



KfK 4801  
Februar 1991

# **Tageszeitliche Schwankungen der Tritiumaufnahme in Pflanzen**

**M. Hettinger, S. Diabaté, S. Strack**  
Hauptabteilung Sicherheit  
Projekt Kernfusion

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



**KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE**  
**Hauptabteilung Sicherheit**  
**Projekt Kernfusion**

**KfK 4801**

# **Tageszeitliche Schwankungen der Tritiumaufnahme in Pflanzen**

M. Hettinger, S. Diabaté, S. Strack

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe**

Als Manuskript gedruckt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Bei der Aufnahme von Tritium in die Vegetation spielen tageszeitliche Schwankungen klimatischer Parameter eine wichtige Rolle. Um die Aufnahme von Tritium aus der Atmosphäre in die Pflanzen abschätzen zu können, wird ein mathematisches Modell verwendet, das diurnale Schwankungen berücksichtigt. Die für die Modellierung notwendigen pflanzenphysiologischen Parameter, wie die Beziehung zwischen gemessener Photosynthese- und Blattwachstumsrate, werden in einem Wachstumsversuch ermittelt. Für Tomate und Mais wird das Modell in Expositionsversuchen unter natürlichen tageszeitlichen Schwankungen der klimatischen Bedingungen überprüft. Es zeigt sich, daß das Modell für die Tritiumaufnahme ins freie Gewebewasser für die Tomate anwendbar ist. Ebenso läßt sich der Einbau ins organisch gebundene Tritium (OBT<sub>nx</sub>) modellieren und erklären. Wird das Modell jedoch auf Teile eines Blattes angewandt, dann können im Einzelfall wie am Beispiel eines Maisblattes deutliche Abweichungen vom erwarteten Verlauf festgestellt werden, da in diesem Fall das Modell nur bedingt zutrifft.

## Abstract

Diurnal variations of tritium uptake by plants

The influence of the diurnal cycle is important for the behaviour of environmental tritium in the vegetation. A mathematical model has been used to calculate the deposition of tritium in plants as a function of diurnal variations of climatic parameters. The necessary physiological parameters (relationship of net photosynthesis and growth) were derived from growth experiments for tomatoes and maize. In chamber experiments, tomato and maize plants were exposed to tritium with natural diurnal variations of the climatic conditions. Within the range of standard deviations the measured concentrations of tritium in tissue free water of tomatoes correspond well to the estimated values. Furthermore, the incorporation into non-exchangeable organically bound tritium (OBT<sub>nx</sub>) can be sufficiently modelled and explained. There are deviations from the estimated concentrations in some parts of maize leaves.



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	1
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	8
Abkürzungen .....	9
1. Einleitung .....	11
2. Material und Methoden .....	13
2.1 Pflanzenaufzucht .....	13
2.2 Die Gaswechselmeßanlage (Miniküvetten-System) .....	14
2.3 Versuchsaufbau .....	15
2.4 Probenentnahme und Probenaufarbeitung.....	17
3. Modell tageszeitlicher Schwankungen der Tritiumaufnahme von Pflanzen .....	19
3.1 Die Aufnahme ins freie Gewebewasser (TFWT) .....	20
3.1.1 Numerisches Verfahren zur Berechnung der sich im freien Gewebewasser einstellenden Tritiumkonzentration .....	23
3.2 Der Einbau in austauschbares OBТ .....	28
3.3 Der Einbau in nicht austauschbares OBТ.....	29
3.3.1 Numerisches Verfahren zur Berechnung der Tritiumaufnahme in nicht austauschbares OBТ.....	30
4. Bestimmung pflanzenphysiologischer Parameter .....	31
4.1 Zusammenhang zwischen Photosyntheserate und Wachstumsrate	
4.1.1 Versuchsbedingungen .....	31
4.1.2 Zusammenhang zwischen Photosyntheserate und Wachstumsrate für Tomate und Mais .....	32
4.1.3 Wassergehalt, Trockenmasse für Tomate und Mais ....	35
4.1.4 Standardabweichung der Messung von Photosynthese und Transpiration bei konstanten Klimabedingungen.....	36

5. Ergebnisse	
5.1 Tritiumaufnahme bei konstanten Klimabedingungen	
am Beispiel der Tomate .....	37
5.2 Freilandmessungen mit Tomate.....	41
5.2.1 Expositionsversuch über 30 Stunden.....	41
5.2.2 Expositionsversuch über 12 Stunden.....	45
5.3 Freilandmessungen mit Mais .....	49
5.3.1 Expositionsversuch über 28 Stunden.....	49
5.3.2 Expositionsversuch über 12 Stunden.....	52
5.4 Schlußfolgerungen.....	55
6. Diskussion.....	57
7. Literaturverzeichnis .....	59
8. Anhang.....	61
8.1 Umrechnungsfaktoren für Lichtstärke bei PAR (400-700 nm) .	61
8.2 Näherungslösungen zur Modellrechnung.....	62
8.2.1 Berechnung der absoluten Luftfeuchte.....	62
8.2.2 Luftdichtekorrektur des Molvolumens für Wasserdampf..	63
8.3 Abhängigkeit zwischen Photosynthese und Lichtstärke .....	64
8.3.1 Lichtkurve für Tomate .....	64
8.3.2 Lichtkurve für Mais.....	65
8.4 Meßdaten.....	66
8.4.1 Meßdaten von Versuch 5.1 .....	66
8.4.2 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.2.1	67
8.4.3 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.2.2	73
8.4.4 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.3.1	77
8.4.5 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.3.2	83
8.5 Daten zum tageszeitlichen Vergleich einstündiger Emission	
von Tritium .....	87



## Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Meßprinzip des Kompakt Miniküvetten-Systems.....	14
Abb.2: Versuchsaufbau für Versuche unter Freilandbedingungen .....	15
Abb.3: Das Kompartimentmodell .....	19
Abb.4: Korrekturfaktor $\beta$ für 2 Außentemperaturen: 18°C und 28°C ..	22
Abb.5: Lichtstärke, Temperatur und relative Feuchte an einem Schönwettertag (13/14.07.90).....	23
Abb.6: registrierter ALVPD und Transpirationsrate an einem Schönwettertag.....	24
Abb.7: Errechneter Blattwiderstand eines Tomatenblatts am 13/14.Juli 1990 .....	25
Abb.8: Gleichgewichtswert und numerisch bestimmter Modellwert für TFWT .....	26
Abb.9: Berechnete Tritiumkonzentration im Xylem und ermittelte Werte für TFWT mod. ....	27
Abb.10: Modellwerte OBT mod. bezogen auf 100% $C_A$ bei einem Schönwettertag (13/14.07.90).....	30
Abb.11: Klimabedingungen für Versuch 4.1.2 und Versuch 4.1.3 .....	31
Abb.12: Wachstumskurve für Tomate.....	32
Abb.13: Wachstumskurve für Mais .....	33
Abb.14: Verlauf der Tritiumaufnahme ins TFWT der Blätter und ins TFWT des exponierten Teil des Stengels .....	38

Abb.15: Einbau ins OBT in 0/00 der TFWT-Konzentration im Blatt ...	40
Abb.16: Klimabedingungen während des Versuchs 5.2.1 .....	41
Abb.17: Gemessene Photosynthese- und Transpirationsrate während des Versuchs 5.2.1 .....	42
Abb.18: Gemessene Werte für TFWT im Vergleich zu den errechneten Modellwerten von Versuch 5.2.1 .....	43
Abb.19: Tritiumaufnahme in nicht austauschbares OBT bei Versuch 5.2.1 .....	44
Abb.20: Lichtstärke ( $L_{cuv}$ ), Temperatur ( $T_{cuv}$ ) und relative Feuchte (RH) bei Versuch 5.2.2 .....	45
Abb.21: Photosynthese- und Transpirationsrate bei Versuch 5.2.2 .....	45
Abb.22: Gemessene TFWT-Werte im Vergleich zu den Modellwerten für Versuch 5.2.2 .....	46
Abb.23: Meßwerte für OBT $n_x$ bei Versuch 5.2.2 im Vergleich zu errechneten Modellwerten .....	47
Abb.24: Lichtstärke ( $L_{cuv}$ ), Temperatur ( $T_{cuv}$ ) und relative Feuchte (RH) bei Versuch 5.3.1 .....	49
Abb.25: Photosynthese- und Transpirationsrate bei Versuch 5.3.1 .....	49
Abb.26: Gemessene TFWT-Werte im Vergleich zu den Modellwerten für Versuch 5.3.1 .....	50
Abb.27: OBT $n_x$ Werte bei Versuch 5.3.1 im Vergleich zu Modellwerten .....	51
Abb.28: Lichtstärke ( $L_{cuv}$ ), Temperatur ( $T_{cuv}$ ) und relative Feuchte (RH) bei Versuch 5.3.2 .....	52

Abb.29: Photosynthese- und Transpirationsrate bei Versuch 5.3.2.....	52
Abb.30: Ergebnisse der Analyse von TFWT im Vergleich zu den Modellwerten von Versuch 5.3.2.....	53
Abb.31: Werte für OBT nx im Vergleich zu den Modellwerten von Versuch 5.3.2.....	54
Abb.32: Einstündige Emission von Tritium im tageszeitlichen Vergleich .....	57
Abb.33: Abhängigkeit der Photosynthese und Transpiration von der Lichtstärke bei Tomate .....	64
Abb.34: Abhängigkeit der Photosynthese und Transpiration von der Lichtstärke bei Mais .....	65

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenhang zwischen NETFOT, $w_{\text{Blatt}}$ und $\tau_{24 \text{ h}}$ .....	34
Tabelle 2:	Trockengewicht und Wassergehalt für Tomate .....	35
Tabelle 3:	Trockengewicht und Wassergehalt für Mais .....	35
Tabelle 4:	Standardabweichung $\sigma$ der gemessenen Nettophotosynthese- und Transpirationsraten.....	36
Tabelle 5:	Klimabedingungen bei Versuch .....	37
Tabelle 6:	Umrechnungsfaktoren der Lichtstärke für Tageslicht .....	61
Tabelle 7:	Umrechnungsfaktoren der Lichtstärke für künstliches Licht....	61
Tabelle 8:	Meßdaten von Versuch 5.1 .....	66
Tabelle 9a:	Teil 1- Klimatische Parameter von Versuch 5.2.1.....	67
Tabelle 9b:	Teil 2- Analysenergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.2.1 .....	70
Tabelle 10a:	Teil 1- Klimatische Parameter von Versuch 5.2.2.....	73
Tabelle 10b:	Teil 2- Analysenergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.2.2 .....	75
Tabelle 11a:	Teil 1- Klimatische Parameter von Versuch 5.3.1 .....	77
Tabelle 11b:	Teil 2- Analysenergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.3.1 .....	80
Tabelle 12a:	Teil 1- Klimatische Parameter von Versuch 5.3.2.....	83
Tabelle 12b:	Teil 2- Analysenergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.3.2 .....	85
Tabelle 13:	Störfallfolgen einer einstündigen Tritiumemission im tageszeitlichen Vergleich .....	87

## Abkürzungen

ALVPD	Air to Leaf water Vapour Pressure Deficit
$\beta$	Korrekturfaktor, der sich aus der Differenz zwischen Außen- und Blattemperatur ergibt
CO <sub>2</sub> -Diff	die über Differenzmessung zwischen Küvette und Referenzgefäß bestimmte Meßgröße für CO <sub>2</sub>
Flow	der Durchfluß durch die Küvette in [ml/min]
$\phi$	Wassergehalt $\phi$ in [g/m <sup>2</sup> ]
HWZ	Halbwertszeit
HT	wasserstoffgebundenes Tritium
HTO	wassergebundenes Tritium
H <sub>2</sub> O-Diff	die über Differenzmessung zwischen Küvette und Referenzgefäß bestimmte Meßgröße für Wasserdampf
k <sub>B</sub>	Zeitkonstante, die das Einstellen eines Gleichgewichtswerts bei der Aufnahme von Tritium ins Blatt einer Pflanze beschreibt [sec <sup>-1</sup> ]
k <sub>Xyl</sub>	wie k <sub>B</sub> , bezogen auf das Xylem im Stengel einer Pflanze
Lcuv	Lichtstärke in der Küvette
NETFOT	Nettophotosyntheserate
OBT	organisch gebundenes Tritium (organically bound tritium) Aktivitätsangaben bezogen auf Trockensubstanz
OBT ex	austauschbar organisch gebundenes Tritium
OBT nx	nicht-austauschbar organisch gebundenes Tritium

OBT mod.	nach dem verwendeten Modell berechnete Konzentration an nicht-austauschbar organisch gebundenen Tritium (OBT <sub>nx</sub> )
OBT gem.	Meßwerte für organisch gebundenes Tritium
RH	relative Luftfeuchte in [%]
w <sub>B</sub>	Wachstumsrate des Blattes [d <sup>-1</sup> ]
PAR	Photosynthetically Active Radiation
TFWT	Tritium in freiem Gewebewasser (tissue free water tritium); Aktivitätsangaben bezogen auf Wasser
TFWT gem.	Meßwerte für organisch gebundenes Tritium
TFWT mod.	nach dem verwendeten Modell errechnete Konzentration im freien Gewebewasser (TFWT)
T <sub>cuv</sub>	Temperatur in der Küvette
T <sub>leaf</sub>	Temperatur des eingespannten Blattes
T <sub>ext</sub>	externe Lufttemperatur [°C]
TRANS	Transpirationsrate [mmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> · sec]
T <sub>½</sub>	Halbwertszeit; wird dann gebraucht, wenn es sich nicht auf physikalische oder biologische HWZ eines Radionuklids bezieht
τ	Beziehung zwischen gemessener Photosyntheserate und tatsächlichem Wachstum eines Blattes
μ	Wirkungsgrad
Q <sub>ext</sub>	Lichtintensität [μE/m <sup>2</sup> · sec], außerhalb der Küvette von einem QUANTUM-Sensor registriert, im Text vereinfacht jeweils mit [μE] angegeben

## 1. Einleitung

Im Rahmen der Forschungsarbeiten zur Kernfusion kommt Tritium, das bei der Kernfusion als Brennstoff benötigt wird, eine wichtige Rolle in Bezug auf den Strahlenschutz zu. Bei Sicherheitsbetrachtungen wird die Abgabe von Tritium als HT oder HTO sowohl im Routinebetrieb als auch bei einem Störfall in Betracht gezogen. Gelangt Tritium in Form von HTO in grüne Pflanzenteile, so wird es teilweise bei der Assimilation in organische Substanzen eingebaut und kann in dieser Form mit der Nahrung in den Menschen gelangen. In dieser nicht-austauschbar organisch gebundenen Form (OBT<sub>nx</sub>) wird Tritium wesentlich langsamer vom Organismus ausgeschieden als HTO. Bei Dosisabschätzungen durch Ingestion von tritiumkontaminierter Nahrung durch die Bevölkerung wirkt sich insbesondere der Anteil an nicht-austauschbar organisch gebundenem Tritium aus und sollte bei der Dosisberechnung berücksichtigt werden.

Bisher angewandte mathematische Modelle, die bei Störfällen und beim Normalbetrieb kerntechnischer Anlagen zur Abschätzung der Tritiumkonzentration in Pflanzen verwendet werden, gehen von Jahres- oder Tagesmittelwerten aus und berücksichtigen jahres- und tageszeitliche Schwankungen nicht. Mit Hilfe von Gaswechsellmessungen an Pflanzen ist es möglich, tageszeitliche Schwankung der stomatären Blattwiderstände, der Photosynthese und der Transpiration in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen zu erfassen. Somit wäre es möglich, mit Hilfe solcher Daten, die Tritiumaufnahme in Pflanzen differenzierter und realistischer zu beschreiben.

Ein Modell, das aus den erfaßten Daten von Gaswechsellmessungen die Tritiumaufnahme ins freie Gewebewasser und in die organische Substanz ableitet, wird in dieser Arbeit vorgestellt. Dafür notwendige pflanzenphysiologische Parameter, wie Wachstumsraten von Blättern, wurden bei den Versuchspflanzen Tomate (*Lycopersicon esculentum*) und Mais (*Zea mays*) in Wachstumsversuchen bestimmt.

Um das erstellte Modell zu prüfen, wurden entsprechende Expositions-Versuche mit Tritium unter freilandähnlichen Bedingungen durchgeführt. Die Pflanzen wurden im Freien in klimatisierten Kammern aus Plexiglas mit HTO exponiert. Dabei wurden die klimatischen Parameter in den Kammern entsprechend den Bedingungen im Freien geregelt. Zum kontinuierlichen Strom der Zuluft zu den Kammern wurde das Tritiumwasser durch eine geregelte Befeuchtung zudosiert, wodurch die Pflanzen

während der Versuche einer gleichbleibenden Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte ausgesetzt waren. Proben der Pflanzen wurden zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten entnommen und auf den Gehalt an Tritium im freien Gewebewasser und in organischen Verbindungen untersucht.



## 2. Material und Methoden

### 2.1 Pflanzenaufzucht

Als Versuchspflanzen wurden ausgewählt:

**Tomate** (*Lycopersicon esculentum*):

Die Tomate ist ein "Dunkelkeimer"; für sie ist eine Keimtemperatur im Bereich von 12°C bis 33°C wichtig. Die Keimdauer beträgt dann 4-5 Tage. Jungpflanzen entwickeln sich optimal bei Tagestemperaturen von 26°C und Nachttemperaturen um 20°C. Der Mittelwert für eine gute Entwicklung bei älteren Pflanzen liegt am Tag bei 23°C und in der Nacht bei 17°C.

**Mais** (*Zea mays*) :

Die Keimdauer für Mais beträgt 8-10 Tage. Die Temperaturen für eine gute Entwicklung der Pflanzen liegen am Tag bei 23°C bis 26°C und in der Nacht bei 17°C bis 20°C. Bei Mais handelt es sich im Gegensatz zur Tomate um C<sub>4</sub>-Pflanzen. Diese fixieren CO<sub>2</sub> als C<sub>4</sub>-Baustein (z.B. Malat) selbst bei extrem geringen Angebot an CO<sub>2</sub>. Andere Pflanzen (z.B. Tomate) wandeln über einen C<sub>3</sub>-Baustein (Glyceratphosphat), als erstes Zwischenprodukt, CO<sub>2</sub> in Zucker um.

Als Pflanzenerde wird eine Mischung aus gleichen Teilen Lehm- und Humuserde gewählt. Täglich werden die Pflanzen mit Gießwasser versorgt, wobei ein Vollwertdünger (Wuxal 8-8-6 super) in der Verdünnung 1:1000 zugegeben wird. Es handelt sich dabei um ein Düngemittel mit Ammoniumnitrat der Gruppe D II. Seine Bestandteile sind:

8 % N	Gesamtstickstoff, wobei	2 %	Carbamidstickstoff
		3,7 %	Ammoniumstickstoff
		2,3 %	Nitratstickstoff
8 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	wasserlösliches Phosphat		
6 % K <sub>2</sub> O	wasserlösliches Kaliumoxid		

sowie Spurennährstoffe, Chelatbildner, Wachstumshormon, Vitamin B1.

Nach 10 Wochen haben Tomate und Mais die für die Expositionsversuche notwendige Höhe von ca. 60 cm erreicht.

## 2.2 Die Gaswechselmeßanlage (Miniküvetten-System)

Photosynthese und Transpiration wurden mit einer transportablen Gaswechselmeßanlage von der Firma H.Walz (Effeltrich) bestimmt, wobei die entscheidenden Klimafaktoren mit der Anlage geregelt werden können. Das zu untersuchende Objekt (z.B. ein Pflanzenblatt) wird in eine Plexigalküvette (Volumen ca. 1 l) eingespannt, in der die Temperatur über ein Kühlaggregat, die Eingangsfeuchte über einen externen Meßgaskühler und die Lichtstärke über den Abstand einer Leuchte geregelt werden kann. Sehr wesentlich ist, daß die Kammer gut abgedichtet wird, so daß ein konstanter Durchfluß (Flowrate) garantiert ist, der am Steuergerät über Massendurchflußmesser geregelt werden kann. Über eine Differenzmessung zu dem in Volumen und zuführenden Leitungsbahnen abgestimmten Referenzgefäß wird zuerst die Differenz der  $H_2O$ -Konzentration über Absorption von Infrarotlicht, und, nachdem das  $H_2O$  sich an einem internen Meßgaskühler niedergeschlagen hat, die  $CO_2$ -Konzentrationsdifferenz beider Ströme registriert.

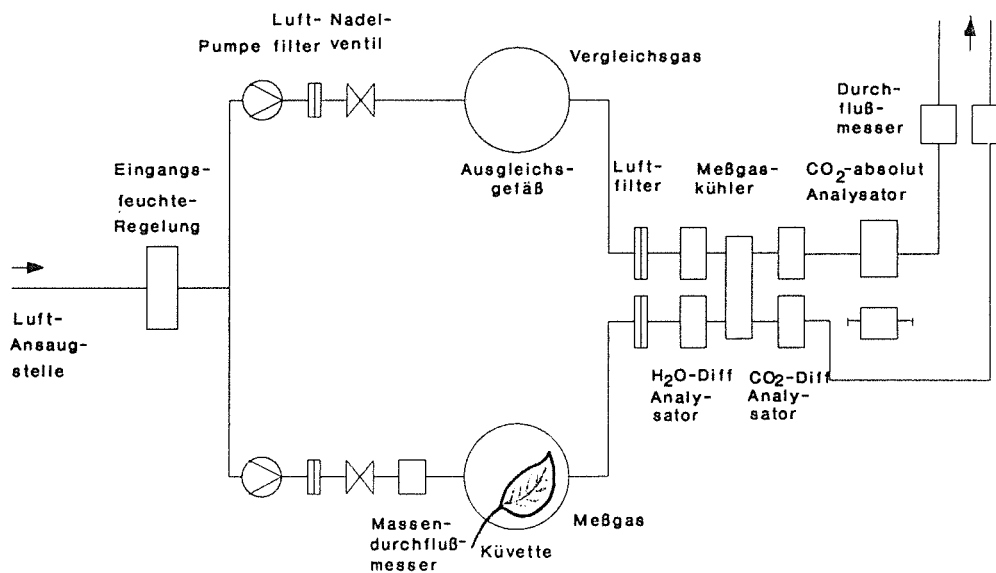


Abb.1 : Meßprinzip des Kompakt Miniküvetten-Systems [aus LANGE 1984]

Eine Zentraleinheit (CMS 400) registriert alle Meßdaten und speichert sie in Datensätzen zu 12 Kanälen, die mit dem Datenanalyseprogramm DIAGAS [WALZ 1989] weiterverarbeitet und analysiert werden.

## 2.3 Versuchsaufbau

In einer aus Plexiglas gefertigten Expositionsbox, die in der Nähe der Klimakammer im Außengelände aufgestellt ist, werden die Pflanzen jeweils für 28 bzw. 30 Stunden (Versuch 3.1/3.2) oder für 12 Stunden (Versuch 3.3/3.4) mit Tritium in oxidierter Form (HTO) begast.

Zu diesem Zweck wird in der Klimakammer HTO in vorgegebener Konzentration einem Trägerluftstrom (Außenluft) von ca. 30 l/min zugemischt und durch die Expositionsbox geleitet. Anschließend wird die Abluft in die Klimakammer abgesaugt und über den Abluftkamin abgegeben, nachdem das darin noch vorhandene Tritium in zwei Bubbleranordnungen ausgewaschen wurde. Über zwei Tritiummonitore (Fa. Berthold, Wildbad) wird einerseits die Raumluft der Klimakammer (Mon I), andererseits die Aktivität im Mischgefäß überwacht (Mon II). Abb.2 zeigt den Versuchsaufbau mit der Gaswechselmeßanlage:

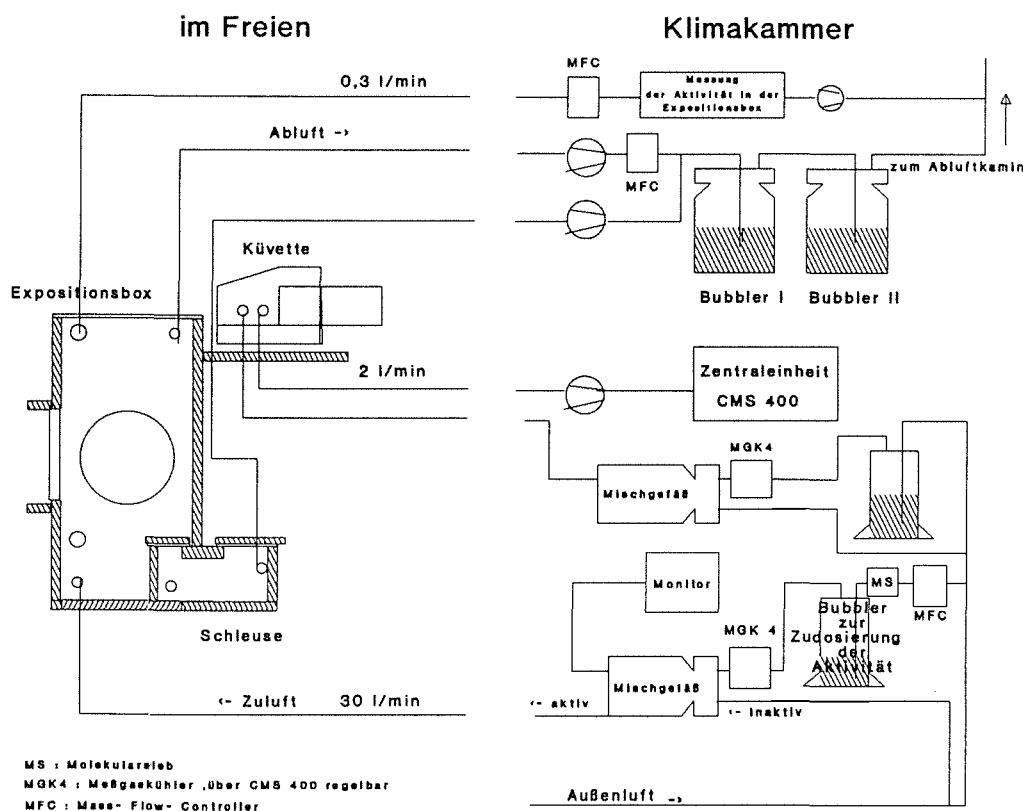


Abb.2: Versuchsaufbau für die Versuche unter Freilandbedingungen

Die Expositionsbox wird auf Unterdruck gehalten. Manipulationen, wie die Entnahme von Pflanzenmaterial während des Versuchs, sind über Handschuhöffnungen möglich. Die entnommene Probe wird in der Schleuse in flüssigem Stickstoff tiefgefroren und kann, nachdem die Schleusenluft umgewälzt ist, entnommen werden.

