 % im Jahr 2000 und von 14-17 % im Jahr 2001. Für Himbeeren lag die Translokation im Jahr 2000 bei 27-33 % und bei 5-15% im Folgejahr. Die Unterschiede zwischen den Jahren und Pflanzenarten sind geringer, wenn die Translokation auf den Ertrag normiert wird.

Obwohl die Applikationen alle Entwicklungsstadien vom Beginn der Blüte bis zum Anfang der Reife abdecken, sind die Unterschiede innerhalb einer Pflanzenart erstaunlich gering. Noch geringer sind die Unterschiede zwischen den Behandlungen, wenn man die wiedergefundenen Anteile auf den Ertrag normiert.

Die Ergebnisse wurden – soweit dies möglich war – mit denen der Störfallberechnungsgrundlage verglichen. Dabei ergibt sich, dass die StBG die Kontaminationen in Äpfeln überschätzt und in Himbeeren unterschätzt. Für Erdbeeren sind die Ergebnisse vergleichbar. Die StBG ist damit nicht geeignet, um die Aktivität in bestimmten Obst- und Beerenarten zu prognostizieren. Berücksichtigt man, dass die StBG in der Nahrungsmittelgruppe "Sonstige pflanzliche Produkte" ein sehr inhomogenes Spektrum an Pflanzen umfasst, so liefert die Bandbreite der gewonnenen Ergebnisse keinen Hinweis darauf, dass die StBG die über alle Pflanzen gemittelte  $^{137}\text{Cs}$ -Kontamination nach direkter Ablagerung auf den Blättern unterschätzen würde.

Die experimentellen Ergebnisse wurden ferner mit dem Radioökologiemodell ECOSYS verglichen. ECOSYS ist Grundlage für die Berechnung von Aktivitäten und Expositionen in den Entscheidungshilfesystemen PARK und RODOS. Für Äpfel und Erdbeeren stimmen die Modellrechnungen gut mit den Messungen überein. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten in Himbeeren werden von ECOSYS allerdings unterschätzt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in ECOSYS nur die Pflanzengruppen "Obst" und "Beeren" betrachtet werden, die eine Reihe von Arten repräsentieren, die hinsichtlich Morphologie und Reifezeit deutliche Unterschiede aufweisen können.

## ***Abstract***

After releases of radionuclides during the vegetation period fruit and berries may be contaminated via dry and wet deposition. The contamination of the mature products depends on the stage of development during which the deposition occurs. The morphological development at the time of deposition controls the activity fraction that is initially retained by the plant (interception). The physiological development of the plant determines the amount of activity that is transported to fruit until harvest (translocation).

Experiments to measure the translocation of cesium were performed in the experimental fields at the Institute for Fruit Production of the Technical University Munich. Apples, raspberries and strawberries were cultivated according to typical orcharding practices.  $^{137}\text{Cs}$  was applied to the aerial parts of the plants at different dates during the vegetation period. The  $^{137}\text{Cs}$  activities in fruit and – if possible – leaves and stems were measured at harvest.

The  $^{137}\text{Cs}$  activity was applied during a simulated rain. During the application the plants were partly enwrapped by a plastic foil, which allowed the application from above. This experimental design ensured the collection of the activity that could not be retained by the plant. After the spray solution had dried, the foil was removed and the activity on the foil was measured.

The interception is the difference of the activity applied and the activity found on the foil. The measured interception factors are lowest at the first applications of the growing period. However, the interception factors determined in these experiments are not appropriate to be applied in radioecological models. The volumes applied were very low and the simulated rain was not randomly applied but targeted towards leaves and twigs.

In apples, 4-12 % and 1-4 % of the activity applied were detected in 2000 and 2001 respectively. In strawberries, the recovered fractions are 8-12% in 2000 and 14-17% in 2001. In raspberries, 27-33 % of the activity intercepted were translocated to fruit in 2000 and 5-15% in 2001. Although the application dates cover all stages of development from the start of blossom to maturity, the variability within a species is relatively small. The variation in translocation among species and years is even smaller if the translocated fraction is normalized to the fruit yield.

The results of the measurements were compared with the results of the German model (StBG) that is used to test compliance of unplanned activity released from nuclear installations with given dose limits. The StBG model is very simple and therefore the comparison should be considered with caution. Nevertheless, the StBG model would overestimate the activity in apples, but underestimate those in raspberries. The measurements for strawberries are comparable with the StBG model. This means, the StBG model is not suitable to predict the activities in fruit and berries correctly. However, the StBG model is very simple and considered only two categories of plants. Therefore, the present results do not indicate, that the STBG would consistently underestimate the  $^{137}\text{Cs}$ -activities in plants subsequent to foliar deposition of cesium.

Furthermore the results are compared with those of the radioecological model ECOSYS, which is part of the German decision support system PARK and the European system RODOS. The results for apples and strawberries agree very well, but the ECOSYS model underestimates the activities in raspberries. However, one should keep in mind that ECOSYS considers only the plant categories “fruit” and “berries”. These categories represent various species that may differ considerably in terms of morphology, physiology and time of maturity. The results obtained in these experiments will be used to improve the accuracy and reliability of the approaches for fruit and berries being applied in the ECOSYS model.

# 1 Einleitung

Die Beobachtungen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl haben gezeigt, dass Obst und Beeren bereits nach Depositionen, die zu Anfang der Wachstumsperiode stattfinden, erhebliche Kontaminationen aufweisen können. Obst und Beeren machen einen nicht unerheblichen Teil der Nahrung aus; im europäischen Mittel beträgt der Anteil etwa 17 %, der jedoch von etwa 9 % in Irland bis ca. 25 % in Griechenland variiert. Schließlich hat Obst eine enorme wirtschaftliche Bedeutung. Wegen der hohen Ansprüche an Boden, Klima und Pflege ist in Deutschland eine Konzentration in bestimmten Regionen zu beobachten. Schwerpunkte finden sich insbesondere in klimatisch begünstigten Regionen wie z.B. Oberrheingraben, Niederrhein und Altes Land. Daneben gewinnen insbesondere Beerenkulturen in Stadtnähe wegen der günstigen Vermarktung an Bedeutung. In Südeuropa ist die wirtschaftliche Bedeutung des Obstbaus noch wesentlich höher, da aufgrund des günstigen Klimas eine wesentlich größere Zahl an Obstarten kultiviert wird; ein großer Teil der Produktion wird in Mittel- und Nordeuropa abgesetzt.

Nach Freisetzung von Radionukliden während der Vegetationsperiode erfolgt die Kontamination von Obst und Beeren durch trockene und nasse Deposition auf oberirdischen Pflanzenteilen. Das Ausmaß der Kontamination der erntereifen Produkte hängt vom Wachstumsstadium ab, in dem sich die Pflanze zum Zeitpunkt der Kontamination befindet. Der morphologische Entwicklungszustand zum Zeitpunkt der Deposition bestimmt die Interzeption, d.h. den Anteil der deponierten Aktivität, der anfänglich von den Pflanzen zurückgehalten wird. Die physiologische Entwicklung hat insbesondere Einfluss auf die Translokation von Radionukliden vom Blatt zu den ernährungsrelevanten Pflanzenteilen.

In diesem Forschungsvorhaben wird die Translokation von Cäsium bei Äpfeln, Erdbeeren und Himbeeren in gemeinsamen Versuchen mit der Technischen Universität München nach Applikationen zu verschiedenen Zeitpunkten während zwei Vegetationsperioden bestimmt.

Die erzielten Ergebnisse dienen der Überprüfung und Verbesserung von Modellen zur Abschätzung von Strahlenexpositionen durch kontinuierliche und einmalige Ableitungen im bestimmungsgemäßen Betrieb; ferner werden die Ergebnisse in die radioökologischen Modelle PARK und RODOS einfließen. Außerdem wird geprüft, welche Zeiten der Wachstumsperiode besonders kritisch für die spätere Kontamination von Obst und Beeren sind.



## 2 Bisherige Arbeiten zum Thema

Die Aufnahme von Radionukliden aus unterschiedlichen Quellen – wie der Reaktorunfall in Tschernobyl und zahlreiche Kernwaffentests – in die Nahrungskette wird u.a. in Arbeitsgruppen des BIOMASS (Biosphere Modelling and Assessment Methods) –Programms untersucht.

Bis zum Reaktorunfall von Tschernobyl wurde der Kontamination von Obst nach Deposition auf die oberirdischen Pflanzenteile nur wenig Beachtung geschenkt. Aufgrund der zum Teil überraschend hohen  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte, die 1986 in weiten Teilen Europas beobachtet wurden, wurde in den folgenden Jahren eine Reihe von Experimenten durchgeführt mit dem Ziel, die Verteilung insbesondere von  $^{137}\text{Cs}$  in Früchten nach oberflächlicher Ablagerung zu bestimmen. Zu den Arbeitsgruppen des BIOMASS-Programms gehört die „Fruits Working Group“, in der auch Rechenmodelle zur Verteilung von Radionukliden in Obst erstellt werden (Venter, 2001; Mitchell, 2001; Ould-Dada, 2001; Atkinson, 2002).

In Tabelle 1 sind Ergebnisse von Experimenten zur Bestimmung der Translokation in Obst und Beeren zusammengefasst. Ergebnisse zur Translokation von Cäsium in Obst und Beeren liegen derzeit für Apfel, Weinrebe, Birne, Johannisbeere, Brombeere und Erdbeere vor.

Eine Schwierigkeit beim Vergleich besteht darin, dass bei einem Teil dieser Versuche nur bestimmte Pflanzenteile untersucht wurden und somit eine Übertragung auf das Gesamtsystem Pflanze nur eingeschränkt möglich ist. Ferner sind die Applikationstechniken wie Applikation auf einzelne Blätter oder Tauchen von Einzelblättern nur eingeschränkt auf reale Kontaminationsbedingungen zu übertragen. Dabei besteht dann insbesondere die Schwierigkeit, die Translokation in Bezug zur Gesamtdeposition auf die Pflanze oder die Interzeption zu beziehen, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse eindeutig gewährleistet und die Übertragung der Ergebnisse auf Feldbedingungen ermöglichen würde.

Die in Tabelle 1 zusammengefassten experimentell bestimmten Translokationsanteile von Radiocäsium belegen die hohe Beweglichkeit von Cäsium im pflanzlichen Stoffwechsel. Die Translokation ist als Anteil der nach der Applikation auf der Pflanze verbliebenen Aktivität angegeben. Bezieht man alle Applikationszeitpunkte mit ein, so liegen die gemessenen Translokationen in einer Bandbreite von 1-40 %. Dabei wird eine Abhängigkeit vom Applikationszeitpunkt deutlich.

Ein gewisses Maximum zeichnet sich nach Applikationen während des Fruchtwachstums ab. Nach Cäsiumkontaminationen zu Beginn der Wachstumsperiode oder kurz vor der Ernte wird dagegen ein geringerer Aktivitätsanteil in die Früchte transloziert. Nach Applikationen am Beginn des Wachstums wird tendenziell ein größerer Aktivitätsanteil abgewittert, während kurz vor der Ernte die Zeit nicht mehr ausreicht, um Cäsium effektiv in die Früchte zu verlagern. Ferner nimmt die Translokation zum Ende des Wachstums ab.

Die Cäsiumtranslokation scheint eng mit dem Transport von Assimilaten von den Blättern in die Früchte verknüpft zu sein. Während des Reifeprozesses nimmt die Assimilation tendenziell ab, gleichzeitig wird die Bedeutung der Früchte als Attraktionszentrum für Assimilate geringer.

Pflanze	Entwicklungsstadium bei Applikation	Zeit zwischen Applikation und Ernte	Translokation (% der Interzeption)	Referenz	Bemerkung
Apfel			17	Delmas et al. (1969)	
	Beginn des Fruchtwachstums	70 d	39	Katana (1988)	Blattapplikation mit Pipette Tauchen der Blätter
			19, 42		
		1 d 41 d 84 d 50 d	1 16 29 47	Bengtsson (1992)	Blattapplikation mit Pipette
Weinstock		5 Monate	8	Zehnder (1995)	
	Beginn der Reife	30 d	1,8	Carini (1995)	
	Beginn der Reife	35 d	3,7	Carini (1996)	
	Beginn der Reife	30 d	9,6	Carini/Lombi (1997)	
	Fruchtwachstum	50 d	5,5	Carini et al. (1999)	
Fruchtwachstum	50 d	12,8			
Erdbeere		21-105 d	20-36	Zehnder et al. (1993)	
	Blüte	22-48 d	11,2	Carini (1997)	
	Reife	1-27 d	6,5		
Brombeere	Vor der Keimruhe	9 Monate	1	Fortunati et al. (2002)	Blatt (und Boden)
	Blüte	2 Monate	6		
	Beginn der Reife	2-24 d	10		

Tabelle 1: Experimente zur Bestimmung der Translokation von Cäsium in Obst und Beeren

### **3 Material und Methoden**

Die Versuche wurden vom Institut für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München, Fachgebiet für Obstbau in Freising durchgeführt. Die Bereitstellung der Obstanlagen (Gewächshaus, Freigelände), des Pflanzenmaterials, deren Pflege und die fachliche Beratung aus obstbaulicher Sicht oblag dem Fachgebiet für Obstbau, die Versuchsdurchführung (Cs-Applikationen und -Messungen) sowie Versuchsauswertung und Dokumentation der GSF.

#### **3.1 Versuchsansatz**

Ziel der Versuche ist die Bestimmung der Aktivitätskonzentration in Äpfeln, Erdbeeren und Himbeeren nach Kontamination der oberirdischen Pflanzenteile. Dazu wurden zu verschiedenen Zeiten während der Wachstumsperiode Blätter, Stängel bzw. Äste mit  $^{137}\text{Cs}$  besprüht. Unmittelbar nach der Applikation wurde der auf den Pflanzen verbliebene Aktivitätsanteil bestimmt; diese Größe wird auch als Interzeption bezeichnet.

Zur Reife wurden die Früchte geerntet, deren Aktivitätsgehalt gemessen und der Aktivitätsanteil bestimmt, der in den Früchten wiedergefunden wurde. Dieser Anteil wird als Translokation bezeichnet.

Die Versuche wurden in den Wachstumsperioden 2000 und 2001 durchgeführt. Die Kontamination der verwendeten Pflanzen erfolgte unter möglichst realistischen Bedingungen, wie sie auch nach einem möglichen Reaktorunfall auftreten können. Da Art und Ausmaß der Kontamination der Früchte vom Zeitpunkt der Applikation des Radionuklids abhängt, wurde die Applikation von  $^{137}\text{Cs}$  sollte deshalb unter Berücksichtigung

- definierter Entwicklungs- bzw. Wachstumsstadien,
- der unterschiedlichen Zeitdauer zwischen Kontamination und Ernte,
- der möglichen Cs-Translokation in neu gebildete Pflanzenorgane (Ausläufer, Triebe, die in der darauffolgenden Vegetationsperiode fruchten)

durchgeführt.

Einzelheiten zu den Versuchen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Das Blattwerk von Apfelbäumen (Höhe: etwa 2,50 m), Himbeerstauden und Erdbeerpflanzen wurde zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode mit  $^{137}\text{Cs}$  behandelt. Die eingesetzten Aktivitäten konnten sehr niedrig gehalten werden, da die Translokation von Cäsium in der Pflanze effektiv ist. Zur Ernte wurden die Cäsiumaktivitäten in den Früchten und – soweit möglich – in Blättern und Stängeln bestimmt.

#### **3.2 Versuchsstandort**

Der Versuchsstandort befindet sich in den Versuchsanlagen des Fachgebiets für Obstbau der TU München in Freising-Weihenstephan. Das Versuchsgelände ist umzäunt und für die Öffentlichkeit nicht zugänglich. Eine Wetterstation liegt in unmittelbarer Nähe, hier werden kontinuierlich Witterungsdaten wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Niederschlag und Blattnässe gemessen (Tabelle 3).

Pflanze	Applikations-termin	Wachstumsstadium	Pflanzen pro Applikation	Aktivität (Bq/Pflanze)
Apfel	2000 3. Mai 29. Mai 28. Juni	Während der Blüte	jeweils 5 + 1 Kontrolle	ca. 800
		Aktive Zellteilung der jungen Frucht		
		Nach Abschluss der Zellteilung der Frucht		
	Abschluss des Größenwachstums der Frucht			
2001	4. Mai 28. Mai 3. Juli 7. August	Während der Blüte Aktive Zellteilung der jungen Frucht Nach Abschluss der Zellteilung der Frucht Abschluss des Größenwachstums der Frucht		
Himbeere	2000 12. Mai 29. Mai 7. Juni	Blüte	Jeweils 6 + 1 Kontrolle	ca. 400
		Während des Fruchtwachstums		
		Kurz vor der Reife		
	2001	28. Mai 11. Juni 27. Juni		
Erdbeere	2000 17. Mai 29. Mai 14. Juni	Blüte	jeweils 10 + 2 Kontrollen	ca. 200
		Während des Fruchtwachstums		
		Etwa 2 Wochen vor der Reife		
	2001	8. Mai 28. Mai 11. Juni		

Tabelle 2: Applikationstermine, Zahl der Pflanzen pro Applikation und applizierte Aktivität

Monat	2000		2001	
	Temperatur (°C)	Regen (mm)	Temperatur (°C)	Regen (mm)
Januar	-2.4	43	-1.5	31
Februar	3.4	60	1.9	37
März	4.8	91	5.8	130
April	9.9	68	6.7	53
Mai	14.7	97	15.6	52
Juni	17.5	70	14.1	112
Juli	15.1	129	17.9	53
August	18.3	69	18.6	103
September	13.5	98	10.9	139
Oktober	9.8	85	12.1	47
November	4.7	41	2.2	76
Dezember	1.6	35	-1.5	60
Jahr	9.3	885	8.6	893

Tabelle 3: Temperatur und Niederschlag in den Versuchsjahren 2000 und 2001

### 3.3 Pflanzenmaterial

In den Experimenten wurden für Apfel die Sorte "Golden Delicious", für Erdbeere die Sorte "Elsanta" und für Himbeere die Sorte "Schönemann" verwendet. Dabei handelt es sich jeweils um im Erwerbsobstbau verbreitete Standardsorten.

Zur Durchführung der Versuche wurden Äpfel, Himbeeren und Erdbeeren nach der im Erwerbsobstbau üblichen Praxis kultiviert. Die Pflege der Versuchspflanzen einschließlich Sortenwahl, Anzucht bzw. Beschaffung der Pflanzen, Düngung, Pflanzenschutz und Schnitt wurde vom Fachgebiet für Obstbau der TU München durchgeführt, das über alle zur Kultivierung der Versuchspflanzen notwendigen Einrichtungen und Geräte verfügt. Die Pflanzen wurden in Container gepflanzt und mit automatischer Bewässerung im Freiland

kultiviert. Die Kultur in Pflanzgefäßen stellte sicher, dass die Pflanzen bei ungünstiger Witterung (Spätfröste, Hagel) in Gewächshäuser hätten transportiert werden können. Die Volumina der Pflanzgefäße betragen 5 l für Erdbeeren, 20 l für Himbeeren und 18 l für Äpfel.

Die Pflanzen wurden in einem speziellen Substrat kultiviert. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Einheitserde der Firma "Palzer", die weitgehend nährstofffrei ist, was eine exakte Steuerung der Nährstoffversorgung ermöglicht. Die Pflanzen wurden wegen der guten Dosierbarkeit mit Flüssigdünger gedüngt. Zu Beginn der Wachstumsperiode wurde ein Volldünger (Nitrophoska Blau) appliziert. Zusätzlich wurde zur Vermeidung von Mangelerscheinungen ein Spurennährstoffdünger, sowie Eisenchelat, Natriummolybdat und Branntkalk verabreicht. Während der Wachstumszeit wurde zur Sicherstellung der Stickstoffversorgung in 5 Gaben Kalkammonsalpeter appliziert.

Im Versuchsjahr 2000 waren die Erdbeer- und Himbeerpflanzen je ein Jahr und die Apfelbäume drei Jahre alt. Im Jahr 2001 betrug das Alter der Himbeeren (neue Charge) ein Jahr, das der Erdbeerpflanzen zwei und der Apfelbäume vier Jahre.