Um die Photosynthese- und Transpirationsrate der Pflanze während des Versuchs zu messen, wird repräsentativ für die Pflanze ein Pflanzenblatt aus der Expositionsbox über Moosgummidichtungen nach außen geführt und mit der Küvette der Gaswechselmeßanlage untersucht. In der Küvette wird dabei die Temperatur kontinuierlich nachgeregelt, welche in der Expositionsbox mit einem externen Temperaturfühler gemessen wird. Zusätzlich wird über den freien Kanal des Mini-küvetten-Systems (Ch12) die relative Feuchte in der Expositionsbox mit einem Feuchtemesser (Fa. Rotronic) erfaßt. Durch einen externen Meßgaskühler (MGK 4) wird dafür gesorgt, daß die relative Feuchte in der Küvette mit der der aktiven Zuluft der Expositionsbox übereinstimmt.

Durch eine mit Tritiumstandard (HTO) gefüllte Waschflasche wird 1,4 l/min trockene Luft geleitet. Der externe Meßgaskühler (MGK 4) garantiert, daß zu 50 % gesättigte Luft zur inaktiven Außenluft zudosiert wird. Das dabei anfallende Kondensat wird gesondert gesammelt. In der Expositionsbox sorgt ein Ventilator für homogene Verteilung von HTO und garantiert, daß sich der durch Transpiration der Pflanze zusätzlich freiwerdende Wasserdampf auch bei hoher Luftfeuchte gleichmäßig in der Box verteilt. Der tritiumhaltige Luftstrom wird in dichten Polyethylen-Schläuchen geführt. Aus der Expositionsbox wird über eine Pumpe und einen Massendurchflußregler (MFC) 0,3 l/min tritiumhaltige Luft entnommen und durch ein mit 15 ml hygroskopischen Szintillationscocktail (Fa. Zinsser: "QUICKSAFE A") gefülltes Vial geleitet.

## 2.4 Probenentnahme und Probenaufarbeitung

Um zu verhindern, daß sich zwischen Probenentnahme und Probenaufarbeitung durch Stoffwechselfvorgänge oder Diffusionsprozesse der Gehalt an Tritium verändert, wird das abgetrennte Pflanzenteil sofort in flüssigen Stickstoff getaucht und bis zur Aufarbeitung tiefgekühlt.

Der Versuchsaufbau ermöglicht das Entnehmen von relativ großen Probenmengen (mg-Bereich), so daß das wassergebundene Tritium mit der Methode der Gefrier-trocknung bestimmt werden kann. Dabei wird an die tiefgefrorene Probe ein Vakuum angelegt und das freiwerdende HTO in Kühlfallen bei ca.  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufgefangen. Danach wird die getrocknete Pflanzenprobe mit inaktivem Wasserdampf 4 Tage gespült, so daß austauschbares Tritium über Diffusion entweicht und in einer Kühlfalle gesammelt werden kann.

Abschließend wird die Aktivität des nicht austauschbaren Tritiums (OBT nx) nach Verbrennung der Trockensubstanz über die Aktivität des Verbrennungswassers bestimmt. Zur Verfügung steht ein Verbrennungsautomat "306" der Firma Packard, bei dem die Proben, aufgebracht auf ein Platinkörbchen, bei ca.  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  unter reinem  $\text{O}_2$ -Strom in einem Quarzglasgefäß verbrannt und die Verbrennungsprodukte in Szintillationscocktail (Fa.Zinsser: "QUICKSAFE A") in einem Vial gesammelt werden.

Die Tritiumaktivität der Proben wird mit Hilfe eines Flüssigszintillations-zählers der Firma Beckman (LS 9800) bestimmt.



### 3. Modell tageszeitlicher Schwankungen der Tritiumaufnahme von Pflanzen

Befindet sich Tritium in der Atmosphäre, so kann es indirekt über den Boden oder direkt über die Blätter in die Pflanze gelangen. Abb.3 zeigt die verschiedenen Wege der Aufnahme mit den Parametern, die die Aufnahme beeinflussen:

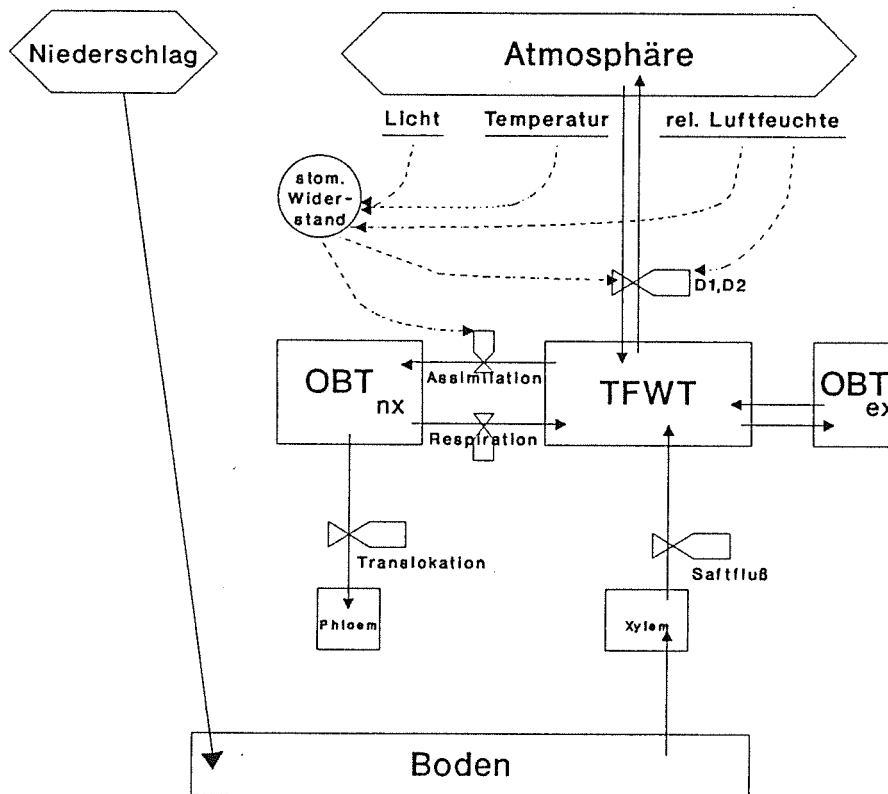


Abb.3: Das Kompartimentmodell

Tritium, das in Form von HTO über den Boden oder durch Diffusion ( $D_1$  und  $D_2$ ) aus der Luftfeuchte von der Pflanze aufgenommen wird, verteilt sich in unterschiedliche Kompartimente:

- \* als HTO in freiem Gewebewasser - TFWT (tissue free water tritium)
- \* als an organisches Material gebundenes Tritium - OBT (organically bound tritium).

Man kann weiter unterscheiden zwischen

- \* austauschbarem Tritium OBT<sub>ex</sub>, das sehr leicht durch Dissoziation gegen Wasserstoff ausgetauscht werden kann und
- \* Tritium, welches gebunden an ein C-Atom Austauschprozessen standhält (OBT<sub>nx</sub>).

### 3.1 Die Aufnahme ins freie Gewebewasser (TFWT)

Grundlage für ein Modell, das tageszeitliche Schwankungen berücksichtigt, bilden die Arbeiten von BELOT et al., die bereits 1979 die HTO-Aufnahme aus der Luftfeuchte mit Hilfe des Fick'schen Gesetz quantitativ beschrieben haben.

Aus der relativen Luftfeuchte, der Sättigungsfeuchte der Luft, des Wassergehaltes des Blattes  $\phi$  und des Blattwiderstandes  $r$  läßt sich für die Kinetik der HTO-Aufnahme ableiten:

$$(3.1.1.) \quad C_{\text{TFWT}} = \alpha \cdot \text{RH} \cdot C_{\text{A}} \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

wobei RH = rel. Luftfeuchte

$C_{\text{A}}$  = spez.Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte in [Bq/ml]

$$\text{und } k_{\text{B}} = 0.9 \frac{\text{Sättigungsfeuchte}}{\phi \cdot r}$$

Sättigungsfeuchte in [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]

Wassergehalt  $\phi$  in [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ]

Blattwiderstand  $r$  in [sec/cm]

Der Diskriminationsfaktor  $\alpha$  berücksichtigt die auf dem relativ großen Masseunterschied zwischen  $\text{H}_2\text{O}$  und HTO basierenden unterschiedlichen Diffusionseigenschaften der Moleküle beim Übergang zwischen Flüssig- und Gasphase. SEPALL und MASON (1960) verglichen den Tritiumanteil in der flüssigen Phase mit dem der Gasphase und leiten für  $\alpha$  ein Wert von 1,1 ab. Nach dieser Beschreibung hängt der Gleichgewichtswert für die HTO-Konzentration nur von der rel. Luftfeuchte ab, die Zeit bis zum Erreichen der Gleichgewichtskonzentration hängt jedoch von der Beschaffenheit des Blattes ab.



Analog zum elektrischen Widerstand kann der Blattwiderstand  $r$  berechnet werden :

$$(3.1.2) \quad \text{Blattwiderstand } r = \frac{\text{Potentialdifferenz (ALVPD)}}{\text{Transpirationsstrom}}$$

Nimmt die Pflanze darüber hinaus kontaminiertes Gießwasser aus dem Boden auf, so gilt für den sich einstellenden Gleichgewichtswert, falls sie gut mit Bodenwasser versorgt wird [ STRACK 1982 ]:

$$(3.1.3) \quad C_{\text{TFWT}} = \alpha \cdot \text{RH} \cdot C_{\text{A}} + (1-\text{RH}) C_{\text{S}}$$

wobei  $C_{\text{S}}$  = spez. Tritiumkonzentration im Bodenwasser  
 $C_{\text{A}}$  = spez. Tritiumkonzentration in der Atmosphäre  
 RH = rel. Feuchte  
 $\alpha$  = Diskriminationsfaktor nach SEPALL und MASON (1960)

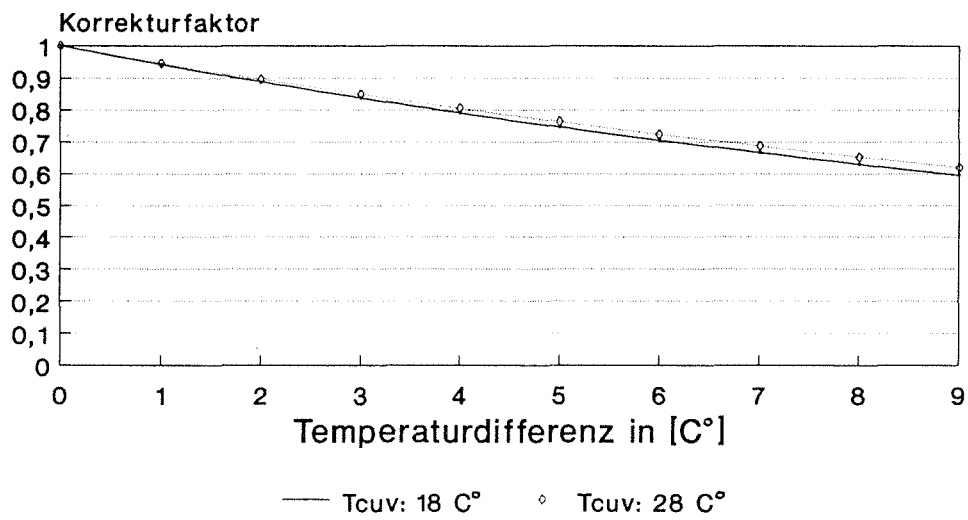
MURPHY (1984) weist darauf hin, daß der Temperaturunterschied zwischen Außentemperatur und Blattoberfläche bei genauer Modellierung berücksichtigt werden muß, da sich bei hoher Sonneneinstrahlung die Blattoberfläche relativ zur herrschenden Außentemperatur erwärmt. Die in der Atmosphäre gemessene rel. Luftfeuchte muß auf diesen Sättigungsdampfdruck bezogen werden, was durch eine Modifizierung von Formel 3.1.1 durch einen von der Temperaturdifferenz ( $T_{\text{cuv}} - T_{\text{leaf}}$ ) bestimmten Korrekturfaktor  $\beta$  geschieht:

$$(3.1.4) \quad C_{\text{TFWT}} = \alpha \cdot \beta \cdot \text{RH} \cdot C_{\text{A}} \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

Tageszeitlich abhängige Größen sind darin die relative Luftfeuchte **RH**, der von der Sonneneinstrahlung abhängige Korrekturfaktor  $\beta$  und bei der Berechnung von  $k$ , die **Sättigungsfeuchte** und der Blattwiderstand  $r$ .

Versuche, bei denen in regelmäßigen Abständen über den Tag verteilt Blattproben genommen wurden, konnten nicht zeigen, daß der Wassergehalt der Blätter einer

mit genügend Gießwasser versorgten Pflanze von der Tageszeit abhängig ist. Für verschiedene Außentemperaturen kann der Korrekturfaktor  $\beta$  über das Verhältnis der Sättigungsdampfdrücke bei den entsprechenden Temperaturen errechnet werden.



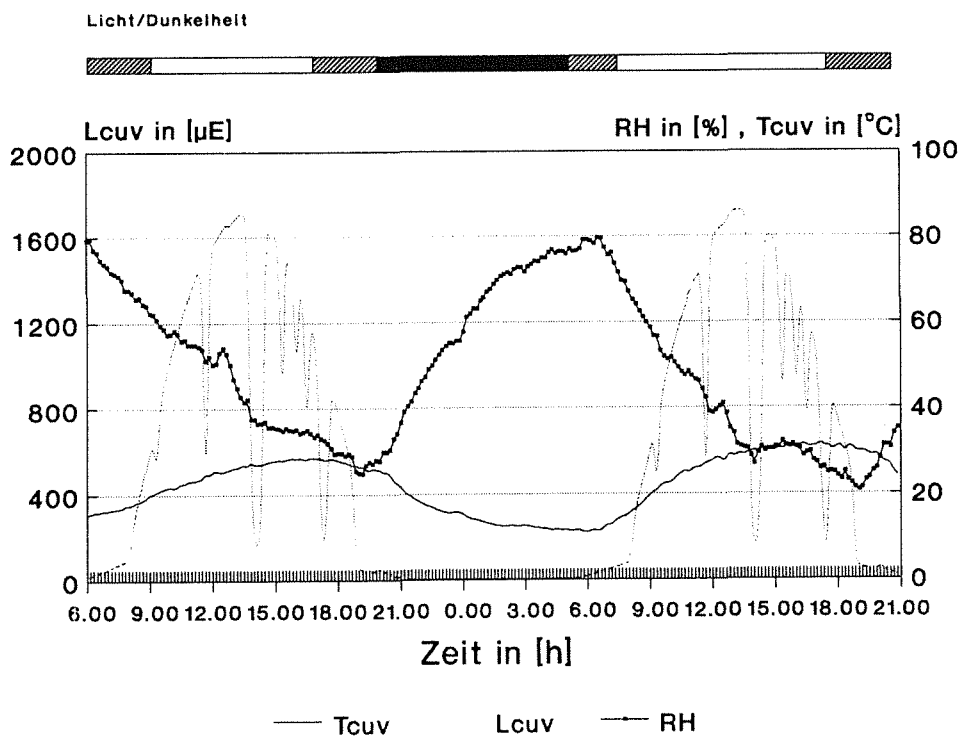
Angaben über Sättigungsdampfdruck nach  
H.Kuchling, Verlag Harry Deutsch, 1986

Abb.4: Korrekturfaktor  $\beta$  zur Berücksichtigung von Temperaturunterschieden zwischen  $T_{cuv}$  und  $T_{leaf}$  für 2 Außentemperaturen: 18 °C und 28 °C

### 3.1.1 Numerisches Verfahren zur Berechnung der sich im freien Gewebewasser einstellenden Tritiumkonzentration

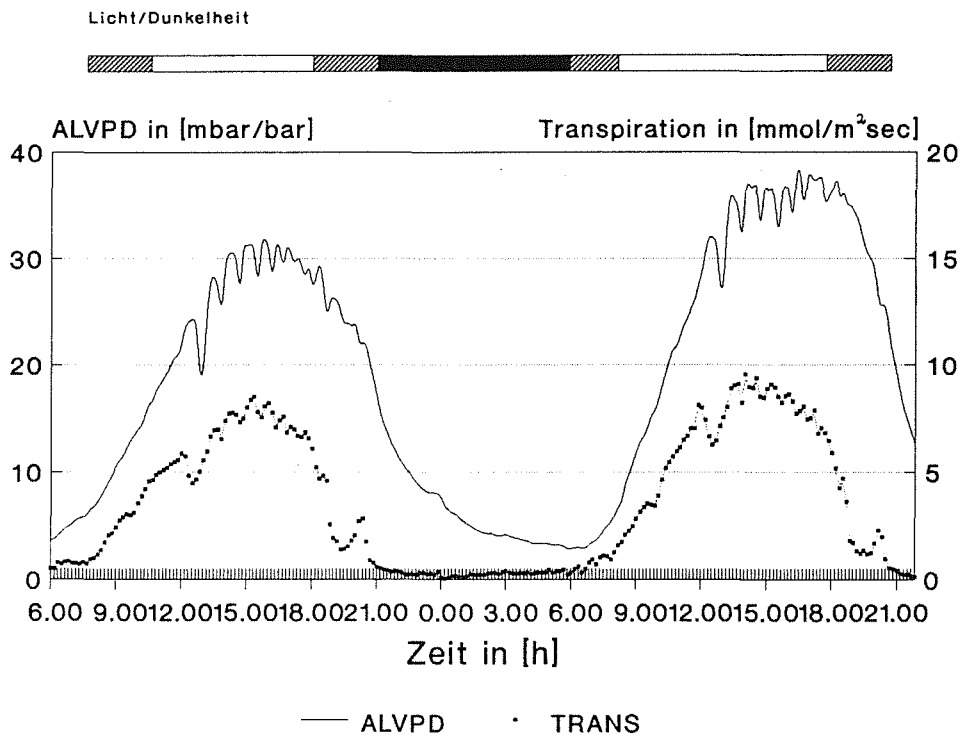
Für eine Modellierung müssen die in Formel 3.1.4 tageszeitlich abhängigen Größen aufgezeichnet und außerdem der Wassergehalt der Blätter für die betreffende Pflanze bestimmt werden.

Anhand eines mit dem Miniküvetten-system aufgezeichneten Schönwettertags am 13/14. Juli sollen für ein Tomatenblatt die einzelnen Rechenschritte erläutert werden. Die wichtigsten klimatischen Parameter im Verlaufe dieses Tages sind in Abbildung 5 wiedergegeben. Abbildung 6 zeigt die Verläufe der Transpiration und des ALVPD.



13.07.90 , *Lycopersicon esculentum*

Abb.5: Lichtstärke, Temperatur und relative Feuchte an einem Schönwettertag (13/14.07.90)



13.07.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.6: Verlauf des registrierten ALVPD und der Transpirationsrate an einem Schönwettertag

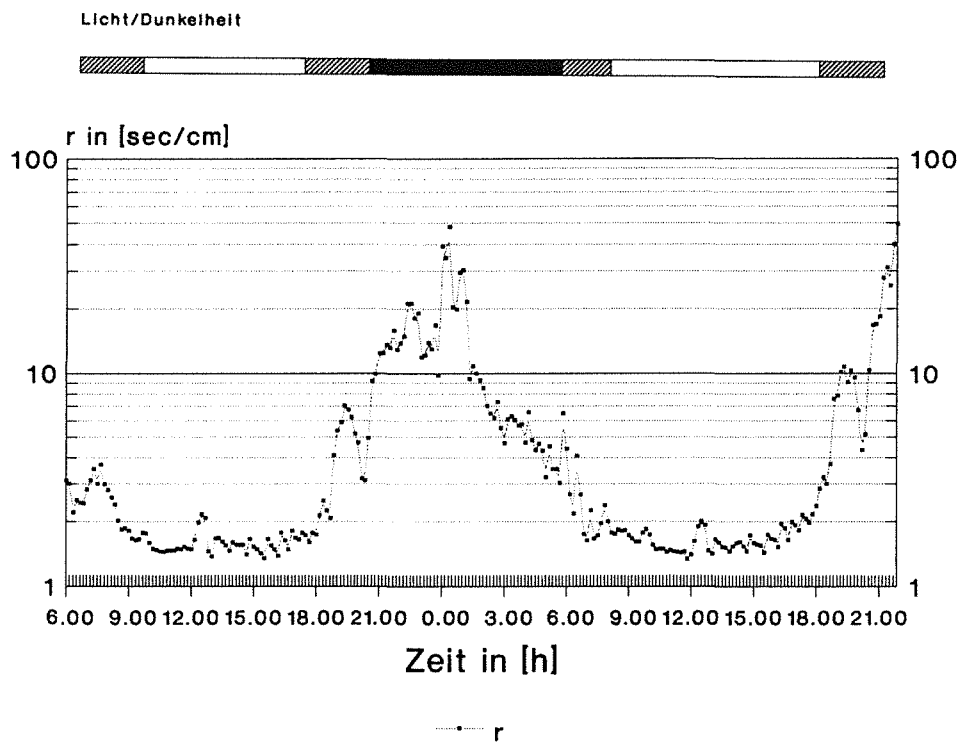
Nach Gleichung 3.1.2 kann der Blattwiderstand  $r$  errechnet werden als:

$$(3.1.1.1) \quad r' = \frac{\text{ALVPD [mbar/bar]}}{\text{Transpirationsrate [mmol/m}^2 \cdot \text{sec]}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{sec/mol}]$$

Den Blattwiderstand  $r$  erhält man, indem das Molvolumen von Wasser bezogen auf aktuellen Luftdruck und Temperatur, mit einbezieht (siehe 9.2.2):

$$(3.1.1.2) \quad r = \frac{r' \quad [\text{m}^2 \cdot \text{sec/mol}] \cdot \text{Molvolumen [m}^3/\text{mol]} \cdot 100 [\text{cm/m}]}{[\text{sec/cm}]}$$

In Abbildung 7 ist der Verlauf des berechneten Blattwiderstandes bei der Tomate für den gesamten Tag wiedergegeben.



13.07.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.7: Berechneter Blattwiderstand eines Tomatenblattes am 13/14. Juli 1990

Der in Formel 3.1.2 aufgeführte Parameter  $k_B$ , der für das Erreichen des Gleichgewichtswerts verantwortlich ist, kann ermittelt werden aus:

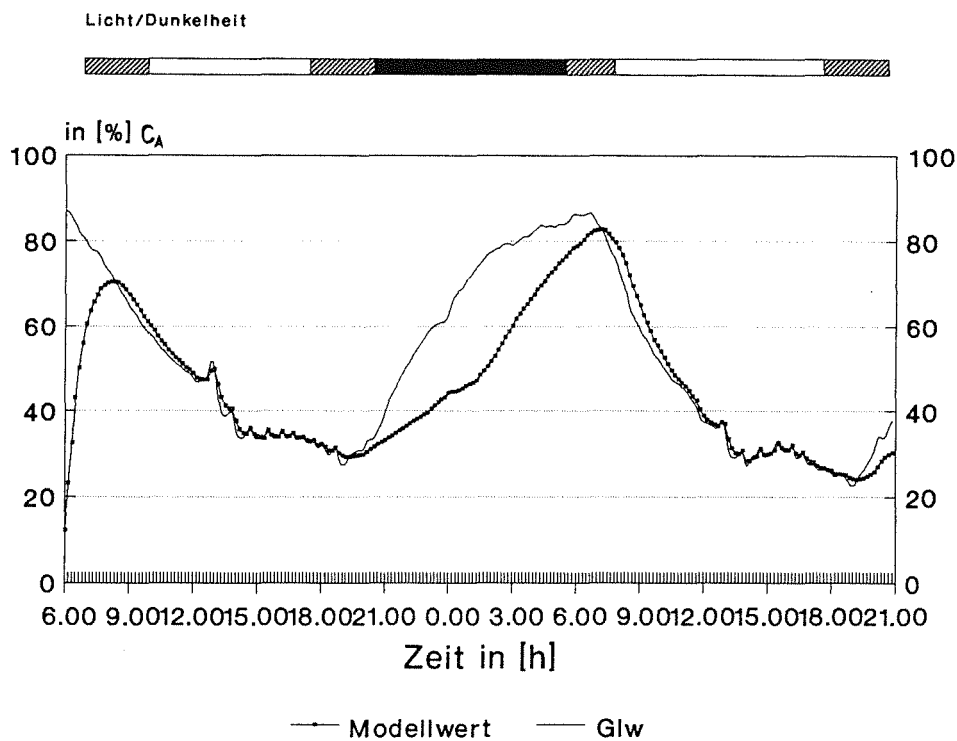
$$(3.1.1.3) \quad k_B = 0,9 \frac{\text{Sättigungsfeuchte} \quad [g/m^3] \cdot 10^{-6} [m^3/cm^3]}{\text{Wassergehalt } \phi \quad [g/cm^2] \cdot r \text{ in [sec/cm]}} \quad [1/sec]$$

Nach Formel 3.1.4 kann also für einen vorgegebenen Tagesgang aus der relativen Luftfeuchte und der Außen- und Blattemperatur ein Gleichgewichtswert  $G_{lw}$

errechnet werden, der sich einstellen würde, falls Tritium ungehindert (Blattwiderstand = 0) die Blattoberfläche passieren könnte:

$$(3.1.1.4) \quad \text{Glw} = 1,1 \cdot \beta \cdot \text{RH} \cdot C_A$$

Möchte man zusätzlich den Blattwiderstand  $r$  berücksichtigen, so lassen sich durch ein numerisches Verfahren nach Formel 3.1.4 Modellwerte für die Tritiumaufnahme aus der Luftfeuchte berechnen. Der errechnete Gleichgewichtswert und der diese Weise bestimmte Modellwert sind im Zusammenhang in Abbildung 8 dargestellt.



13.07.90 , Lycopersicon esculentum

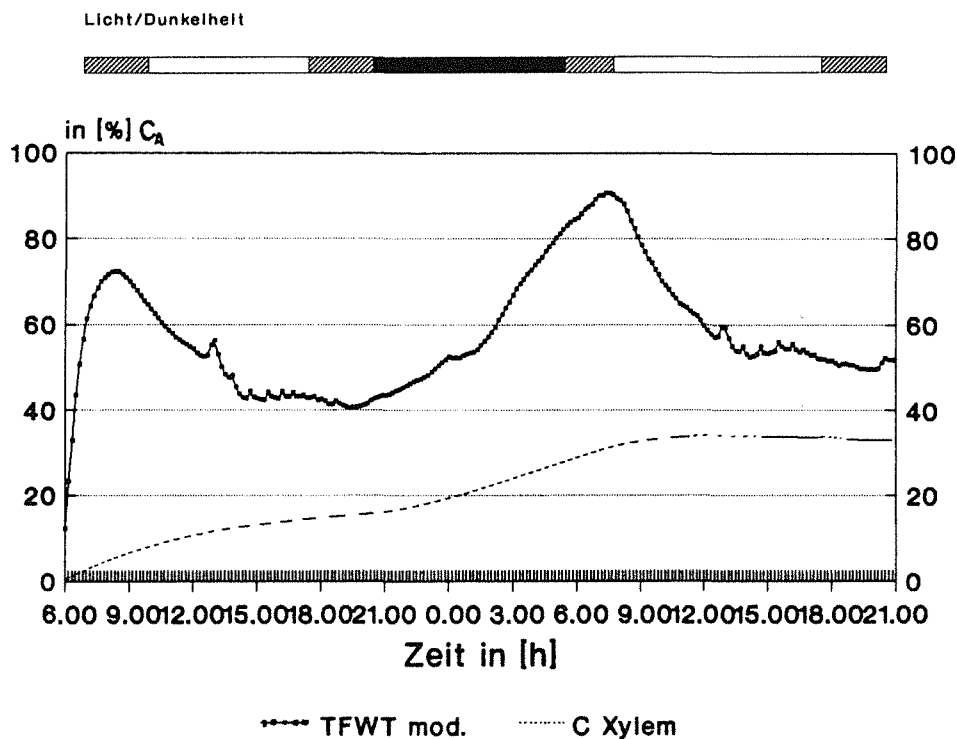
Abb.8: Gleichgewichtswert und numerisch bestimmter Modellwert für TFWT

Dieses Modell wird im experimentellen Teil dieser Arbeit auf seine Anwendbarkeit in bezug auf tageszeitliche Schwankungen geprüft. Dafür sind relativ lange Expositionszeiten (bis 30 h) notwendig. In diesem Fall ist zu berücksichtigen, daß im Verlauf des Versuches die Tritiumkonzentration im Xylem der Pflanze, bedingt durch Diffusion oder Aufnahme, über den Stengel ansteigt. Die sich im Xylem einstellende Tritiumkonzentration  $C_{Xyl}$  läßt sich im Prinzip nach Formel 3.1.1.5 berechnen, jedoch wird der Exponent von einer wesentlich kleineren Zeitkonstante  $k_{Xyl}$  bestimmt.

Nach Formel 3.1.3 kann die ermittelte Tritiumkonzentration  $C_{Xyl}$  unter Berücksichtigung der relativen Luftfeuchte und dem Korrekturfaktor  $\beta$  zum Modellwert addiert werden.

$$(3.1.1.6) \quad \text{TFWT mod.} = \text{Modellwert} + (1 - RH \cdot \beta) \cdot C_{Xyl}$$

Abb.9 zeigt den Verlauf der berechneten Tritiumkonzentration im Xylem der Pflanze und den aus 3.1.1.6 resultierenden Wert TFWT mod. für die Tritium-Aufnahme ins Blatt.



13.07.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.9: berechnete Tritiumkonzentration im Xylem und ermittelte Werte für TFWT mod.

### 3.2 Der Einbau in austauschbares OBT

Die Begasungsversuche von M. ROLLER (1989) haben gezeigt, daß der Einbau von Tritium in organische Substanz durch Isotopenaustausch, ebenso wie der Rückaustausch, sehr rasch abläuft.

Geht man davon aus, daß die für einen Austausch zugänglichen Wasserstoffatome organischer Moleküle im Austauschgleichgewicht mit dem Wasserstoff des umgebenden freien Gewebewassers stehen, dann gilt:

$$(3.2.1) \quad C_{\text{OBT ex}} = R_{\text{ex}} \cdot C_{\text{TFWT}}$$

darin bedeutet:

$R_{\text{ex}}$  = Anteil der austauschfähigen H-Atome an der Gesamtzahl der in organischen Molekülen gebundenen H-Atome (ca. 20%)

$R_{\text{ex}}$  ist von diurnalen Schwankungen unabhängig, so daß aus dem numerisch bestimmten Modellwert (3.1.1.5) direkt unter Berücksichtigung von  $R_{\text{ex}}$  ein Modellwert für das austauschbar organisch gebundene Tritium abgeleitet werden kann.



### 3.3 Der Einbau in nicht austauschbares OBT

Der Einbau von Tritium in nicht austauschbare Positionen der organischen Substanz wird durch die Nettophotosyntheserate der Pflanze bestimmt, die sich im Wachstum äußert. Für die sich in der Pflanze im Laufe der Zeit einstellende Konzentration an OBT  $n_x$  gilt nach M.ROLLER (1989):

$$(3.3.1) \quad C_{\text{OBT } n_x} = (1-R_{\text{ex}}) \cdot C_{\text{TFWT}} \cdot (1 - e^{-w \cdot t})$$

wobei

$(1-R_{\text{ex}})$  = Anteil der nicht austauschbaren H-Atome an der Gesamtzahl der in organischer Substanz vorhandenen H-Atome (ca. 80 %)

und

$$\text{Wachstumsrate } w = \frac{\text{Zunahme der Biomasse [g/m}^2 \cdot \text{sec]}}{\text{vorhandene Biomasse [g/m}^2\text{]}} \quad [1/\text{sec}]$$

Nach Formel 3.3.1 gibt es analog zur Tritiumaufnahme ins freie Gewebewasser eine maximal mögliche Tritiumkonzentration im OBT  $n_x$ , die bestimmt wird von der Zahl der nicht austauschbaren H-Atome in organischer Substanz, von der Tritiumkonzentration im freien Gewebewasser, und von der Wachstumsrate, die das Erreichen dieser maximal möglichen Konzentration beeinflusst. Geht man davon aus, daß die Substanzproduktion einer Pflanze im wesentlichen von der Assimilation abhängt, so kann durch Messung der tageszeitlich abhängigen Nettophotosyntheserate auf die Wachstumsrate der Pflanze geschlossen und der Einbau in nicht austauschbares organisch gebundenes Tritium modelliert werden:

$$(3.3.2) \quad w = \frac{\tau \text{ (NETFOT [g/cm}^2\text{sec])}}{\text{Trockengewicht [g/cm}^2\text{]}} \quad [1/\text{sec}]$$

und

$$\text{NETFOT [g/cm}^2\text{sec])} = \frac{\text{NETFOT } [\mu\text{mol/m}^2\text{sec}] \cdot 30 \text{ [g}_{\text{C H O}}/\text{mol}_{\text{CO}}]}{10^6 \cdot 10^4 \text{ [m}^2/\text{cm}^2\text{]}}$$

### 3.3.1 Numerisches Verfahren zur Berechnung der Tritiumaufnahme in nicht austauschbares OBT

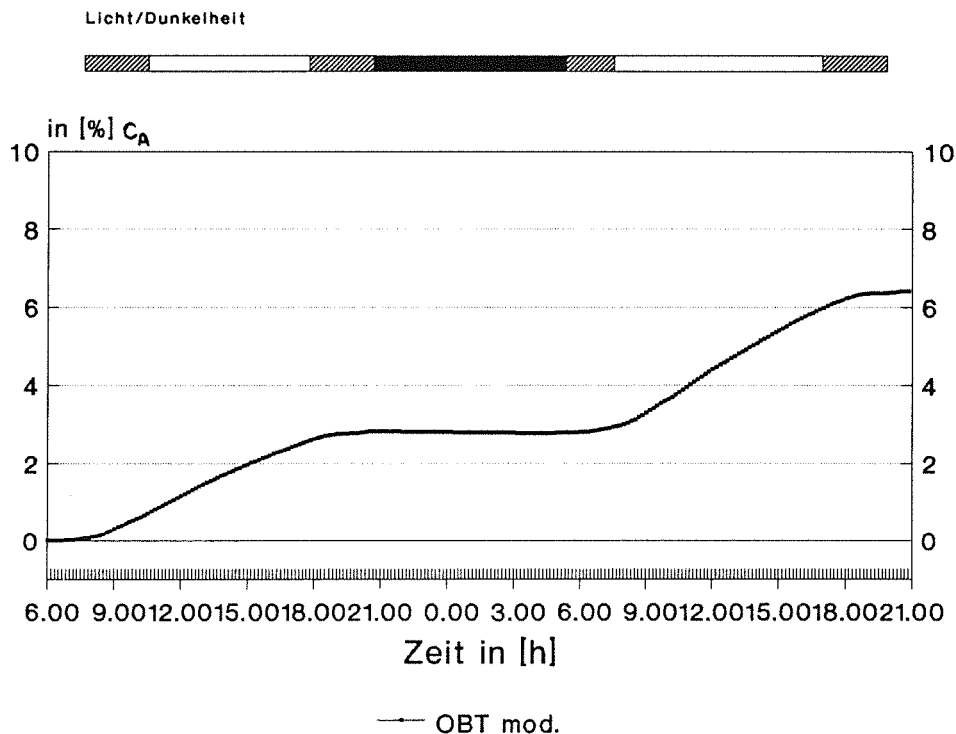
Ist der Zusammenhang  $\tau$  zwischen Nettophotosyntheserate und Wachstumsrate einer Pflanze bekannt (siehe 4.1), dann gilt für den Einbau von Tritium ins OBT  $n_x$  innerhalb eines kurzen Zeitraums  $\delta t$  nach Formel 3.3.1:

$$(3.3.1.1) \quad C_{\text{OBT } n_x} \cdot \delta t = (1-R_{\text{ex}}) \cdot C_{(\text{TFWT})} \cdot w \cdot \delta t$$

Numerisch lassen sich daraus für einen vorgegebenen Tagesgang die Tritiumkonzentration im OBT  $n_x$  als Integral der in den einzelnen Zeitintervallen  $\delta t$  umgesetzten Konzentrationen ermitteln. Es gilt:

$$(3.3.1.2) \quad C_{\text{OBT } n_x}(t) = \int_{t_0}^{t_n} C_{\text{OBT } n_x} \cdot \delta t$$

Die berechneten Modellwerte anhand des Schönwettertages zeigt Abbildung 10.



13.07.90 , *Lycopersicon esculentum*

Abb.10: Modellwerte OBT mod. bezogen auf 100%  $C_A$  bei einem Schönwettertag (13/14.07.90)

#### 4. Bestimmung pflanzenphysiologischer Parameter

##### 4.1 Zusammenhang zwischen Photosyntheserate und Wachstumsrate

In einer ersten Reihe von Versuchen wurden die vom Meßgasküvetten-system registrierten Photosyntheseraten für Mais und Tomate mit dem tatsächlichen Biomassezuwachs der Blätter verglichen, da diese Abhängigkeit  $\tau$  für eine Modellierung des Tritiumeinbaus in nicht austauschbares OBT bekannt sein muß. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, daß die Wachstumsrate der Pflanze linear von der Photosyntheserate abhängt.

###### 4.1.1 Versuchsbedingungen

Die Pflanzen werden in einer begehbaren Pflanzenwuchskammer kultiviert, wobei Messungen mit der Gaswechselmeßanlage in der Kammer durchgeführt werden. Das Klima kann in dieser Kammer annähernd entsprechend den gewünschten Bedingungen eingestellt werden. Abb. 11 zeigt die Klimaverhältnisse, die in der ganzen Zeit während der Versuche eingestellt waren. Das Licht ist 16 Stunden eingeschaltet. Davon herrscht 10 Stunden die Beleuchtungsstärke von 7200 lux ( $\approx L_{cuv} = 68\mu E$ ) und 2 1/2 und 3 1/2 Stunden, entsprechend der Dämmerungshelligkeit, eine Beleuchtungsstärke von 1000 lux. Die Nacht dauert 8 Stunden. Die Temperatur

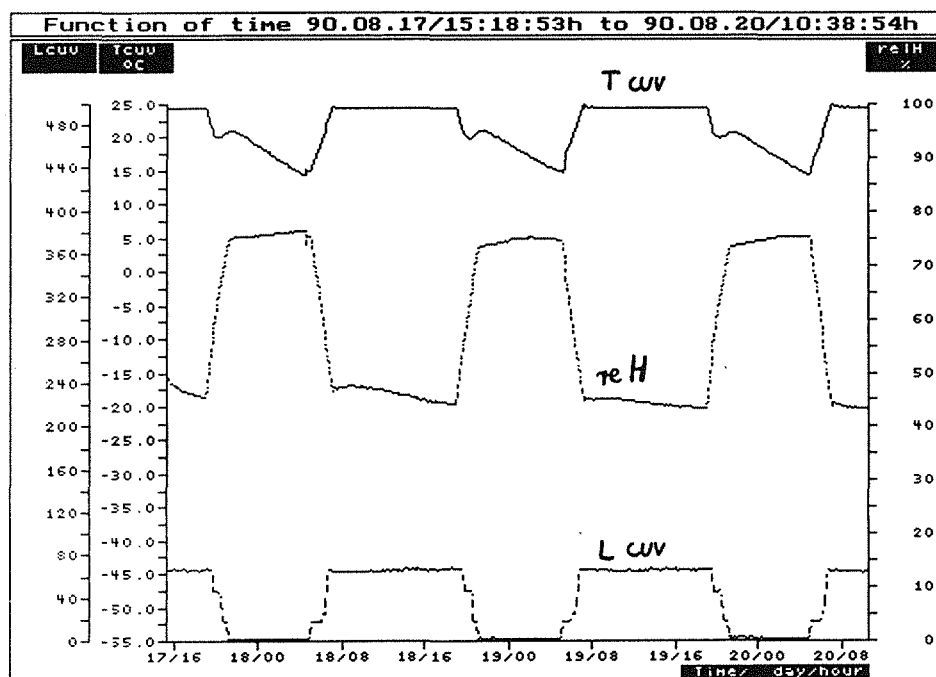
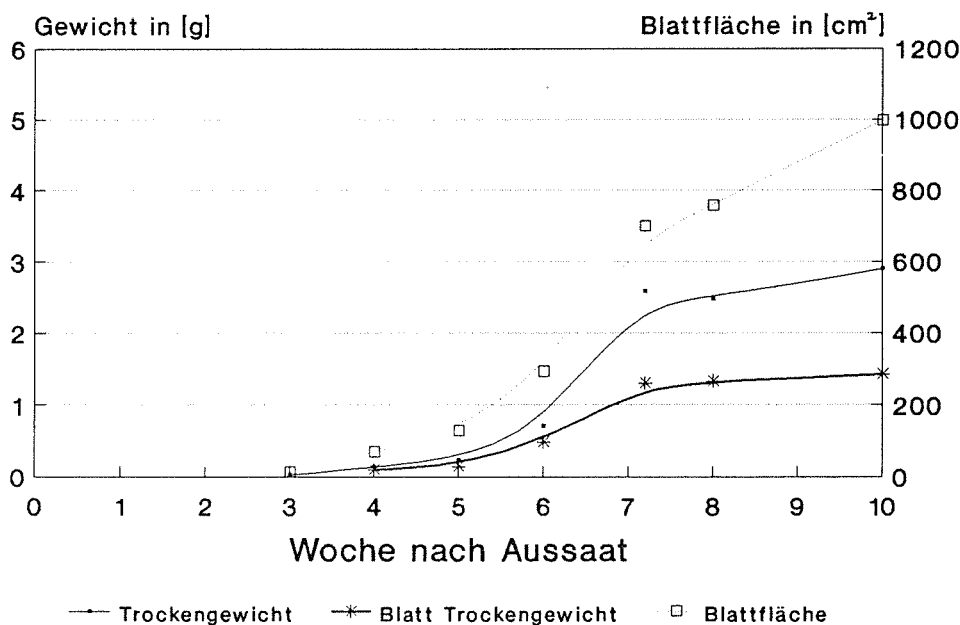


Abb.11: Klimabedingungen für Versuch 4.1.2 und Versuch 4.1.3

beträgt 23°C am Tag und 14°C in der Nacht. Die Luftfeuchtigkeit wird am Tag auf 50 % relative Luftfeuchte und in der Nacht auf 80 % relative Luftfeuchte geregelt. Die Pflanzen wurden am 22.06.90 gesät. Die Keimung erfolgte bei beiden Arten ab dem 26.06.90. Daraufhin wurden mehrere Töpfe mit jeweils drei Pflanzen einer Art in ein Gemisch aus Humusboden und Lehm bepflanzt und in die begehbare Pflanzenwuchskammer mit den geregelten Klimabedingungen gestellt. Da leider keine homogene Verteilung des Lichts über alle Versuchspflanzen garantiert werden kann, werden die Pflanzen nach einem Rotationsprinzip ausgetauscht. Ab der zweiten Woche nach ihrer Keimung wurden wöchentlich für beide Arten das Frischgewicht, die Blattfläche, das Trockengewicht der ganzen Pflanze und nur der Blätter bestimmt. Zusätzlich wurden ab der dritten Woche nach der Keimung von beiden Pflanzenarten wöchentlich Tagesgänge mit Hilfe der Gaswechselmeßanlage gemessen.

#### 4.1.2 Zusammenhang zwischen Nettphotosyntheserate und Wachstum für Tomate und Mais

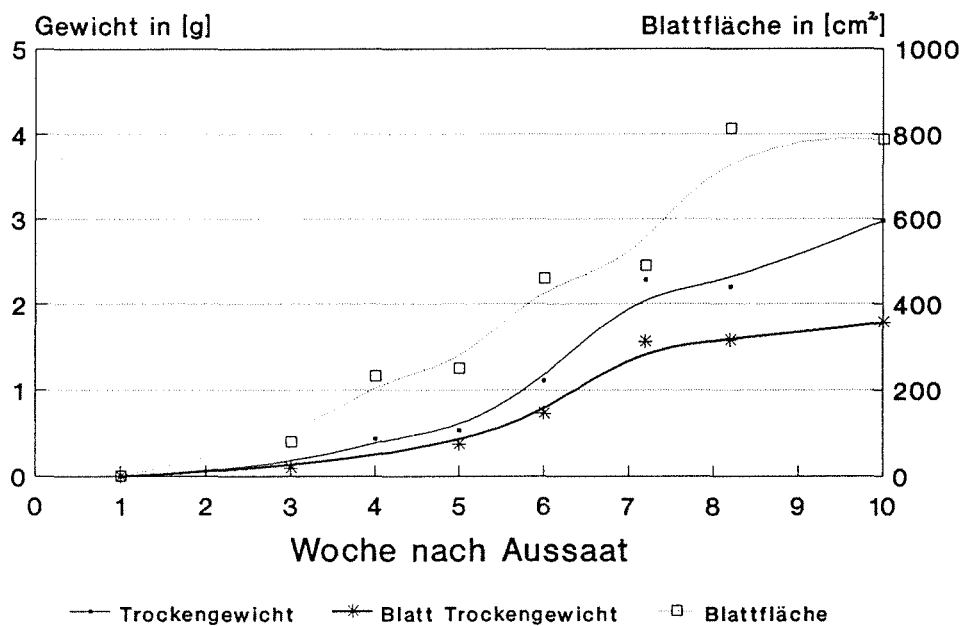
In Abb.12 ist die Wachstumskurve für Tomate dargestellt. Aufgetragen ist das Trockengewicht der Pflanze, das Trockengewicht der Blätter und die Blattfläche.



*Lycopersicon esculentum*

Abb.12: Wachstumskurve für Tomate

Für Mais im entsprechenden Zeitraum ist die Wachstumskurve in Abbildung 13 wiedergegeben.



zea mays

Abb.13: Wachstumskurve für Mais

Die vom Meßgasküvetten-system registrierten Werte für die Photosyntheserate der Pflanzen stellen sich ab der 5. Woche auf einen relativ konstanten Wert ein. Geht man von einem linearen Zusammenhang zwischen über 24 Stunden gemittelter Photosyntheserate und errechneter Wachstumsrate aus, so gilt:

$$w = \tau \cdot \text{NETFOT}$$

$\tau$  beschreibt darin den Anteil der über Photosynthese aufgebauten Trockenmasse, der im Blatt verbleibt und nicht in Stengel- oder Wurzelbildung umgesetzt wird. Wird  $\tau$  als gemittelter 24 Stundenwert ( $\tau_{24 \text{ h}}$ ) aufgefaßt, dann findet dabei die Translokation organischer Substanz in andere Pflanzenteile Berücksichtigung.

Für die 10. Woche lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen NETFOT,  $w_{\text{Blatt}}$  und  $\tau_{24 \text{ h}}$

	NETFOT [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ] über 24 h	$w_{\text{Blatt}}$ [ $\text{g}/\text{cm}^2\text{d}$ ] für die 10. Woche	Korrelations- koeffizient $\tau_{24 \text{ h}}$ für die 10. Woche
Tomate	1,47	$8,75 \cdot 10^{-6}$	0,045
Mais	1,73	$1,734 \cdot 10^{-4}$	0,089

Bei der Tomate werden in diesem Entwicklungsstadium weniger als 5 % der durch Photosynthese aufgebauten Stärke in das Strukturmaterial des Blatts umgesetzt, während bei Mais fast doppelt so viel Stärke ( 8,9 %) im Blatt verbleibt.

Allgemein wird für eine Pflanze eine sigmoide Wachstumskurve erwartet [MOHR/SCHOPFER 1978]. Das Trockengewicht von Tomate und Mais nimmt beim durchgeführten Wachstumsversuch in dem vorliegenden frühen Entwicklungsstadium im Verlauf der Zeit exponentiell zu. Dieses Verhalten bestätigt die allgemeinen Erwartungen. Normalerweise verläuft die Zunahme der Biomasse einer Pflanze folgendermaßen:

Geringes Wachstum - starkes Wachstum - Abnahme des Wachstums - Endwert [MOHR/SCHOPFER 1978]. Die maximale Wachstumsintensität zeigt Mais bei den durchgeführten Messungen im Alter von 40-50 Tagen, was sich mit Literaturangaben [MOHR/SCHOPFER 1978] deckt. Allerdings wäre nach dieser Anstiegsphase eine weitere Biomassezunahme mit geringerer Steigung zu erwarten. Bei den Maispflanzen kommt das Wachstum jedoch fast zum Stillstand. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß in bezug auf die Lichtstärke von 100  $\mu\text{E}$  für Mais keine optimalen Kultivierungsbedingungen in der Klimakammer herrschten.

Die Wachstumsintensität der Pflanze bei den hier durchgeführten Messungen liegt im Durchschnitt bei 0,21 [ $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ ] für Mais und bei 0,31 [ $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ ] für die Tomate.

#### 4.1.3 Wassergehalt, Trockenmasse für Tomate und Mais

Aus den Daten der Wachstumsversuche können Verhältnisse aus Wassergehalt und Trockenmasse des Blattes zu seiner Blattfläche bestimmt werden:

*Tabelle 2: Trockengewicht und Wassergehalt für Tomate*

	Wassergehalt/ Fläche [g/cm <sup>2</sup> ]	Trockengewicht/ Fläche [g/cm <sup>2</sup> ]
5. Woche	0,0154	0,0015
6. Woche	0,0132	0,0011
7. Woche	0,0132	0,0016
8. Woche	0,0176	0,0019
10. Woche	0,0132	0,0018
gemittelt	0,015	0,0016

*Tabelle 3: Trockengewicht und Wassergehalt für Mais*

	Wassergehalt/ Fläche [g/cm <sup>2</sup> ]	Trockengewicht/ Fläche [g/cm <sup>2</sup> ]
5. Woche	0,013	0,0012
6. Woche	0,015	0,0015
7. Woche	0,016	0,0016
8. Woche	0,02	0,0032
10. Woche	0,016	0,0019
gemittelt	0,016	0,0019

#### 4.1.4 Standardabweichung der Messung von Photosynthese und Transpiration bei konstanten Klimabedingungen

Über jeweils 10 Messungen von unterschiedlichen Blättern und Blattabschnitten bei gleichen Klimabedingungen wurden für Mais und Tomate folgende Werte für die Standardabweichung ermittelt:

*Tabelle 4: Standardabweichung  $\sigma$  der gemessenen Nettophotosynthese- und Transpirationsraten*

	$\sigma$ NETFOT [%]	$\sigma$ Transpiration [%]
Tomate	17	19
Mais	19	18

Da man in den Expositionsversuchen 5.1, 5.2 und 5.3 ein Blatt der betreffenden Pflanze repräsentativ auf Photosynthese und Transpiration untersucht, wird der über Fehlerrechnung ermittelte Gesamtfehler des Modells im wesentlichen bestimmt durch die relativ große Standardabweichung der Meßwerte für Transpiration und Photosynthese.



## 5. Ergebnisse

### 5.1 Tritiumaufnahme unter konstanten Klimabedingungen am Beispiel der Tomate

In einem ersten Versuch wurde zur Zuluft des Meßgasküvettensystems Tritium in Form von HTO über einen externen Meßgaskühler (MGK4) zudosiert und bei vorgegebenen Klimabedingungen jeweils ein Tomatenblatt eine, zwei, drei und fünf Stunden exponiert. Es wurde darauf geachtet, daß bei der Probenentnahme die Blätter und Stielansätze gesondert ausgewertet wurden.

*Tabelle 5: Klimabedingungen während des Versuchs*

Lichtstärke $L_{cuv}$	250 $\mu E$
rel. H *	90 %
Temperatur $T_{cuv}$	20 °C
Tleaf	21,3 °C

\*durch die Transpiration der Pflanze steigt die relative Feuchte in der Küvette abhängig von der Blattfläche an. Dieser Einfluß wurde bei der Auswertung korrigiert.