### **3.4 <sup>137</sup>Cs-Applikation**

Die <sup>137</sup>Cs-Applikation wurde mit einem Feinsprühgerät der Firma Wagner (Wagner Power Painter 850 E) durchgeführt. Es handelt sich hierbei um ein im Heimwerkerbereich eingesetztes Gerät für Lackierarbeiten. Alle Teile, die mit der Sprühlösung in Kontakt treten, dazu gehören Sprühpistole und Vorratsbehälter für die Cs-Lösung, sind aus Kunststoffmaterial, um die Oberflächenadsorption von Cäsium auszuschließen. Das Gerät arbeitet mit einer Niederdruck-Spritztechnik, der Sprühdruck ist von 0,1 bis 0,2 bar stufenlos regelbar. Sprühmenge (0 – 80 g/min) und Sprühbild sind einstellbar. Aufgrund des geringen Drucks, mit dem die Tröpfchen auf die Pflanzen auftreffen, wird die mechanische Verletzung der Blattepidermis vermieden. Auf diese Weise kann das Risiko einer erhöhten verletzungsbedingten Cs-Aufnahme der Cuticula verhindert werden. Weiterhin arbeitet das Gerät mit einem luft-ummantelten Sprühnebel, was den Cs-Verlust durch Abdrift minimiert und die Sicherheit bei der Anwendung erhöht. Allerdings ist dieser Luftmantel bei einer Leistung von 1000 – 1700 l/min ausreichend hoch, um eine unerwünschte Blattbewegung hervorzurufen. Im Versuch wurde deshalb zwischen Spritzpistole (5) in Abbildung 1 und Luftschlauch (4) ein Reduzierstück (dünnes Zellstofftuch) eingefügt.

Zur Applikation der Cs-Lösung wurden die Pflanzen im Gewächshaus in eine dafür geeignete Vorrichtung gestellt (Abbildung 2). Die Vorrichtungen wurden mit dünnen Folien ausgekleidet, um seitliche Verluste von Cs-Lösung zu vermeiden und eine nachfolgende Cäsiumbilanzierung zu ermöglichen. Beim Besprühen wurde darauf geachtet, dass möglichst alle Blätter bzw. Blüten vom Spritznebel erfasst werden. Die Aufwandmengen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

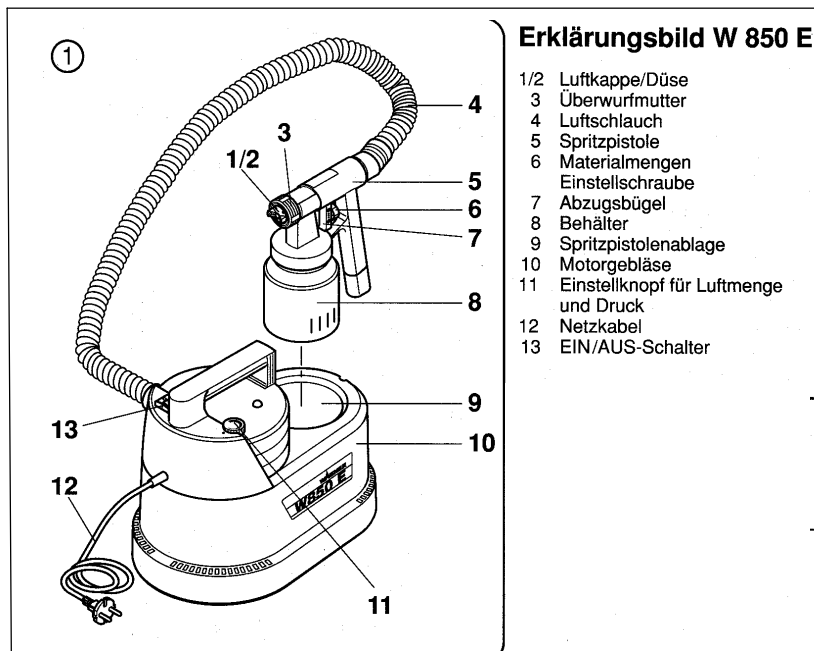


Abbildung 1: Feinsprüngerät zur Applikation der  $^{137}\text{Cs}$ -Lösung

Pflanze	Aufwandmenge pro Applikation (ml)	
	2000	2001
Apfel	90-130	65-90
Himbeere	25-35	15-75
Erdbeere	45-60	15-25

Tabelle 4: Aufwandmengen pro Applikation für die behandelten Pflanzenarten.

Die  $^{137}\text{Cs}$ -Stammlösung mit einer Aktivitätskonzentration von 22 kBq/ml wurde mit stabilem  $^{133}\text{Cs}$  geträgert (Trägerung 20-fach). Die Verdünnung auf die gebrauchsfertige Sprühlösung erfolgt mit einer schwachen Salzlösung, die in ihrer Zusammensetzung dem Regenwasser entspricht:

- 0,09 mmol  $\text{NH}_4\text{NO}_3$
- 0,08 mmol  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 0,05 mmol  $\text{CaSO}_4$
- 0,02 mmol  $\text{MgCl}_2$
- 0,01 mmol  $\text{KNO}_3$

Der pH-Wert der Lösung ist mit verdünnter HCl auf pH 4-5 eingestellt.

Im Versuchsjahr 2000 wurden die Pflanzen nach der Besprühung in den Vorrichtungen belassen, bis Folien und Blätter trocken waren bzw. keine Tropfenbildung mehr erfolgte. Danach wurden die Folien entfernt und in geeignete Messgeometrien zur gammaspektroskopischen Messung überführt. Wischtücher und Handschuhe wurden ebenfalls zur Messung vorbereitet. Die besprühten Pflanzen wurden für mindesten 24 Stunden (1-2 Tage) im Gewächshaus belassen und anschließend wieder ins Freiland gestellt.

Im Versuchsjahr 2001 blieben die Pflanzen einen Tag im Gewächshaus. Im Gegensatz zum Jahre 2000 wurden die Folien und Tücher im Folgejahr generell erst 24 h nach der Cs-Behandlung entfernt. Anschließend wurden die Pflanzen ins Freiland gestellt.

Die Aktivitäten der verwendeten Cs-Lösungen und der Gesamtverbrauch an  $^{137}\text{Cs}$  in den Versuchsjahren 2000 und 2001 sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Wie aus Abb. 2 deutlich wird, wurden die Himbeeren aus Praktikabilitätsgründen im Liegen besprüht. Um einen eventuellen Einfluss der Lage der Himbeeren zu erfassen, wurde während einer Behandlung im Versuchsjahr 2001 die Applikation zusätzlich im Stehen durchgeführt (vgl. Tab. 5). Wie später noch erläutert werden wird, hatte die Lage der Pflanzen während der Applikation jedoch keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Frucht	Applikation	Datum	Aktivitätskonz. [Bq/ml]	Verbrauch [ml]	Applizierte Aktivität [Bq]
2000					
Apfel	I	03.05.00	10,88±0,01	595	6474
Erdbeere		12.05.00	10,99±0,01	277	3046
Himbeere		17.05.00	10,79±0,01	302	3262
Apfel	II	29.05.00	6,94±0,01	540	3744
Erdbeere		29.05.00	6,94±0,01	232	1607
Himbeere		29.05.00	6,94±0,01	339	2355
Erdbeere	III	07.06.00	7,29±0,01	275	2004
Himbeere		14.06.00	7,52±0,01	281	2112
Apfel		28.06.00	7,52±0,01	539	4056
Apfel	IV	03.08.00	7,27±0,01	528	3835
Alle Pflanzen					32496
2001					
Apfel	I	04.05.01	10,45±0,01	428	4473
Erdbeere		08.05.01	10,45±0,01	243	2539
Himbeere		28.05.01	10,45±0,01	183	1912
Apfel	II	28.05.01	10,26±0,01	380	3899
Erdbeere		28.05.01	10,45±0,01	193	2017
Himbeere		11.06.01	10,34±0,01	150/97*	1551/1003*
Erdbeere	III	11.06.01	10,34±0,01	172	1778
Himbeere		27.06.01	10,34±0,01	316	3267
Apfel		03.07.01	10,34±0,01	362	3743
Apfel	IV	07.08.01	10,34±0,01	370	3826
Alle Pflanzen					30008

\* = liegend/stehend besprüht

Tabelle 5: Verbrauch der  $^{137}\text{Cs}$ -Lösung im Versuchsjahr 2001

### 3.5 Ernte

Die Ernte der Früchte wurde je nach Reifezeitpunkt unter Berücksichtigung der im Erwerbsobstbau üblichen Termine vorgenommen. Bei Erdbeere wurde je dreimal, bei Apfel einmal geerntet und bei Himbeere dreimal im Versuchsjahr 2000 und viermal im Jahr 2001. Bei Erdbeere und Himbeere wurden neben den Früchten auch die Grünpflanzen geerntet und gemessen. Die Erntetermine sind in Tabelle 6 angegeben. Die durchschnittlichen Erträge an Frischsubstanz der Früchte und Grünpflanzen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Im Jahr 2001 wurden Früchte und teilweise Grünpflanzen geerntet, die im Vorjahr mit Cäsium behandelt worden waren, um die Aktivitätsabnahme ein Jahr nach der Kontamination zu messen.

Bei Apfel wurden im Frühjahr 2001 insgesamt fünf Apfelbäume (aus jedem Applikationszyklus des Jahres 2000 je ein Baum und ein nichtbehandelter Kontrollbaum) zerkleinert und in Äste, Wurzeln und Stamm zerlegt, gewogen und gamma-spektroskopisch gemessen.

Alle Früchte und Grünpflanzen wurden nach der Ernte sofort frisch gewogen, die genauen Wägeprotokolle der Frisch- (FS) und Trockensubstanzen (TS) finden sich im Anhang.

Auffällig ist bei Erdbeere und Himbeere, dass das Verhältnis Frucht/Grünpflanze in den Jahren 2000 und 2001 deutlich verschieden war. Während für Himbeere im Jahr 2000 das Verhältnis Frucht/Grünpflanze ungefähr 2 mal größer war als im Jahr 2001, war dieses Verhältnis bei Erdbeere im Jahr 2001 etwa um einen Faktor 2 größer als im Vorjahr.

Kurz vor der Ernte im Jahr 2001 kam es durch starke Winde bei den Äpfeln zu einem vermehrten Fruchtfall. Die abgefallenen Früchte konnten den Einzelpflanzen nicht mehr zugeordnet werden, daher wurden sie beim Ertrag nicht berücksichtigt. Der Verlust ist nur schwer abzuschätzen. Aufgrund des subjektiven Eindrucks könnte der Verlust bei einigen Bäumen bis zu 50 % betragen haben.



Abbildung 2: Vorrichtung zur Cs-Applikation für Apfelbäume (3. Juli 2001), Himbeersträucher (28. Mai 2001) und Erdbeerstauden (28. Mai. 2001)



Frucht	Art der Probe	Erntetermine	
		2000	2001
Erdbeere	Frucht	12.06.	21.06.
		23.06.	29.06.
		28.06.	10.07.
	Grünpflanze	05.07.	26.07.
Himbeere	Frucht	23.06.	03.07.
		28.06.	09.07.
		08.07.	17.07.
		-	24.07.
	Grünpflanze	19.07.	26.07.
Apfel	Frucht	29.09.	13.09.

Tabelle 6: Erntetermine der Früchte und Grünpflanzen

Pflanze	Applikationstermin	Erträge (g/Pflanze) 2000		Erträge (g/Pflanze) 2001	
		Frucht	Grünpflanze	Frucht	Grünpflanze
Apfel	Blüte	961±461	-	503±252	-
	Fruchtwachstum	2079±365	-	331±280	-
	Ende Fruchtwachstum	1345±278	-	682±394	-
	Reife	1587±613	-	846±217	-
Erdbeere	Blüte	112±33	79±30	284±105	94±21
	Fruchtwachstum	110±59	132±31	300±99	105±35
	Reife	68±32	122±29	204±49	97±14
Himbeere	Blüte	164±34	91±34	133±18	201±57
	Fruchtwachstum	164±29	162±31	105±23	204±70
	Reife	137±36	164±44	110±44	278±40

Tabelle 7: Erträge (FS) im Vergleich in den Versuchsjahren 2000 und 2001

### 3.6 Probenaufbereitung für die *gamm*spektroskopische <sup>137</sup>Cs-Messung

Alle Früchte (Ausnahme Apfel) und Grünpflanzen wurden unverzüglich nach der Ernte für die anschließenden Cs-Messungen vorbereitet.

Die Erdbeeren und Himbeeren wurden in Aluschalen im Trockenschrank bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, danach gewogen und zerkleinert. Die Früchte lassen sich in trockenem Zustand verhältnismäßig homogen zerkleinern und in geeignete Messgefäße überführen.

Die Grünpflanzen von Erdbeere und Himbeere wurden in Papiertüten bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und zerkleinert. Bei den Erdbeeren wurden die Stängel mit den Blättern zerkleinert und gemessen. Bei den Himbeeren dagegen wurden Blätter und Ruten getrennt und separat gemessen. In beiden Versuchsjahren wurden bei je einer Applikation die Grünpflanzen der Himbeeren unterteilt in sogenannte Jung- und Altruten. Die Altruten tragen die Früchte und sind bereits bei der Cs-Applikation vorhanden, während die Jungtruten erst später (nach den Applikationen) nachwachsen und keine Früchte tragen.

Die Äpfel wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt aufbereitet und getrocknet. Der Gewichtsverlust zwischen Ernte und Probenaufbereitung wurde bei der Trockensubstanzbestimmung berücksichtigt. Zur Messung wurde das Kernhaus entfernt. Die Äpfel ohne Kernhaus wurden gehobelt und anschließend im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Im Versuchsjahr 2000 wurden die Äpfel zur Messung in "Apfel mit Schale" und "Apfel ohne Schale" unterteilt. 2001 wurde nur "Apfel mit Schale" gemessen.

Die im Frühjahr 2001 geernteten Bäume aus dem Behandlungsjahr 2000 wurden in ein- und dreijährige Triebe, Stamm und feine und grobe Wurzeln unterteilt, zur Messung zerkleinert und möglichst homogen in den entsprechenden Messgefäßen verteilt.

### 3.7 Messung der <sup>137</sup>Cs-Aktivität

Die gammaspektroskopischen Messungen wurden am Institut für Strahlenschutz durchgeführt. Für die Messungen standen die in Tabelle 8 aufgeführten Detektoren zur Verfügung.

Hersteller	Typ	Rel. Eff. [%]*	HWB/Linie [keV/keV]	Nutzbarer Bereich [keV]
Canberra	p <sup>#</sup>	15,6	1,83/1332	50-2500
	p	15,3	1,80/1332	50-2500
	n <sup>#</sup>	15,8	1,81/1332	20-2500
	n	17,0	1,1/122; 1,94/1332	20-2500
	p	40,2	0,855/122; 1,84/1332	50-2500
	p	40,3	0,875/122; 1,83/1332	50-2500
EG&G	p	26,3	1,91/1,33 MeV	50-2500
	n, Bohrloch	-	1,29/122; 2,02/1332	20-2500
	n	33,9	0,704/5,9; 1,96/1332	20-2500
Canberra	n	25,0	0,827/122; 1,73/1332	20-2500
	n, Bohrloch	20,2	1,07/122; 1,94/1332	20-2500

\* Nachweiswahrscheinlichkeit für die 1332 keV-Gammastrahlung von Co-60 relativ zur Nachweiswahrscheinlichkeit für einen NaJ(Tl)-Kristall (3"x3"; 25 cm Abstand von der Detektoroberfläche)

<sup>#</sup> p = p-Typ Germanium, n = n-Typ Germanium

Tabelle 8: Germanium-Detektoren zur Messung von <sup>137</sup>Cs

Die gemessenen Gammaspektren wurden nach einheitlichen Kriterien ausgewertet. Dazu stand die VMS-Version der Gammaspektrometrie-Software Genie (Modell S600) der Firma Canberra-Packard, Dreieich, zur Verfügung. Das Softwarepaket bestand im wesentlichen aus zwei Teilen:

- Basis-Spektroskopie-Software (Version 2.1) zur Steuerung der Vielkanal-Analysatoren, Datenaufnahme und Peaksuche
- Gamma-Analyse-Programm (Version 2.0) zur Nuklididentifizierung und quantitativen Auswertung der Spektren

Die Folien, die bei der Applikation der Äpfel verwendet wurden, wurden in 1 Liter-Ringschalen gemessen. Für die anderen Proben wurden je nach Probenumfang Polystyrol Runddosen mit den Dimensionen 92×52 mm<sup>2</sup>, 76×30 mm<sup>2</sup>, 56×19 mm<sup>2</sup> und 45×19 mm<sup>2</sup> verwendet. Falls nur sehr geringe Probemengen zur Verfügung standen, wurden diese in Kunststoffröhrchen für Bohrlochdetektoren gemessen.

## 4 Ergebnisse

Die Interzeption (IZ) ist der Anteil der applizierten Aktivität, der tatsächlich auf die Pflanzen gelangt. Er wird in diesem Versuch rechnerisch ermittelt als Differenz aus der aufgetragenen Gesamtaktivität und den Aktivitätsanteilen, die auf Folien etc. zu finden sind. Allerdings sind die hier bestimmten Werte für die Interzeption nicht für die Anwendung in radioökologischen Modellen geeignet, da die applizierten Lösungsmengen sehr gering waren. Zudem wurde die Cäsiumlösung gezielt auf die Pflanzen gesprüht.

$$IZ[\%] = \frac{\text{Aktivität auf oberirdischen Pflanzenteilen[Bq]}}{\text{applizierte Aktivität[Bq]}} \times 100$$

Die Translokation (TL) bezeichnet den systemischen Stofftransport in der Pflanze. Im hier betrachteten Fall wird der Anteil der anfänglich auf der Pflanze befindlichen Aktivität, der zur Ernte in der Frucht wiederzufinden ist, als Translokation bezeichnet. Um eventuelle Einflüsse auf Ertragsschwankungen zu kompensieren, wird darüber hinaus die Translokation auf den Ertrag normiert.

$$TL[\%] = \frac{\text{Gesamtaktivität in den Früchten[Bq pro Pflanze]}}{\text{Gesamtaktivität der Pflanze unmittelbar nach Applikation[Bq pro Pflanze]}} \times 100$$

$$TL_{\text{norm}} = \frac{TL}{\text{Ertrag}}$$

### 4.1 Apfel

#### 4.1.1 Interzeption und Translokation

Die Ergebnisse der Interzeption und Translokation sind für Apfel in Tabelle 9 für das Jahr 2000 und in Tabelle 10 für das Jahr 2001 angegeben. In beiden Versuchsjahren wurden je vier Applikationen zu verschiedenen Entwicklungs- bzw. Wachstumsstadien an Apfelbäumen durchgeführt. Pro Applikation wurden je fünf Apfelbäume mit  $^{137}\text{Cs}$  besprüht, während jeweils ein Apfelbaum als Kontrolle unbehandelt blieb. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Applikationen zu gewährleisten, wurden alle Aktivitätsangaben auf eine Aktivitätskonzentration von 10 Bq/ml  $^{137}\text{Cs}$  in der Sprühlösung normiert.

Sowohl im Jahr 2000 als auch im Jahr 2001 wurde vor der Messung das Kernhaus entfernt. Im Jahr 2000 wurde ein Teil der Äpfel geschält. Auf das Schälen wurde im Jahr 2001 verzichtet, da die festgestellten Aktivitätsunterschiede für das Jahr 2000 sehr gering waren.