Aus der Differenz der Blatt- und Küvettentemperatur ergibt  $\beta$  einen Wert von 0,93. Die Tritiumkonzentration während des Versuches beträgt in der Küvette konstant

$$29,7 \pm 1,4 \text{ [kBq/g Luftfeuchte]}.$$

Es ergibt sich für das sich im TFWT einstellenden Gleichgewicht ein Wert von:

$$G_{lw} = 27,34 \text{ [kBq/g Wasser]}.$$

Bei diesen Klimabedingungen registriert das Küvettensystem für das eingespannte Tomatenblatt folgende Werte (über den Versuch gemittelt):

$$\begin{aligned} \text{Transpirationsrate TRANS} &= 0,98 \quad [\text{mmol/m}^2\text{sec}] \\ \text{ALVPD} &= 4,54 \quad [\text{mbar/bar}] \\ \text{Photosyntheserate NETFOT} &= 9,33 \quad [\mu\text{mol/m}^2\text{sec}] \end{aligned}$$

Daraus errechnet sich nach Formel (3.1.1.2) ein Blattwiderstand  $r$  von

$$r = 2,1 \quad [\text{sec/cm}]$$

und nach Formel (3.1.1.3):

$$\begin{aligned} k_B \text{ theoretisch} &= 5,7 \cdot 10^{-4} \quad [1/\text{sec}] \\ &= 2,05 \quad [1/\text{h}] \end{aligned}$$

$$T_{\frac{1}{2}} \text{ theoretisch}^{(k_B)} = 0,34 \quad [\text{h}]$$

Die Ergebnisse der Probenanalyse zeigt Abbildung 14.

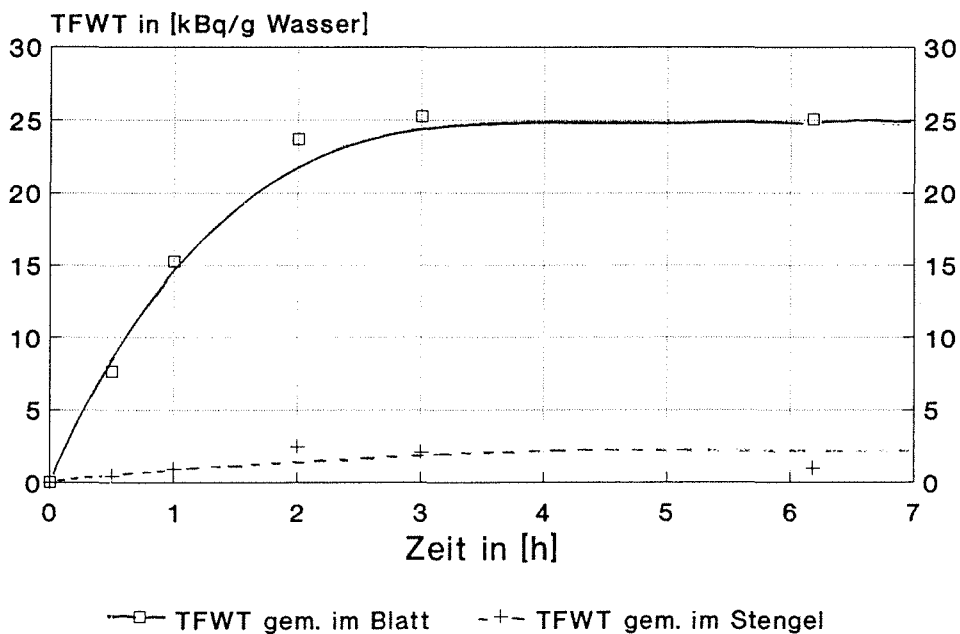


Abb.14: Verlauf der Tritiumaufnahme ins TFWT der Blätter und ins TFWT des exponierten Teils des Stengels (Tomate, 28./29.08.90)

Bestimmt man über Regression die Koeffizienten für einen nach Formel 3.1.4 erwarteten Verlauf so ergibt sich für

$$G_{lw} = 26,4 \text{ [kBq/g Wasser]}$$

und für

$$\begin{aligned} k_B \text{ tatsächlich} &= 0,89 \text{ [1/h]} \\ &= 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ [1/sec]} \end{aligned}$$

$$T_{\frac{1}{2}} \text{ tatsächlich}(k_B) = 0,78 \text{ [h]}$$

Es zeigt sich, daß der in 3.1 beschriebene Gleichgewichtswert  $G_{lw}$  für die Aufnahme ins freie Gewebewasser bei Exposition eines Tomatenblattes zu 95% erreicht wird. Vergleicht man den Wert  $k_B$ , der das Einstellen des Gleichgewichtes bestimmt, so liegt der aus den Daten des Küvettensystems errechnete theoretische Wert um Faktor 2,1 über dem tatsächlichen Wert, der sich aus Abb.13 ergibt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß sich die Transpirationsrate, die das Küvettensystem bestimmt, auf die eingespannte Fläche der Blätter bezieht, die eingespannten Teile des Stengels werden nicht berücksichtigt. Die tatsächliche Transpirationsrate lag deshalb vermutlich deutlich unter der berechneten Transpirationsrate, die auf die Fläche der Blätter bezogen ist. Für die Tritiumaufnahme ins TFWT des Xylems kann aus den TFWT-Konzentrationen, die im Stengel gemessen wurden, ein Koeffizient

$$\begin{aligned} k_{Xyl} &= 0,15 \text{ [1/h]} \\ &= 4,166 \cdot 10^{-5} \text{ [1/sec]} \end{aligned}$$

$$T_{\frac{1}{2}}(k_{Xyl}) = 4,6 \text{ [h]}$$

abgeleitet werden. Abb.15 zeigt den Einbau ins OBT.

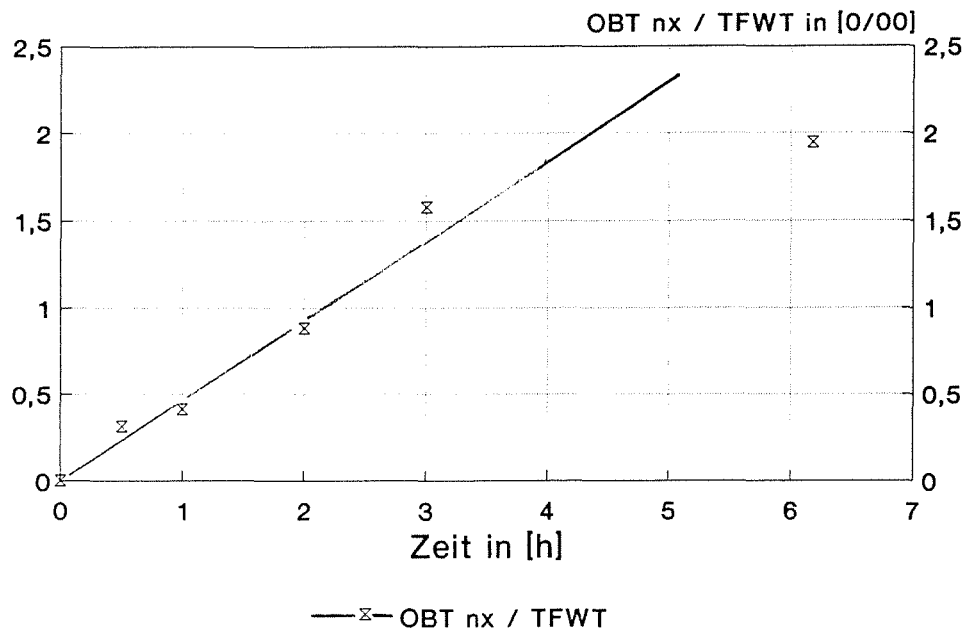


Abb.15: Einbau ins OBT in 0/00 der TFWT-Konzentration im Blatt (Tomate, 28./29.08.90)

Nach Formel 3.3.1 wäre unter Annahme des im Wachstumsversuch bestimmten Korrelationskoeffizient  $\tau_{24 \text{ h}}$  für die gemessene Photosyntheserate eine Blattwachstumsrate

$$w_{\text{B theoretisch}} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ [1/d]}$$

$$T_{\frac{1}{2}\text{theoretisch}}(w_{\text{B}}) = 506 \text{ [d]}$$

zu erwarten. Eine lineare Regression der gefundenen OBT nx-Werte ergibt aber eine mittlere Blattwachstumsrate bei einem ausgewachsenen Blatt

$$w_{\text{B tatsächlich}} = 5,78 \cdot 10^{-3} \text{ [1/d]}$$

$$T_{\frac{1}{2}\text{tatsächlich}}(w_{\text{B}}) = 120 \text{ [d]}$$

und einen Korrelationskoeffizient

$$\tau_{5,1} = 0,191.$$

Während die über 24 h gemittelte Beziehung  $\tau_{24 \text{ h}}$  den Abtransport von Stärke in andere Pflanzenteile berücksichtigt, bezieht sich  $\tau_{5,1}$  nur auf die bei mittlerer Lichtstärke ( $250 \mu\text{E}$ ) momentan im Blatt vorhandene Glucose.

## 5.2 Messungen mit Tomate unter Freilandbedingungen

### 5.2.1 Expositionsversuch mit Tomatepflanze über 30 Stunden

Am 11. Juli 1990 wurde mit dem in Kapitel 2.4 beschriebenen Versuchsaufbau die Tritiumaufnahme in Tomatenblätter über 30 Stunden bei natürlichen Klimabedingungen gemessen. In Abb.16 sind die Klimabedingungen Lichtstärke ( $L_{cuv}$ ), Temperatur ( $T_{cuv}$ ), relative Feuchte (RH) in der Expositionsbox während des Versuches dargestellt.

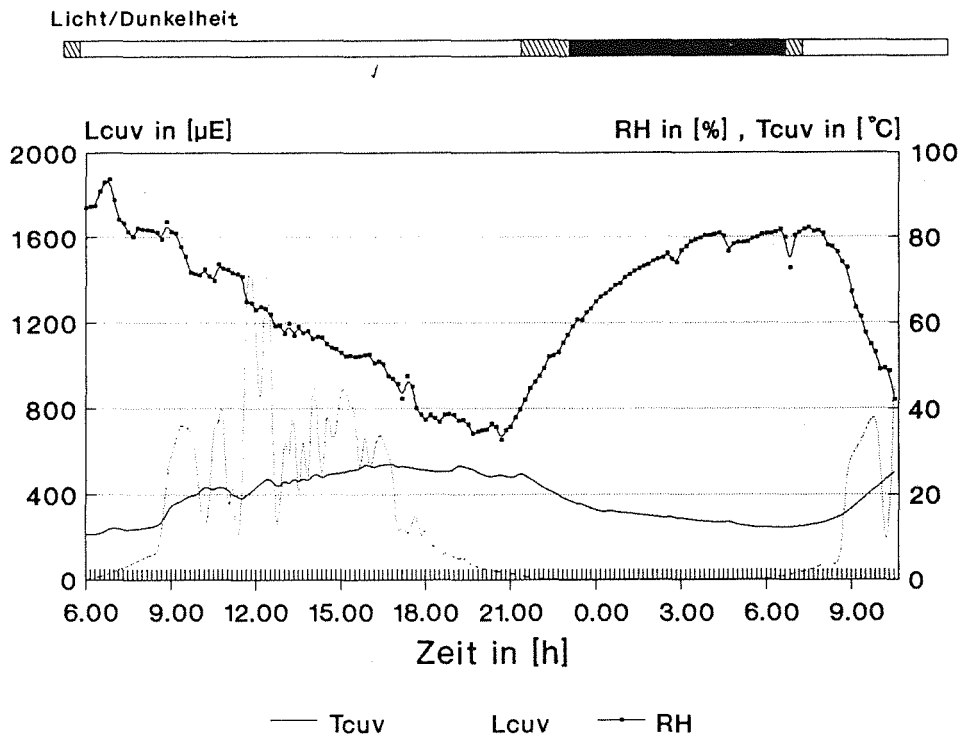
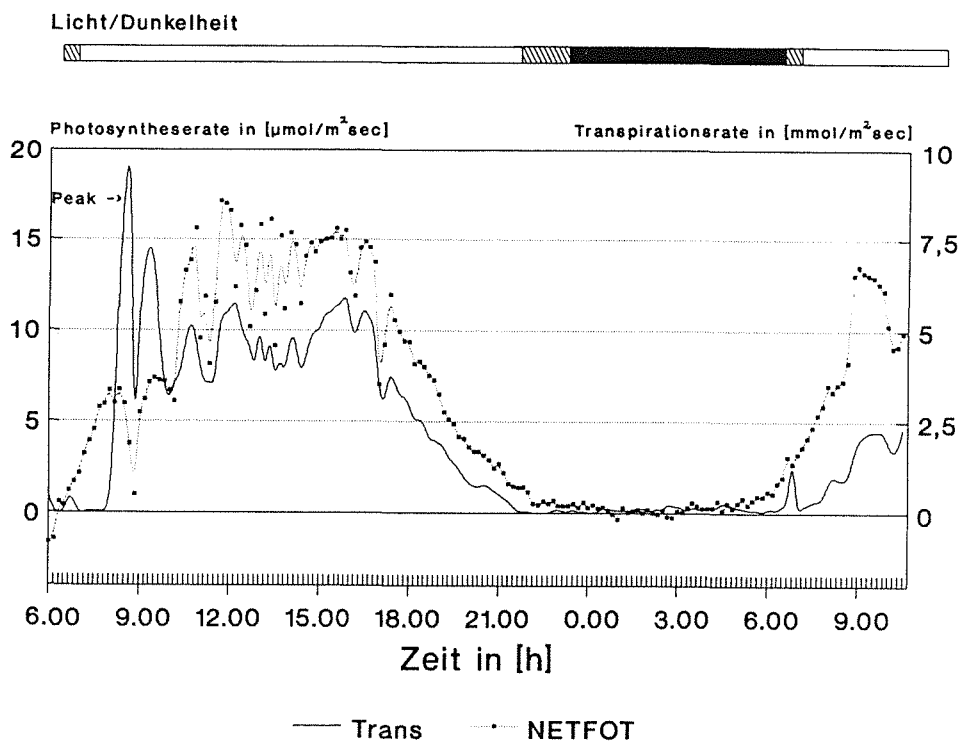


Abb.16: Klimabedingungen während des Versuchs 5.2.1 (Tomate, 9.07.90)

Die Lichtstärke  $L_{cuv}$  steigt bis 8.30 Uhr langsam auf einen Wert von 100  $\mu E$ , dann aber bei Direkteinstrahlung der Sonne sprunghaft auf Werte zwischen 800 und 1600  $\mu E$ . Während des Versuches wurde die Expositionsbox zum Schutz gegen Überhitzung mit feinmaschigen Netzen abgeschattet, welche die tatsächliche Lichtstärke um den Faktor 0,76 reduzieren. Vorüberziehende Wolkenfelder bewirken, daß die Lichtstärke immer wieder auf Werte um 100  $\mu E$  absinkt. Die Temperatur steigt im Tagesverlauf von 10,7 auf 31,2  $^{\circ}C$  an, die relative Feuchte sinkt von morgens 95,4 % auf 32,3 % am Spätnachmittag ab. Abb.17 zeigt die vom Miniküvetten-system aufgezeichneten Meßwerte für Photosynthese und Transpiration.



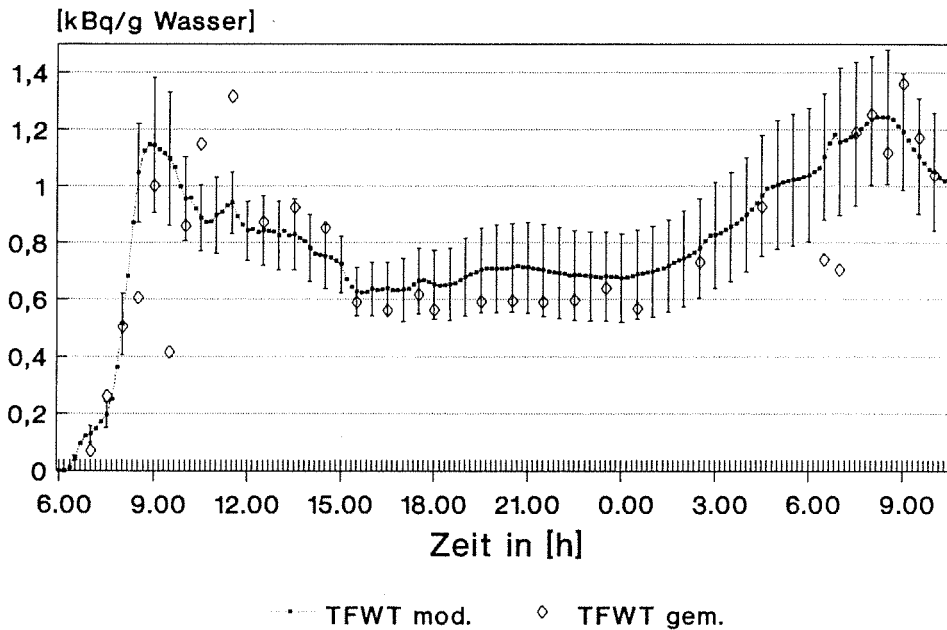
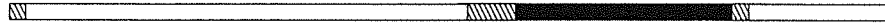
09.07.90 , *Lycopersicon esculentum*

Abb.17: gemessene Photosynthese- und Transpirationsrate während Versuch 5.2.1

Der sprunghafte Anstieg (Peak) der zu Anfang des Versuchs aufgezeichneten Transpirationsrate läßt sich aus pflanzenphysiologischen Gründen nicht erklären. Es handelt sich vermutlich um Meßfehler des Miniküvettenystems, die dann auftreten können, wenn sich bei hoher relativer Luftfeuchte die Feuchte rasch ändert. Für die Modellrechnung wird deshalb eine Glättung (Spline) des Verlaufs der Transpirationsrate vorgeschlagen.

Tagsüber wurden jeweils stündlich Blattproben entnommen, nachts jeweils im 2-Stunden Rhythmus. Abb. 18 zeigt das Ergebnis der Probenaufarbeitung von TFWT im Vergleich zu den errechneten Modellwerten (TFWT mod.).

Mit dem Modell für die Tritiumaufnahme ins freie Gewebewasser lassen sich die Tritiumkonzentrationen in Tomatenblättern recht zuverlässig beschreiben. Mehr als 80 % der Meßwerte liegen innerhalb des berechneten Fehlers, der von der in 4.1.4 ermittelten Standardabweichung der Transpirationsrate bei gleichen Lichtverhältnissen abgeleitet wurde.



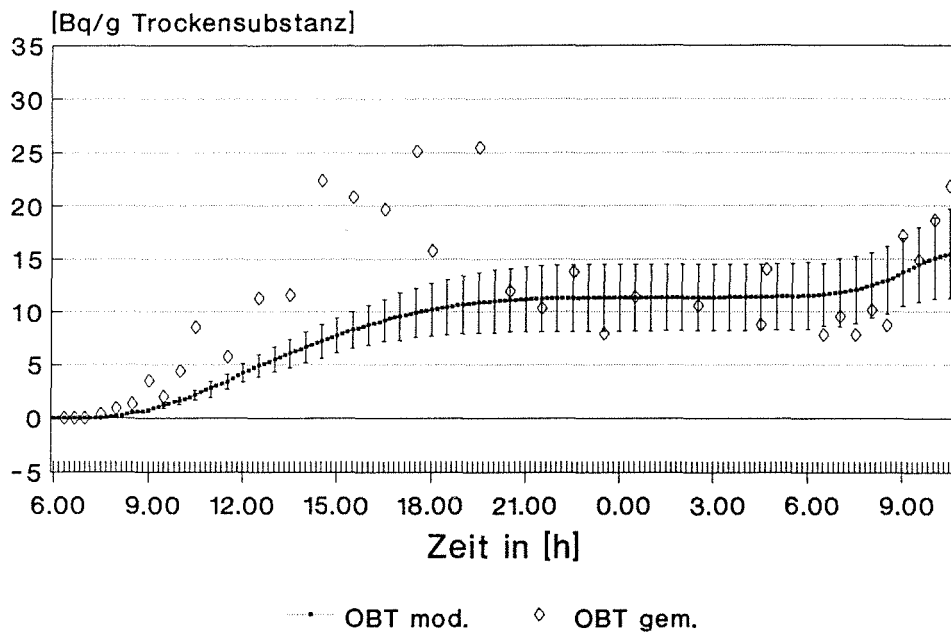
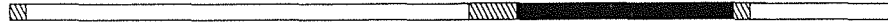
09.07.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.18: gemessene Werte für TFWT im Vergleich zu den errechneten Modellwerten für Versuch 5.2.1

Die Proben, die außerhalb der ermittelten Schwankungsbreite liegen, wurden zu Tageszeiten genommen, an denen in der Expositions-kammer vermutlich keine homogene Lichtstärkeverteilung geherrscht hat und einzelne Blätter abgeschattet oder besonders lichtgesättigt waren.

In Abb.19 werden die Ergebnisse der Auswertung nicht austauschbaren Tritiums mit den Modellwerten für OBT<sub>nx</sub> (OBT mod.) verglichen. Während sich die Meßwerte für OBT<sub>nx</sub> vormittags und nachts innerhalb des Fehlerbereiches der Modellwerte bewegen, liegt die Konzentration an OBT<sub>nx</sub> in den Blättern tagsüber deutlich über dem Erwartungswert, wenn der über 24 Stunden bestimmte Korrelationsfaktor  $\tau_{24h}$  aus Tab.1 zu Grunde gelegt wird.

Licht/Dunkelheit



09.07.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.19: Tritiumaufnahme in nicht austauschbares OBT bei Versuch 5.2.1



## 5.2.2 Expositionsversuch mit Tomatenpflanze über 12 Stunden

Bei diesem Versuch wurde am 01.08.90 um 3 Uhr mit der Exposition begonnen und ab 5.30 Uhr jeweils halbstündlich ein Tomatenblatt entnommen. Um 15 Uhr wurde die Exposition beendet. Abb.20 und Abb.21 zeigen die klimatischen Parameter, die das Meßgasküvetten-system ermittelt:

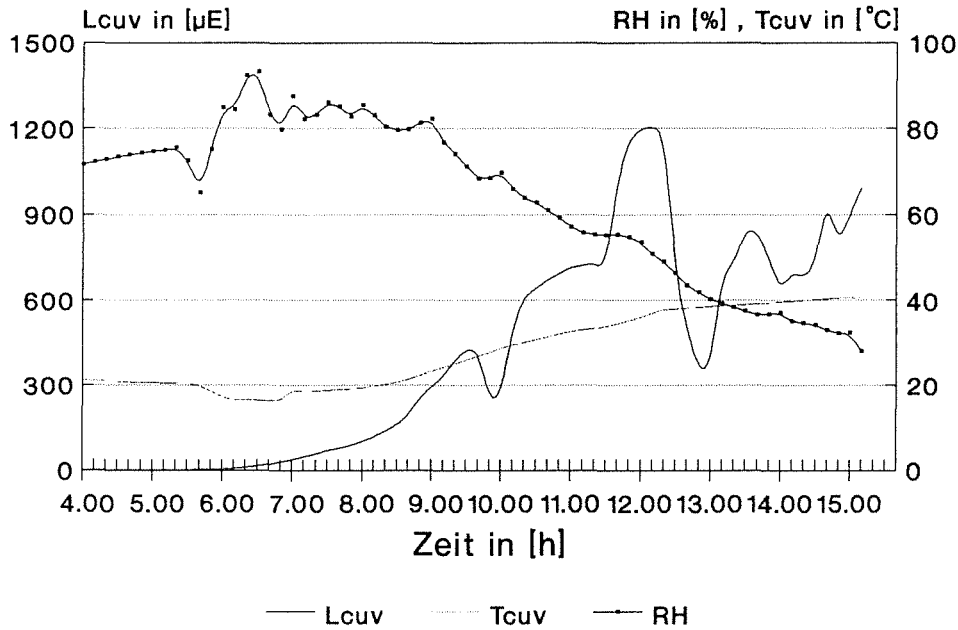


Abb.20: Lichtstärke (Lcuv), Temperatur (Tcuv) und relative Feuchte (RH) während Versuch 5.2.2

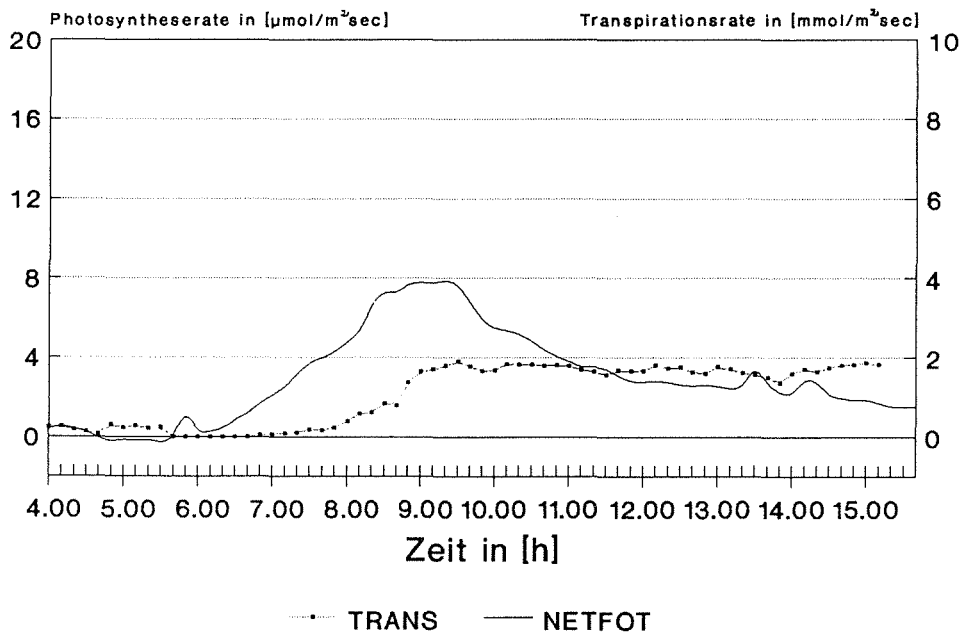
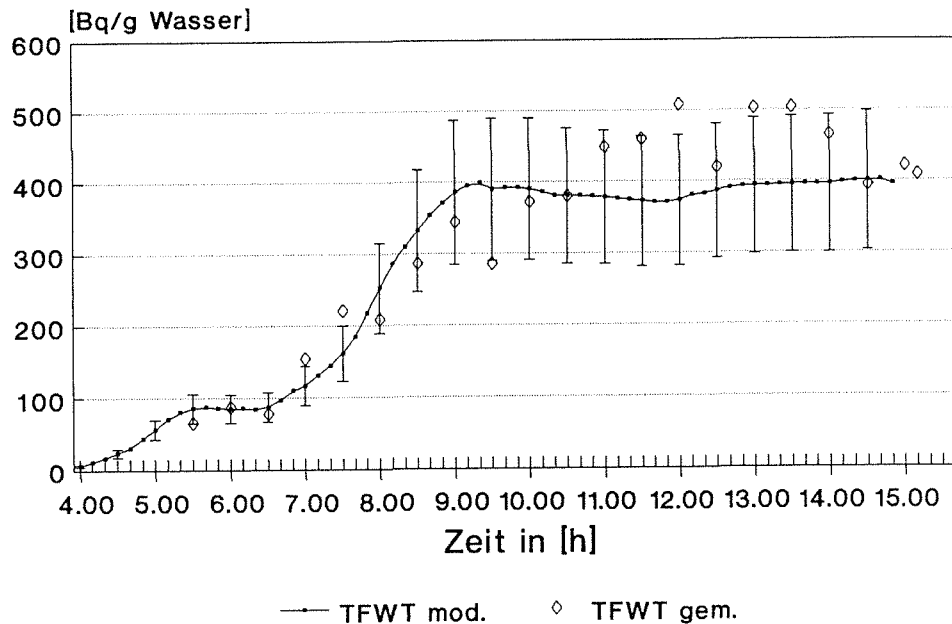


Abb.21: Photosynthese und Transpirationsrate bei Versuch 5.2.2

Die Temperatur erreicht nachmittags Spitzenwerte, die bei 40,3 °C liegen. Die relative Feuchte sinkt im Tagesverlauf von 90 % bis auf 30 % ab. Die Photosyntheserate steigt bis 9.40 Uhr kontinuierlich an, bis die Pflanze auf den Temperaturanstieg in der Atmosphäre durch Schließen der Stomata reagiert, da sonst zu hohe Transpirationsverluste nicht mehr ausgeglichen werden könnten. Das Ergebnis der Analyse des freien Gewebewassers auf Tritium im Vergleich zu den Modellwerten (TFWT mod.) ist in Abb. 22 dargestellt.