Pflanze	Appliz. Akt. [Bq]	Zurückgehalt. Akt. [Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Baum [g] FS	Trans. [%]	Norm. Transl. [%/kg]
A-00-I-1	1074	490	46	0,017	1052	3,7	3,55
A-00-I-2	1220	338	28	0,020	1002	5,8	5,78
A-00-I-3	1144	493	43	0,016	412	1,4	3,32
A-00-I-4	1075	443	41	0,026	423	2,4	5,78
A-00-I-5	1338	443	33	0,022	1414	7	4,95
Mittelwert				0,020		4,1	4,68
STABW				0,004		2,3	1,18
A-00-II-1	1109	762	69	0,039	1627	8,3	5,08
A-00-II-2	979	525	54	0,031	1929	11,3	5,87
A-00-II-3	992	512	52	0,031	2456	14,8	6,02
A-00-II-4	1010	689	68	0,035	1844	9,4	5,10
A-00-II-5	1274	659	52	0,041	2570	16	6,22
Mittelwert				0,035		12	5,66
STABW				0,005		3,4	0,53
A-00-III-1	963	552	57	0,059	1055	11,2	10,65
A-00-III-2	954	620	65	0,057	1587	14,5	9,13
A-00-III-3	1013	627	62	0,049	1069	8,3	7,79
A-00-III-4	1061	516	49	0,053	1473	15,2	10,32
A-00-III-5	959	517	54	0,033	1701	10,8	6,37
Mittelwert				0,05		12	8,85
STABW				0,010		2,8	1,79
A-00-IV-1	1113	617	55	0,034	2643	14,4	5,44
A-00-IV-2	990	585	59	0,026	1557	6,9	4,42
A-00-IV-3	945	512	54	0,037	1482	10,7	7,24
A-00-IV-4	973	537	55	0,051	1185	11,3	9,51
A-00-IV-5	836	425	51	0,023	849	4,6	5,36
Mittelwert				0,034		9,6	6,39
STABW				0,011		3,9	2,02

Tabelle 9: Interzeption und Translokation in Äpfeln im Jahr 2000

Die normierte Translokation unterscheidet sich in beiden Versuchsjahren nur bei der ersten Applikation etwas deutlicher. Bei den übrigen Applikationen nimmt die Translokation in beiden Versuchsreihen einen ähnlichen Verlauf und ist bei den Applikationen während des Fruchtwachstums relativ am höchsten und nimmt bei der letzten Applikation zur Fruchtreife wieder ab.

Die Apfelernte fiel im Jahr 2001 wesentlich geringer aus, da die Äpfel von Schorf befallen waren.

Pflanze	Appliz. Akt [Bq]	Zurückgehalt. Akt. [Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Baum [g] FS	Trans. [%]	Norm. Transl. [%/kg]
A-01-I-1	782	410	52	0,0081	281	0,56	1,98
A-01-I-2	816	384	47	0,0051	739	0,98	1,33
A-01-I-3	905	434	48	0,0061	252	0,35	1,40
A-01-I-4	853	276	32	0,0058	593	1,24	2,10
A-01-I-5	939	429	46	0,0077	832	1,48	1,78
Mittelwert STABW				0,0065 0,001		0,92 0,47	1,72 0,34
A-01-II-1*	773	541	70	-	-	-	
A-01-II-2	743	384	52	0,018	509	2,43	4,78
A-01-II-3	781	486	62	0,038	390	3,09	7,90
A-01-II-4	729	368	51	0,048	32	0,41	12,89
A-01-II-5	775	400	52	0,032	55	0,44	7,98
Mittelwert STABW				0,034 0,01		1,59 1,37	8,39 3,35
A-01-III-1	780	513	66	0,031	553	3,35	6,06
A-01-III-2	705	351	50	0,022	606	3,78	6,24
A-01-III-3	744	517	69	0,035	388	2,61	6,73
A-01-III-4	665	370	56	0,021	951	5,26	5,53
A-01-III-5	736	345	47	0,049	265	3,72	14,06
Mittelwert STABW				0,031 0,01		3,74 0,97	7,72 3,57
A-01-IV-1	772	477	62	0,022	849	3,98	4,69
A-01-IV-2	768	388	51	0,017	800	3,57	4,46
A-01-IV-3	743	443	60	0,014	891	2,86	3,21
A-01-IV-4	739	411	56	0,026	1039	6,67	6,42
A-01-IV-5	685	432	63	0,018	453	1,85	4,07
Mittelwert STABW				0,02 0,001		3,79 1,8	4,57 1,18

\* kein Ertrag an Früchten

Tabelle 10: Interzeption und Translokation in Äpfeln im Jahr 2001

#### 4.1.2 Cs-Verteilung im Apfel

Im Versuchsjahr 2000 wurde ein Teil der Äpfel geschält und ebenfalls gemessen. Der Vergleich der Aktivitätskonzentrationen bzw. der Translokation zeigt erst bei der Applikation zur Fruchtreife einen geringfügig höheren Aktivitätsanteil in den Äpfeln mit Schale (Tabelle 11).

Bei der Applikation zur Fruchtreife wurde die Cs-Aktivität in den Apfelschalen gemessen. Es zeigt sich, dass die Cs-Aktivitätskonzentration in der Schale deutlich höher als im entsprechenden Fruchtfleisch ist (Tabelle 12). Zwischen Applikation und Ernte lagen 7 Wochen.

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g] FS		Translokation [%]	
	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale
A-00-I-1	0,017	0,018	3,7	4
A-00-I-2	0,020	0,016	5,8	4,9
A-00-I-3	0,016	0,025	1,4	2,1
A-00-I-4	0,026	0,023	2,4	2,2
A-00-I-5	0,022	0,019	7	6,1
Mittelwert	0,020	0,020	4,1	3,8
STABW	0,004	0,003	2,3	1,7
A-00-II-1	0,039	0,033	8,3	7,1
A-00-II-2	0,031	0,029	11,3	10,5
A-00-II-3	0,031	0,028	14,8	13,4
A-00-II-4	0,035	0,035	9,4	9,4
A-00-II-5	0,041	0,045	16	17,7
Mittelwert	0,035	0,034	12	11,6
STABW	0,005	0,007	3,4	4,1
A-00-III-1	0,059	0,056	11,2	10,7
A-00-III-2	0,057	0,057	14,5	14,6
A-00-III-3	0,049	0,045	8,3	7,7
A-00-III-4	0,053	0,053	15,2	15
A-00-III-5	0,033	0,032	10,8	10,7
Mittelwert	0,050	0,049	12	11,7
STABW	0,010	0,010	2,8	3,1
A-00-IV-1	0,034	0,028	14,4	12
A-00-IV-2	0,026	0,025	6,9	6,5
A-00-IV-3	0,037	0,027	10,7	7,9
A-00-IV-4	0,051	0,048	11,3	10,7
A-00-IV-5	0,023	0,020	4,6	3,9
Mittelwert	0,034	0,030	9,6	8,2
STABW	0,011	0,011	3,9	3,2

Tabelle 11: Vergleich der Aktivitätskonzentrationen in Äpfeln mit und ohne Schale

Pflanze	Aktivitätskonzentration Apfel ohne Schale [Bq/g] FS	Aktivitätskonzentration in der Schale [Bq/g] FS
A-00-IV-1	0,028	0,048
A-00-IV-2	0,025	0,039
A-00-IV-3	0,027	0,046
A-00-IV-4	0,048	0,074
A-00-IV-5	0,020	0,039
Mittelwert	0,030	0,049
STABW	0,011	0,014

Tabelle 12: Vergleich der Aktivitätskonzentrationen in Fruchtfleisch und Schale von Apfel

### 4.1.3 Cs-Gehalt in Äpfeln im Folgejahr

Im Jahr 2001 wurden Äpfel aus dem Versuchsjahr 2000 erneut geerntet und gemessen. Die Äpfel wurden nicht geschält, aber das Kernhaus wurde jeweils entfernt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 gezeigt.

Die Cäsiumkonzentration in Äpfeln ein Jahr nach der Kontamination ist deutlich gesunken, bei den Applikationen von der Blüte bis zum Ende des Fruchtwachstums auf ca. 10 %, bei der Applikation zur Frucht reife ist der wiedergefundene Aktivitätsanteil mit bis 20 % der im Jahr 2000 gemessenen Aktivität etwas höher.

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g] FS	
	Ernte 2000	Ernte 2001
A-00-I-2	0,020	0,0010
A-00-I-3	0,016	0,0019
A-00-I-4	0,026	0,0017
A-00-I-5	0,022	0,0012
Mittelwert	0,021	0,0015
STABW	0,004	0,0004
A-00-II-1	0,039	0,0011
A-00-II-2	0,031	0,0020
A-00-II-3	0,031	0,0004
Mittelwert	0,034	0,0012
STABW	0,005	0,0008
A-00-III-1	0,059	0,0033
A-00-III-2	0,057	0,0035
A-00-III-4	0,053	0,0048
A-00-III-5	0,033	0,0029
Mittelwert	0,050	0,0036
STABW	0,01	0,0008
A-00-IV-1	0,034	0,0059
A-00-IV-2	0,026	0,0078
A-00-IV-3	0,037	0,0055
A-00-IV-5	0,023	0,0036
Mittelwert	0,030	0,0057
STABW	0,007	0,0017

Tabelle 13: Aktivitätskonzentrationen in Äpfeln in 2000 und 2001 nach Applikation im Jahr 2000

#### 4.1.4 Cs-Verteilung in Apfelbäumen

Tabelle 14 zeigt die Aktivitätskonzentration (Bq/g FS) in Apfelbäumen, die im ersten Versuchsjahr mit  $^{137}\text{Cs}$  kontaminiert und im Frühjahr des folgenden Jahres „geerntet“ wurden. Im Vergleich dazu sind in der rechten Spalte der Tabelle 14 die im Jahr 2000 gemessenen Aktivitätskonzentrationen in Bq/g Trockensubstanz Apfel aufgeführt.

Pflanze	Äste einjähr. [Bq/g FS]	Äste dreijähr. [Bq/g FS]	Stamm [Bq/g FS]	Wurzeln fein [Bq/g FS]	Wurzeln grob [Bq/g FS]	Apfel [Bq/g TS]
A-00-I-0	0,0016	0,0007	0,0004	0,0019	0,0009	0,0018
A-00-I-1	0,020	0,024	0,019	0,012	0,010	0,108
A-00-II-4	0,056	0,068	0,036	0,019	0,022	0,223
A-00-III-3	0,153	0,061	0,039	0,016	0,020	0,283
A-00-IV-4	0,250	0,1090	0,059	0,014	0,036	0,292

Tabelle 14: Verteilung der  $^{137}\text{Cs}$  Aktivität in Apfelbäumen

Auch hier ist die Aktivitätskonzentration in dem Apfelbaum am höchsten, der aus der Reihe der Applikation zur Fruchtreife stammt. Nur die Konzentration in den feinen Wurzeln, den Pflanzenteilen, die am weitesten entfernt von der Stelle der Cs-Aufnahme sind, ist hier geringer.

## 4.2 Erdbeere

### 4.2.1 Interzeption und Translokation

Die Erdbeeren wurden in den beiden Versuchsjahren je dreimal mit Cäsiumlösung besprüht. Hier wurden neben den Früchten auch die Grünpflanzen (Blatt und Stängel) geerntet, um die Verteilung der Cäsiumaktivität innerhalb der Pflanze zu messen. Pro Applikation wurden 10 Erdbeerpflanzen mit Cäsium kontaminiert. Jeweils zwei nicht behandelte Erdbeerpflanzen pro Applikation dienten als Kontrolle. Die Interzeption und Translokation sind für die beiden Versuchsjahre in den Tabellen 15 und 16 angegeben.

Die Interzeption ist bei der ersten Applikation entsprechend der geringeren Größe der Erdbeerpflanzen kleiner als bei den späteren Applikationen. Die Translokation nimmt bei der Applikation zur Fruchtreife ab, während die normierte Translokation zunimmt, allerdings ist zu beachten, dass die Erträge bei dieser Versuchsreihe relativ gering ausfielen. Die Aktivitätskonzentrationen in den Kontrollpflanzen waren vernachlässigbar klein und lagen unter 0,0004 Bq/g Frischsubstanz.

Pflanze	Appl.Akt. [Bq]	Zurückgehalt. Akt.[Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Pfl. [g] FS	Transl. [%]	Norm. Transl. [%/g]
E-00-I-1	283	74	26	0,054	133	9,83	0,074
E-00-I-2	231	42	18	0,059	78	11,1	0,141
E-00-I-3	240	38	16	0,033	111	9,85	0,089
E-00-I-4	286	63	22	0,067	76	8,1	0,108
E-00-I-5	297	58	19	0,039	80	5,37	0,067
E-00-I-6	231	66	28	0,057	119	10,3	0,087
E-00-I-7	312	69	22	0,035	175	8,97	0,051
E-00-I-8	262	39	15	0,052	115	15,5	0,135
E-00-I-9	270	32	12	0,041	86	11,1	0,129
E-00-I-10	254	34	13	0,036	145	15,6	0,107
Mittelwert STABW				0,047 0,012		10,6 3,11	0,099 0,030
E-00-II-1	275	116	42	0,141	50	6,13	0,122
E-00-II-2	208	61	29	0,089	95	13,9	0,148
E-00-II-3	243	83	34	0,081	137	13,3	0,097
E-00-II-4	233	102	44	0,078	234	17,8	0,076
E-00-II-5	259	88	34	0,142	84	13,5	0,161
E-00-II-6	225	88	39	0,069	131	10,3	0,079
E-00-II-7	213	80	38	0,086	120	12,8	0,107
E-00-II-8	202	66	32	0,088	54	7,24	0,134
E-00-II-9	224	92	41	0,129	160	22,3	0,140
E-00-II-10	223	77	34	0,093	41	4,96	0,122
Mittelwert STABW				0,100 0,027		12,2 5,35	0,118 0,028
E-00-III-1	324	80	25	0,171	57	12,2	0,214
E-00-III-2	246	122	50	0,122	63	6,31	0,100
E-00-III-3	196	127	65	0,068	45	2,37	0,053
E-00-III-4	273	116	42	0,061	138	7,26	0,052
E-00-III-5	257	137	53	0,124	103	9,28	0,090
E-00-III-6	279	156	56	0,130	72	6,01	0,083
E-00-III-7	237	54	23	0,181	47	15,8	0,334
E-00-III-8	254	87	34	0,119	28	3,81	0,137
E-00-III-9	305	96	31	0,120	73	9,09	0,125
E-00-III-10	270	112	41	0,133	53	6,3	0,119
Mittelwert STABW				0,123 0,038		7,84 3,94	0,131 0,085

Tabelle 15: Interzeption und Translokation in Erdbeeren im Jahr 2000



Auch im Jahr 2001 ist die Interzeption bei der ersten Applikation ebenfalls etwas geringer als bei den späteren Applikationen, aber deutlich höher als im ersten Versuchsjahr. Die Erdbeerpflanzen sind 2001 zwei Jahre alt. Die Translokation ist im zweiten Versuchsjahr generell etwas höher als 2000. Der Zeitpunkt der Kontamination hat überraschend wenig Einfluss auf die Translokation.

Pflanze	Appliz. Akt. [Bq]	Zurückgehalt. Akt. [Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Pfl. [g] FS	Transl. [%]	Norm. Transl. [%/g]
E-01-I-1	223	91	41	0,058	225	14,3	0,0636
E-01-I-2	278	136	49	0,072	384	20,1	0,0524
E-01-I-3	253	136	54	0,011	247	19,5	0,0788
E-01-I-4	242	98	41	0,084	259	22,4	0,0858
E-01-I-5	243	119	49	0,070	229	13,2	0,0578
E-01-I-6	264	117	44	0,062	280	14,7	0,0527
E-01-I-7	251	117	47	0,081	221	15,2	0,0688
E-01-I-8	202	95	47	0,060	200	12,7	0,0635
E-01-I-9	265	114	54	0,090	253	15,8	0,0626
E-01-I-10	220	95	43	0,083	226	19,7	0,0873
Mittelwert STABW				0,080 0,020		16,8 3,3	0,0673 0,0127
E-01-II-1	187	139	74	0,0106	191	14,5	0,0761
E-01-II-2	183	129	70	0,114	215	19,1	0,0888
E-01-II-3	173	93	54	0,107	159	18,3	0,1152
E-01-II-4	185	122	66	0,071	279	16,1	0,0578
E-01-II-5	193	138	72	0,057	403	16,5	0,0411
E-01-II-6	205	150	73	0,053	468	16,7	0,0356
E-01-II-7	223	165	74	0,047	379	10,9	0,0287
E-01-II-8	170	123	73	0,031	391	9,9	0,0253
E-01-II-9	192	141	74	0,038	282	7,7	0,0272
E-01-II-10	228	148	65	0,058	196	7,7	0,0392
Mittelwert STABW				0,070 0,030		13,7 4,33	0,0535 0,0305
E-01-III-1	149	79	53	0,039	246	12,1	0,0492
E-01-III-2	176	106	61	0,072	130	8,8	0,0677
E-01-III-3	187	101	54	0,085	208	17,5	0,0840
E-01-III-4	177	83	47	0,053	174	8,9	0,0514
E-01-III-5	174	83	48	0,059	213	15,2	0,0716
E-01-III-6	166	91	54	0,049	297	16,1	0,0544
E-01-III-7	173	99	57	0,062	256	16,1	0,0627
E-01-III-8	178	101	57	0,039	207	7,9	0,0383
E-01-III-9	178	93	52	0,089	135	12,9	0,0960
E-01-III-10	171	62	37	0,077	184	22,7	0,1233
Mittelwert STABW				0,060 0,020		13,8 4,6	0,0699 0,0254

Tabelle 16: Interzeption und Translokation in Erdbeeren im Jahr 2001

## 4.2.2 Cs-Verteilung in Erdbeerpflanzen

In Tabelle 17 und 18 sind die wiedergefundenen Aktivitäten in Früchten und Grünpflanzen zum Zeitpunkt der Ernte angegeben.

Der Aktivitätsanteil in den Grünpflanzen nimmt zu, je später die Applikation erfolgt. Bei den Applikationen zum Fruchtansatz bzw. Fruchtwachstum ist die Aktivität gleichmäßig in Grünpflanze und Frucht verteilt. Bei der Applikation zur Fruchtreife dagegen ist die Aktivität bevorzugt in der Grünpflanze zu finden, da die zur Translokation zur Verfügung stehende Zeit kürzer als bei den früheren Applikationen ist.

Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]	Gesamtaktivität [%]
E-00-I-1	9,8	7,42	17,3
E-00-I-2	11,1	8,4	19,5
E-00-I-3	9,85	9,85	19,7
E-00-I-4	8,08	4,77	12,9
E-00-I-5	5,37	8,54	13,9
E-00-I-6	10,3	5	15,3
E-00-I-7	8,97	6,47	15,4
E-00-I-8	15,5	6,76	22,3
E-00-I-9	11,1	12,5	23,6
E-00-I-10	15,6	12,3	27,9
Mittelwert	10,6	8,2	18,8
STABW	3,11	2,7	4,8
E-00-II-1	6,13	15,1	21,3
E-00-II-2	13,9	17,1	30,9
E-00-II-3	13,3	13,2	26,5
E-00-II-4	17,8	10,9	28,7
E-00-II-5	13,5	11,8	25,3
E-00-II-6	10,3	17,7	28
E-00-II-7	12,8	17,8	30,6
E-00-II-8	7,24	20,7	27,9
E-00-II-9	22,4	14,9	37,3
E-00-II-10	4,96	19,7	24,6
Mittelwert	12,2	15,9	28,1
STABW	5,4	3,3	4,3
E-00-III-1	12,2	19	31,2
E-00-III-2	6,31	24,8	31,1
E-00-III-3	2,37	24,3	26,7
E-00-III-4	7,26	23,8	31,1
E-00-III-5	9,28	22,5	31,8
E-00-III-6	6,01	24,5	30,5
E-00-III-7	15,8	31,1	46,9
E-00-III-8	3,81	22,1	25,9
E-00-III-9	9,09	22,9	32
E-00-III-10	6,3	24,5	30,8
Mittelwert	7,84	24	31,8
STABW	3,95	3,05	5,7

Tabelle 17: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsanteils, der auf die Pflanze gelangt] in Frucht und Grünpflanzen von Erdbeere im Applikationsjahr 2000

Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]	Gesamtaktivität [%]
E-01-I-1	14,3	17,1	31,4
E-01-I-2	20,1	19,2	39,4
E-01-I-3	19,5	17,8	37,2
E-01-I-4	22,2	15,4	37,6
E-01-I-5	13,2	15,1	28,4
E-01-I-6	14,7	11,6	26,4
E-01-I-7	15,2	20,2	35,4
E-01-I-8	12,7	14,8	27,5
E-01-I-9	15,8	15,9	31,7
E-01-I-10	19,7	14,9	34,6
Mittelwert	16,8	16,2	33
STABW	3,32	2,46	4,6
E-01-II-1	14,5	16,1	30,6
E-01-II-2	19,1	15,7	34,7
E-01-II-3	18,3	14,2	32,6
E-01-II-4	16,1	14,7	30,8
E-01-II-5	16,5	19,5	36
E-01-II-6	16,7	19,4	36,1
E-01-II-7	10,9	18,5	29,4
E-01-II-8	9,9	16,4	26,3
E-01-II-9	7,67	20,9	28,5
E-01-II-10	7,68	14,2	21,8
Mittelwert	13,7	17	30,7
STABW	4,3	2,4	4,5
E-01-III-1	12,1	27,7	39,8
E-01-III-2	8,79	29,6	38,4
E-01-III-3	17,5	26,9	44,4
E-01-III-4	8,94	30,6	39,6
E-01-III-5	15,2	29,9	45,1
E-01-III-6	16,1	28,3	44,4
E-01-III-7	16,1	28,4	44,5
E-01-III-8	7,94	27,5	35,4
E-01-III-9	12,92	28,1	41
E-01-III-10	22,7	32,9	55,6
Mittelwert	13,8	29	42,8
STABW	4,6	1,8	5,5

Tabelle 18: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsanteils, der auf die Pflanze gelangt] in Frucht und Grünpflanzen von Erdbeere im Applikationsjahr 2001

### 4.2.3 Cs-Gehalt in Erdbeeren im Folgejahr

Die im Jahr 2000 behandelten Pflanzen wurde im Jahr 2001 noch einmal beprobt. Im Jahr 2001 erfolgte die Kontamination der Erdbeeren nur durch Remobilisierung von Cäsium aus Wurzel und Spross, das im Jahr 2000 appliziert wurde. In Tabelle 19 sind die Aktivitätskonzentrationen in Erdbeeren der Jahre 2000 und 2001 verglichen. Die Cäsiumaktivitäten haben nach einem Jahr deutlich abgenommen und betragen 1 bis maximal 6 % der im Jahr 2000 gemessenen Aktivität.