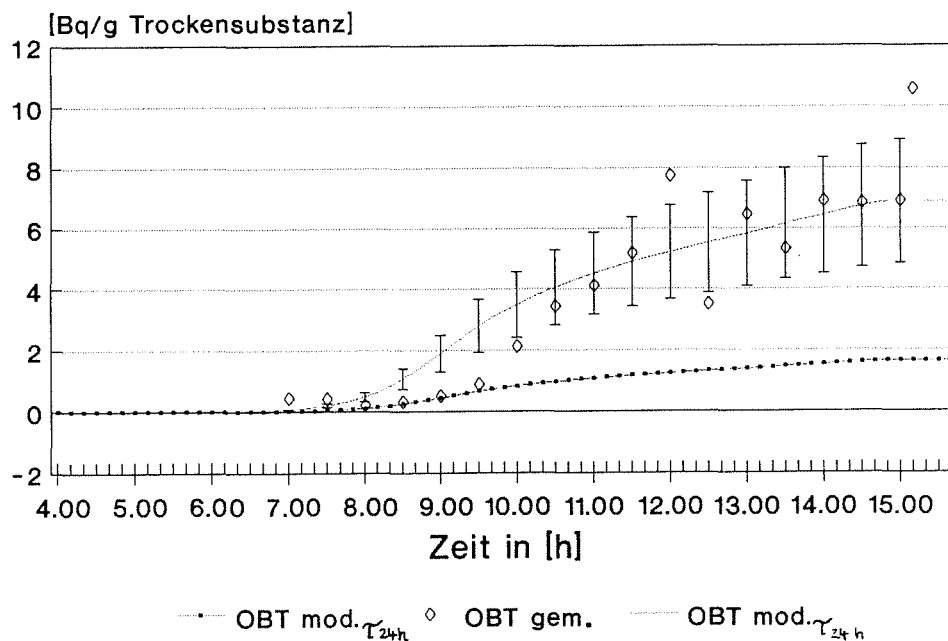
01.08.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.22: gemessene TFWT-Werte im Vergleich zu den Modellwerten für Versuch 5.2.2

Ähnlich wie bei Versuch 5.2.1 liegen über 80 % der Meßwerte innerhalb des Fehlerbereiches der Modellrechnung. Nur in den Morgenstunden und um die Mittagszeit liegen einige Werte knapp über dem aus der Standardabweichung (Tab.4) abgeleiteten Fehler. Bei den Modellrechnungen wurde von einem über den Tag konstanten Wassergehalt der Blätter ausgegangen, was in die Berechnung von  $k_B$  eingeht. Es ist fraglich, ob bei einer so hohen Temperatur, wie sie beim vorgegebenen Versuch um die Mittagszeit registriert wurde, der Wassergehalt der Pflanze unbeeinflusst bleibt. Es ist anzunehmen, daß der Wassergehalt bezogen auf die Blattfläche um die Mittagszeit unter dem im Modell berücksichtigten Wert aus Tab.2 liegt, was erklären würde, weshalb um die Mittagszeit die Werte für TFWT zwar noch im angenommenen Fehlerbereich, aber fast alle über dem Erwartungswert liegen.

In Abb. 23 sind die gemessenen Werte für das nicht austauschbar organisch gebundene Tritium im Vergleich zu den nach dem Modell erwarteten Werten aufgetragen, wobei der Modellwert OBT mod.  $\tau_{24h}$  die aus Kap 4.1.2 ermittelte Beziehung  $\tau_{24h}$  zwischen gemessener Photosyntheserate und Trockenmassenzunahme des Blattes berücksichtigt, während der Modellwert  $\tau_{5.1}$  mit dem aus dem Expositionsversuch 5.2.1 bei 250  $\mu\text{E}$  abgeleiteten  $\tau_{5.1}$  errechnet wurde.

Während sich die Konzentration von OBT nx im Blatt in den Morgenstunden ( bis 9.30 Uhr) gut mit der aus Kap 4.1.2 gewonnenen Beziehung  $\tau_{24h}$  errechnen läßt, liegen die Werte ähnlich wie bei Versuch 5.2.1 bei hoher Sonneneinstrahlung deutlich über den Erwartungswerten. Mit der Beziehung  $\tau_{5.1}$ , die vom Expositionsversuch 5.1 bei einer Lichtstärke von 250  $\mu\text{E}$  abgeleitet wurde, lassen sich die OBT nx-Werte bei hoher Sonneneinstrahlung recht zuverlässig erfassen.



01.08.90 , Lycopersicon esculentum

Abb.23: Meßwerte für OBT nx bei Versuch 5.2.2 im Vergleich zu errechneten Modellwerten



### 5.3 Messungen mit Mais unter Freilandbedingungen

#### 5.3.1 Expositionsversuch mit einer Maispflanze über 30 Stunden

Analog zu Versuch 2.2.1 wurde am 18.07.90 eine Maispflanze exponiert. Es wurde allerdings schon um 3 Uhr mit der Exposition begonnen und der Versuch um 6 Uhr

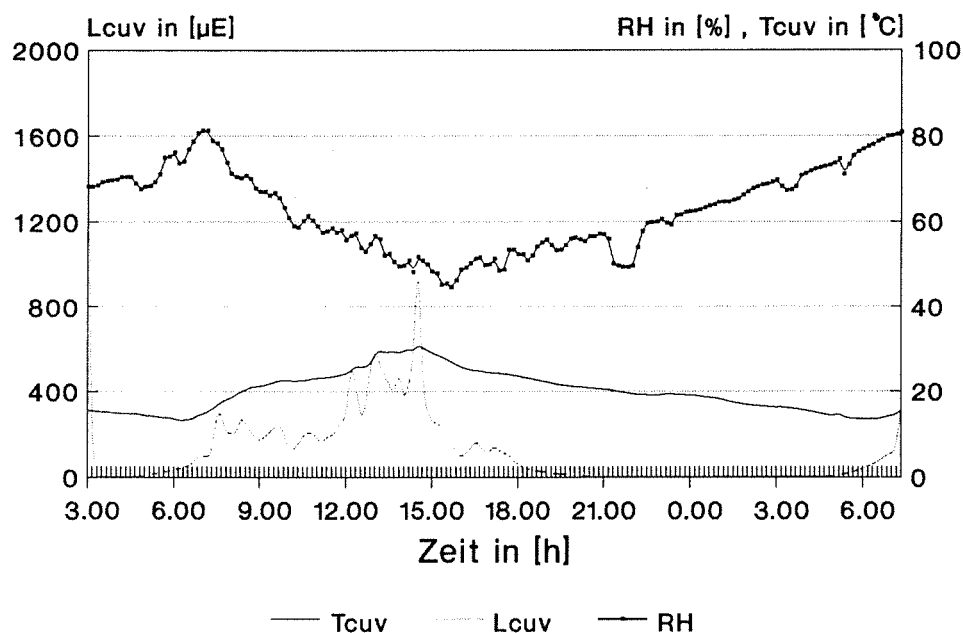


Abb.24: Lichtstärke (Lcuv), Temperatur (Tcuv) und relative Feuchte(RH) während Versuch 5.3.1

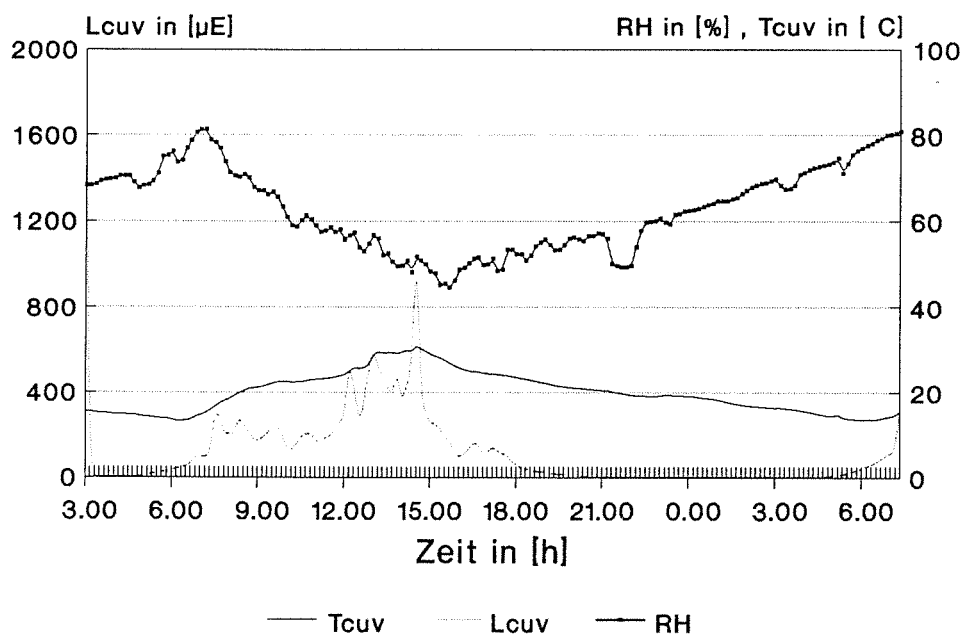


Abb.25: Photosynthese und Transpirationsrate für Mais bei Versuch 5.3.1

am darauffolgenden Tag beendet. In Abb.24 und Abb.25 sind die klimatischen Parameter für diesen Versuch aufgezeichnet.

Schon in den frühen Morgenstunden zog Bewölkung auf, so daß die Lichtstärke bei diesem Versuch im Mittel unter  $400 \mu\text{E}$  lag. Die Temperatur steigt auf nachmittags  $31 \text{ }^\circ\text{C}$  und sinkt auf nachts  $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ab. Die relative Feuchte geht im Tagesverlauf von  $82 \%$  auf Werte von  $44 \%$  (17 Uhr) zurück, steigt aber dann kontinuierlich wieder an. Photosynthese- und Transpirationsrate zeigen typische Tagesgänge, wobei zwischen 13 und 15 Uhr Maximalwerte erreicht werden.

Es wurden Blattproben von der Blattspitze und vom übrigen Teil des Blattes entnommen und auf Tritium im freien Gewebewasser analysiert. Abb. 26 zeigt das Ergebnis der Analyse, wobei jeweils Werte aus Blattspitze und übrigen Teil des Blattes gemittelt wurden.

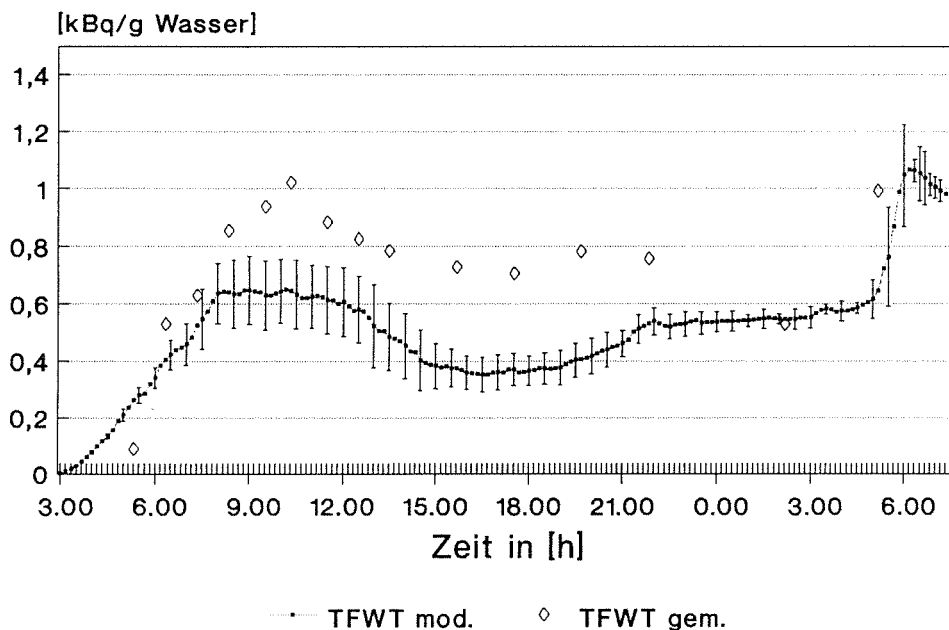


Abb.26: TFWT-Werte für Mais im Vergleich zu den nach dem Modell erwarteten Werten für Versuch 5.3.2 (Mais, 18.0790)

Zwar stimmt der Verlauf der Meßwerte mit dem Verlauf der Modellwerte überein, aber die Meßwerte liegen um 25-30 % über den errechneten Modellwerten. Die Analyse der Proben auf nicht austauschbares OBT ergibt Abb.27.

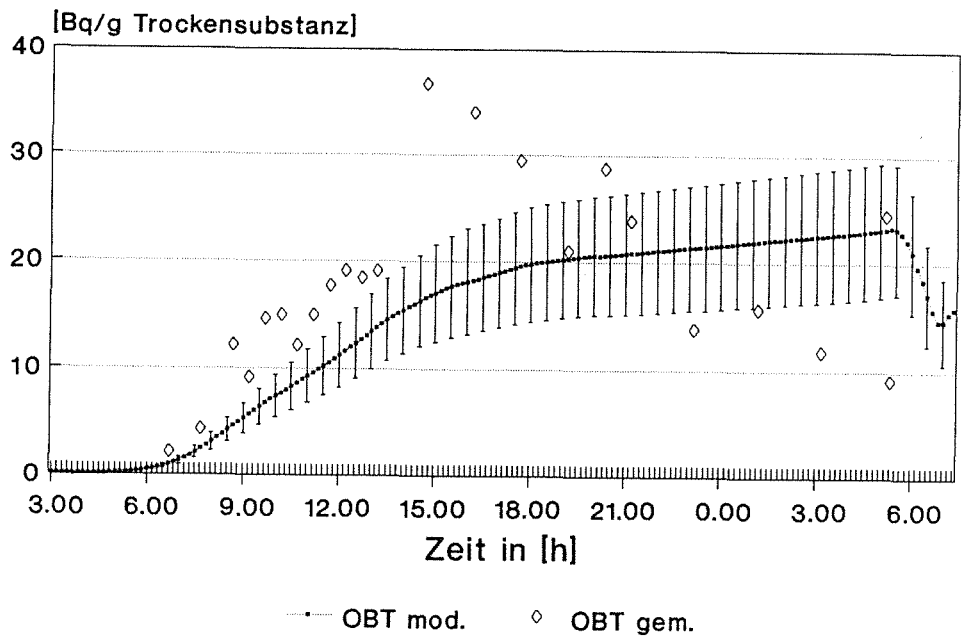


Abb.27: OBT nx Werte bei Versuch 5.3.1 im Vergleich zu Modellwerten (Mais, 18.07.90)

Die Proben, die tagsüber entnommen wurden, liegen deutlich über dem Fehlerbereich der errechneten Modellwerte. Es ist bei einer Diskussion dieser Werte allerdings zu beachten, daß das Modell zur Bestimmung der Tritiumkonzentration in OBT nx von den TFWT-Modellwerten (TFWT mod.) abgeleitet wird. Da das Modell für die Aufnahme ins TFWT auf die Meßwerte im TFWT tagsüber nicht zutrifft und fehlerhaft ist, pflanzt sich dieser Fehler bei der Berechnung der Konzentration von Tritium in organischer Substanz fort. Die gegen Abend abnehmende Tritiumkonzentration im OBT nx deutet darauf hin, daß auch bei Mais die Translokation bei Betrachtung eines Blattabschnitts zu berücksichtigen ist.

### 5.3.2 Expositionsversuch mit einer Maispflanze über 12 Stunden

Am 26.07.90 wurde an einem Schönwettertag ein zweiter Expositionsversuch um 3 Uhr morgens gestartet. Ab 5.30 Uhr wurden abwechselnd von der Blattspitze und

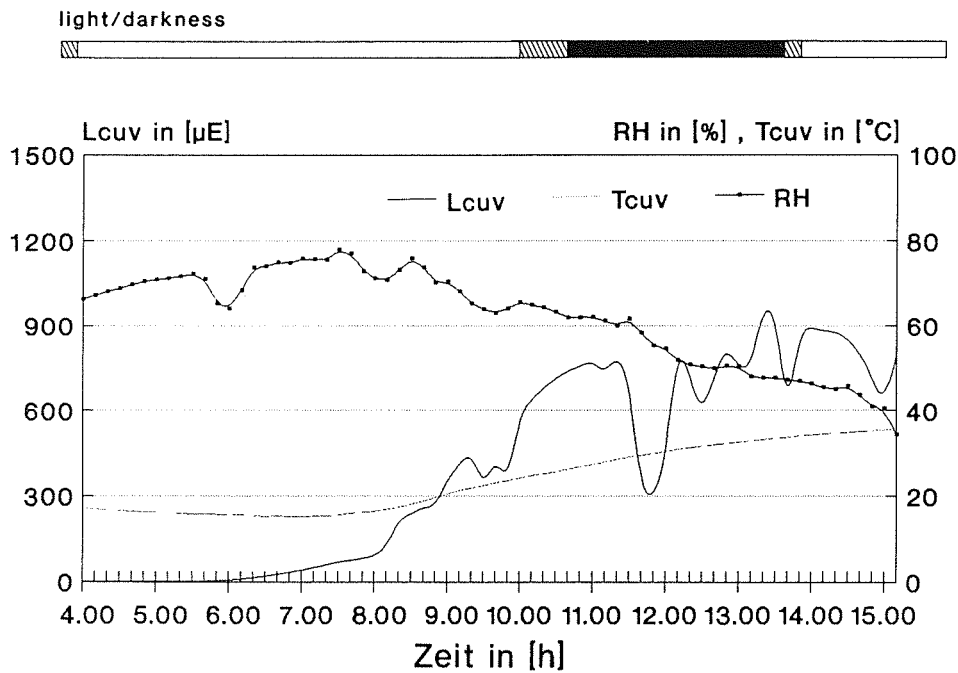


Abb.28: Lichtstärke (Lcuv), Temperatur (Tcuv) und relative Feuchte(RH) während Versuch 5.3.2

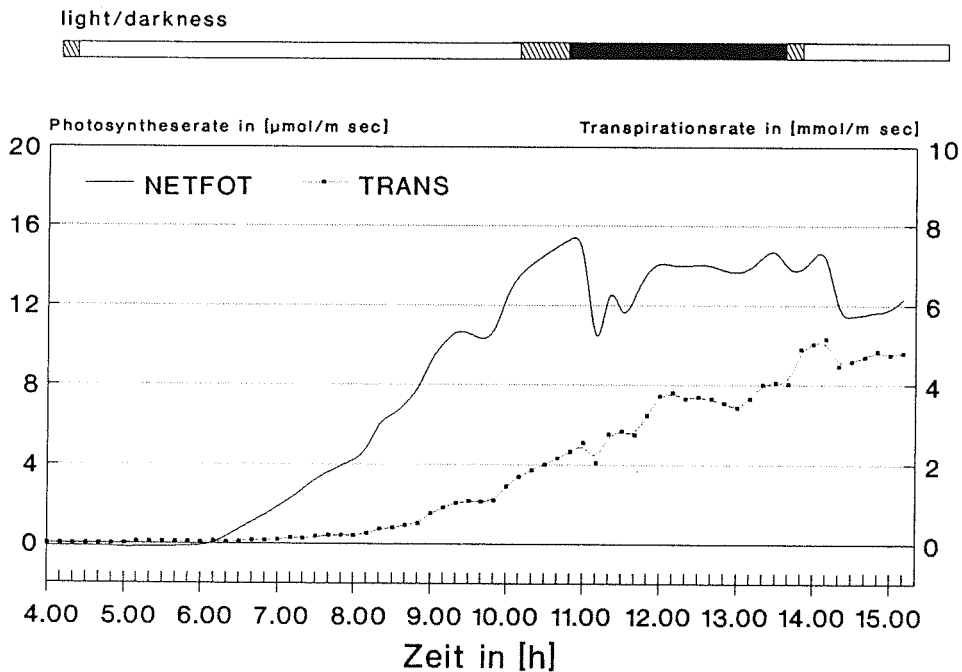


Abb.29: Photosynthese und Transpirationsrate bei Versuch 5.3.2



vom übrigen Teil des Blattes Proben entnommen, wobei darauf geachtet wurde, daß die jeweiligen Proben ungefähr gleiche Größe haben. Das Miniküvetten-system zeichnet die Verläufe der klimatischen Parameter auf (Abb.28 und Abb.29).

Die Lichtstärke erreicht nachmittags Spitzenwerte um  $1000 \mu\text{E}$ . Die Expositions-kammer wurde dabei mit Lichtstärke reduzierenden ( $\times 0,75$ ) feinmaschigen Netzen abgeschattet. Die Temperatur steigt von  $15^\circ\text{C}$  auf  $35,6^\circ\text{C}$  an. Die relative Feuchte geht im Tagesverlauf von  $78\%$  auf  $34\%$  zurück. Photosynthese- und Transpirationsrate zeigen den erwarteten Anstieg auf Werte von  $\text{NETFOT} = \text{ca. } 15 [\mu\text{mol/m sec}]$  und  $\text{TRANS} = 5 [\text{mmol/m sec}]$ .

In Abb.30 sind die Werte für TFWT gem. getrennt für Blattspitze und übrigen Teil des Blattes im Vergleich zum Modellwert aufgetragen.

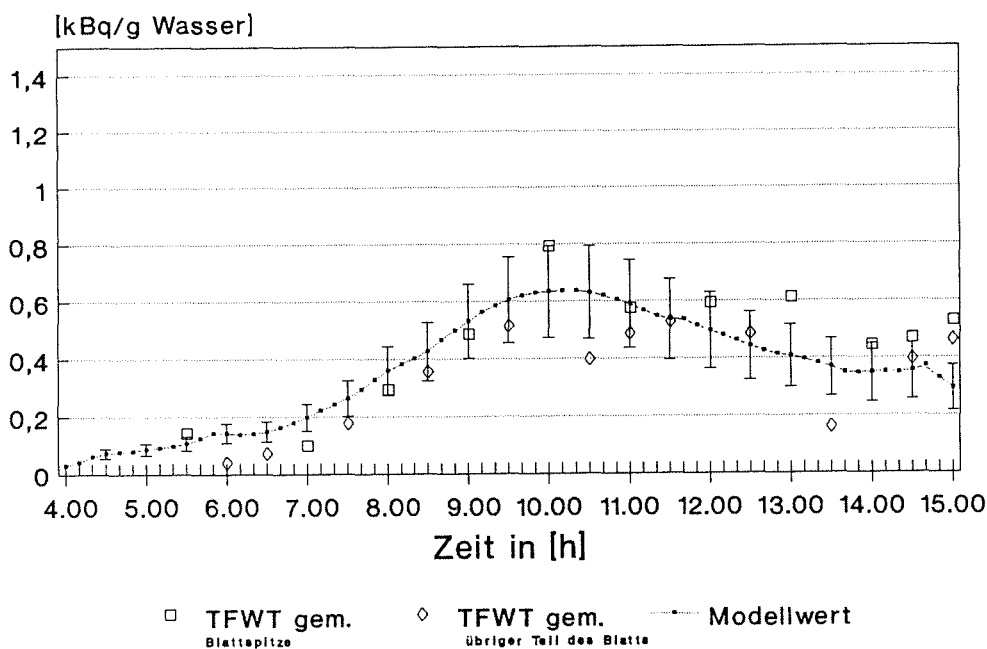
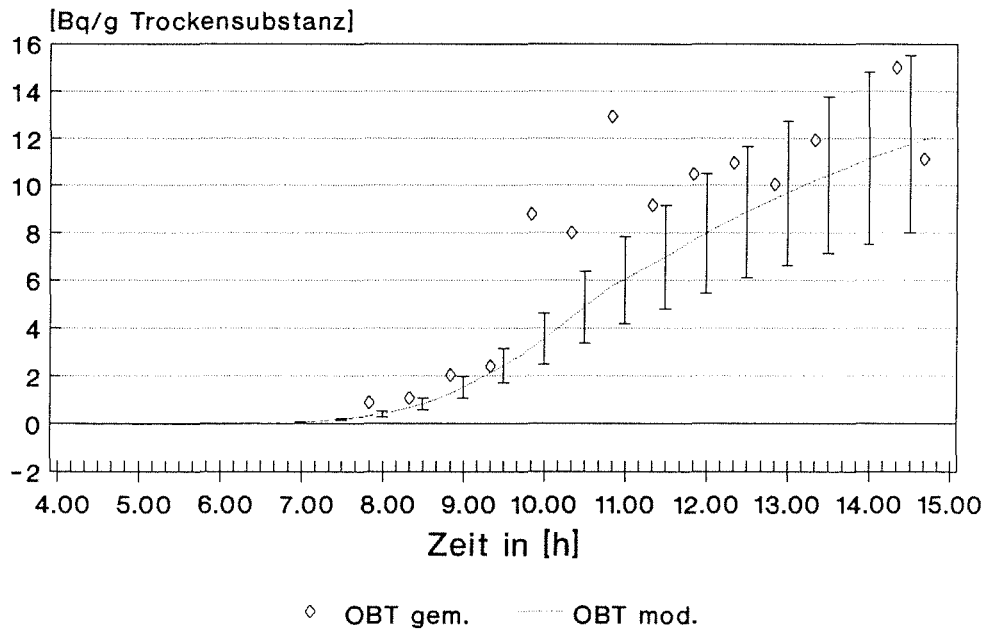


Abb.30: Ergebnisse der Analyse von TFWT im Vergleich zu den Modellwerten für Versuch 5.3.2

Die Werte von Blattspitze und übrigen Teil des Blattes differieren ab 9.30 Uhr deutlich. Die Blattspitzenwerte liegen bis zu  $40\%$  über den zugehörigen Werten des übrigen Teils des Blattes. Abb.31 zeigt die Ergebnisse der Analyse von  $\text{OBT}_{\text{nx}}$  im Vergleich zum Modellwert.