Wie im Jahr 2000 sind auch im Jahr 2001 die Aktivitätskonzentration in den Früchten am höchsten, wenn das Radiocäsium relativ kurz vor der Reife appliziert wurde.

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g] FS	
	Ernte 2000	Ernte 2001
E-00-I-1	0,054	0,0007
E-00-I-2	0,059	0,0003
E-00-I-3	0,033	0,0005
E-00-I-4	0,067	0,0015
E-00-I-5	0,039	0,0015
E-00-I-6	0,057	0,0017
E-00-I-7	0,035	0,0015
E-00-I-8	0,052	0,0008
E-00-I-9	0,041	0,0014
E-00-I-10	0,036	0,0017
Mittelwert	0,047	0,0012
STABW	0,012	0,0005
E-00-II-1	0,141	0,0037
E-00-II-2	0,089	0,0020
E-00-II-3	0,081	0,0023
E-00-II-4	0,078	0,0031
E-00-II-5	0,142	0,0017
E-00-II-6	0,069	0,0036
E-00-II-7	0,086	0,0062
E-00-II-8	0,088	0,0022
E-00-II-9	0,129	0,0023
E-00-II-10	0,093	0,0021
Mittelwert	0,100	0,0029
STABW	0,027	0,0013
E-00-III-1	0,171	0,0027
E-00-III-2	0,122	0,0037
E-00-III-3	0,068	0,0055
E-00-III-4	0,061	0,0045
E-00-III-5	0,124	0,0035
E-00-III-6	0,130	0,0067
E-00-III-7	0,181	0,0022
E-00-III-8	0,119	0,0016
E-00-III-9	0,120	0,0064
E-00-III-10	0,133	0,0040
Mittelwert	0,123	0,0041
STABW	0,038	0,0017

Tabelle 19: Vergleich der Aktivitätskonzentrationen von Erdbeeren im Jahr 2000 und 2001; alle Pflanzen wurden nur im Jahr 2000 behandelt

In Tabelle 20 sind die wiedergefundenen Aktivitätsanteile in Früchten und Grünpflanzen zusammengefasst. Die Proben stammen von den Pflanzen, die im Jahr 2000 behandelt und im Jahr 2001 noch einmal beprobt wurden.

Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]	Gesamtaktivität [%]
E-00-I-1	0,085	0,161	0,246
E-00-I-2	0,063	0,674	0,737
E-00-I-3	0,167	0,333	0,500
E-00-I-4	0,301	0,442	0,743
E-00-I-5	0,283	0,377	0,660
E-00-I-6	0,267	0,155	0,422
E-00-I-7	0,196	0,310	0,506
E-00-I-8	0,220	0,764	0,984
E-00-I-9	0,317	0,954	1,271
E-00-I-10	0,405	0,370	0,775
Mittelwert	0,230	0,454	0,684
STABW	0,106	0,262	0,294
E-00-II-1	0,419	0,364	0,783
E-00-II-2	0,487	0,262	0,749
E-00-II-3	0,39	0,192	0,582
E-00-II-4	0,544	0,405	0,949
E-00-II-5	0,348	0,275	0,623
E-00-II-6	0,418	0,653	1,071
E-00-II-7	0,129	0,383	0,512
E-00-II-8	0,331	0,591	0,922
E-00-II-9	0,304	0,157	0,461
E-00-II-10	0,49	0,295	0,785
Mittelwert	0,386	0,358	0,744
STABW	0,118	0,161	0,2
E-00-III-1	0,55	0,516	1,066
E-00-III-2	0,513	0,429	0,942
E-00-III-3	0,82	0,639	1,459
E-00-III-4	0,378	0,459	0,837
E-00-III-5	0,281	0,33	0,888
E-00-III-6	0,558	0,424	1,136
E-00-III-7	0,712	0,356	0,672
E-00-III-8	0,316	0,275	0,591
E-00-III-9	0,71	0,646	1,356
E-00-III-10	0,481	0,477	0,958
Mittelwert	0,532	0,455	0,991
STABW	0,178	0,122	0,275

Tabelle 20: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsanteils, der ursprünglich auf die Pflanze gelangte] in Frucht und Grünpflanzen von Erdbeere aus dem Applikationsjahr 2000, geerntet 2001

Die Aktivitätsanteile in den Grünpflanzen sind im Folgejahr sehr ähnlich, also unabhängig vom Zeitpunkt der Applikation, während im Jahr der Kontamination die Grünpflanzen bei der Applikation zur Fruchtreife die höchste Cs-Konzentration aufwiesen (vgl. Tabelle 17).

## 4.3 Himbeere

### 4.3.1 Interzeption und Translokation

Die Himbeeren wurden wie die Erdbeeren an drei Terminen mit Cäsiumlösung besprüht. Die Ernte der Früchte erfolgte im Abstand von jeweils einer Woche insgesamt dreimal. Beim letzten Erntetermin wurden auch die Grünpflanzen geerntet und zur Messung in Blatt und Ruten unterteilt. In beiden Versuchsjahren wurden die Grünpflanzen bei je einer Applikation in sogenannte Jung- und Altruten unterteilt. Die Altruten tragen die Himbeerfrüchte, ihr Ertrag ist verhältnismäßig gering. Als Jungtruten werden die neuen Triebe bezeichnet. Ihr Ertrag ist höher als der der Altruten. Im ersten Jahr ihres Wachstums tragen sie keine Früchte.

Die Ergebnisse für Interzeption und Translokation sind in den Tabellen 21 und 22 zusammengefasst. Bei der zweiten Applikation im Jahr 2001 wurden die Himbeerpflanzen einmal liegend und einmal stehend besprüht. Ferner wurden bei dieser Applikation Jung- und Altruten getrennt (siehe Cs-Verteilung in Himbeerpflanzen) geerntet.

Bei allen anderen Applikationen in beiden Versuchsjahren wurden die Himbeeren jeweils liegend mit der Cäsiumlösung behandelt.

Pflanze	Appliz.Akt. [Bq]	Zurückgehalt. Akt.[Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Pfl. [g] FS	Transl. [%]	Norm. Transl.[%/g]
H-00-I-1	552	207	38	0,380	162	29,7	0,184
H-00-I-2	507	237	47	0,311	209	27,5	0,132
H-00-I-3	465	166	36	0,314	144	27,1	0,189
H-00-I-4	530	194	37	0,363	203	38,0	0,187
H-00-I-5	499	189	38	0,527	131	36,7	0,279
H-00-I-6	398	110	28	0,327	136	40,5	0,298
Mittelwert STABW				0,370 0,082		33,2 5,85	0,211 0,064
H-00-II-1	663	247	37	0,343	154	21,4	0,139
H-00-II-2	560	219	39	0,237	185	39,8	0,215
H-00-II-3	570	242	42	0,611	132	33,4	0,253
H-00-II-4	534	240	45	0,444	182	33,7	0,185
H-00-II-5	496	196	40	0,228	198	23,0	0,116
H-00-II-6	551	185	34	0,639	132	45,6	0,345
Mittelwert STABW				0,417 0,18		32,8 9,38	0,209 0,083
H-00-III-1	544	219	40	0,509	113	26,1	0,232
H-00-III-2	423	236	56	0,597	98	24,9	0,253
H-00-III-3	396	157	40	0,371	118	28,0	0,237
H-00-III-4	407	238	58	0,307	193	24,9	0,129
H-00-III-5	412	225	55	0,333	170	25,1	0,148
H-00-III-6	395	188	48	0,429	131	30,0	0,229
Mittelwert STABW				0,424 0,112		26,5 2,11	0,205 0,052

Tabelle 21: Interzeption und Translokation in Himbeeren im Jahr 2000

Die Translokation ist bei allen Applikationen verhältnismäßig hoch. Die geringste Translokation von Cäsium in die Himbeerfrucht findet bei der Applikation zur Fruchtreife statt (Tabelle 21). Die Aktivitätskonzentrationen in den Früchten der Kontrollpflanzen liegen zwischen 0,0003 und 0,0074 Bq/g Frischsubstanz.

Im Jahr 2001 wurde eine neue Charge an Himbeerpflanzen eingesetzt. Die Translokation (Tabelle 22) ist bedeutend niedriger als im Versuchsjahr 2000. Bei der Applikation zum

Fruchtwachstum findet die höchste Translokation statt. Die unterschiedliche Aufbringung der Cs-Lösung (stehend/liegend) hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Cs-Konzentrationen.

In den Früchten der Kontrollpflanzen wurde eine Cs-Aktivität von maximal 0,0005 Bq/g Frischsubstanz gemessen.

Pflanze	Appliz. Akt. [Bq]	Zurückgehalt. Akt. [Bq]	Interzept. [%]	Akt.konz. [Bq/g] FS	Ertrag pro Pfl. [g] FS	Transl. [%]	Norm. Transl. [%/g]
H-01-I-1	336	175	52	0,0704	133	5,35	0,0402
H-01-I-2	288	169	59	0,0899	124	6,57	0,0531
H-01-I-3	291	144	49	0,0844	135	7,93	0,0586
H-01-I-4	305	175	58	0,0666	120	4,57	0,0380
H-01-I-5	311	194	62	0,0682	165	5,80	0,0351
H-01-I-6	301	188	63	0,0888	108	5,09	0,0471
Mittelwert				0,078		5,89	0,0454
STABW				0,011		1,21	0,0092
<i>liegend</i>							
H-01-II-1	237	157	66	0,2539	85	13,7	0,1619
H-01-II-2	222	146	66	0,2858	103	20,1	0,1957
H-01-II-3	234	147	63	0,2333	94	14,9	0,1589
H-01-II-4	261	169	65	0,2448	102	14,7	0,1446
H-01-II-5	288	179	62	0,2034	134	15,2	0,1134
H-01-II-6	267	173	65	0,2572	80	11,9	0,1490
Mittelwert				0,246		15,1	0,1539
STABW				0,027		2,73	0,0268
<i>stehend</i>							
H-01-II-1	166	95	57	0,1302	109	14,9	0,1369
H-01-II-2	217	106	49	0,2557	85	20,4	0,2414
H-01-II-3	153	95	62	0,1354	77	10,9	0,1418
H-01-II-4	144	92	64	0,1338	87	12,6	0,1455
H-01-II-5	144	92	64	0,1294	113	15,8	0,1402
H-01-II-6	148	88	59	0,1164	112	14,8	0,1323
Mittelwert				0,150		14,9	0,1563
STABW				0,052		3,24	0,0419
H-01-III-1	619	503	81	0,2642	103	5,43	0,0525
H-01-III-2	565	446	79	0,1809	178	7,21	0,0405
H-01-III-3	443	351	79	0,1847	89	4,68	0,0527
H-01-III-4	738	541	73	0,2349	89	3,86	0,0434
H-01-III-5	385	306	79	0,1616	41	2,14	0,0528
H-01-III-6	414	342	83	0,1964	144	8,29	0,0574
Mittelwert				0,204		5,27	0,0499
STABW				0,038		2,24	0,0065

Tabelle 22: Interzeption und Translokation in Himbeeren im Jahr 2001

### 4.3.2 Cs-Verteilung in Himbeerpflanzen

In Tabelle 23 ist die Cs-Verteilung in Himbeerpflanzen aus dem Versuchsjahr 2000 aufgeführt. Der Aktivitätsanteil in den Früchten ist bei allen drei Applikationen relativ hoch. Er nimmt bei der dritten Applikation zur Fruchtreife etwas ab, während der Anteil in den Grünpflanzen, speziell in den Blättern, hier deutlich höher ist. Bei dieser Applikation wurde bei der Ernte der Grünpflanzen zwischen Alt- und Jungruten unterschieden. Der Aktivitätsanteil in den Blättern der Altruten ist besonders hoch, da vermutlich der Zeitraum von 5 Wochen zwischen Applikation und Ernte der Grünpflanzen relativ kurz und somit die Translokation von Cäsium in die Früchte nicht vollständig war.

Der relativ hohe Cs-Anteil in den Jungruten lässt vermuten, dass die Jungruten bei der Applikation schon in geringem Maße vorhanden waren.

Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]				Gesamtaktivität [%]
		Blatt		Ruten		
H-00-I-1	29,7	7,88		2,29		39,9
H-00-I-2	27,5	4,79		3,78		36,1
H-00-I-3	27,1	7,39		4,09		38,5
H-00-I-4	38,0	8,11		0,26		46,4
H-00-I-5	36,7	10,57		0,57		47,8
H-00-I-6	40,5	9,76		6,65		56,9
Mittelwert	33,2	8,08		2,94		44,3
STABW	5,9	2,02		2,41		7,7
H-00-II-1	21,4	3,33		2,09		26,8
H-00-II-2	39,8	5,91		0,09		45,8
H-00-II-3	33,4	16,13		1,37		50,9
H-00-II-4	33,7	5,54		5,27		44,5
H-00-II-5	23,0	5,11		3,75		31,8
H-00-II-6	45,6	5,06		2,55		53,2
Mittelwert	32,60	6,85		2,52		42,2
STABW	9,39	4,63		1,82		10,6
		alt	neu	alt	neu	
H-00-III-1	26,1	15,6	5,00	0,33	3,03	50,1
H-00-III-2	24,9	14,6	4,05	0,26	2,29	46,0
H-00-III-3	28,0	16,2	17,11	1,52	14,5	77,3
H-00-III-4	24,9	19,0	5,35	0,73	2,99	52,9
H-00-III-5	25,1	24,2	4,30	0,99	2,55	57,1
H-00-III-6	30,0	18,9	4,67	0,63	3,31	57,5
Mittelwert	26,5	18,1	6,75	0,74	4,78	56,8
STABW	2,11	3,50	5,10	0,47	4,78	10,9

Tabelle 23: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsanteils, der auf die Pflanze gelangt] in Frucht und Grünpflanzen von Himbeere im Applikationsjahr 2000

Der Aktivitätsanteil in den Himbeerfrüchten des Versuchsjahres 2001 ist bedeutend geringer als im Vorjahr, wie Tabelle 24 zeigt. Der höchste Aktivitätsanteil befindet sich in den Blättern der Himbeerpflanzen, wobei der Ertrag an Grünpflanzen 2001 bedeutend höher ist.

Die Grünpflanzen bei der zweiten Applikation wurden in Jung- und Altruten unterteilt. Zwischen Applikation und Ernte lagen ca. 6 Wochen. Hier sind die Aktivitätsunterschiede bedeutend größer, die Cs-Anteile sind teilweise um das Zehnfache höher in den Altruten.

Die unterschiedliche Art der Cs-Applikation – stehend und liegend – wirkt sich nicht auf die Cs-Konzentration in den Früchten und Blättern aus, ein geringer Einfluss ist nur bei den Ruten erkennbar, da in den stehend behandelten Pflanzen die Aktivitäten in den Ruten geringer sind.



Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]				Gesamtaktivität [%]
		Blatt		Ruten		
H-01-I-1	5,35	24,2		1,2		30,8
H-01-I-2	6,57	19,3		1,2		27,1
H-01-I-3	7,93	21,2		0,8		29,9
H-01-I-4	4,57	18,9		0,9		24,4
H-01-I-5	5,8	22,7		0,6		29,1
H-01-I-6	5,09	17,3		2,4		24,8
Mittelwert	5,89	20,6		1,18		27,7
STABW	1,21	2,58		0,64		2,69
<i>liegend</i>						
H-01-II-1	13,7	30,4		2,0		46,1
H-01-II-2	20,1	25,5		1,3		46,9
H-01-II-3	14,9	26,5		3,8		45,2
H-01-II-4	14,7	34,2		3,0		51,9
H-01-II-5	15,2	35,2		3,1		53,5
H-01-II-6	11,9	28,3		2,5		42,7
Mittelwert	15,1	30,0		2,62		47,7
STABW	2,73	4,0		0,88		4,15
<i>stehend</i>						
		alt	neu	alt	neu	
H-01-II-1	14,9	32,7	3,1	1,01	0,8	52,5
H-01-II-2	20,4	18,3	2,1	0,6	0,8	42,2
H-01-II-3	10,9	15,7	1,5	1,6	0,6	30,3
H-01-II-4	12,6	27,9	3,3	0,7	1,0	45,5
H-01-II-5	15,8	22,1	4,4	0,7	0,9	43,9
H-01-II-6	14,8	29,1	1,8	0,6	1,4	47,7
Mittelwert	14,9	24,3	2,71	0,87	0,93	43,7
STABW	3,24	6,65	1,11	0,40	0,27	7,46
H-01-III-1	5,43	34,1		4,7		44,2
H-01-III-2	7,21	28,4		5,9		41,5
H-01-III-3	4,68	42,7		7,0		54,4
H-01-III-4	3,86	57,7		7,0		68,6
H-01-III-5	2,14	37,1		3,4		42,6
H-01-III-6	8,29	43,4		5,0		56,7
Mittelwert	5,27	40,6		5,5		51,3
STABW	2,24	10,1		1,41		10,6

Tabelle 24: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsabteils, der auf die Pflanze gelangt] in Frucht und Grünpflanzen von Himbeere im Applikationsjahr 2001

### 4.3.3 Cs-Gehalt in Himbeeren im Folgejahr

Tabelle 25 zeigt die Aktivitätsabnahme in kontaminierten Himbeerfrüchten im Folgejahr. Die Aktivitätskonzentration hat ein Jahr nach der Kontamination stark abgenommen. Sie liegt unter einem Prozent der im Jahr 2000 gemessenen Aktivität. Somit hat die Aktivität in den Himbeerfrüchten im Vergleich zu Apfel und Erdbeere im Folgejahr am deutlichsten abgenommen.

Einige der im Jahr 2000 behandelten Himbeersträucher trugen im Jahr 2001 keine Früchte.

Die Aktivitätsverteilung in den Himbeerpflanzen, die im Jahr 2000 behandelt und im Jahr 2001 noch einmal beprobt wurden, ist in Tabelle 26 angegeben.

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g] FS	
	Ernte 2000	Ernte 2001
H-00-I-1	0,38	0,0004
H-00-I-2	0,311	0,0003
H-00-I-3	0,314	0,0060
Mittelwert	0,335	0,002
STABW	0,039	0,003
H-00-II-1	0,343	0,0040
H-00-II-4	0,444	0,0128
H-00-II-5	0,228	0,0020
Mittelwert	0,338	0,006
STABW	0,108	0,006
H-00-III-3	0,371	0,0012
H-00-III-5	0,333	0,0011
Mittelwert	0,352	0,001
STABW	0,027	0,0001

Tabelle 25: Vergleich der Aktivitätskonzentration von Himbeeren im Jahr 2000 und 2001; alle Pflanzen wurden nur im Jahr 2000 behandelt

Pflanze	Aktivitätsanteil Frucht (Translokation) [%]	Aktivitätsanteil Grünpflanze [%]		Gesamtaktivität [%]
		Blatt	Ruten	
H-00-I-1	0,024	0,09	0,04	0,154
H-00-I-2	0,016	0,09	0,05	0,156
H-00-I-3	0,318	0,34	0,08	0,738
Mittelwert	0,119	0,177	0,056	0,349
STABW	0,172	0,142	0,020	0,337
H-00-II-1	0,362	0,16	0,08	0,602
H-00-II-4	0,297	0,06	0,01	0,367
H-00-II-5	0,043	0,16	0,04	0,243
Mittelwert	0,234	0,127	0,042	0,404
STABW	0,169	0,054	0,032	0,182
H-00-III-3	0,057	0,10	0,13	0,287
H-00-III-4	-*	0,11	0,10	0,273
H-00-III-5	0,073	0,10	0,10	0,21
Mittelwert	0,065	0,104	0,109	0,257
STABW	0,011	0,002	0,016	0,041

\* = kein Ertrag an Früchten

Tabelle 26: Aktivitätsverteilung [in % des Aktivitätsanteils, der ursprünglich auf die Pflanze gelangte] in Frucht und Grünpflanzen von Himbeere aus dem Jahr 2000, geerntet 2001

## 5 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse diskutiert und deren Umsetzung in radioökologische Modelle erörtert.

### 5.1 Interzeption

Die Ergebnisse für die Interzeption der drei untersuchten Pflanzenarten sind in Tabelle 27 zusammengefasst und verglichen. Der Anteil der applizierten Aktivität, der sich unmittelbar nach Applikation auf der Pflanze befindet, ist vom morphologischen Entwicklungszustand der Pflanze zum Zeitpunkt der Kontamination abhängig. So ist generell die Interzeption jeweils bei den ersten Applikationen – während der Blüte der untersuchten Pflanzen – am geringsten. Außerdem fällt auf, dass im Jahr 2000 die Interzeption generell etwas geringer war als im Jahr 2001. Die im Jahr 2001 verwendeten Apfelbäume und Erdbeeren stammten aus der gleichen Charge wie im Jahr 2000, d.h. sie waren im Jahr 2001 größer und weiter entwickelt als im Jahr 2000.

Besonders deutlich zeigt sich dies im ersten Applikationsjahr bei Apfel und Erdbeere. So nimmt die Interzeption bei Erdbeere im Jahr 2000 (Alter 1 Jahr) von 19 auf 42 % zu, im Jahr 2001 (Alter 2 Jahre) dagegen von 47 auf maximal 70 %. Auch für die übrigen Termine liegt im Versuchsjahr 2001 die Interzeption jeweils höher, da die Erdbeerpflanzen im zweiten Jahr bereits weiter entwickelt waren. Bei Himbeere wurde 2001 eine neue andere Charge an Pflanzen verwendet, die ebenfalls bereits weiter entwickelt war als die im Jahr 2000 behandelten Pflanzen. Infolgedessen war die Interzeption bei allen Applikationen im 2. Versuchsjahr höher.

Die Interzeption bei den Apfelbäumen ist in beiden Versuchsjahren relativ ähnlich, da sich die Größe der Apfelbäume nicht wesentlich veränderte.

Die hier bestimmten Werte für die Interzeption sind für die Anwendung in radioökologischen Modellen für Niederschlagsereignisse mit geringer Intensität geeignet, da die applizierten Lösungsmengen sehr gering waren.

Pflanze	Applikationszeitpunkt	Interzeption [%]	
		2000	2001
Apfel	Blüte	38,1±7,5	45,1±7,5
	Fruchtwachstum	58,8±8,9	57,2±8,6
	Ende Fruchtwachstum	57,4±6,5	57,5±9,8
	Reife	55,0±2,9	58,1±5,1
Erdbeere	Blüte	19,2±5,5	47,0±4,8
	Fruchtwachstum	36,9±4,7	69,5±6,4
	Reife	42,1±13,9	52,0±6,8
Himbeere	Blüte	37,0±6,1	57,2±5,4
	Fruchtwachstum	39,5±3,9	64,5±1,6
	Fruchtwachstum	-	59,2±5,7 (stehend)
	Reife	49,4±8,1	79,1±3,2

Tabelle 27: Vergleich der gemessenen Interzeption für Apfel, Erdbeere und Himbeere für die Versuchsjahre 2000 und 2001

### 5.2 Translokation

Im engeren Sinne bezeichnet die Translokation den systemischen Stofftransport in der Pflanze. Im hier betrachteten Fall wird der Anteil der anfänglich auf der Pflanze befindlichen

Aktivität, der zur Ernte in der Frucht wiederzufinden ist, als Translokation bezeichnet. In Tabelle 28 sind die in den Früchten wiedergefundenen Aktivitätsanteile für alle Pflanzen und alle Behandlungstermine zusammengefasst.

Bei Apfel wurden im Jahr 2000 je nach Behandlungstermin 4-12 % der auf die Bäume applizierten Aktivität in den Früchten wiedergefunden. Im Jahr 2001 war die Translokation geringer, sie schwankte von nur 0,9 bis 3,8 %. Im Jahr 2001 sind jedoch durch Schorfbefall und starke Winde viele Äpfel vorzeitig abgefallen. Die abgefallenen Früchte konnten den Bäumen nicht mehr zugeordnet werden, daher blieben sie hier bei der Berechnung der Translokation unberücksichtigt. Aufgrund dieser nicht berücksichtigten Verluste ist die Translokation im Jahr 2001 tendenziell höher. Damit verringert sich der Unterschied zum Jahr 2000.

Die Unterschiede sind geringer, wenn man die Translokation auf den Ertrag normiert. Dann stimmen die Ergebnisse von 2000 und 2001 bis auf den ersten Behandlungstermin gut überein. Der Unterschied könnte eventuell daher rühren, dass während der 1. Applikation im Jahr 2000 die Blüte schon etwas weiter fortgeschritten war als im Jahr 2001.

Für Erdbeeren liegen die wiedergefundenen Anteile im gleichen Bereich von etwa 8-12 % im Jahr 2000 und zwischen 13 und 17 % im Jahr 2001. Die etwas höheren Werte für die Translokation im Jahr 2001 mögen auch damit zusammenhängen, dass in 2001 der Ertrag größer war und das Verhältnis Frucht/Grünpflanze ebenfalls größer war als in 2000. Erdbeerstauden werden 3-4 Jahre genutzt, wobei die höchsten Erträge erst im 2. und 3. Jahr zu erzielen sind. Aufgrund der um den Faktor 2,5-3 höheren Fruchterträge ist die auf die Masse normierte Translokation um den Faktor 1,5-2 geringer als im Jahr 2000. Unter diesem Gesichtspunkt stimmen die Ergebnisse von 2000 und 2001 gut überein.

Die größten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren sind für Himbeeren zu beobachten. Auffällig ist auch, dass die im Jahr 2000 für Himbeeren beobachtete Translokation größer ist als für Erdbeeren, während diese im Jahr 2001 umgekehrt ist. Interessanterweise sind die Verhältnisse Frucht/Grünpflanze in den beiden Jahren deutlich unterschiedlich (Tabelle 29). Für Erdbeeren ist dieses Verhältnis im Jahr 2000 kleiner als im Jahr 2001, daher ist die auf die Masse normierte Translokation im Jahr 2000 größer als in 2001. Bei den Himbeeren ist dies genau umgekehrt.

Im ersten Versuchsjahr waren die Himbeerfrüchte unabhängig vom Zeitpunkt der Deposition stark kontaminiert, die wiedergefundenen Aktivitätsanteile in den Früchten (Translokation) waren mit bis zu 30 % relativ hoch. Im zweiten Versuchsjahr war die Cäsiumanreicherung in den Früchten bei weitem geringer. Die wiedergefundenen Aktivitätsanteile in den Früchten betragen nur 6 bis 15 %, weil hier der Grünanteil höher war. Die größte Translokation fand bei der Applikation zum Fruchtwachstum statt. Auch bei Himbeeren scheinen Fruchtertrag und das Verhältnis Frucht/Grünpflanze die Translokation zu beeinflussen. Im Jahr 2000 waren die Fruchterträge um einen Faktor 1,2-1,6 größer als im Jahr 2001. Gleichzeitig variierte das Verhältnis Frucht/Grünpflanze von 0,9-2 in 2000, während es in 2001 nur Werte zwischen 0,3 und 0,7 erreichte. Das heißt, die Aktivität verteilte sich im Jahr 2001 auf eine viel größere Grünmasse. Nach der 2. Applikation bei Himbeeren in 2000 und 2001 finden sich die geringsten Unterschiede; in diesem Fall sind die Unterschiede hinsichtlich Frucht- und Grünmasse am geringsten.

Obwohl die Applikationen alle Entwicklungsstadien vom Beginn der Blüte bis zum Anfang der Reife abdecken, sind die Unterschiede innerhalb einer Pflanzenart erstaunlich gering. Die größten Unterschiede sind beim Apfel zu finden, hier schwanken die wiedergefundenen Aktivitäten etwa um einen Faktor 3-4.

Noch geringer sind die Unterschiede zwischen den Behandlungen, wenn man die wiedergefundenen Anteile auf den Ertrag normiert, wie dies in Tabelle 28 angegeben ist (normiert auf 1 kg für Apfel, auf 1 g für Erdbeere und Himbeere). Dann betragen die Unterschiede zwischen den Behandlungen weniger als einen Faktor 2 für Äpfel, und etwa 30 % bei Erdbeeren. Für Himbeeren ist im Jahr 2000 kein wesentlicher Unterschied zwischen den Behandlungen zu erkennen, während im Jahr 2001 der Unterschied etwa um einen Faktor 3 variiert.

Pflanze	Applikations-termin	Wiedergefund. Aktivität in Früchten (%)		Normierte wiedergefundene Aktivität (%/Masse*)	
		2000	2001	2000	2001
Apfel	Blüte	4,1±2,3	0,92±0,47	4,7±1,2	1,72±0,34
	Fruchtwachstum	11,6±3,3	1,59±1,37	5,7±0,5	8,39±3,35
	Ende Fruchtwachstum	12,0±2,8	3,74±0,97	8,9±1,8	7,72±3,57
	Reife	9,6±3,9	3,79±1,8	6,4±2,0	4,57±1,18
Erdbeere	Blüte	10,6±3,1	16,8±3,3	0,10±0,028	0,067±0,027
	Fruchtwachstum	12,2±5,4	13,7±4,33	0,12±0,027	0,054±0,031
	Reife	7,8±3,9	13,8±4,6	0,13±0,08	0,070±0,025
Himbeere	Blüte	33,2±5,9	5,89±1,21	0,21±0,08	0,045±0,009
	Fruchtwachstum	32,8±9,4	15,1±2,73	0,21±0,08	0,154±0,027
	Reife	26,5±2,1	5,27±2,24	0,20±0,08	0,05±0,007

\* = Bei Apfel pro kg, bei Erdbeere und Himbeere pro g

Tabelle 28: Absolute und normierte wiedergefundene Aktivitätsanteile (Translokation) in Früchten in den Versuchsjahren 2000 und 2001

Bei anderen Kulturpflanzen wie Reis, Getreide und Bohnen wurde dagegen eine wesentlich ausgeprägtere Abhängigkeit der Translokation vom Behandlungszeitpunkt gefunden (Voigt et al., 1991; Choi et al., 2002). Ein Grund könnte darin liegen, dass bei Obst und Beeren die vegetative und generative Entwicklung zumindest in den ersten Phasen der Vegetationsperiode zeitgleich ablaufen. Das heißt, mehr oder weniger unmittelbar nach der Blattentfaltung steht die Frucht als Senke für Assimilate und andere Nährstoffe zur Verfügung.

Demgegenüber ist beispielsweise die vegetative und generative Phase bei Getreide zeitlich getrennt. Die Blüte als Eintritt in die generative Phase findet erst am Höhepunkt der vegetativen Entwicklung statt. Das Getreidekorn als Senke für Assimilate ist damit erst zu einem späteren Zeitpunkt der Vegetationsperiode von physiologischer Bedeutung.

Pflanze	Applikation	2000	2001
Erdbeere	Blüte	1,71±0,89	2,76±0,59
	Fruchtwachstum	0,92±0,55	2,88±0,70
	Reife	0,57±0,22	2,14±0,59
Himbeere	Blüte	2,07±1,06	0,70±0,22
	Fruchtwachstum	1,05±0,33	0,54±0,21   0,32±0,05*
	Reife	0,89±0,31	0,41±0,24

\* = Applikation stehend

Tabelle 29: Verhältnis der Erträge von Frucht zu Grünpflanze

Die Translokation von Cäsium in Apfel entspricht im ersten Versuchsjahr mit 12 % Werten, die in der Literatur zu finden sind (Carini, 2001). Im zweiten Versuchsjahr dagegen ist die absolute Translokation generell kleiner. Am geringsten sind die Werte jeweils bei der ersten Applikation. Die wiedergefundene auf das Gewicht, also den Ertrag, normierte Aktivität im zweiten Versuchsjahr ist teilweise höher. Allerdings waren die Erträge an Äpfeln im Jahr

2001 bei weitem geringer als 2000, zusätzlich waren die Apfelfrüchte von einer Krankheit befallen, was vermutlich den Stoffwechsel der Bäume und damit die Translokation beeinflusste.

Bei Erdbeere sind die Unterschiede nur bei der ersten Applikation deutlich, bei der die Translokation im ersten Versuchsjahr geringer ist. Die Erträge an Erdbeerfrüchten sind 2001 erheblich höher, was sich auf die auf das Gewicht normierte wiedergefundene Aktivität in den Früchten auswirkt, die unabhängig vom Applikationstermin um die Hälfte geringer als im Vorjahr ist.

Die Kontamination der untersuchten Pflanzen ist in Abbildung 3 zusammengefasst. Dabei wurde die Aktivitätskonzentration in den Früchten (Bq/kg) jeweils auf die unmittelbar nach der Applikation zurückgehaltene Aktivität (Bq) normiert. Dabei ist hervorzuheben:

Die Unterschiede zwischen Erdbeeren und Himbeeren sind relativ gering.

Die saisonalen Unterschiede sind vergleichsweise gering und nicht größer als ein Faktor 4.

Der Unterschied zwischen Äpfeln einerseits und Erdbeeren und Himbeeren andererseits beträgt mehr als ein Faktor 10. Dieser Unterschied ergibt sich mit großer Wahrscheinlichkeit aus der viel größeren Pflanzenmasse, die bei Apfel für die Verteilung von Cäsium zur Verfügung steht. Die Pflanzenmassen für Erdbeere und Himbeere sind zumindest in der gleichen Größenordnung.

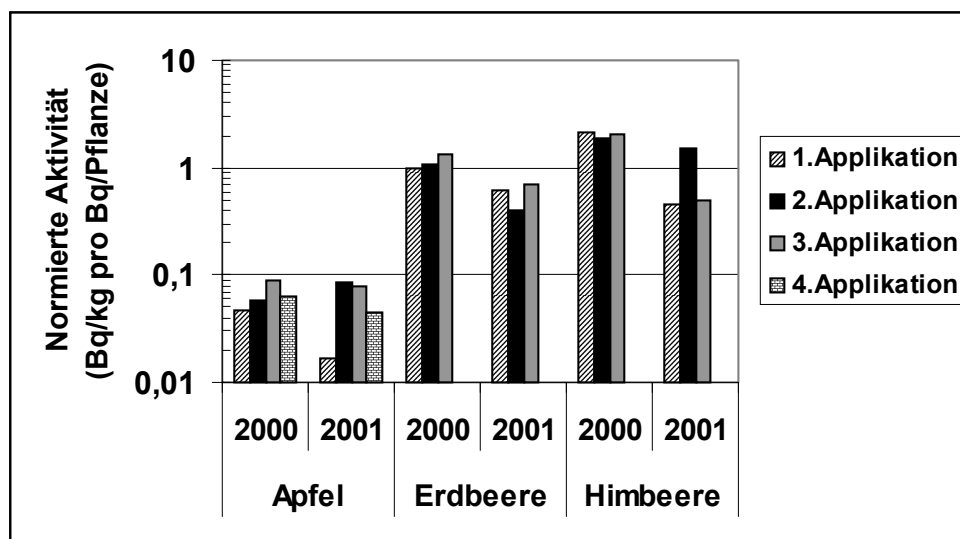


Abbildung 3: Auf die Interzeption (Bq/Pflanze) normierte Aktivitätskonzentration für Apfel, Erdbeere und Himbeere

Der Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen der Störfallberechnungsgrundlage (StBG) ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Dabei ist im Gegensatz zu Abbildung 3 zusätzlich die Bestandesdichte aus den Versuchen berücksichtigt. Diese betragen 1,4 Pflanzen/m<sup>2</sup> für Äpfel, 11 Pflanzen/m<sup>2</sup> für Erdbeeren und 4 Pflanzen/m<sup>2</sup> für Himbeeren. Im Freiland sind die Bestandesdichten geringer, allerdings muss berücksichtigt werden, dass Fahrgassen und Wege in den Beständen angelegt werden müssen, um Pflege und Ernte der Bestände zu ermöglichen.

Der Vergleich zeigt, dass die Ergebnisse nach StBG die Kontaminationen in Äpfeln überschätzen und in Himbeeren unterschätzen. Für Erdbeeren sind die Ergebnisse vergleichbar. Die StBG ist damit nicht geeignet, um die Aktivität in bestimmten Obst- und Beerenarten zu prognostizieren. Berücksichtigt man, dass die StBG in der

Nahrungsmittelgruppe "Sonstige pflanzliche Produkte" ein sehr inhomogenes Spektrum an Pflanzen umfasst, so liefert die Bandbreite der gewonnenen Ergebnisse keinen Hinweis darauf, dass die StBG die über alle Pflanzen gemittelte  $^{137}\text{Cs}$ -Kontamination nach direkter Ablagerung auf den Blättern unterschätzen würde.

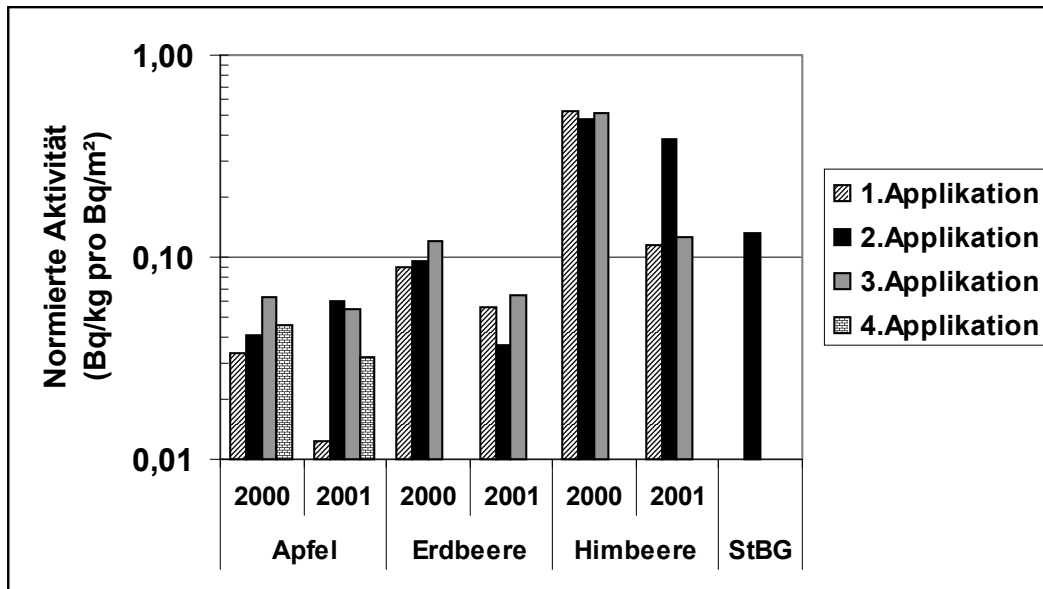


Abbildung 4: Auf die Interzeption ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) normierte Aktivitätskonzentration für Apfel, Erdbeere und Himbeere im Vergleich mit dem Modell der Störfallberechnungsgrundlage (StBG) (Mittelwert der Kontamination für "pflanzliche Produkte" über die ersten 60 Tage nach einer Deposition für alle pflanzlichen Produkte außer Blattgemüse)

### 5.3 Vergleich mit den Ergebnissen des radioökologischen Simulationsmodells ECOSYS

Im radioökologischen Simulationsmodell ECOSYS (Müller und Pröhl, 1993) wird die Kontamination von Obst und Beeren nach Einzeldepositionen berechnet. Das Modell ECOSYS wird in den radioökologischen Entscheidungshilfesystemen PARK (Gregor et al. 1994) und RODOS (Ehrhardt et al., 1997) zur Berechnung von Aktivitätskonzentrationen in Futter- und Nahrungsmitteln sowie zur Abschätzung von Strahlenexpositionen nach großflächigen radioaktiven Kontaminationen der Umwelt herangezogen.