Bis auf 3 Meßwerte liegen die Werte für  $\text{OBT}_{\text{nx}}$  im Fehlerbereich des Modells für den Einbau in nicht-austauschbar organisch gebundenes Tritium. Während der Zeit voller Sonneneinstrahlung sind fast alle  $\text{OBT}_{\text{nx}}$ -Werte größer als der erwartete Modellwert.



26.07.90 , Zea mays

Abb.31: Werte für OBt nx im Vergleich zu den Modellwerten für Versuch 3.3.2

## 7 Anwendungsmöglichkeiten und Schlußfolgerungen

Um Störfallfolgen von Emissionen zu verschiedener Tageszeit zumindest relativ miteinander vergleichen zu können, kann man das Modell auf eine einstündige Exposition von Pflanzen anwenden, wobei für diese Zeit eine konstante Tritiumkonzentration in der Atmosphäre vorausgesetzt wird. Mit dieser Modellrechnung werden Reemission und die Aufnahme von HTO aus der Atmosphäre über das Bodenwasser und Wurzeln allerdings nicht erfaßt. Das Modell liefert außerdem nur Abschätzungen über die Tritiumkonzentrationen in Blättern und kann daher auch zunächst nur auf Blattgemüse angewendet werden. Für Abschätzungen der Tritiumkonzentrationen in Früchten bzw. Wurzelgemüse müssen einerseits die speziellen Wasserumsätze in diesen ober- bzw. unterirdisch wachsenden Pflanzenteilen berücksichtigt werden. Andererseits muß für die Ableitung der OBT-Konzentrationen noch die Translokation der Assimilate aus den Blättern und das Heranwachsen dieser Pflanzenteile betrachtet werden. Hierzu liegen allerdings bisher kaum Ergebnisse von entsprechenden experimentellen Untersuchungen vor.

Am Beispiel des Schönwettertags am 14.07.90 wurde mit den gemessenen klimatischen Parametern (Abb. 5) bei einer einstündigen Exposition zu unterschiedlicher Tageszeit ein Vergleich der Tritiumaufnahme in die Pflanze (Tomate) durchgeführt. Abb.32 zeigt die maximal erreichten Konzentrationen im TFWT und im OBT in Relation zu der Tritiumkonzentration in der Atmosphäre.

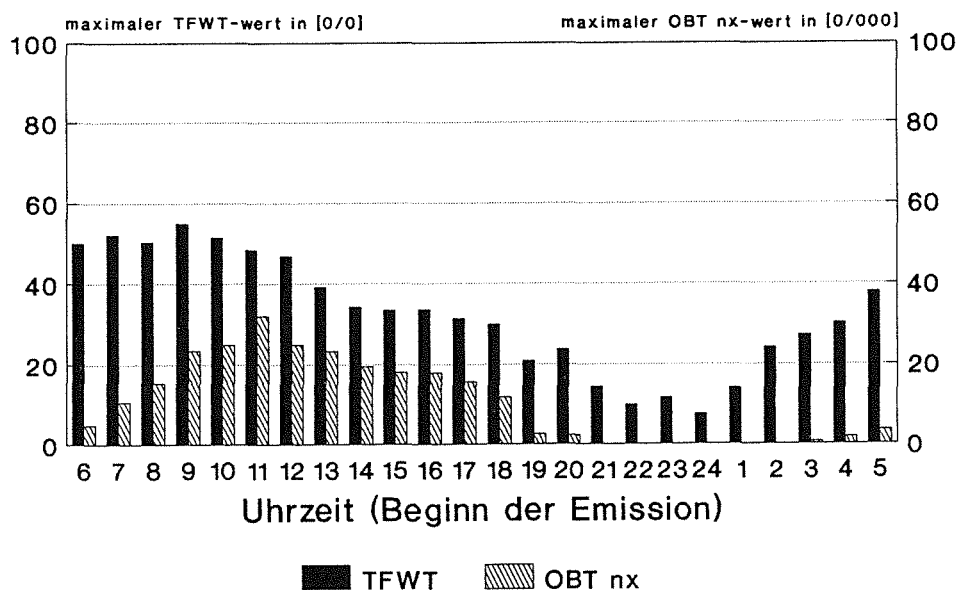


Abb.32: Störfallfolgen einer einstündigen Emission von Tritium im tageszeitlichen Vergleich

Findet die Exposition zwischen 9 und 10 Uhr statt, so stellt sich die höchste Tritiumkonzentration im TFWT ein. Maximale Werte im OBT<sub>nx</sub> werden bei einem Expositionsbeginn um 11 Uhr gefunden.

Während die Tritiumkonzentration, die sich im TFWT einstellt, ihren Maximalwert normalerweise gegen Ende der einstündigen Exposition erreicht und dann mit einer Zeitkonstante, entsprechend dem stomatären Widerstand, wieder absinkt, stellt sich die maximale Konzentration im OBT<sub>nx</sub> abhängig von der Photosynthese der Pflanze erst Stunden später ein, nämlich nachdem das TFWT bereits wieder gesunken ist.

Für eine grobe Abschätzung der Tritiumkonzentration im TFWT in Pflanzen könnte bei einer langanhaltenden Tritiumkontamination in Boden oder Atmosphäre 24 h-Mittelwerte von Nutzen sein.

Danach ergeben sich für den Tagesgang vom 14.07.90 sich über 24 Stunden gemittelt (bei optimaler Gießwasserversorgung) folgende Werte:

$$RH_{24\text{ h}} = 54,04 \text{ [\%]}$$

$$r_{24\text{ h}} = 11,73 \text{ [sec/cm]}$$

Bei einer Kontamination mit der Tritiumkonzentration der Atmosphäre  $C_A$  errechnet sich im Blatt eine mittlere Konzentration von:

$$C(\text{TFWT}_{24\text{ h}}) = 0,63 \cdot C_A$$

bei einer Kontamination des Bodenwassers  $C_S$  errechnet sich:

$$C(\text{TFWT}_{24\text{ h}}) = 0,44 \cdot C_S$$

Nimmt man in Boden und Atmosphäre gleiche Tritiumkonzentrationen an, so stellt sich im TFWT nach dem Modell ein Wert von  $1,07 \cdot C_A$  ein, also höher als die atmosphärische Tritiumkonzentration. Dies ist auf den Diskriminationsfaktor  $\alpha$  von SEPALL und MASON (1960) zurückzuführen.

## 6. Diskussion

In den beiden Versuchen unter Freilandbedingungen mit Tomate konnten die Modellwerte für TFWT im Rahmen des Fehlerbereichs bestätigt werden. An Tagen hoher Sonneneinstrahlung und extremer Temperatur ist zu vermuten, daß der Wassergehalt der Pflanze relativ zur Blattfläche abnimmt, was in der Modellrechnung berücksichtigt werden müßte.

Beim Einbau in nicht-austauschbar organisch gebundenes Tritium werden tagsüber deutlich höhere Konzentrationen im Pflanzenblatt festgestellt, als erwartet. In der Dämmerungs- und Dunkelphase stellen sich aber wieder Konzentrationen ein, die mit dem Modell erklärt werden können. Das in Kap. 4.1 gewonnene Verhältnis  $\tau_{24\text{ h}}$  aus der über 24 Stunden integrierten Nettophotosyntheserate und Blattwachstumsrate bezieht sich nur auf die Photosyntheseprodukte, die ins Strukturmaterial des Blattes eingebaut werden und nicht auf die Glucose, die aus dem Blatt in Stengel, Wurzel oder Früchte abtransportiert wird (Translokation). Es konnte gezeigt werden, daß mit einer Beziehung  $\tau_{5.1}$ , die aus einem Expositionsversuch bei normalem Tageslicht ( $250\ \mu\text{E}$ ) abgeleitet wurde, die deutlich höheren OBT<sub>nx</sub>-Werte während intensiver Sonneneinstrahlung modelliert werden können. Bei einer solchen Modellierung liegen die Erwartungswerte für die Dunkelphase über den Meßwerten, da der Anteil der abtransportierten Glucose nicht erfaßt wird.

Beim ersten Expositionsversuch, der mit Mais über 28 Stunden durchgeführt wurde, liegen die Meßwerte für TFWT am Tag fast konstant bis zu 30 % über dem Erwartungswert. Dies konnte beim zweiten Versuch über 12 Stunden nicht beobachtet werden, so daß als Erklärung dafür in Betracht kommt, daß die Aktivitätsmessung in der Expositionsbox während des ersten Versuchs fehlerhaft war und daß deshalb die Tritiumkonzentration in der Box zu niedrig angenommen wurde. Im zweiten Expositionsversuch mit Mais wurde festgestellt, daß die gemittelten Werte der TFWT-Konzentration aus Blattspitze und übrigem Teil des Blattes dem Modell folgt. Ab 9.30 Uhr divergieren die entsprechenden Teile im Tritiumgehalt aber deutlich. Das Modell zur Tritiumaufnahme ins freie Gewebewasser darf deshalb nicht auf einzelne Blatteile angewandt werden. Hier treten bei der Modellierung, bedingt durch Blattmorphologie und Transportvorgänge innerhalb des Blattes, Grenzen auf, über die hinaus das Modell seine Gültigkeit nur teilweise behält.

In der Auswertung der Meßergebnisse für den Einbau ins OBT bestätigt sich bei Mais, was für Tomate erwähnt wurde: Die Werte im Tagesverlauf liegen über dem Fehlerbereich der Modellwerte, wenn mit der über 24 Stunden gemittelten Beziehung  $r_{24\text{ h}}$  aus Tab.1 gearbeitet wird.

Das Modell trifft also unter den gewählten Bedingungen zumindest auf Pflanzen, wie die Tomate, zu und könnte deshalb als Grundlage zur Beschreibung der dynamischen Aufnahme von Tritium in die Blätter der Pflanze dienen. Da am Tage die gebildeten Assimilate zunächst im Blatt gespeichert und nicht in dem Maße abtransportiert werden, wie es das Modell berechnet, ist für Abschätzungen von Störfallfolgen jedoch zu berücksichtigen, daß es sich hierbei um ein pflanzenphysiologisches Modell mit einem relativ großem Fehlerbereich handelt. Es kann in dieser Form keine konservative Abschätzung der Folgen "auf der sicheren Seite" bieten, was auch schon daran zu erkennen ist, daß bei den Experimenten in bezug auf die Aufnahme ins OBT deutlich höhere Meßwerte als erwartet auftraten. Wie schon erwähnt, gilt außerdem die Einschränkung, daß die Abschätzungen nur auf Blattgemüse angewendet werden können. Zur Modellierung des Tritiumverhaltens in Früchten und Wurzelgemüse bedarf es noch entsprechender experimenteller Untersuchungen.

Die Anwendung des Rechenmodells an einem vorgegebenen Schönwettertag auf die Tritiumaufnahme in ein Tomatenblatt bei einstündiger Tritiumexposition zeigt, daß die Aufnahme ins TFWT bei Expositionsbeginn um 9 Uhr, der Einbau ins OBT bei einem Expositionsbeginn um 11 Uhr maximale Werte aufweist.

## 7. Literaturverzeichnis

- Belot,Y.: Tritium in Plants, A Review. Rad.Prot.Dos.16, S. 101-105  
(1979)
- Diabaté,S., /Strack,S.: NET-Forschungsbericht 89-195, KfK 4713 (1989)  
Dosis due to Tritium Releases by NET - Data Base and  
Relevant Parameters on Biological Tritium Behaviour
- Hicks,B.B./Baldocchi,D.D.: A Preliminary Multiple Resistance for Deriving Dry  
Velocities From Measured Quantities,  
Water, Air, and Soil Pollution 36, 311-330, (1987)
- Kuchling,H. : Taschenbuch der Physik, Verlag Harry Deutsch, (1986)
- Küster,H., /Thiel,M. : Rechentafeln für die Chemische Analytik, Walter de Gruyter,  
(1982)
- Mohr,H./Schopfer,P. : Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Springer Verlag  
(1978)
- Murphy,C.E.: The Relationship between Tritiated Water Activities in Air,  
Vegetation and Soil under Steady-State Conditions,  
Health Physics 47, S. 635-639, (1984)
- Roller,M.: Untersuchungen zur Aufnahme und zum Umsatz von tritiiertem  
Wasserdampf(HTO) in Gemüsepflanzen, KfK 4514, (1989)
- Sepall,O./Mason,S.G. : Vapor/liquid Partition of Tritium and Tritiated  
Water, Can.J.Chem.38, 2024-2025, (1960)

Strack,S.: Behaviour of Tritium in the Water Pool and Organic Pool of the Leaves  
of the Beech Tree, Ann. de l'Ass. Belge de Radioprot.7,  
S. 213 - 228,(1982)

Walz: Das Datenanalyseprogramm DIAGAS,  
Eichenring 10-14, D-8521 Effeltrich, (1989)



8. Anhang:

8.1 Umrechnungsfaktoren der Lichtstärke für PAR (400-700 nm)

*Tabelle 6: für Tageslicht*

Umrechnung	W/m <sup>2</sup>	klux	μE(μmol/m <sup>2</sup> sec)
W/m <sup>2</sup>	1	0.25	4.6
klux	4	1	18
μE(μmol/m <sup>2</sup> sec)	0.2173	0.0555	1

Bsp: 1 W/m<sup>2</sup> = 0,25 klux = 4,6 μE

*Tabelle 7: für künstliches Licht (Metale halide)*

Umrechnung	W/m <sup>2</sup>	klux	μE(μmol/m <sup>2</sup> sec)
W/m <sup>2</sup>	1	0.323	4.6
klux	3.1	1	14
μE(μmol/m <sup>2</sup> sec)	0.2174	0.0714	1

Angaben nach Rücksprache mit Fa.WALZ. und Fa.Li-Cor

## 8.2 Näherungslösungen zur Modellrechnung

### 8.2.1 Berechnung der absoluten Luftfeuchte

Der Wasserdampfgehalt der Luft schwankt örtlich und zeitlich und wird als Luftfeuchtigkeit (Feuchte) bezeichnet. Der Partialdruck des Wasserdampfes kann einen temperaturabhängigen Höchstwert, den Sättigungsdampfdruck, nicht überschreiten.

**Maximale Feuchte:** Die bei einer bestimmten Temperatur in einem Kubikmeter gesättigter Luft enthaltene Wassermenge.

Übliche Einheit:  $[\text{g}/\text{m}^3]$

**Absolute Feuchte:** Die in einem Kubikmeter tatsächlich enthaltene Wassermenge.

Übliche Einheit:  $[\text{g}/\text{m}^3]$

**Relative Feuchte:** Verhältnis der tatsächlichen zur maximal möglichen Masse des Wasserdampfes in Luft. Übliche Einheit: [%]

$$\text{Es gilt : } f_{\text{abs}} = \frac{\text{RH} \cdot f_{\text{max}}}{100 \%}$$

$f_{\text{abs}}$  : absolute Feuchte  
RH : relative Feuchte  
 $f_{\text{max}}$  : maximale Feuchte

[aus KUCHLING 86]

Die maximale Feuchte  $f_{\text{max}}$  lässt sich bei bekannter Temperatur (T in  $^{\circ}\text{C}$ ) aus Tabellenwerken ablesen oder näherungsweise bestimmen als:

$$f_{\text{max}}(T) = 0,00036 \cdot T^3 + 0,00444 \cdot T^2 + 0,40808 \cdot T + 4,5291 \quad [\text{g}/\text{m}^3]$$

Zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $40^{\circ}\text{C}$  ist der maximale Fehler dieser Regression kleiner als 0,0037.

### 8.2.2 Luftdichtekorrektur des Molvolumens für Wasserdampf

Das Volumen von einem Mol Wasserdampf beträgt bei 0 °C und 1013 mbar

22,414 l .

Es kann auf den aktuell herrschenden Luftdruck (in [mbar]) durch Berücksichtigung eines Korrekturfaktors  $\text{korr}_{\text{Luftdruck}}$  umgerechnet werden.

Es gilt näherungsweise:

$$\text{korr}_{\text{Luftdruck}} = 0,00001514 \cdot \text{Luftdruck} + 1$$

Für andere Temperaturen (in [°C] )läßt sich das Molvolumen über Multiplikation mit einem Korrekturfaktor  $\text{korr}_{\text{Temperatur}}$  umrechnen:

Es gilt näherungsweise:

$$\text{korr}_{\text{Temperatur}} = 0,005085 \cdot \text{Temperatur} + 1$$

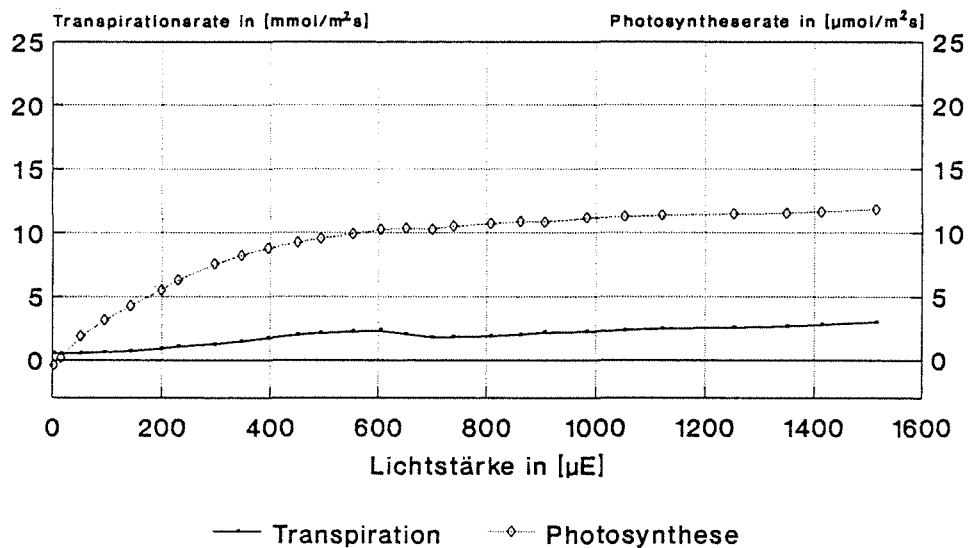
Angaben aus [ Küster/Thiel, 1982 ].

### 8.3 Abhängigkeit zwischen Photosynthese und Lichtstärke

Um in den Wachstumsversuchen 4.1 die gemessene Photosyntheserate auf eine einheitliche Lichtstärke zu beziehen, wurden Lichtkurven für Mais und Tomate aufgezeichnet.

#### 8.2.1 Lichtkurve für Tomate

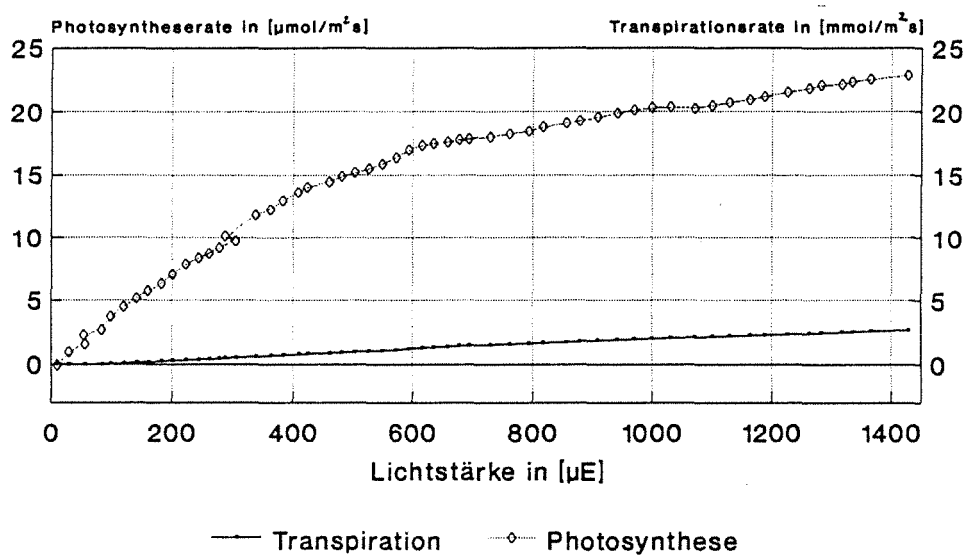
Steigert man die Lichtstärke kontinuierlich, indem man den Abstand der Lichtquelle zum Pflanzenblatt verringert, so ergibt sich folgender Verlauf von Photosynthese- und Transpirationsrate:



Bsp: Tomate (*Lycopersicon esculentum*)  
Blattfläche : 11.66 qcm  
Tcuv: 22.0 C rel. Luftfeuchte: 50 %

Abb.33: *Abhängigkeit der Photosynthese und Transpiration von der Lichtstärke bei Tomate*

### 8.3.2 Lichtkurve für Mais



Bsp: Mais (zea mays)  
Blattfläche : 12.58 qcm  
Tcu: 22.0 C rel. Luftfeuchte: 50 %

Abb.34: Abhängigkeit der Photosynthese und Transpiration von der Lichtstärke bei Mais

## 8.4 Meßdaten

### 8.4.1 Meßdaten von Versuch 5.1

Tab. 8: Meßdaten von Versuch 5.1

Zeit in [h]	TFWT Blatt [Bq/g]	TFWT Xylem [Bq/g]	TFWT nicht expon. [Bq/g]	OBT Blatt [Bq/g]	OBT Xylem [Bq/g]	OBT nicht expon. [Bq/g]	OBT/TFWT [0/00]
0,5	7649	435	3	23,8	0	0	0,3
1,0	15280	949	21	63,1	13,7	0,31	0,413
2,0	23690	2480	37	208,8	73,03	2,81	0,881
3,0	25252	2070	247	398,67	131,19	41,95	1,579
6,18	25038	977	125	487,18	104,5	24,194	1,946