Die Pflanzengruppen Obst und Beeren werden allerdings nicht weiter differenziert und sollen eine Reihe von Pflanzen repräsentieren, die hinsichtlich Morphologie und Reifezeit deutliche Unterschiede aufweisen können. Trotz dieser etwas eingeschränkten Vergleichbarkeit wurden die in den Versuchen erzielten Ergebnisse mit den Ergebnissen des Modells ECOSYS verglichen. Dazu wurden für alle Applikationstermine mit dem Modell ECOSYS Berechnungen durchgeführt und die Aktivitätskonzentrationen für Obst und Beeren zu den entsprechenden Ernteterminen ermittelt. Aus den Ergebnissen wurden normierte Aktivitäten [ $\text{Bq}/\text{kg FS pro Bq}/\text{m}^2$  Interzeption] wie in Abbildung 3 abgeleitet.

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse dieser Versuche mit den Ergebnissen des Modells ECOSYS auf der Basis der normierten Aktivitäten verglichen. Dabei ist jeweils das Verhältnis der normierten Aktivitäten aus den Experimenten und dem Modell ECOSYS für den jeweiligen Applikationstermin angegeben.

Die Ergebnisse stimmen für Äpfel und Erdbeeren gut überein, während für Himbeeren, insbesondere im Jahr 2000, die Ergebnisse um etwa einen Faktor 7 bis 8 voneinander abweichen. Die Translokation für Himbeeren war im Jahr 2000 hoch, bis zu 33 % der Interzeption wurden in die Früchte verlagert. Andererseits war im Jahr 2000 gegenüber 2001 bei vergleichbarer oberirdischer Biomasse das Verhältnis Frucht/Grünmasse deutlich höher (vgl. Tabelle 29), d.h. die Pflanzen waren im Jahr 2001 kräftiger und besser vegetativ entwickelt. Dies könnte dazu geführt haben, dass im Jahr 2000 die Himbeerfrucht ein stärker ausgeprägtes Attraktionszentrum für Radiocäsium gewesen ist als im Jahr 2001. Aufgrund der hier erhobenen Daten kann diese Frage jedoch nicht endgültig geklärt werden.

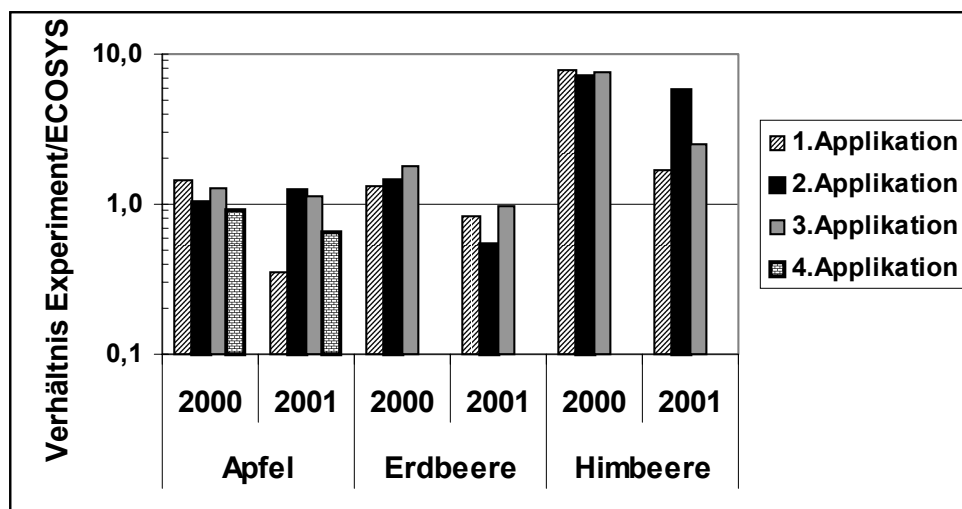


Abbildung 5: Vergleich der normierten Aktivitätskonzentrationen [Bq/kg FS pro Bq/m<sup>2</sup>] aus den Experimenten und mit dem radioökologischen Simulationsmodell ECOSYS

#### 5.4 Abwitterungshalbwertszeiten

In Tabelle 30 sind die in allen Pflanzenteilen wiedergefundenen Aktivitäten für Erdbeere und Himbeere aufgeführt. Eine Bilanzierung dieser Art ist für Apfel wegen des größeren Probenumfangs nicht möglich. Eine für alle Pflanzen und beide Versuchsjahre zutreffende Beobachtung ist, dass die Translokation bei der Deposition zur Fruchtreife bei den hier untersuchten Obstsorten abnimmt (Tabelle 28). Im Gegenzug nimmt der in der Grünpflanze verbliebene Anteil mit abnehmender Zeit zwischen Applikation und Ernte zu.

Pflanze	Applikations-termin	Wiedergefundene Gesamtaktivität (%)							
		Gesamt		Früchte		Grünpflanze			
		2000	2001	2000	2001	2000		2001	
Erdbeere	Blüte	19	33	11	17	8,2		16	
	Fruchtwachstum	28	31	12	14	16		17	
	Reife	32	43	7,8	14	24		29	
Himbeere						Blatt	Ruten	Blatt	Ruten
	Blüte	44	28	33	5,9	8,1	2,9	21	1,2
	Fruchtwachstum	42	48	33	15	6,9	2,6	30	2,6
	Reife	57	44	27	5,3	25	5,5	41	5,5

Tabelle 30: Verteilung der <sup>137</sup>Cs-Aktivität in Erdbeer- und Himbeerpflanzen in 2000 und 2001



Aus den Angaben in Tabelle 30 zur gesamten auf der Pflanze verbliebenen Aktivität, die sich aus dem Anteil in der Frucht- und Grünmasse zusammensetzt, und der Zeit zwischen Applikation und Ernte der Grünpflanzen lassen sich Halbwertszeiten für die Abwitterung abschätzen (Tabelle 31).

Pflanze	Applikation	Ernte	Zeit Applikation-Ernte (d)	Aktivitätsanteil zur Ernte	Abwitterungsrate ( $d^{-1}$ )	Abwitterungshalbwertszeit (d)
Erdbeere	12.05.00	05.07.00	54	0,19	0,0308	23
	29.05.00	05.07.00	37	0,28	0,0344	20
	07.06.00	05.07.00	28	0,32	0,0407	17
	08.05.01	26.07.01	79	0,33	0,0140	49
	28.05.01	26.07.01	59	0,31	0,0199	35
	11.06.01	26.07.01	45	0,43	0,0188	37
Himbeere	17.05.00	19.07.00	63	0,44	0,0130	53
	29.05.00	19.07.00	51	0,42	0,0170	41
	14.06.00	19.07.00	35	0,57	0,0161	43
	28.05.01	26.07.01	59	0,28	0,0216	32
	11.06.01	26.07.01	45	0,48	0,0163	43
	27.06.01	26.07.01	29	0,44	0,0283	25

Tabelle 31: Aus den Versuchen abgeleitete Abwitterungshalbwertszeiten für Erdbeere und Himbeere

Die Abwitterungshalbwertszeiten schwanken zwischen 17 und 53 Tagen. Die Halbwertszeiten nehmen tendenziell mit abnehmender Zeit zwischen Applikation und Ernte ab. Die hier gefundenen Abwitterungshalbwertszeiten beziehen sich auf die Aktivität pro Pflanze.

Diese Werte sind jedoch nicht direkt mit den in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV, BMJ, 1990) angegebenen Werten zu vergleichen. Die in der AVV oder StBG angegebene Halbwertszeit von 14 d bezieht sich auf die Abnahme der Aktivitätskonzentration, d.h. der in der AVV angegebene Wert berücksichtigt implizit den Verdünnungseffekt durch den Biomassenzuwachs.

## 5.5 Kontamination in den Folgejahren

Im Jahr 2001 wurden die im Jahr 2000 behandelten Pflanzen noch einmal beprobt. Da es sich bei Obst und Beeren um mehrjährige Pflanzen handelt, kann ein Teil der aufgebrachten Aktivität in den überwinterten Pflanzenteilen gespeichert werden und im Folgejahr wiederum zur Kontamination der Früchte beitragen.

In Tabelle 32 sind Verhältnisse der Aktivitätskonzentrationen der Jahre 2000 und 2001 zusammengefasst. Dabei fällt auf, dass – bis auf eine Ausnahme – die Aktivitäten im Folgejahr um mindestens eine Größenordnung geringer sind als im Jahr der Applikation. Tendenziell sind die Unterschiede für späte Applikationen geringer, da wegen der kürzeren Zeit ein geringerer Teil der Aktivität abgewittert wird.

Die größten Unterschiede treten bei Himbeeren auf. Die Himbeerpflanzen waren im Jahr 2001 vegetativ wesentlich besser entwickelt.

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g FS)		Verhältnis 2000/2001
	2000	2001	
Apfel			
I	0,021	0,0015	14
II	0,034	0,0012	28
III	0,05	0,0035	14
IV	0,03	0,0057	5,3
Erdbeere			
I	0,047	0,0012	39
II	0,1	0,0029	34
III	0,12	0,0041	29
Himbeere			
I	0,34	0,002	170
II	0,34	0,006	56
III	0,35	0,001	350

Tabelle 32: Verhältnis der Aktivitätskonzentrationen in Apfel, Erdbeere und Himbeere der Jahre 2000 und 2001

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In Versuchen wurden Äpfelbäume, Erdbeerpflanzen und Himbeersträucher mit einer wässrigen  $^{137}\text{Cs}$ -Lösung zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode besprüht und die Aktivitäten in Früchten und anderen Pflanzenteilen bestimmt. Die Versuche deckten für alle Pflanzen die Entwicklungsstadien vom Beginn der Blüte bis Anfang der Reife ab. Ziel der Versuche war die Bestimmung der Translokation von Cäsium, d.h. welcher Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität in den Früchten wiedergefunden wurde. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die Translokation nimmt in der Reihenfolge Himbeere, Erdbeere, Apfel ab.
- Die Unterschiede der Translokation zwischen den einzelnen Applikationsterminen sind weitaus geringer als bei einjährigen Pflanzen wie Getreide, Kartoffeln oder Bohnen. Bei Obst und Beeren laufen vegetative und generative Entwicklung weitgehend gleichzeitig ab, während bei einjährigen Pflanzen die generative Entwicklung mit der Blüte erst am Höhepunkt der vegetativen Entwicklung einsetzt.
- Die frühe Deposition von Cäsium zur Blüte führt bereits zu einer relativ starken Kontamination der Früchte. Kontaminationen kurz vor bzw. zur Fruchtreife haben tendenziell geringere Cäsiumkonzentrationen zur Folge, da der Zeitraum für den systemischen Transport von Cäsium zur Frucht kürzer ist. Dabei spielt die zur Fruchtreife abnehmende Stoffwechselaktivität eine Rolle.
- Die Variation der Translokation zwischen den Applikationsterminen wird reduziert, wenn die in den Früchten wiedergefundene Aktivität auf den Ertrag normiert wird.
- Für Himbeeren und Erdbeeren stellen die Früchte eine sehr "attraktive" Senke für Cäsium dar. Die Versuche zeigen, dass während der gesamten Phase vom Beginn der Blüte bis zur Ernte mit einem sehr effektiven Transport von Cäsium in die Früchte zu rechnen ist.
- Obwohl die Applikationen alle Entwicklungsstadien vom Beginn der Blüte bis zum Anfang der Reife abdecken, sind die Unterschiede innerhalb einer Pflanzenart erstaunlich gering. Die größten Unterschiede sind beim Apfel zu finden, hier schwanken die wiedergefundenen Aktivitäten etwa um einen Faktor 3-4.
- Die Ergebnisse der hier beschriebenen Experimente liegen im Rahmen der Ergebnisse anderer Versuche zur Ermittlung der Translokation in Obst und Beeren.
- In der Schale von Äpfel wurden höhere  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentrationen festgestellt. Für den Gesamt- $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt ist dieser Unterschied jedoch ohne Bedeutung.
- Die Aktivitäten, die im Jahr nach der während der Wachstumsperiode erfolgten Kontamination gemessen wurden, waren vernachlässigbar klein gegenüber den Aktivitäten, die im Depositionsjahr gemessen wurden.
- Die aus den Experimenten abgeleiteten Abwitterungshalbwertszeiten schwanken zwischen 17 und 53 Tagen, sie nehmen tendenziell mit abnehmender Zeit zwischen Applikation und Ernte ab. Die hier gefundenen Abwitterungshalbwertszeiten beziehen sich auf die Aktivität pro Pflanze; sie sind daher nicht direkt mit den in der AVV angegebenen Werten zu vergleichen.

- Die Kontamination für "pflanzliche Produkte", gemittelt über die ersten 60 Tage nach einer Deposition nach dem Modell der StBG, liegt in der Bandbreite der hier ermittelten Ergebnisse.
- Die Ergebnisse stimmen für Äpfel und Erdbeeren gut mit Berechnungen des Radioökologiemodells ECOSYS überein, die für "Obst" bzw. "Beeren" durchgeführt wurden. ECOSYS ist Grundlage für die Berechnung von Aktivitäten und Expositionen in den Entscheidungshilfesystemen PARK und RODOS. Die <sup>137</sup>Cs-Aktivitäten in Himbeeren werden von ECOSYS allerdings unterschätzt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in ECOSYS nur die Pflanzengruppen "Obst" und "Beeren" betrachtet werden, die eine Reihe von Arten repräsentieren, die hinsichtlich Morphologie und Reifezeit deutliche Unterschiede aufweisen können.

Danksagung: Die Arbeiten wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen des Forschungsvorhabens StSch 4220 gefördert.

## 7 Literatur

- BMU (Bundesminister für Umwelt): Neufassung des Kapitels 4 "Berechnung der Strahlenexposition" der Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV"; Bundesanzeiger 46, 1-19, 1994.
- BMJ (Bundesminister der Justiz): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen; Bundesanzeiger 42 (Nr. 64a), 1990.
- Ehrhardt, J., Brown, S., French, S., Kelly, G.N., Mikkelsen, T., Müller, H.: RODOS: Decision-making support for off-site emergency management after nuclear accidents; Kerntechnik 62, 122-128, 1997.
- Gregor, J., Bleher, M., Stapel, R., Jacob, P., Eklund, J., Luczak-Urlik, D.: AUTOPARK und DIAPARK – Zwei Bausteine des Programmsystems zur Abschätzung und Begrenzung radiologischer Konsequenzen (PARK); GSF-Bericht 24/94, 1994.
- Müller, H., Pröhl, G.: ECOSYS-87: A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents; Health Physics 64, 232-252, 1993.
- Voigt, G. Pröhl, G., Müller, H.: Experiments on the seasonality of the cesium translocation in cereals, potatoes and vegetables; Radiation and Environmental Biophysics 30, 295-303, 1991.
- Atkinson, C. J., Webster, A.D.: The influence of the temperate fruit tree species on the potential for their uptake of radionuclides; Journal of Environmental Radioactivity 52, 131-146, 2001.
- Atkinson, C.J., Carini, F., Collins, C., Coughtrey, P.J., Eged, K., Fulker, M.J., Green, N., Kinnersley, R., Linkov, I., Mitchell, N.G., Murlon, C., Ould-Dada, Z., Quinault, J.M., Robles, B., Stewart, A., Sweeck, L., Venter, A.: Transfer of radionuclides to fruits: The activities of the biomass fruits working group; Radioprotection-colloques, volume 37, 445-451, C1 2002
- Brambilla, M., Fortunati, P., Carini, F.: Foliar and root uptake of  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{65}\text{Zn}$  in processing tomato plants; submitted.
- Carini, F.: Radionuclides in plants bearing fruit: An overview; Journal of Environmental Radioactivity 46, 77-97, 1999.
- Carini, F.: Radionuclide transfer from soil to fruit; Journal of Environmental Radioactivity 52, 237-279, 2001.
- Carini, F., Anguissola Scotti, I., D'Alessandro, P. G.:  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  in fruit plants following wet aerial deposition; Health Physics 77, Number 5, 520-529, 1999.
- Carini, F., Coughtrey, P.J., Kinnersley, R., P.: Introduction; Journal of Environmental Radioactivity 52, 123-129, 2001.
- Carini, F., Bengtsson, G.: Post-deposition transport of radionuclides in fruit; Journal of Environmental Radioactivity 52, 215-236, 2001.
- Carini, F.: Radionuclide transfer from soil to fruit; Journal of Environmental Radioactivity 52, 237-279, 2001.
- Carini, F.: The IAEA Biomass theme 3 fruits working group; submitted.
- Choi, Y.H., Lim, K.M., Lee, H.S.: Interception, loss and translocation of  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  and  $^{134}\text{Cs}$  in the rice plants sprayed with a mixture RI solution; Radioprotection-colloques, volume 37, 439-444, C1 2002

- Coughtrey, P., J., Carini, F., Venter, A.: Conclusions and recommendations; *Journal of Environmental Radioactivity* 52, 309-314, 2001.
- Fortunati, P., Brambilla, M., Carini, F.:  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  in blackberry plants; *Radioprotection-colleques*, volume 37, 547-552, C1 2002
- Kinnersley, R.P., Goddard, A., J., P., Minski, M., J., Shaw, G.: Interception of caesium-contaminated rain by vegetation; *Atmospheric Environment* 31, No.8, 1137-1145, 1997.
- Kinnersley, R. P., Scout, L. K.: Aerial contamination of fruit through wet deposition and particulate dry deposition; *Journal of Environmental Radioactivity* 52, 191-213, 2001.
- Kinnersley, R., Brudenell, A., Scott, L., Stewart, A., Collins, C., Shaw, G.: Contamination of fruit crops via aerial pathways; submitted.
- Mitchell, N. G.: Models for radionuclide transfer to fruits and data requirements; *Journal of Environmental Radioactivity* 52, 291-307, 2001.
- Oncsik, M.B., Eged, K. Kis, Z., Kanyar, B.: Validation study for the transport of the  $^{134}\text{Cs}$  to strawberry; *Journal of Environmental Radioactivity* 61, 319-329, 2002.
- Ould-Dada, Z., Fairlie, I., Read, C.: Transfer of radioactivity to fruit: significant radionuclides and speciation; *Journal of Environmental Radioactivity* 52, 159-174, 2001.
- Venter, A., Coughtrey, P. J., Carini, F., Inoue, Y.: Foreword; *Journal of Environmental Radioactivity* 52, 117-122, 2001.
- Zehnder, H.J., Kopp, P., Oertli, J.J., Feller, U.: Uptake and transport of radioactive caesium and strontium into strawberries after leaf contamination; *Gartenbauwissenschaften* 58, (5), 209-213, ISSN 0016-478X, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 1993.

# A1 Anhang

## A1.1 Aktivitätskonzentrationen

Alle Aktivitätsangaben sind auf eine Cs-Lösung von 10 Bq/ml normiert. Die Aktivitätskonzentrationen beziehen sich auf Bq/g Trockengewicht. Die Kontrollproben, die nicht mit <sup>137</sup>Cs behandelt wurden, tragen die Endziffer 0 bei Apfel und Himbeere bzw. 01 und 02 bei Erdbeere.

### A1.1.1 Apfel

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel <u>mit</u> Schale ohne Kernhaus			
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation	4.Applikation
A-00-1	0,108	0,219	0,307	0,244
A-00-2	0,107	0,195	0,322	0,158
A-00-3	0,083	0,215	0,283	0,211
A-00-4	0,126	0,223	0,293	0,292
A-00-5	0,131	0,29	0,237	0,151
Mittelwert	0,111	0,228	0,288	0,211
STABW	0,019	0,036	0,032	0,059
A-00-0	0,002	0,002	0,002	0,002

Tabelle 1: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel mit Schale ohne Kernhaus, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel <u>ohne</u> Schale ohne Kernhaus			
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation	4.Applikation
A-00-1	0,116	0,205	0,314	0,211
A-00-2	0,096	0,193	0,35	0,158
A-00-3	0,132	0,218	0,277	0,164
A-00-4	0,125	0,248	0,307	0,29
A-00-5	0,123	0,317	0,249	0,136
Mittelwert	0,119	0,236	0,299	0,191
STABW	0,014	0,049	0,039	0,062
A-00-0	0,002	0,002	0,001	0,002

Tabelle 2: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel ohne Schale ohne Kernhaus, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel <u>nur</u> Schale
	4.Applikation
A-00-1	0,0281
A-00-2	0,195
A-00-3	0,22
A-00-4	0,329
A-00-5	0,204
Mittelwert	0,246
STABW	0,058
A-00-0	0,002

Tabelle 3: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel nur Schale, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)			
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation	4. Applikation
A-00-1	-*	0,0081	0,0293	0,0372
A-00-2	0,009	0,0173	0,0266	0,0468
A-00-3	0,0138	0,0026	-*	0,0316
A-00-4	0,0156	-*	0,0359	-*
A-00-5	0,0079	**	0,0213	0,0248
Mittelwert	0,0116	0,0094	0,0283	0,351
STABW	0,0037	0,0075	0,0011	0,0094
A-00-0	-*	**	**	**

\*= Apfelbäume wurden im Frühjahr 2001 zur Beprobung vollständig zerlegt

\*\*= kein Ertrag an Äpfeln

Tabelle 4: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel mit Schale ohne Kernhaus, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g)				
	Ast einjähr.	Ast dreijähr.	Stamm	Wurzeln fein	Wurzeln grob
A-00-I-0	0,0016	0,0007	0,0004	0,0019	0,0009
A-00-I-1	0,02	0,024	0,019	0,012	0,01
A-00-II-4	0,056	0,068	0,036	0,019	0,022
A-00-III-3	0,153	0,061	0,039	0,016	0,02
A-00-IV-4	0,25	0,109	0,059	0,014	0,036

Tabelle 5: Aktivitätskonzentration [Bq/g], Apfelbäume, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)			
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation	4. Applikation
A-01-1	0,0575	-*	0,228	0,169
A-01-2	0,0431	0,147	0,24	0,147
A-01-3	0,0452	0,236	0,255	0,154
A-01-4	0,0492	0,388	0,17	0,228
A-01-5	0,0698	0,275	0,378	0,162
Mittelwert	0,053	0,262	0,254	0,172
STABW	0,0109	0,0998	0,0765	0,0324
A-01-0	0,0023	0,0024	0,0012	0,0008

\*= kein Ertrag an Äpfeln

Tabelle 6: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Apfel mit Schale ohne Kernhaus, Applikation und Ernte 2001



## A1.1.2 Erdbeere

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-00-1	0,664	1,686	2,072
E-00-2	0,746	0,98	1,537
E-00-3	0,437	0,865	0,974
E-00-4	0,892	0,836	0,988
E-00-5	0,437	2,118	1,742
E-00-6	0,737	0,735	1,537
E-00-7	0,41	0,85	2,758
E-00-8	0,601	0,994	1,509
E-00-9	0,501	1,513	1,358
E-00-10	0,464	1,225	2,072
Mittelwert	0,589	1,18	1,655
STABW	0,166	0,454	0,539
E-00-01	0,002	0,002	0,004
E-00-02	0,002	0,001	0,004

Tabelle 7: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeerfrucht, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-00-1	0,355	0,49	0,617
E-00-2	0,173	0,461	1,07
E-00-3	0,155	0,418	0,809
E-00-4	0,683	0,403	0,906
E-00-5	0,209	0,519	0,974
E-00-6	0,191	0,519	1,592
E-00-7	0,182	0,533	1,18
E-00-8	0,282	0,432	0,672
E-00-9	0,209	0,807	0,933
E-00-10	0,209	0,476	1,235
Mittelwert	0,265	0,506	0,999
STABW	0,158	0,115	0,288
E-00-01	0,003	0,005	0,008
E-00-02	0,005	0,008	0,003

Tabelle 8: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeergrünpflanze, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-00-1	0,0055	0,0331	0,0274
E-00-2	0,0027	0,0216	0,0412
E-00-3	0,0055	0,0231	0,0535
E-00-4	0,0118	0,0346	0,0439
E-00-5	0,0137	0,0173	0,0343
E-00-6	0,0164	0,0389	0,0727
E-00-7	0,0146	0,0519	0,0261
E-00-8	0,0073	0,020	0,0178
E-00-9	0,0109	0,0288	0,0494
E-00-10	0,0155	0,0245	0,0398
Mittelwert	0,0104	0,0294	0,0406
STABW	0,005	0,01	0,015

Tabelle 9: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeerfrucht, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-00-1	0,0082	0,0288	0,0316
E-00-2	0,0182	0,0086	0,0425
E-00-3	0,0064	0,0159	0,0576
E-00-4	0,0146	0,0303	0,0302
E-00-5	0,0164	0,0173	0,0247
E-00-6	0,0064	0,0274	0,0521
E-00-7	0,0155	0,0173	0,0192
E-00-8	0,137	0,0231	0,0151
E-00-9	0,0137	0,0072	0,0412
E-00-10	0,0091	0,013	0,0302
Mittelwert	0,0122	0,0189	0,0344
STABW	0,005	0,009	0,013

Tabelle 10: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeergrünpflanze, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-01-1	0,652	0,987	0,35
E-01-2	0,787	1,245	0,719
E-01-3	1,053	1,128	0,81
E-01-4	0,973	0,73	0,426
E-01-5	0,677	0,612	0,539
E-01-6	0,639	0,617	0,826
E-01-7	0,686	0,474	0,68
E-01-8	0,689	0,337	0,505
E-01-9	0,892	0,422	1,03
E-01-10	0,886	0,471	0,78
Mittelwert	0,793	0,702	0,667
STABW	0,148	0,315	0,209
E-01-01	0,002	0,002	0,004
E-01-02	0,002	0,001	0,004

Tabelle 11: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeerfrucht, Applikation und Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1. Applikation	2. Applikation	3. Applikation
E-01-1	0,458	0,761	0,549
E-01-2	0,612	1,1	0,831
E-01-3	0,686	0,621	1,019
E-01-4	0,562	0,763	0,67
E-01-5	0,551	0,599	0,771
E-01-6	0,482	0,673	0,929
E-01-7	0,462	0,654	0,849
E-01-8	0,606	0,445	0,774
E-01-9	0,738	0,672	1,015
E-01-10	0,621	0,638	0,892
Mittelwert	0,578	0,693	0,83
STABW	0,094	0,169	0,147
E-01-01	0,003	0,003	0,009
E-01-02	0,004	0,003	0,012

Tabelle 12: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Erdbeergrünpflanze, Applikation und Ernte 2001

### A1.1.3 Himbeere

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation
H-00-1	2,512	2,767	3,538
H-00-2	2,234	3,79	3,471
H-00-3	2,197	3,747	2,288
H-00-4	2,29	3,415	2,394
H-00-5	2,92	1,902	2,673
H-00-6	2,318	4,496	2,66
Mittelwert	2,412	3,353	2,837
STABW	0,272	0,906	0,538
H-00-0	0,0054	0,034	0,015

Tabelle 13: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeerfrucht, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)			
	1.Applikation	2.Applikation	3.Appl., alte Triebe	3.Appl., neue Triebe
H-00-1	2,299	0,98	7,435	1,131
H-00-2	1,233	1,455	5,214	1,21
H-00-3	1,381	1,268	3,578	0,998
H-00-4	1,808	1,585	3,578	1,383
H-00-5	2,123	0,836	7,169	1,21
H-00-6	0,788	1,009	4,788	0,984
Mittelwert	1,605	1,189	5,293	1,153
STABW	0,574	0,295	1,688	0,15
H-00-0	0,009	0,007	0,008	0,007

Tabelle 14: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Blatt, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)			
	1.Applikation	2.Applikation	3.Appl., alte Triebe	3.Appl., neue Triebe
H-00-1	0,686	0,245	0,904	0,386
H-00-2	0,454	0,011	0,758	0,333
H-00-3	0,464	0,0135	0,918	0,226
H-00-4	0,091	0,793	0,785	0,466
H-00-5	0,088	0,303	1,237	0,279
H-00-6	0,445	0,288	0,426	0,186
Mittelwert	0,371	0,296	0,838	0,313
STABW	0,236	0,267	0,264	0,104
H-00-0	0,008	0,006	0,004	0,004

Tabelle 15: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Ruten, Applikation und Ernte 2000

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation
H-00-1	0,0037	0,0324	-*
H-00-2	0,0028	-*	-*
H-00-3	0,0519	-*	0,0106
H-00-4	-*	0,1081	-*
H-00-5	-*	0,0159	0,0098
Mittelwert	0,019	0,052	0,01
STABW	0,028	0,049	0,001

\*= kein Ertrag an Himbeerfrüchten

Tabelle 16: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeerfrucht, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation
H-00-1	0,0075	0,0202	
H-00-2	0,0076		
H-00-3	0,0213		0,0124
H-00-4		0,0115	0,0138
H-00-5		0,0202	0,0124
Mittelwert	0,0121	0,0172	0,0128
STABW	0,0083	0,0034	0,0004

Tabelle 17: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Blatt, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)		
	1.Applikation	2.Applikation	3.Applikation
H-00-1	0,0083	0,0159	
H-00-2	0,102		
H-00-3	0,013		0,0151
H-00-4		0,0115	0,0124
H-00-5		0,013	0,0124
Mittelwert	0,0105	0,0135	0,0133
STABW	0,0024	0,0015	0,0012

Tabelle 18: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Ruten, Applikation 2000, Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)			
	1.Applikation	2.Applikation	2.Applikation, st.	3.Applikation
H-01-1	0,561	2,318	1,125	2,396
H-01-2	0,709	2,192	2,25	1,649
H-01-3	0,718	1,95	1,096	1,61
H-01-4	0,471	2,047	1,135	2,008
H-01-5	0,541	1,552	1,116	1,426
H-01-6	0,738	2,018	0,999	1,678
Mittelwert	0,623	2,013	1,287	1,795
STABW	0,112	0,26	0,474	0,35
H-01-0	0,0027	0,0015	-	0,0038

Tabelle 19: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeerfrucht, Applikation und Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)				
	1.Applikation	2.Applikation	2.Applikation, st.		3.Applikation
			Alt*	Neu*	
H-01-1	0,864	1,853	2,706	0,0601	3,783
H-01-2	1,075	1,61	3,531	0,066	3,453
H-01-3	1,085	1,125	1,707	0,0437	3,657
H-01-4	0,739	1,29	2,153	0,0844	5,18
H-01-5	0,95	1,125	2,124	0,098	2,192
H-01-6	0,845	1,048	2,309	0,0378	2,503
Mittelwert	0,926	1,342	2,422	0,065	3,461
STABW	0,136	0,321	0,632	0,023	1,06
H-01-0	0,005	0,007	-		0,011

\*= alte, neue Triebe

Tabelle 20: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Blatt, Applikation und Ernte 2001

Pflanze	Aktivitätskonzentration (Bq/g TS)				
	1.Applikation	2.Applikation	2.Applikation, st.		3.Applikation
			Alt*	Neu*	
H-01-1	0,0662	0,176	0,229	0,0175	0,735
H-01-2	0,101	0,134	0,211	0,0252	0,85
H-01-3	0,0605	0,225	0,308	0,0175	0,782
H-01-4	0,0374	0,17	0,178	0,0301	0,88
H-01-5	0,0355	0,13	0,143	0,0223	0,274
H-01-6	0,15	0,105	0,106	0,034	0,442
Mittelwert	0,075	0,157	0,196	0,0244	0,660
STABW	0,043	0,043	0,071	0,007	0,245
H-01-0	0,006	0,008	-		0,007

\*= alte, neue Triebe

Tabelle 21: Aktivitätskonzentration [Bq/g TS], Himbeergrünpflanze, Ruten, Applikation und Ernte 2001

## A1.2 Erträge

Im Folgenden sind die Erträge für alle eingesetzten Versuchspflanzen angegeben. Die Angabe für die Frischsubstanz (FS) bezieht sich auf die Wägung unmittelbar nach der Ernte. Die Früchte und Grünpflanzen wurden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zur Bestimmung der Trockensubstanz (TS) erneut gewogen.

### A1.2.1 Erträge Apfel

Bei den Äpfeln wurde nur von der Versuchsreihe 2000 im Frühjahr 2001 je ein Baum (Grünpflanze) aus jeder der vier Applikationen und ein Kontrollbaum geerntet. Die in Tabelle 25 aufgeführten Angaben sind die Einwaagen für die  $^{137}\text{Cs}$ -Messungen. In der Versuchsreihe 2001 wurden keine Apfelbäume geerntet.

#### A1.2.1.1 Erträge Apfelfrucht

Die Erträge beziehen sich auf die Apfelernte pro Apfelbaum.

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
A-00-I-1	1052,2	169,1	16,07
A-00-I-2	1001,7	183,55	18,52
A-00-I-3	412,5	81,97	19,87
A-00-I-4	422,5	85,7	20,28
A-00-I-5	1413,8	235,66	16,67
A-00-I-0	1466,4	217,96	14,86
Mittelwert	961,52	151,2	17,68
STABW	460,71	66,3	2,17
A-00-II-1	1627,1	287,86	17,69
A-00-II-2	1929,2	305,53	15,84
A-00-II-3	2455,8	353,05	14,38
A-00-II-4	1844	289,86	15,72
A-00-II-5	2570	364,04	14,16
A-00-II-0	2046,6	365,7	17,87
Mittelwert	2078,78	320,07	15,94
STABW	364,96	36	1,58
A-00-III-1	1055,1	202,11	19,16
A-00-III-2	1586,7	279,27	17,6
A-00-III-3	1068,5	183,95	17,22
A-00-III-4	1472,5	268,18	18,21
A-00-III-5	1701,3	236,72	13,91
A-00-III-0	1166,7	211,34	17,81
Mittelwert	1345,13	234,04	17,32
STABW	278,27	41,07	1,79
A-00-IV-1	2642,7	364,12	13,78
A-00-IV-2	1557,4	254,38	16,33
A-00-IV-3	1481,7	261,06	17,62
A-00-IV-4	1185	207,26	17,49
A-00-IV-5	848,9	127,87	15,06
A-00-IV-0	1808,4	283,84	15,7
Mittelwert	1587,35	242,94	16
STABW	613,49	86,11	1,47

Tabelle 22: Ertrag Apfel, Ernte 2000, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte mit Kernhaus	Gewicht TS [g] ohne Kernhaus	Anteil TS [%]
A-00-I-2	1370,5	132,34	11,29
A-00-I-3	1095,9	128,62	13,62
A-00-I-4	1088,8	106,2	11,15
A-00-I-5	956,7	124,65	14,62
Mittelwert	1128	123	12,67
STABW	173,9	11,6	1,72
A-00-II-1	786,8	97,54	14,11
A-00-II-2	1242,4	127,24	11,3
A-00-II-3	694,8	84,29	14,4
Mittelwert	908	103,02	13,27
STABW	293,2	22	1,71
A-00-III-1	591,2	58,91	11,42
A-00-III-2	696	80,14	13,19
A-00-III-4	677,3	79,86	13,35
A-00-III-5	1567,9	192,38	13,44
A-00-III-0	969,1	117,44	13,57
Mittelwert	900,3	105,77	13,00
STABW	399,2	52,8	0,89
A-00-IV-1	1217	174,7	15,99
A-00-IV-2	740,5	110,19	16,75
A-00-IV-3	417,7	66,29	17,47
A-00-IV-5	1069,8	138,64	14,31
A-00-IV-0	1281,6	156	13,54
Mittelwert	945,3	129,2	15,61
STABW	361,5	42,4	1,65

Tabelle 23: Ertrag Apfel, Ernte 2001, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte mit Kernhaus	Gewicht TS [g] ohne Kernhaus	Anteil TS [%]
A-01-I-1	281,2	39,63	15,6
A-01-I-2	739,4	87,39	12,84
A-01-I-3	251,9	33,81	14,24
A-01-I-4	592,9	69,87	12,75
A-01-I-5	831,6	91,24	12,38
A-01-I-0	322,5	31,63	10,83
Mittelwert	503,3	58,93	13,11
STABW	251,7	27,29	1,64
A-01-II-1*	-	-	-
A-01-II-2	508,5	63,36	13,71
A-01-II-3	390,4	63,59	17,74
A-01-II-4	31,7	3,88	13,97
A-01-II-5	55,3	6,42	12,45
A-01-II-0	668,1	83,35	13,74
Mittelwert	330,8	44,12	14,33
STABW	280,3	36,5	2
A-01-III-1	553,4	75,53	14,95
A-01-III-2	606,2	55,45	10,26
A-01-III-3	387,5	52,79	15,59
A-01-III-4	950,9	114,64	12,94
A-01-III-5	264,7	33,94	14,04
A-01-III-0	1331,6	137,82	11,21
Mittelwert	682,4	78,36	13,16
STABW	394,3	40,03	2,11
A-01-IV-1	849,3	112,4	14,26
A-01-IV-2	900,4	94,64	13,14
A-01-IV-3	891	82,12	10,36
A-01-IV-4	1038,9	120,28	12,91
A-01-IV-5	453,2	49,2	12,43
A-01-IV-0	1044,5	115,09	11,92
Mittelwert	846,2	95,62	12,5
STABW	216,8	26,86	1,31

= kein Ertrag

Tabelle 24: Ertrag Apfel, Ernte 2001, Applikation 2001

### A1.2.1.2 Einwaagen Apfelbaum

Pflanze	Pflanzenteil				
	Ast Einjähr. [g]	Ast Dreijähr. [g]	Stamm [g]	Wurzel fein [g]	Wurzel grob [g]
A-00-I-0	18,3	61,1	58,8	10	20,5
A-00-I-1	23,3	66,9	58	9,3	22,3
A-00-II-4	23,6	56,8	56,5	8,3	18,6
A-00-III-3	19,9	55,3	56,2	11,1	22,1
A-00-IV-4	23,5	66,8	57,3	9	19,8

Tabelle 25: Einwaagen zur <sup>137</sup>Cs-Messung, Apfelbaum, Ernte 2001, Applikation 2000



## A1.2.2 Erträge Erdbeere

In beiden Versuchsjahren wurden bei allen Applikationen neben den Früchten auch die Grünpflanzen geerntet.

### A1.2.2.1 Erträge Erdbeerfrucht

Die Erträge beziehen sich auf die Erdbeerernte pro Pflanze.