## 8.4.2 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.2.1

Tab. 9: Teil 1 - Klimatische Parameter von Versuch 5.2.1

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2$ sec]	[sec/m]	[ $\mu$ mol/ $m^2$ sec]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
05:30:01	4	10,8	86,9	1,0054	1,85	0,1203	6,50	-1,66	0,0609	-0,0000
05:40:01	7	10,7	87,2	1,0054	1,82	0,0050	153,98	-1,47	0,0026	-0,0000
05:50:01	10	10,7	87,4	1,0054	1,79	0,1335	5,67	0,59	0,0694	0,0000
06:00:01	16	10,9	90,8	1,0054	1,69	0,3308	2,16	0,39	0,1847	0,0000
06:10:01	21	11,3	92,9	1,0107	1,45	0,2790	2,19	1,22	0,1866	0,0000
06:20:01	29	12,1	93,7	1,0161	1,69	0,0778	9,13	1,71	0,0471	0,0000
06:30:01	37	12,2	88,8	1,0107	2,1	0,0153	57,83	2,15	0,0075	0,0001
06:40:01	47	12,1	84,1	1,0107	2,17	0,0365	24,98	3,23	0,0172	0,0001
06:50:01	56	11,9	83,4	1,0054	2,09	0,0438	20,09	3,92	0,0211	0,0001
07:00:01	67	11,7	81,2	1,0000	1,94	0,0370	22,07	4,55	0,0190	0,0001
07:10:01	76	11,8	80	1,0054	1,75	0,0735	10,01	5,77	0,0421	0,0001
07:20:01	88	11,9	82,2	1,0000	1,59	0,1585	4,22	5,92	0,1007	0,0001
07:30:01	98	12	81,9	0,9947	1,51	0,2500	2,54	6,71	0,1683	0,0002
07:40:01	110	12,3	81,7	0,9947	1,39	0,3000	1,94	6,02	0,2239	0,0002
07:50:01	115	12,4	81,5	0,9894	1,19	0,4000	1,25	6,75	0,3510	0,0002
08:00:01	125	12,7	81,1	0,9841	1	0,5000	0,84	5,97	0,5328	0,0002
08:10:01	183	13,2	79,5	0,9736	1,19	0,5000	0,99	3,77	0,4631	0,0001
08:20:01	491	14,1	83,6	0,9377	2,58	0,5000	2,13	0,98	0,2281	0,0000
08:30:01	580	15,3	81,2	0,9581	3,57	0,5000	2,93	5,48	0,1789	0,0001
08:40:01	654	16,8	81	0,9030	6,24	0,4500	5,67	6,21	0,1012	0,0002
08:50:01	735	17,5	77,7	0,8790	7,81	0,5000	6,37	7,14	0,0939	0,0002
09:00:01	711	18,9	75,4	0,8982	8,67	0,7000	5,04	7,38	0,1290	0,0002
09:10:01	709	19,1	71,6	0,8934	10,82	1,4000	3,13	7,24	0,2099	0,0002
09:20:01	653	19,7	71,4	0,8982	10,91	2,6715	1,66	7,19	0,4114	0,0002
09:30:01	350	20,5	71	0,9684	9,7	3,5085	1,12	6,70	0,6391	0,0002
09:40:01	223	21,7	72,4	1,0161	10,91	3,8978	1,12	6,12	0,6812	0,0002
09:50:01	273	21,6	70,8	0,9841	11,02	4,4945	0,99	11,50	0,7718	0,0003
10:00:01	787	22,2	69,8	0,9632	10,87	5,0023	0,88	13,25	0,8999	0,0003
10:10:01	681	22,9	73,6	0,9581	11,53	4,8463	0,96	13,84	0,8584	0,0003
10:20:01	927	22,9	72,6	0,9478	11,83	4,1655	1,14	15,60	0,7187	0,0004
10:30:01	180	22	72,2	0,9894	10,4	3,6700	1,14	9,54	0,6821	0,0002
10:40:01	560	21,9	71,6	0,9736	9,26	3,5395	1,06	11,84	0,7306	0,0003
10:50:01	135	21,6	71,4	0,9894	8,69	3,9270	0,90	8,17	0,8481	0,0002
11:00:01	234	21,3	70,7	0,9841	8,19	4,8480	0,69	11,50	1,0872	0,0003
11:10:01	1504	23,1	64,9	0,9227	11,07	5,4190	0,83	17,13	1,0029	0,0004
11:20:01	1474	23,6	64,7	0,9227	11,94	5,5915	0,86	16,99	0,9899	0,0004
11:30:01	1129	24,7	63	0,9427	13,24	5,6453	0,94	16,60	0,9646	0,0004
11:40:01	629	25,2	63,8	0,9684	13,14	5,3060	0,99	12,37	0,9427	0,0003
11:50:01	1618	26,6	63,3	0,9327	16,84	4,8583	1,38	15,76	0,7319	0,0004
12:00:01	1223	26,1	61,9	0,9684	15,19	4,4543	1,36	14,66	0,7235	0,0004
12:10:01	186	25,7	59,3	0,9894	13,16	4,4003	1,20	10,15	0,8020	0,0003
12:20:01	285	24,8	59,4	0,9736	13,11	4,5460	1,16	12,14	0,7886	0,0003
12:30:01	760	26,8	57,4	0,9684	15,72	4,4250	1,41	15,81	0,7225	0,0004
12:40:01	467	25,2	59,8	0,9841	13,26	4,3225	1,23	10,85	0,7596	0,0003
12:50:01	962	27,2	57	0,9632	16,77	4,1158	1,62	16,11	0,6452	0,0004
13:00:01	179	25,7	59,1	0,9841	14,31	3,9778	1,44	9,14	0,6680	0,0002
13:10:01	855	27	57,6	0,9632	16,76	4,1343	1,61	15,16	0,6410	0,0004
13:20:01	249	26	58,1	0,9841	15,1	4,5333	1,33	11,16	0,7346	0,0003
13:30:01	1023	27,4	56,3	0,9684	17,74	4,5880	1,53	15,36	0,6887	0,0004
13:40:01	799	27,9	56,7	0,9684	18,71	4,1493	1,79	14,68	0,6081	0,0004
13:50:01	332	26,8	56,6	0,9788	17,05	4,1755	1,63	11,42	0,6286	0,0003
14:00:01	877	27,8	55,1	0,9788	18,51	4,6300	1,58	14,06	0,6812	0,0004
14:10:01	638	28,8	54,1	0,9788	18,66	4,9148	1,50	14,80	0,7584	0,0004
14:20:01	680	28,9	53,8	0,9788	18,64	5,0978	1,45	14,29	0,7921	0,0004
14:30:01	899	29	53	0,9788	19,14	5,3423	1,42	14,86	0,8132	0,0004

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2 \text{ sec}$ ]	[sec/m]	[ $\mu\text{mol}/$ $m^2 \text{ sec}$ ]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
14:40:01	905	29,5	52,2	0,9736	20,12	5,5118	1,44	14,98	0,8216	0,0004
14:50:01	783	29,7	52,4	0,9736	20,22	5,6250	1,42	15,06	0,8445	0,0004
15:00:01	845	29,8	52,1	0,9632	20,93	5,7755	1,43	15,60	0,8426	0,0004
15:10:01	385	30,2	52,2	0,9684	21,3	5,8085	1,44	15,01	0,8516	0,0004
15:20:01	779	31	52,5	0,9684	23,53	5,4338	1,70	15,50	0,7562	0,0004
15:30:01	474	30,7	52,7	0,9841	22,74	5,0403	1,77	13,12	0,7136	0,0003
15:40:01	597	30,3	50,6	0,9684	22,91	5,2028	1,73	11,84	0,7140	0,0003
15:50:01	697	30,8	51	0,9736	23,49	5,4580	1,69	14,49	0,7521	0,0004
16:00:01	657	31	50,4	0,9788	23,78	5,3588	1,74	14,86	0,7379	0,0004
16:10:01	580	31	47,5	0,9684	23,96	4,7220	1,99	14,53	0,6453	0,0004
16:20:01	537	31,2	47	0,9736	24,18	3,6553	2,59	13,75	0,5008	0,0003
16:30:01	174	30,3	45,7	0,9736	23,29	3,2630	2,81	7,04	0,4405	0,0002
16:40:01	284	30,7	42,3	0,9841	24,15	3,5800	2,65	9,20	0,4770	0,0002
16:50:01	194	30,5	47,5	0,9947	21,95	3,5675	2,42	11,93	0,5167	0,0003
17:00:01	259	30,4	45,1	0,9894	22,72	3,2980	2,71	10,57	0,4588	0,0003
17:10:01	331	30	40	0,9788	22,86	3,1383	2,87	9,93	0,4241	0,0002
17:20:01	166	29,8	38,5	0,9841	22,18	2,9063	3,01	9,39	0,4001	0,0002
17:30:01	266	29,8	37,4	0,9788	22,35	2,6443	3,33	9,34	0,3613	0,0002
17:40:01	147	29,5	38,5	0,9788	21,66	2,5380	3,37	8,17	0,3516	0,0002
17:50:01	173	29,5	37,8	0,9788	21,93	2,3783	3,64	8,31	0,3254	0,0002
18:00:01	105	29,3	36,9	0,9788	21,71	2,1200	4,05	8,02	0,2896	0,0002
18:10:01	125	29,4	38,6	0,9684	22,04	1,9845	4,39	7,52	0,2686	0,0002
18:20:01	135	29,3	38,8	0,9736	21,57	1,9165	4,45	7,29	0,2635	0,0002
18:30:01	105	29,1	38,5	0,9788	22,75	1,7655	5,08	6,51	0,2284	0,0002
18:40:01	98	28,8	37,3	0,9841	24,77	1,5495	6,27	5,53	0,1818	0,0001
18:50:01	108	28,6	37,4	0,9788	24,16	1,3648	6,96	5,14	0,1621	0,0001
19:00:01	79	28,3	36,4	0,9788	23,81	1,1935	7,85	4,89	0,1413	0,0001
19:10:01	69	27,9	34,2	0,9841	23,18	1,0010	9,13	4,16	0,1190	0,0001
19:20:01	62	27,2	34,7	0,9788	21,96	0,8438	10,29	4,06	0,1015	0,0001
19:30:01	53	26,8	35	0,9788	21,02	0,7513	11,09	3,62	0,0921	0,0001
19:40:01	48	26,4	35,2	0,9788	20,39	0,7330	11,04	3,37	0,0905	0,0001
19:50:01	43	26,2	36,5	0,9841	19,89	0,7498	10,54	3,38	0,0938	0,0001
20:00:01	40	26,4	35,8	0,9894	20,17	0,7078	11,31	3,13	0,0884	0,0001
20:10:01	37	26,6	32,8	0,9841	20,49	0,6113	13,29	2,89	0,0760	0,0001
20:20:01	32	26,2	35	0,9841	19,74	0,5120	15,31	2,45	0,0645	0,0001
20:30:01	30	25,9	35,8	0,9841	19,01	0,4135	18,28	2,69	0,0532	0,0001
20:40:01	26	25,7	38	0,9894	18,52	0,3033	24,27	2,20	0,0396	0,0001
20:50:01	20	25,1	39,7	0,9894	20,32	0,1735	46,33	1,61	0,0201	0,0000
21:00:01	16	24,5	42	0,9894	18,95	0,0730	102,96	1,47	0,0087	0,0000
21:10:01	12	23,7	44,7	0,9841	17,41	0,0388	178,84	1,37	0,0048	0,0000
21:20:01	9	23,1	46,2	0,9894	16,24	0,0285	227,44	1,42	0,0036	0,0000
21:30:01	6	22,3	47,6	0,9841	14,96	0,0110	544,82	1,13	0,0015	0,0000
21:40:01	3	21,7	49,4	0,9841	14,03	0,0058	980,61	0,49	0,0008	0,0000
21:50:01	3	21	52,1	0,9841	12,84	0,0100	517,45	0,44	0,0014	0,0000
22:00:01	2	20,5	52,4	0,9894	12,26	0,0228	217,68	0,64	0,0033	0,0000
22:10:01	2	19,9	53,1	0,9894	11,51	0,0595	78,35	0,49	0,0088	0,0000
22:20:01	2	19,3	55,4	0,9894	10,63	0,0780	55,35	0,68	0,0120	0,0000
22:30:01	2	18,8	57,1	0,9894	9,97	0,0573	70,90	0,39	0,0091	0,0000
22:40:01	2	18,3	59,1	0,9894	9,27	0,0548	69,09	0,39	0,0091	0,0000
22:50:01	2	17,9	60,8	0,9894	8,66	0,0653	54,26	0,39	0,0113	0,0000
23:00:01	2	17,8	60,6	0,9894	8,54	0,0533	65,56	0,49	0,0093	0,0000
23:10:01	2	17,3	62,4	0,9841	7,86	0,0370	87,09	0,29	0,0068	0,0000
23:20:01	2	16,9	63,3	0,9894	7,43	0,0203	150,70	0,59	0,0038	0,0000
23:30:01	2	16,5	65	0,9894	6,88	0,0128	222,05	0,29	0,0025	0,0000
23:40:01	2	16,2	66	0,9894	6,52	0,0543	49,53	0,44	0,0112	0,0000
23:50:01	2	16	66,8	0,9894	6,25	0,1063	24,26	0,24	0,0225	0,0000
00:00:01	2	16,4	67,6	0,9894	6,62	0,1020	26,72	0,34	0,0209	0,0000
00:10:01	1	16,1	68,7	0,9894	6,36	0,0835	31,40	0,15	0,0175	0,0000
00:20:01	2	16	69,1	0,9841	6,18	0,0765	33,34	-0,05	0,0164	-0,0000
00:30:01	2	15,8	70,5	0,9894	5,89	0,0735	33,08	-0,34	0,0163	-0,0000
00:40:01	2	15,7	71,3	0,9894	5,69	0,0765	30,72	0,29	0,0175	0,0000
00:50:01	2	15,6	71,9	0,9894	5,53	0,0880	25,97	0,05	0,0205	0,0000
01:00:01	2	15,4	72,5	0,9894	5,35	0,1123	19,71	0,10	0,0267	0,0000



Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2$ sec]	[sec/m]	[ $\mu$ mol/ $m^2$ sec]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
01:10:01	2	15,3	73,2	0,9894	5,17	0,1213	17,65	0,20	0,0297	0,0000
01:20:01	2	15,2	73,5	0,9894	5,08	0,0993	21,19		0,0246	
01:30:01	2	15	74,3	0,9894	4,88	0,0883	22,92	0,20	0,0224	0,0000
01:40:01	2	14,9	74,8	0,9894	4,74	0,0930	21,13		0,0242	
01:50:01	2	14,8	75,1	0,9894	4,63	0,1223	15,72	-0,05	0,0323	-0,0000
02:00:01	2	14,6	76,2	0,9894	4,4	0,1880	9,72	0,15	0,0516	0,0000
02:10:01	2	14,9	74,8	0,9947	4,68	0,2055	9,44	-0,20	0,0542	-0,0000
02:20:01	2	14,4	73,9	0,9841	4,33	0,1780	10,11	-0,24	0,0490	-0,0000
02:30:01	1	14,2	76,8	0,9894	4,49	0,1305	14,29	0,10	0,0343	0,0000
02:40:01	2	14	77,7	0,9894	4,28	0,1033	17,24	0,05	0,0281	0,0000
02:50:01	2	13,8	78,8	0,9894	4,06	0,1303	12,97	0,29	0,0369	0,0000
03:00:01	1	13,6	79,3	0,9894	3,88	0,1263	12,80	0,59	0,0369	0,0000
03:10:01	2	13,4	79,8	0,9894	3,8	0,1215	13,04	0,39	0,0358	0,0000
03:20:01	1	13,3	80,4	0,9894	3,69	0,1530	10,05	0,24	0,0461	0,0000
03:30:01	2	13,3	80,4	0,9894	3,68	0,1595	9,62	0,25	0,0482	0,0000
03:40:01	2	13,2	80,7	0,9894	3,62	0,1848	8,17	0,29	0,0563	0,0000
03:50:01	2	13,1	81	0,9894	3,55	0,2418	6,13	0,64	0,0747	0,0000
04:00:01	1	13,1	80,2	0,9947	3,59	0,2435	6,15	0,10	0,0744	0,0000
04:10:01	2	13,4	76,6	0,9894	4	0,1973	8,45	0,54	0,0552	0,0000
04:20:01	2	13,1	78,3	0,9894	3,71	0,1538	10,08	0,24	0,0454	0,0000
04:30:01	2	13	78,7	0,9894	3,33	0,1193	11,68	0,54	0,0389	0,0000
04:40:01	2	12,8	78,7	0,9894	3,25	0,0903	15,08	0,83	0,0298	0,0000
04:50:01	1	12,7	78,9	0,9894	3,16	0,0770	17,19	0,44	0,0260	0,0000
05:00:01	1	12,6	79,6	0,9841	3,02	0,0670	18,90	0,68	0,0235	0,0000
05:10:01	2	12,4	79,9	0,9841	2,95	0,0608	20,37	0,93	0,0215	0,0000
05:20:01	2	12,4	80,6	0,9894	2,82	0,0863	13,72	0,88	0,0319	0,0000
05:30:01	4	12,4	80,8	0,9894	2,78	0,1010	11,55	1,17	0,0379	0,0000
05:40:01	6	12,4	80,8	0,9841	2,78	0,1175	9,93	1,08	0,0441	0,0000
05:50:01	10	12,3	81,1	0,9894	2,73	0,1818	6,31	1,61	0,0691	0,0000
06:00:01	14	12,3	81,8	0,9894	2,75	0,6100	1,89	1,95	0,2301	0,0000
06:10:01	18	12,4	79,9	0,9894	2,89	0,9350	1,30	3,08	0,3379	0,0001
06:20:01	24	12,3	72,7	0,9894	3,92	0,4805	3,42	2,69	0,1272	0,0001
06:30:01	29	12,5	80,4	0,9947	3,01	0,1438	8,78	3,23	0,0502	0,0001
06:40:01	35	12,6	81,1	0,9894	2,84	0,2323	5,13	3,62	0,0866	0,0001
06:50:01	40	12,7	81,8	0,9947	2,75	0,2895	3,98	4,11	0,1122	0,0001
07:00:01	46	12,8	82,3	0,9894	2,69	0,3335	3,38	4,69	0,1330	0,0001
07:10:01	54	13,1	81,3	0,9894	2,79	0,4663	2,50	5,39	0,1829	0,0001
07:20:01	61	13,2	81,5	0,9894	2,79	0,7370	1,58	5,87	0,2910	0,0001
07:30:01	73	13,4	80,8	0,9841	2,98	0,9308	1,34	7,00	0,3487	0,0002
07:40:01	65	13,8	77,9	0,9841	3,39	0,9325	1,52	6,65	0,3154	0,0002
07:50:01	71	14,2	77,7	0,9894	3,7	0,9078	1,70	7,04	0,2888	0,0002
08:00:01	74	14,6	76,4	0,9894	4,01	1,0633	1,57	7,23	0,3205	0,0002
08:10:01	129	15,1	74	0,9841	4,56	1,4583	1,30	8,26	0,3995	0,0002
08:20:01	525	15,8	72,7	0,9684	5,06	1,8648	1,12	13,01	0,4819	0,0003
08:30:01	575	16,8	67,2	0,9684	6,07	2,0808	1,20	13,51	0,4783	0,0003
08:40:01	615	17,7	63,4	0,9581	7,53	2,1780	1,41	13,17	0,4277	0,0003
08:50:01	646	18,7	61,4	0,9529	8,85	2,2253	1,62	13,02	0,3964	0,0003
09:00:01	702	19,6	57,6	0,9478	10,12	2,2398	1,83	12,92	0,3695	0,0003
09:10:01	745	20,6	54,9	0,9478	11,52	2,1610	2,15	12,57	0,3336	0,0003
09:20:01	782	21,6	53,1	0,9478	13,03	1,9218	2,73	12,17	0,2791	0,0003
09:30:01	626	22,3	49,1	0,9788	13,49	1,7258	3,13	10,27	0,2529	0,0003
09:40:01	148	23,4	49,3	0,9841	15,12	1,8485	3,26	9,04	0,2587	0,0002
09:50:01	150	24,3	48,7	0,9841	16,93	1,5815	4,25	9,14	0,2090	0,0002
10:00:01	908	25,3	42	0,9427	20,12	0,5753	13,83	9,85	0,0679	0,0002

Tab. 10: Teil 2 - Analysenergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.2.1

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
05:30:01				0,000		0,000	0,223		0,274
05:40:01	0,5			0,149	0,279	0,185	0,231	-0,000	0,281
05:50:01	1,21		0,016	9,611	0,954	9,731	0,222	0,000	0,273
06:00:01	1,71			42,958	1,942	43,136	0,207	0,000	0,261
06:10:01	2,72		0,016	93,395	3,558	93,647	0,206	0,003	0,261
06:20:01	5,3			119,935	6,751	120,361	0,225	0,007	0,276
06:30:01	8	68,77	0,016	126,153	11,286	127,417	0,230	0,012	0,280
06:40:01	10,11			143,486	16,698	146,142	0,229	0,022	0,279
06:50:01	11,4			167,046	22,699	170,814	0,228	0,035	0,279
07:00:01	12,5	260,06	0,3954	189,282	29,047	194,743	0,229	0,052	0,279
07:10:01	13,7			241,884	35,917	249,068	0,225	0,080	0,276
07:20:01	12,9			353,625	42,490	361,188	0,218	0,122	0,270
07:30:01	12,3	503,74	0,9302	505,064	48,661	513,872	0,209	0,190	0,263
07:40:01	12,42			672,734	54,848	682,771	0,202	0,272	0,257
07:50:01	12,2			860,487	60,843	871,743	0,186	0,389	0,245
08:00:01	12,1	606,12	1,3119	1034,991	66,695	1047,596	0,166	0,513	0,230
08:10:01	12,03			1109,902	72,299	1124,724	0,173	0,597	0,236
08:20:01	11,8			1134,178	77,837	1146,944	0,201	0,620	0,257
08:30:01	10,7	1001,37	3,4841	1129,545	82,759	1145,104	0,207	0,744	0,262
08:40:01	9,89			1113,334	86,965	1129,857	0,217	0,883	0,270
08:50:01	10			1094,888	90,893	1115,157	0,218	1,040	0,271
09:00:01	10,2	415,72	1,955	1073,443	94,852	1096,776	0,214	1,200	0,267
09:10:01	10,48			1038,820	98,662	1066,840	0,203	1,351	0,259
09:20:01	9,8			970,071	102,187	999,297	0,179	1,491	0,240
09:30:01	9,6	858,87	4,362	926,086	105,897	956,796	0,155	1,616	0,223
09:40:01	9,505			927,543	109,838	957,858	0,151	1,730	0,220
09:50:01	9,198456			886,625	113,389	919,734	0,142	1,935	0,214
10:00:01	9,3	1148,85	8,5037	853,441	116,823	888,722	0,131	2,163	0,206
10:10:01	8,9			842,105	120,256	873,853	0,134	2,397	0,209
10:20:01	9,2			841,580	123,707	875,475	0,147	2,661	0,217
10:30:01	9,3			861,859	127,341	897,260	0,151	2,826	0,220
10:40:01	9,5			871,176	130,944	908,364	0,146	3,034	0,217
10:50:01	9,7			893,576	134,676	932,094	0,135	3,181	0,209
11:00:01	9,8	1314,98	5,6998	901,719	138,368	942,261	0,115	3,389	0,197
11:10:01	10,2			844,589	141,591	894,287	0,122	3,680	0,201
11:20:01	10			812,251	144,711	863,334	0,123	3,958	0,202
11:30:01	9,8			788,143	147,720	842,800	0,125	4,221	0,203
11:40:01	9,7			793,068	150,825	847,667	0,127	4,418	0,204
11:50:01	9,8			780,405	153,784	836,844	0,146	4,665	0,216
12:00:01	9,9	872,41	11,2581	784,536	156,822	844,285	0,147	4,897	0,217
12:10:01	9,9			777,438	159,766	842,463	0,139	5,055	0,212
12:20:01	10			772,472	162,680	838,520	0,140	5,244	0,213
12:30:01	10			754,992	165,437	825,468	0,147	5,484	0,217
12:40:01	10,1			773,439	168,426	841,146	0,143	5,653	0,215
12:50:01	10			752,514	171,112	826,092	0,154	5,896	0,222
13:00:01	9,9	924,77	11,5836	758,578	173,955	829,726	0,152	6,036	0,221
13:10:01	9,788			741,020	176,577	815,888	0,155	6,262	0,223
13:20:01	9,5			730,932	179,186	806,011	0,145	6,426	0,216
13:30:01	9,3			702,413	181,554	781,752	0,150	6,643	0,219
13:40:01	9			681,512	183,828	761,110	0,158	6,844	0,225
13:50:01	9,1			676,049	186,155	756,840	0,156	6,999	0,223
14:00:01	9,2	851,79	22,363	667,735	188,420	752,335	0,151	7,188	0,220
14:10:01	9,3			660,588	190,651	748,097	0,143	7,385	0,215
14:20:01	9,1			647,502	192,786	736,569	0,140	7,571	0,213
14:30:01	9			632,368	194,833	723,940	0,138	7,760	0,211
14:40:01	7,9			576,926	196,454	670,831	0,137	7,934	0,211
14:50:01	7,8			549,412	198,045	643,681	0,135	8,100	0,210
15:00:01	7,78	590,61	20,8212	531,929	199,580	627,528	0,136	8,267	0,210
15:10:01	7,78			526,523	201,126	622,662	0,135	8,426	0,209
15:20:01	7,9	*		530,282	202,718	626,573	0,143	8,591	0,215
15:30:01	8			540,957	204,387	637,632	0,148	8,734	0,218

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
15:40:01	8,01			531,006	205,905	632,723	0,147	8,860	0,218
15:50:01	8,1			532,769	207,478	634,433	0,144	9,016	0,215
16:00:01	8,2	660,51	19,6492	535,210	209,057	638,902	0,145	9,176	0,216
16:10:01	8,33			522,778	210,494	633,288	0,154	9,328	0,222
16:20:01	8,5			520,404	211,960	632,742	0,169	9,472	0,233
16:30:01	8,7			518,222	213,408	634,102	0,176	9,546	0,238
16:40:01	9,17			514,016	214,814	637,964	0,172	9,641	0,235
16:50:01	9,2			539,631	216,551	653,320	0,168	9,770	0,232
17:00:01	9,4	616,84	25,1038	546,112	218,182	665,894	0,174	9,886	0,236
17:10:01	9,96			536,428	219,618	668,198	0,178	9,993	0,239
17:20:01	10			525,523	220,976	661,423	0,180	10,093	0,241
17:30:01	10	563,68	15,7548	513,649	222,247	652,776	0,185	10,189	0,245
17:40:01	10,1			511,286	223,604	648,803	0,186	10,273	0,245
17:50:01	10,37			510,861	224,974	650,795	0,189	10,359	0,248
18:00:01	10,64			510,788	226,342	653,610	0,193	10,441	0,251
18:10:01	10,91			518,095	227,852	657,996	0,196	10,519	0,253
18:20:01	11,18			528,055	229,448	668,477	0,197	10,597	0,254
18:30:01	11,45			537,286	231,094	679,408	0,201	10,667	0,257
18:40:01	11,72			542,982	232,724	688,900	0,207	10,727	0,262
18:50:01	11,99			548,994	234,402	695,729	0,209	10,784	0,264
19:00:01	12,31	593,02	25,4579	553,437	236,069	703,577	0,212	10,838	0,266
19:10:01	12,26			552,849	237,564	709,166	0,215	10,885	0,268
19:20:01	12,21			552,668	239,065	708,777	0,217	10,930	0,270
19:30:01	12,16			552,739	240,570	709,109	0,219	10,970	0,271
19:40:01	12,11			552,877	242,072	709,740	0,219	11,008	0,271
19:50:01	12,06			554,904	243,669	709,633	0,218	11,045	0,271
20:00:01	12,01	593,79	11,915	555,771	245,208	713,194	0,219	11,080	0,271
20:10:01	11,96			552,631	246,490	718,272	0,221	11,112	0,273
20:20:01	11,91			552,154	247,919	713,301	0,222	11,139	0,274
20:30:01	11,86			552,307	249,390	712,416	0,224	11,169	0,275
20:40:01	11,81			553,767	251,020	709,399	0,226	11,194	0,277
20:50:01	11,76			554,956	252,757	707,368	0,229	11,212	0,279
21:00:01	11,7	589,55	10,342	555,746	254,639	703,437	0,230	11,228	0,280
21:10:01	11,55			556,317	256,652	698,246	0,231	11,244	0,281
21:20:01	11,4			556,812	258,738	696,013	0,231	11,259	0,281
21:30:01	11,25			557,020	260,851	693,706	0,231	11,272	0,281
21:40:01	11,1			557,145	263,035	690,241	0,231	11,277	0,281
21:50:01	10,95			557,413	265,346	684,514	0,231	11,282	0,281
22:00:01	10,8	596,11	13,76	558,023	267,638	685,419	0,231	11,290	0,281
22:10:01	10,65			559,646	269,915	686,236	0,230	11,295	0,280
22:20:01	10,5			562,094	272,284	683,533	0,230	11,303	0,280
22:30:01	10,35			564,042	274,699	681,888	0,230	11,307	0,280
22:40:01	10,2			566,105	277,178	679,471	0,230	11,312	0,280
22:50:01	10,05			568,765	279,697	678,406	0,230	11,316	0,280
23:00:01	10	638,77	7,9163	570,870	282,171	682,046	0,230	11,322	0,280
23:10:01	10,03			572,543	284,738	679,604	0,230	11,325	0,281
23:20:01	10,06			573,553	287,383	679,023	0,231	11,332	0,281
23:30:01	10,09			574,284	290,134	675,831	0,231	11,335	0,281
23:40:01	10,12			577,656	292,949	677,259	0,230	11,340	0,280
23:50:01	10,15			584,639	295,813	682,849	0,228	11,343	0,279
00:00:01	10,18	567,93	11,3593	591,271	298,728	688,059	0,228	11,347	0,279
00:10:01	10,21			597,011	301,712	691,446	0,229	11,349	0,279
00:20:01	10,24			602,345	304,697	696,496	0,229	11,348	0,279
00:30:01	10,27			607,999	307,795	698,798	0,229	11,344	0,279
00:40:01	10,3			614,186	310,943	703,426	0,229	11,348	0,279
00:50:01	10,33			621,547	314,128	709,817	0,228	11,349	0,279
01:00:01	10,5			631,544	317,415	718,834	0,228	11,350	0,278
01:10:01	10,53			642,705	320,746	728,665	0,227	11,352	0,278
01:20:01	10,56			651,866	324,096	737,751	0,228	11,352	0,278
01:30:01	10,59			660,351	327,496	744,518	0,228	11,355	0,279
01:40:01	10,62			669,524	330,927	752,918	0,228	11,355	0,279
01:50:01	10,65			681,667	334,376	764,927	0,227	11,354	0,278
02:00:01	10,68	730,41	10,5636	701,200	337,897	781,620	0,224	11,356	0,275