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-00-I-1	133,4	10,9	8,17
E-00-I-2	78,4	6,2	7,91
E-00-I-3	111	8,5	7,66
E-00-I-4	76,1	5,7	7,49
E-00-I-5	80,3	7,1	8,84
E-00-I-6	118,9	9,2	7,74
E-00-I-7	174,9	15,1	8,63
E-00-I-8	115	10	8,7
E-00-I-9	85,8	7,1	8,28
E-00-I-10	145,1	11,3	7,79
E-00-I-01	63,3	6,6	10,4
E-00-I-02	93,5	7,3	7,81
Mittelwert	106,3	8,75	8,29
STABW	33,0	2,72	0,81
E-00-II-1	50,2	4,2	8,37
E-00-II-2	95	8,6	9,05
E-00-II-3	137,1	12,8	9,34
E-00-II-4	233,6	21,8	9,33
E-00-II-5	83,8	5,6	6,68
E-00-II-6	130,9	12,3	9,4
E-00-II-7	119,7	12,1	10,11
E-00-II-8	54	4,8	8,89
E-00-II-9	159,5	13,6	8,53
E-00-II-10	40,8	3,1	7,6
E-00-II-01	97,4	6,8	6,98
E-00-II-02	117,4	10,2	8,69
Mittelwert	110	9,66	8,58
STABW	59,1	5,29	1,03
E-00-III-1	53,6	4,7	8,25
E-00-III-2	62,8	5	7,96
E-00-III-3	44,7	3,1	6,94
E-00-III-4	138,3	8,5	6,15
E-00-III-5	102,9	7,3	7,09
E-00-III-6	72	6,1	8,47
E-00-III-7	47,2	3,1	6,57
E-00-III-8	27,9	2,2	7,89
E-00-III-9	72,5	6,4	8,83
E-00-III-10	53	3,4	6,42
E-00-III-01	22,6	1,8	7,69
E-00-III-02	35,1	2,4	6,84
Mittelwert	61,3	4,5	7,45
STABW	32,7	2,18	0,88

Tabelle 26: Ertrag Erdbeerfrucht, Ernte 2000, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-00-I-1	94	11,5	12,23
E-00-I-2	91,4	9,7	10,61
E-00-I-3	118,5	11,6	9,79
E-00-I-4	126,5	16,1	12,73
E-00-I-5	107,5	12	11,16
E-00-I-6	102,5	10,7	10,44
E-00-I-7	92,5	9,3	10,05
E-00-I-8	103,9	11,8	11,36
E-00-I-9	71,2	9,3	13,06
E-00-I-10	82	8,8	10,73
E-00-I-01	111,9	12,3	10,99
E-00-I-02	69,7	6,9	9,9
Mittelwert	97,6	10,8	11,09
STABW	17,7	2,31	1,08
E-00-II-1	139,4	14,6	10,47
E-00-II-2	148,9	13,7	9,2
E-00-II-3	141,8	14,1	9,94
E-00-II-4	182,6	16,1	8,82
E-00-II-5	183,7	17,7	9,64
E-00-II-6	102,1	9,4	9,21
E-00-II-7	16,8	2	11,9
E-00-II-8	99,7	10,8	10,83
E-00-II-9	119,3	9,7	8,13
E-00-II-10	183,1	15,3	8,36
E-00-II-01	142,1	17,6	12,39
E-00-II-02	124,6	12,9	10,35
Mittelwert	132	12,8	9,94
STABW	46,5	4,39	1,33
E-00-III-1	154,6	15,1	9,77
E-00-III-2	141,5	12,8	9,05
E-00-III-3	146,9	15,2	10,35
E-00-III-4	117,4	12,2	10,39
E-00-III-5	131,1	13,3	10,14
E-00-III-6	99,5	9,1	9,15
E-00-III-7	86,7	7,5	8,65
E-00-III-8	148,9	13,6	9,13
E-00-III-9	95,9	12,6	13,14
E-00-III-10	135,1	13,5	9,99
E-00-III-01	80,4	9,2	11,44
E-00-III-02	76,2	6,6	8,66
Mittelwert	117,9	11,7	9,99
STABW	28,8	2,89	1,29

Tabelle 27: Ertrag Erdbeerfrucht, Ernte 2001, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-01-I-1	224,9	20	8,89
E-01-I-2	384,2	34,9	9,08
E-01-I-3	246,7	25,1	10,17
E-01-I-4	258,8	22,4	8,66
E-01-I-5	229	23,3	10,17
E-01-I-6	279,8	27	9,65
E-01-I-7	220,7	25,9	11,74
E-01-I-8	200,3	17,5	8,74
E-01-I-9	252,8	25,6	10,13
E-01-I-10	225,9	21,2	9,38
E-01-I-01	311,9	34,5	11,06
E-01-I-02	578,5	50	8,64
Mittelwert	284,5	27,28	9,69
STABW	105,1	8,85	1
E-01-II-1	190,6	20,4	10,7
E-01-II-2	214,8	19,7	9,17
E-01-II-3	159,1	15,1	9,49
E-01-II-4	278,6	27	9,69
E-01-II-5	402,6	37,3	9,26
E-01-II-6	468,1	40,5	8,65
E-01-II-7	379,3	37,8	9,97
E-01-II-8	390,7	36,2	9,27
E-01-II-9	281,9	25,6	9,08
E-01-II-10	195,9	24,1	12,3
E-01-II-01	357,1	37,3	10,45
E-01-II-02	291,1	26,2	9
Mittelwert	300,8	28,93	9,75
STABW	98,8	8,53	1
E-01-III-1	245,8	27,2	11,07
E-01-III-2	129,8	13	10,02
E-01-III-3	207,8	21,8	10,49
E-01-III-4	173,9	17,4	10,01
E-01-III-5	212,3	23,4	11,02
E-01-III-6	296,5	17,7	5,97
E-01-III-7	256,4	23,4	9,13
E-01-III-8	207,4	15,8	7,62
E-01-III-9	134,6	11,6	8,62
E-01-III-10	184,2	18,2	9,88
E-01-III-01	223,5	22,7	10,16
E-01-III-02	176,5	19,5	11,05
Mittelwert	204,1	19,31	9,58
STABW	48,5	4,6	1,54

Tabelle 28: Ertrag Erdbeerfrucht, Ernte 2001, Applikation 2001

### A1.2.2.2 Erträge Erdbeergrünpflanze

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-00-I-1	56,8	15,4	27,1
E-00-I-2	103,8	20,3	19,6
E-00-I-3	107	24	22,4
E-00-I-4	23,1	4,4	19,1
E-00-I-5	114,8	23,6	20,6
E-00-I-6	83,8	17,2	20,5
E-00-I-7	98	24,5	25
E-00-I-8	40,2	9,3	23,1
E-00-I-9	82,2	19,1	23,2
E-00-I-10	78,9	19,8	25,1
E-00-I-01	121	23,2	19,2
E-00-I-02	75,5	16,6	22
Mittelwert	82,1	18,1	22,2
STABW	29,9	6,15	2,59
E-00-II-1	182,7	35,7	19,5
E-00-II-2	125,1	22,5	18
E-00-II-3	125,1	26,4	21,1
E-00-II-4	131,8	27,6	20,9
E-00-II-5	90,4	20	22,1
E-00-II-6	126,7	29,8	23,5
E-00-II-7	113,8	26,8	23,6
E-00-II-8	156,5	31,5	20,1
E-00-II-9	91,8	17	18,5
E-00-II-10	173,9	31,6	18,2
E-00-II-01	165,8	33,1	20
E-00-II-02	66	15,1	22,9
Mittelwert	129,1	26,4	20,7
STABW	35,8	6,54	2,00
E-00-III-1	120,6	24,5	20,3
E-00-III-2	114,6	28,2	24,6
E-00-III-3	171,3	38,2	22,3
E-00-III-4	147,6	30,4	20,6
E-00-III-5	146,4	31,7	21,7
E-00-III-6	106,6	24	22,5
E-00-III-7	68,7	14,3	20,8
E-00-III-8	137,5	28,7	20,9
E-00-III-9	110,2	23,5	21,3
E-00-III-10	100,9	22,2	22
E-00-III-01	161,4	38,2	23,7
E-00-III-02	127	28,3	22,3
Mittelwert	126,1	27,7	21,91
STABW	28,6	6,72	1,28

Tabelle 29: Ertrag Erdbeere Grünpflanze, Ernte 2000, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gesamtgewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-00-I-1	34,5	14,5	42
E-00-I-2	35,2	15,5	44
E-00-I-3	29,4	19,7	67
E-00-I-4	38,9	19,1	49,1
E-00-I-5	33,2	13,3	40,1
E-00-I-6	35,7	16	44,8
E-00-I-7	33,7	13,8	41
E-00-I-8	41,7	21,7	52
E-00-I-9	42,4	22,4	52,8
E-00-I-10	33,7	13,7	40,7
E-00-I-01	32	12	37,5
E-00-I-02	38,7	18,9	48,8
Mittelwert	35,8	16,7	46,7
STABW	3,92	3,50	8,09
E-00-II-1	41	14,6	35,6
E-00-II-2	50,3	18,4	36,6
E-00-II-3	29,9	10,1	33,8
E-00-II-4	38,6	13,7	35,5
E-00-II-5	43,2	14	32,4
E-00-II-6	58,2	20,9	35,9
E-00-II-7	60,1	17,8	29,6
E-00-II-8	50,3	16,9	33,6
E-00-II-9	66,2	20,1	30,4
E-00-II-10	50,7	17,4	34,3
E-00-II-01	48,3	17,2	35,6
E-00-II-02	44,5	17,8	40
Mittelwert	48,4	16,6	34,4
STABW	9,99	3,01	2,81
E-00-III-1	40,6	13,9	34,2
E-00-III-2	43,7	14,7	33,6
E-00-III-3	48,2	18,1	37,6
E-00-III-4	41,7	14,5	34,8
E-00-III-5	49	15,6	31,8
E-00-III-6	54,6	16,7	30,6
E-00-III-7	65,2	20,1	30,8
E-00-III-8	59,6	18,3	30,7
E-00-III-9	50,3	16,5	32,8
E-00-III-10	51,4	17,8	34,6
E-00-III-01	44,1	15,7	35,6
E-00-III-02	44,8	14,1	31,5
Mittelwert	49,4	16,3	33,2
STABW	7,42	1,94	2,22

Tabelle 30: Ertrag Erdbeere Grünpflanze, Ernte 2001, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
E-01-I-1	94,5	34,1	36,1
E-01-I-2	104,2	42,9	41,2
E-01-I-3	95,8	35,2	36,7
E-01-I-4	87,6	26,9	30,7
E-01-I-5	92,5	32,7	35,4
E-01-I-6	88,5	28,3	32
E-01-I-7	142,2	51,1	35,9
E-01-I-8	67,3	23,1	34,3
E-01-I-9	99,3	31	31,2
E-01-I-10	68,2	22,9	33,6
E-01-I-01	113,4	39,6	34,9
E-01-I-02	137,1	55,7	40,6
Mittelwert	99,2	35,3	35,2
STABW	23	10,4	3,29
E-01-II-1	80,4	29,3	36,4
E-01-II-2	58,6	18,3	31,2
E-01-II-3	62,2	21,3	34,2
E-01-II-4	68,2	23,6	34,6
E-01-II-5	138,3	44,9	32,5
E-01-II-6	131,7	43,3	32,9
E-01-II-7	147,6	46,6	31,6
E-01-II-8	127,9	45,5	35,6
E-01-II-9	133,1	43,8	32,9
E-01-II-10	100,8	32,8	32,5
E-01-II-01	108,3	40,4	37,3
E-01-II-02	90,4	35,1	38,8
Mittelwert	104	35,4	34,2
STABW	31,8	10,2	2,39
E-01-III-1	113,3	39,7	35
E-01-III-2	107,1	37,9	35,4
E-01-III-3	81,4	26,7	32,8
E-01-III-4	109,3	37,9	34,7
E-01-III-5	94,9	32,2	33,9
E-01-III-6	90,1	27,6	30,6
E-01-III-7	107,8	33,1	30,7
E-01-III-8	107,2	35,7	33,3
E-01-III-9	83,6	25,6	30,6
E-01-III-10	75,5	23	30,5
E-01-III-01	96,4	35,8	37,1
E-01-III-02	94,9	35,6	37,5
Mittelwert	96,8	32,6	33,5
STABW	12,4	5,53	2,54

Tabelle 31: Ertrag Erdbeere Grünpflanze, Ernte 2001, Applikation 2001

### A1.2.3 Erträge Himbeere

Wie bei Erdbeere wurden auch bei Himbeere die Früchte und Grünpflanzen geerntet.

#### A1.2.3.1 Erträge Himbeerfrucht

Die Erträge beziehen sich auf die Himbeerernte pro Pflanze.

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-00-I-1	161,9	24,5	15,1
H-00-I-2	208,8	29,1	13,9
H-00-I-3	143,5	20,5	14,3
H-00-I-4	203	32,2	15,9
H-00-I-5	131,3	23,7	18,1
H-00-I-6	136,1	19,2	14,1
H-00-I-0	113,4	19,6	17,3
Mittelwert	156,9	24,1	15,5
STABW	36,5	4,97	1,62
H-00-II-1	154,1	19,1	12,4
H-00-II-2	185,4	23	12,4
H-00-II-3	131,8	21,5	16,3
H-00-II-4	182,4	23,7	13
H-00-II-5	197,9	23,7	12
H-00-II-6	132,3	18,8	14,2
H-00-II-0	114,9	24,9	21,7
Mittelwert	157	22,1	14,6
STABW	32	2,38	3,47
H-00-III-1	112,6	16,2	14,4
H-00-III-2	98,3	16,9	17,2
H-00-III-3	118,3	19,2	16,2
H-00-III-4	192,7	24,7	12,8
H-00-III-5	169,6	21,1	12,4
H-00-III-6	131,4	21,2	16,1
H-00-III-0	113,5	21,3	18,8
Mittelwert	133,8	20,1	15,4
STABW	34,5	2,92	2,32

Tabelle 32: Ertrag Himbeerfrucht, Ernte 2000, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-00-I-1	111,1	13,2	11,9
H-00-I-2	110,8	13,9	12,6
H-00-I-3	88	10,2	11,6
H-00-I-0	109,4	13,8	12,6
Mittelwert	104,8	12,8	12,2
STABW	11,2	1,74	0,5
H-00-II-1	226	27,6	12,2
H-00-II-4	55,9	6,6	11,8
H-00-II-5	42,7	5,3	12,4
H-00-II-0	100,8	11,6	11,5
Mittelwert	106,4	12,8	12
STABW	83,6	10,3	0,41
H-00-III-3	71,7	8,4	11,7
H-00-III-4	3,4	0,3	8,82
H-00-III-5	145,4	16,7	11,5
Mittelwert	73,5	8,47	10,7
STABW	71	8,2	1,61

Tabelle 33: Ertrag Himbeerfrucht, Ernte 2001, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-01-I-1	132,9	16,7	12,6
H-01-I-2	123,7	15,7	12,7
H-01-I-3	135,3	15,9	11,8
H-01-I-4	120,4	17	14,1
H-01-I-5	165,1	20,8	12,6
H-01-I-6	108,1	13	12
H-01-I-0	143,7	19,8	13,8
Mittelwert	132,7	17	12,8
STABW	18,3	2,62	0,87
H-01-II-1	84,9	9,3	11
H-01-II-2	102,9	13,4	13
H-01-II-3	93,6	11,2	12
H-01-II-4	102	12,2	12
H-01-II-5	134,3	17,6	13,1
H-01-II-6	80	10,2	12,8
H-01-II-0	139,9	17,2	12,3
Mittelwert	105,4	13	12,3
STABW	23,3	3,28	0,76
H-01-II-1st*	108,9	12,6	11,6
H-01-II-2st	84,5	9,6	11,4
H-01-II-3st	76,9	9,5	12,4
H-01-II-4st	86,5	10,2	11,8
H-01-II-5st	112,9	13,1	11,6
H-01-II-6st	111,6	13	11,7
Mittelwert	96,9	11,3	11,7
STABW	16	1,74	0,34
H-01-III-1	103,4	11,4	11
H-01-III-2	177,8	19,5	11
H-01-III-3	88,9	10,2	11,5
H-01-III-4	88,9	10,4	11,7
H-01-III-5	40,6	4,6	11,3
H-01-III-6	144,4	16,9	11,7
H-01-III-0	124,3	16,6	13,4
Mittelwert	109,8	12,8	11,7
STABW	44,2	5,13	0,81

Tabelle 34: Ertrag Himbeerfrucht, Ernte 2001, Applikation 2001

\* = Cs-Applikation stehend



### A1.2.3.2 Erträge Himbeergrünpflanze

Bei den Grünpflanzen wurde in beiden Versuchsjahren bei je einer Applikation Jung- und Altruten separat geerntet. Die Jungruten sind mit „neu“ gekennzeichnet.

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-00-I-1	59	14	23,7
H-00-I-2	136,4	28,9	21,2
H-00-I-3	96,4	23,6	24,5
H-00-I-4	51,8	14,3	27,6
H-00-I-5	80,1	21,6	27
H-00-I-6	122,9	30	24,4
H-00-I-0	62	16,7	27
Mittelwert	86,9	21,3	25,1
STABW	33	6,61	2,28
H-00-II-1	184,5	29,5	16
H-00-II-2	138,9	27,9	20,1
H-00-II-3	160	55,1	34,4
H-00-II-4	115,2	24,4	21,2
H-00-II-5	201,9	36,3	18
H-00-II-6	173	25,7	14,9
H-00-II-0	106,1	25,4	23,9
Mittelwert	154,2	32	21,1
STABW	35,7	10,9	6,61
H-00-III-1	15	5,4	36
H-00-III-2	29,4	7,4	25,2
H-00-III-3	27,3	9,7	35,5
H-00-III-4	57,8	14,8	25,6
H-00-III-5	33,2	9,4	28,3
H-00-III-6	28,1	10,2	36,3
H-00-III-0	36,4	9,2	25,3
Mittelwert	32,5	9,4	30,3
STABW	13	2,88	5,38
H-00-III-1/neu	83,1	20,7	24,9
H-00-III-2/neu	189	34,5	18,3
H-00-III-3/neu	151,9	46	30,3
H-00-III-4/neu	141,1	31,2	22,1
H-00-III-5/neu	98,8	20,4	20,7
H-00-III-6/neu	131,2	28	21,3
H-00-III-0/neu	102,9	24,5	23,8
Mittelwert	128,3	29,3	23,1
STABW	36,5	9,01	3,85

Tabelle 35: Ertrag Himbeere Grünpflanze, Ernte 2000, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-00-I-1	93,5	35,3	37,8
H-00-I-2	111,4	41,8	37,5
H-00-I-3	108,3	36,5	33,7
H-00-I-0	71,5	28,8	40,3
Mittelwert	96,2	35,6	37,3
STABW	18,2	5,34	2,71
H-00-II-1	70,2	31,4	44,7
H-00-II-4	50,2	16,5	32,9
H-00-II-5	54,2	20,6	38
H-00-II-0	61	22,1	36,2
Mittelwert	58,9	22,7	38
STABW	8,75	6,3	4,99
H-00-III-3	51,6	17,3	33,5
H-00-III-4	69	25,4	36,8
H-00-III-5	81,2	25,5	31,4
Mittelwert	67,3	22,7	33,9
STABW	14,9	4,71	2,72

Tabelle 36: Ertrag Himbeere Grünpflanze, Ernte 2001, Applikation 2000

Pflanze	Ertrag FS [g] bei der Ernte	Gewicht TS [g]	Anteil TS [%]
H-01-I-1	227,6	79,6	35
H-01-I-2	133	51	38,4
H-01-I-3	133	47,7	35,9
H-01-I-4	259,6	84,7	32,6
H-01-I-5	255,3	79,4	31,1
H-01-I-6	200,3	68,8	34,4
H-01-I-0	115,3	44,3	38,4
Mittelwert	189,2	65,1	35,1
STABW	61,5	17,1	2,73
H-01-II-1	143,7	43,7	30,4
H-01-II-2	111	36,9	33,2
H-01-II-3	189	59,7	31,6
H-01-II-4	231,1	74,9	32,4
H-01-II-5	298,1	99	33,2
H-01-II-6	251	87,2	34,7
H-01-II-0	277,7	97,6	35,2
Mittelwert	214,5	71,3	33
STABW	69,5	25,2	1,67
H-01-II-1st*	36,2	15,5	42,8
H-01-II-2st	20	8,7	43,5
H-01-II-3st	31	13,9	44,8
H-01-II-4st	33,9	15,6	46
H-01-II-5st	32,1	14,2	44,2
Mittelwert	26,5	15,8	59,6
STABW	30	14	46,9
H-01-II-1st/neu*	5,85	2,69	6,36
H-01-II-2st/neu	314	91,9	29,27
H-01-II-3st/neu	229	68,9	30,1
H-01-II-4st/neu	259,4	68,3	26,3
H-01-II-5st/neu	276,4	65,7	23,8
H-01-II-6st/neu	268,1	80,2	29,9
H-01-II-6st/neu	274,3	77,7	28,3
Mittelwert	270,2	75,5	28
STABW	27,5	9,87	2,47
H-01-III-1	288,5	77,8	27,0
H-01-III-2	211,4	67,5	31,9
H-01-III-3	259,9	72,3	27,8
H-01-III-4	272,7	103,5	38,0
H-01-III-5	323,2	89,8	27,8
H-01-III-6	313,1	98,2	31,4
H-01-III-0	236,2	77,0	32,6
Mittelwert	272,1	83,7	30,9
STABW	40,2	13,61	3,84

Tabelle 37: Ertrag Himbeere Grünpflanze, Ernte 2001, Applikation 2001

\* = Cs-Applikation stehend