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
02:10:01	10,71		35,4444	720,045	341,348	806,065	0,224	11,353	0,275
02:20:01	10,74			735,246	344,682	825,208	0,225	11,350	0,276
02:30:01	10,77			747,108	348,237	827,900	0,227	11,351	0,277
02:40:01	10,8			756,959	351,851	835,422	0,227	11,352	0,278
02:50:01	10,83			770,158	355,538	845,532	0,226	11,357	0,277
03:00:01	10,84			783,186	359,245	857,550	0,226	11,366	0,277
03:10:01	10,87			795,729	362,984	869,052	0,226	11,372	0,277
03:20:01	10,9			811,776	366,762	883,661	0,225	11,376	0,276
03:30:01	10,93			827,919	370,536	900,544	0,225	11,380	0,276
03:40:01	10,96			846,251	374,329	918,497	0,224	11,385	0,275
03:50:01	10,99			869,552	378,139	941,399	0,221	11,396	0,273
04:00:01	11,02	927,69	8,746	890,939	381,920	966,559	0,221	11,398	0,273
04:10:01	11,05		14,01	902,834	385,419	993,022	0,224	11,408	0,275
04:20:01	11,08			913,381	389,033	997,801	0,225	11,412	0,276
04:30:01	11,11			922,389	392,674	1006,028	0,226	11,422	0,277
04:40:01	11,14			929,139	396,311	1013,554	0,227	11,438	0,278
04:50:01	11,17			935,016	399,960	1019,408	0,228	11,446	0,278
05:00:01	11,09			940,099	403,571	1022,428	0,228	11,459	0,279
05:10:01	11,09			944,746	407,186	1026,590	0,228	11,477	0,279
05:20:01	11,09			951,982	410,862	1031,689	0,227	11,493	0,278
05:30:01	11,09			960,390	414,534	1039,981	0,226	11,516	0,277
05:40:01	11,09			969,504	418,158	1049,790	0,225	11,537	0,276
05:50:01	11,09			983,697	421,817	1063,421	0,222	11,569	0,273
06:00:01	11,09	739,75	7,7764	1026,597	425,506	1104,039	0,201	11,609	0,257
06:10:01	11,09			1066,196	429,046	1152,435	0,188	11,675	0,247
06:20:01	11,09			1065,428	432,065	1183,381	0,214	11,733	0,267
06:30:01	11,09	704,86	9,5268	1070,954	435,638	1156,339	0,224	11,803	0,276
06:40:01	11,09			1080,179	439,213	1163,190	0,219	11,881	0,272
06:50:01	11,09			1092,766	442,850	1173,365	0,216	11,971	0,269
07:00:01	11,09	1189,35	7,7776	1106,082	446,474	1185,108	0,213	12,076	0,267
07:10:01	11,09			1119,293	450,010	1203,445	0,207	12,197	0,261
07:20:01	11,09			1136,651	453,544	1220,557	0,193	12,331	0,251
07:30:01	11,09	1253,36	10,1148	1146,924	456,982	1234,665	0,186	12,492	0,246
07:40:01	11,09			1142,210	460,202	1243,915	0,190	12,645	0,249
07:50:01	11,09			1139,810	463,421	1243,153	0,194	12,807	0,251
08:00:01	11,09	1117,27	8,6902	1132,648	466,535	1242,750	0,190	12,971	0,248
08:10:01	11,09			1112,988	469,438	1235,042	0,181	13,156	0,241
08:20:01	11,09			1084,043	472,157	1212,942	0,171	13,440	0,234
08:30:01	11,09	1359,65	17,11	1036,436	474,487	1192,068	0,172	13,722	0,235
08:40:01	11,09			987,197	476,501	1161,597	0,177	13,983	0,239
08:50:01	11,09			946,250	478,347	1130,892	0,181	14,231	0,241
09:00:01	11,09	1172,63	14,8591	902,431	479,908	1105,912	0,184	14,465	0,244
09:10:01	11,09			863,929	481,281	1080,987	0,188	14,684	0,247
09:20:01	11,09			834,126	482,527	1060,431	0,195	14,888	0,252
09:30:01	11,09	1038,74	18,621	805,971	483,607	1052,127	0,198	15,054	0,255
09:40:01	11,09			785,195	484,714	1030,945	0,197	15,197	0,254
09:50:01	11,09			770,282	485,774	1019,485	0,203	15,338	0,259
10:00:01	11,09	665,19	21,7858	758,006	486,242	1040,026	0,222	15,489	0,274

### 8.4.3 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.2.2

Tab. 11 Teil 1 - Klimatische Parameter für Versuch 5.2.2

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	$r$	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2$ sec]	[sec/m]	[ $\mu$ mol/ $m^2$ sec]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
03:30:00	2	21,70	70,40	1,00	10,02	0,14	27,90	0,65	0,03	
03:40:00	3	21,50	70,50	0,99	9,88	0,16	24,51	-0,12	0,03	-0,0004
03:50:00	2	21,40	71,20	1,00	9,50	0,16	23,70	0,46	0,03	0,0013
04:00:00	2	21,20	71,70	0,99	9,29	0,17	22,50	0,40	0,03	0,0012
04:10:00	2	21,10	72,20	1,00	9,12	0,14	26,33	0,59	0,03	0,0017
04:20:00	2	21,00	72,80	1,00	8,87	0,09	38,75	0,40	0,02	0,0012
04:30:00	2	20,80	73,40	0,99	8,65	0,12	28,01	0,33	0,02	0,0010
04:40:00	2	20,70	73,90	0,99	8,50	0,15	23,18	-0,06	0,03	-0,0002
04:50:00	2	20,60	74,30	0,99	8,37	0,20	16,81	-0,25	0,04	-0,0007
05:00:00	2	20,60	74,70	1,00	8,24	0,18	18,59	-0,12	0,04	-0,0004
05:10:00	2	20,50	74,90	1,00	8,14	0,18	17,97	-0,19	0,04	-0,0005
05:20:00	2	20,40	75,60	1,00	7,90	0,11	28,07	-0,12	0,02	-0,0003
05:30:00	2	20,30	72,50	1,00	7,88	0,06	52,88	-0,32	0,01	-0,0009
05:40:00	3	20,00	65,10	0,99	7,40	0,00	2995,94	-0,17	0,00	-0,0005
05:50:00			75,10		5,90	0,00	2631,58	1,50	0,00	0,0044
06:00:00	4	17,10	84,80	0,97	4,04	0,00	936,37	0,10	0,00	0,0003
06:10:00	7	16,50	84,40	0,97	3,06	0,00	709,89	0,28	0,00	0,0008
06:20:00	10	16,70	92,40	0,98	2,90	0,00	672,77	0,35	0,00	0,0010
06:30:00	15	16,50	93,20	0,98	2,67	0,01	98,59	0,89	0,01	0,0026
06:40:00	21	16,20	83,20	0,97	2,47	0,03	38,66	1,16	0,02	0,0034
06:50:00	29	16,30	79,70	0,98	2,02	0,05	17,89	1,70	0,03	0,0049
07:00:00	37	19,00	87,60	1,00	4,24	0,06	28,15	2,10	0,02	0,0061
07:10:00	47	18,40	82,10	0,98	4,40	0,09	19,63	2,50	0,03	0,0073
07:20:00	56	18,70	83,20	0,98	4,60	0,11	17,06	3,17	0,04	0,0092
07:30:00	70	18,80	86,10	0,98	4,80	0,14	13,85	3,78	0,04	0,0110
07:40:00	77	19,00	85,10	0,98	4,88	0,19	10,26	3,97	0,06	0,0116
07:50:00	86	19,00	82,70	0,97	4,79	0,30	6,48	4,24	0,10	0,0123
08:00:00	100	19,30	85,50	0,97	4,98	0,39	5,11	4,78	0,13	0,0139
08:10:00	115	19,80	83,00	0,97	5,64	0,51	4,49	5,18	0,15	0,0151
08:20:00	137	20,10	80,30	0,95	6,52	0,56	4,69	6,72	0,14	0,0195
08:30:00	159	20,70	79,60	0,95	7,14	0,75	3,82	7,39	0,18	0,0215
08:40:00	188	21,30	79,70	0,95	8,04	0,95	3,39	7,19	0,21	0,0209
08:50:00	256	22,20	81,30	0,93	10,05	1,18	3,42	7,72	0,22	0,0225
09:00:00	292	23,40	82,10	0,93	12,31	1,28	3,82	7,80	0,21	0,0227
09:10:00	332	24,30	76,80	0,92	14,45	1,35	4,24	7,72	0,20	0,0225
09:20:00	388	25,10	74,10	0,91	16,36	1,37	4,70	7,92	0,19	0,0230
09:30:00	428	26,00	71,30	0,91	18,47	1,34	5,43	7,73	0,17	0,0225
09:40:00	434	26,90	68,40	0,94	18,90	1,28	5,78	6,79	0,17	0,0197
09:50:00	242	27,80	68,50	0,96	20,47	1,29	6,16	5,85	0,17	0,0170
10:00:00	253	28,80	69,80	0,95	23,34	1,34	6,77	5,44	0,16	0,0158
10:10:00	510	29,60	66,00	0,89	28,79	1,38	8,09	5,38	0,14	0,0156
10:20:00	615	30,10	63,90	0,87	31,11	1,36	8,80	5,18	0,14	0,0151
10:30:00	640	30,80	62,80	0,87	33,49	1,36	9,48	4,84	0,13	0,0141
10:40:00	672	31,40	61,00	0,86	35,92	1,35	10,22	4,38	0,12	0,0127
10:50:00	694	32,10	59,20	0,86	38,56	1,32	11,13	4,04	0,12	0,0118
11:00:00	716	32,70	57,20	0,86	41,21	1,29	12,22	3,84	0,11	0,0112
11:10:00	722	33,10	55,80	0,85	43,13	1,23	13,34	3,51	0,10	0,0102
11:20:00	732	33,40	55,40	0,85	44,38	1,22	13,79	3,57	0,10	0,0104
11:30:00	705	33,90	55,20	0,85	46,01	1,23	14,23	3,44	0,10	0,0100
11:40:00	1024	34,50	55,40	0,80	52,31	1,25	15,83	3,11	0,09	0,0090
11:50:00	1164	35,20	54,80	0,78	57,17	1,29	16,78	2,77	0,09	0,0081
12:00:00	1200	36,10	53,50	0,82	57,50	1,30	16,60	2,77	0,10	0,0081
12:10:00	1206	37,00	50,90	0,88	56,24	1,33	15,88	2,84	0,10	0,0083
12:20:00	1198	37,90	49,00	0,79	68,74	1,28	20,05	2,77	0,09	0,0081
12:30:00	686	38,00	46,30	0,84	65,14	1,25	19,51	2,64	0,09	0,0077
12:40:00	500	38,20	43,50	0,86	64,57	1,25	19,29	2,57	0,09	0,0075
12:50:00	353	38,40	41,90	0,85	67,43	1,27	19,85	2,64	0,09	0,0077
13:00:00	350	38,60	40,30	0,84	69,75	1,27	20,39	2,57	0,09	0,0075
13:10:00	701	38,80	39,40	0,85	70,26	1,22	21,39	2,44	0,08	0,0071
13:20:00	721	38,90	38,40	0,87	68,67	1,17	21,84	2,44	0,08	0,0071

Zeit	Qext [ $\mu\text{E}$ ]	Text [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Ch12 [%]	$\beta$	ALVPD [mbar/ bar]	TRANS [mmol/ $\text{m}^2 \text{ sec}$ ]	r [sec/m]	NETFOT [ $\mu\text{mol}/$ $\text{m}^2 \text{ sec}$ ]	$k_B$ [1/ 10min]	$w_B$ [1/ 10min]
13:30:00	856	39,10	37,60	0,85	71,52	1,10	24,12	3,71	0,08	0,0108
13:40:00	837	39,20	36,60	0,85	72,61	1,11	24,27	2,64	0,08	0,0077
13:50:00	754	39,40	36,80	0,85	72,91	1,17	23,24	2,24	0,08	0,0065
14:00:00	626	39,70	37,10	0,85	73,73	1,24	22,09	2,04	0,08	0,0059
14:10:00	705	39,80	35,10	0,86	72,91	1,27	21,25	2,97	0,09	0,0086
14:20:00	677	40,00	34,70	0,87	72,84	1,30	20,77	2,84	0,09	0,0082
14:30:00	721	40,20	34,30	0,86	74,68	1,35	20,54	2,03	0,09	0,0059
14:40:00	986	40,40	33,00	0,85	77,96	1,38	20,91	1,97	0,09	0,0057
14:50:00	754	40,60	32,30	0,84	79,98	1,38	21,41	1,83	0,09	0,0053
15:00:00	915	40,70	32,40	0,85	79,99	0,92	31,98	1,90	0,06	0,0055

Tab. 12: Teil 2 - Analyseergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.2.2

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
03:30:00				0,00					
03:40:00	32			0,71	0,12	0,75	0,24	-0,00	-0,00
03:50:00	75			2,41	0,42	2,53	0,24	0,00	0,00
04:00:00	148			5,85	1,00	6,14	0,24	0,00	0,00
04:10:00	252			10,87	1,99	11,43	0,24	0,00	0,00
04:20:00	360			15,72	3,42	16,65	0,23	0,00	0,00
04:30:00	360			22,28	4,84	23,57	0,23	0,00	0,00
04:40:00	311			28,84	6,07	30,42	0,24	0,00	0,00
04:50:00	444			41,79	7,84	43,81	0,24	0,00	0,00
05:00:00	459			53,63	9,68	56,08	0,24	0,00	0,00
05:10:00	547			68,06	11,89	71,04	0,24	-0,00	-0,00
05:20:00	537			76,86	14,05	80,29	0,23	-0,00	-0,00
05:30:00	522	64,88		81,06	16,06	85,47	0,23	-0,00	-0,00
05:40:00	522			81,12	17,84	87,34	0,23	-0,00	-0,01
05:50:00	507			81,20	19,77	86,12	0,23	0,00	0,01
06:00:00	516	86,44		81,46	22,01	84,80	0,23	0,00	0,01
06:10:00	522			81,80	24,25	85,58	0,23	0,00	0,01
06:20:00	527			82,21	26,74	84,24	0,23	0,00	0,01
06:30:00	536	77,93		85,06	29,29	87,06	0,23	0,00	0,02
06:40:00	536			91,16	31,53	96,46	0,23	0,01	0,03
06:50:00	529			103,01	33,63	109,84	0,24	0,01	0,05
07:00:00	530	154,51	0,45	112,19	36,01	116,66	0,23	0,02	0,07
07:10:00	552			124,00	38,28	130,86	0,24	0,03	0,11
07:20:00	568			137,81	40,64	144,63	0,24	0,04	0,15
07:30:00	579	220,85	0,42	155,35	43,11	161,34	0,24	0,05	0,21
07:40:00	579			177,69	45,54	184,48	0,24	0,07	0,28
07:50:00	580			208,81	47,87	217,10	0,25	0,09	0,37
08:00:00	563	208,56	0,21	244,87	50,19	252,15	0,25	0,12	0,49
08:10:00	543			277,10	52,34	286,00	0,25	0,15	0,63
08:20:00	528			299,07	54,28	309,76	0,25	0,20	0,84
08:30:00	514	286,62	0,32	320,71	56,15	332,16	0,26	0,26	1,08
08:40:00	514			341,66	58,01	353,44	0,26	0,32	1,33
08:50:00	516			359,37	59,86	370,57	0,26	0,38	1,61
09:00:00	523	344,09	0,51	374,59	61,75	385,65	0,26	0,45	1,90
09:10:00	526			380,64	63,48	395,36	0,26	0,52	2,20
09:20:00	524			382,24	65,10	399,10	0,26	0,60	2,51
09:30:00	435	285,67	0,89	370,65	66,32	389,69	0,26	0,67	2,80
09:40:00	528			371,29	67,86	392,74	0,26	0,73	3,06
09:50:00	508			370,60	69,35	392,45	0,26	0,78	3,29
10:00:00	494	371,60	2,12	368,92	70,80	390,30	0,26	0,83	3,49
10:10:00	490			361,88	72,02	386,37	0,25	0,88	3,70
10:20:00	488			354,07	73,16	380,48	0,25	0,93	3,89
10:30:00	571	379,79	3,45	352,75	74,51	380,46	0,25	0,97	4,07
10:40:00	578			350,74	75,81	380,30	0,25	1,01	4,23
10:50:00	584			348,13	77,06	379,57	0,25	1,04	4,38
11:00:00	589	448,96	4,11	344,89	78,26	378,39	0,25	1,08	4,52
11:10:00	593			341,43	79,42	376,53	0,25	1,11	4,65
11:20:00	601			338,36	80,57	374,30	0,25	1,14	4,78
11:30:00	613	459,90	5,19	336,14	81,74	372,75	0,25	1,17	4,91
11:40:00	637			333,91	82,88	370,87	0,24	1,20	5,02
11:50:00	672			332,36	84,05	370,35	0,24	1,22	5,12
12:00:00	713	507,87	7,74	333,58	85,35	373,27	0,25	1,24	5,22
12:10:00	755			337,58	86,79	380,20	0,25	1,27	5,33
12:20:00	792			337,55	88,04	382,45	0,24	1,29	5,43
12:30:00	823	420,19	3,50	338,83	89,36	386,82	0,24	1,32	5,53
12:40:00	843			339,68	90,65	390,90	0,24	1,34	5,63
12:50:00	858			339,41	91,88	392,79	0,24	1,36	5,73
13:00:00	870	502,90	6,46	338,17	93,04	393,72	0,24	1,39	5,83
13:10:00	878			336,90	94,18	393,97	0,24	1,41	5,92
13:20:00	896			336,29	95,35	395,02	0,24	1,43	6,02
13:30:00	913	504,07	5,33	335,21	96,48	395,41	0,24	1,47	6,16

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
13:30:00	856	39,10	37,60	0,85	71,52	1,10	24,12	3,71	0,08
13:40:00	837	39,20	36,60	0,85	72,61	1,11	24,27	2,64	0,08
13:50:00	754	39,40	36,80	0,85	72,91	1,17	23,24	2,24	0,08
13:40:00	930			333,89	97,58	395,75	0,24	1,49	6,26
13:50:00	945			333,26	98,72	395,65	0,24	1,51	6,35
14:00:00	960	465,00	6,91	333,27	99,89	396,10	0,24	1,53	6,43
14:10:00	975			332,63	101,01	398,19	0,24	1,56	6,54
14:20:00	1008			332,96	102,19	399,69	0,24	1,58	6,65
14:30:00	1015	394,00	6,83	332,81	103,33	400,70	0,24	1,60	6,73
14:40:00	1022			331,15	104,38	401,09	0,24	1,62	6,81
14:50:00	857			324,49	105,13	395,67	0,24	1,64	6,88
15:00:00	691	421,40	6,90	305,21			0,24	1,64	6,88



### 8.4.4 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.3.1

Tab. 13: Teil 1 - Klimatische Parameter für Versuch 5.3.1

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2$ sec]	[sec/m]	[ $\mu$ mol/ $m^2$ sec]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
03:40:00	2	15,70	68,00	6,73	0,99	0,09	31,02	1,45	-0,01	0,0001
03:50:00	2	15,60	68,30	6,60	1,00	0,11	20,74	1,51	-0,01	0,0001
04:00:00	2	15,50	68,30	6,57	0,99	0,11	29,85	1,45	-0,01	0,0001
04:10:00	2	15,40	68,50	6,42	1,00	0,07	43,51	1,42	-0,01	0,0001
04:20:00	2	15,20	69,30	6,20	0,99	0,07	32,62	1,54	-0,01	0,0001
04:30:00	2	15,20	69,60	6,14	1,00	0,07	40,57	1,65	-0,01	0,0001
04:40:00	2	15,10	69,70	6,07	1,00	0,07	35,93	1,65	-0,01	0,0001
04:50:00	2	15,00	69,90	5,98	0,99	0,09	22,80	1,77	-0,01	0,0001
05:00:00	2	14,90	70,40	5,88	1,00	0,09	33,83	1,71	-0,01	0,0001
05:10:00	2	14,90	70,50	5,87	1,00	0,07	33,96	1,68	-0,01	0,0001
05:20:00	2	14,80	70,50	5,81	1,00	0,08	27,92	1,68	-0,01	0,0001
05:30:00	3	14,90	69,00	5,85	1,00	0,12	15,92	1,74	-0,02	0,0001
05:40:00	5	14,60	67,70	5,60	1,00	0,14	15,97	1,86	-0,02	0,0001
05:50:00	8	14,40	68,20	5,34	1,00	0,15	12,91	2,15	-0,02	0,0001
06:00:00	12	14,30	68,40	5,15	1,01	0,17	11,84	2,35	-0,03	0,0001
06:10:00	18	14,20	69,20	5,18	1,00	0,16	14,69	2,67	-0,02	0,0001
06:20:00	26	14,00	71,00	4,94	1,00	0,15	13,23	3,13	-0,02	0,0002
06:30:00	31	14,00	74,90	4,76	1,00	0,20	8,13	3,11	-0,04	0,0002
06:40:00	37	13,90	75,20	4,76	1,00	0,21	10,40	3,51	-0,03	0,0002
06:50:00	43	13,60	76,20	4,49	0,99	0,16	12,74	3,72	-0,03	0,0002
07:00:00	48	13,30	73,60	4,15	0,99	0,12	17,41	4,00	-0,02	0,0002
07:10:00	56	13,30	74,00	4,08	0,98	0,14	8,80	4,35	-0,04	0,0002
07:20:00	66	13,40	76,90	4,02	0,98	0,19	8,95	4,76	-0,04	0,0002
07:30:00	75	13,60	78,70	4,11	0,98	0,19	10,19	5,13	-0,03	0,0003
07:40:00	112	14,30	80,60	4,54	0,97	0,17	12,43	5,89	-0,03	0,0003
07:50:00	116	14,70	81,20	4,57	0,97	0,25	6,06	6,00	-0,06	0,0003
08:00:00	119	15,10	81,20	5,03	0,97	0,41	5,37	6,35	-0,07	0,0003
08:10:00	125	15,90	78,90	6,08	0,97	0,49	6,29	6,73	-0,06	0,0003
08:20:00	210	16,70	78,20	7,91	0,92	0,70	4,39	7,97	-0,09	0,0004
08:30:00	197	17,50	76,90	9,40	0,92	0,83	5,06	8,47	-0,08	0,0004
08:40:00	210	18,00	73,80	9,64	0,94	0,76	5,74	8,47	-0,07	0,0004
08:50:00	236	18,60	71,20	10,35	0,94	0,73	6,17	8,76	-0,07	0,0004
09:00:00	231	19,10	70,40	10,81	0,95	0,82	5,42	9,07	-0,08	0,0005
09:10:00	308	19,90	70,20	12,20	0,94	0,91	5,57	9,79	-0,08	0,0005
09:20:00	298	20,30	70,70	12,49	0,94	0,95	5,25	9,87	-0,09	0,0005
09:30:00	274	20,90	70,10	12,93	0,96	0,97	5,56	10,04	-0,09	0,0005
09:40:00	229	21,10	67,80	12,97	0,96	0,94	5,62	9,78	-0,08	0,0005
09:50:00	209	21,20	67,00	13,04	0,97	0,96	5,39	9,63	-0,09	0,0005
10:10:00	256	21,80	66,20	13,89	0,97	1,09	5,20	10,50	-0,09	0,0005
10:20:00	289	22,10	66,70	14,58	0,96	1,17	5,09	10,84	-0,09	0,0005
10:30:00	310	22,60	65,60	15,29	0,96	1,20	5,11	11,16	-0,10	0,0006
10:40:00	259	22,60	63,30	15,23	0,97	1,17	5,27	10,73	-0,09	0,0005
10:50:00	167	22,60	60,90	15,06	0,99	1,06	6,18	9,02	-0,07	0,0005
11:00:00	155	22,50	58,90	14,90	0,98	1,05	5,28	8,50	-0,08	0,0004
11:10:00	184	22,50	58,70	14,88	0,99	1,19	4,86	9,22	-0,09	0,0005
11:20:00	229	22,50	60,10	15,12	0,98	1,27	4,87	10,20	-0,09	0,0005
11:30:00	250	22,80	61,30	15,60	0,97	1,29	4,95	10,69	-0,09	0,0005
11:40:00	248	23,00	60,30	16,00	0,98	1,27	5,11	10,76	-0,09	0,0005
11:50:00	216	23,10	58,90	15,93	0,98	1,17	5,86	10,44	-0,08	0,0005
12:00:00	188	23,10	57,40	15,91	0,99	1,18	5,19	9,56	-0,08	0,0005
12:10:00	229	23,30	57,70	16,59	0,98	1,31	5,01	10,58	-0,09	0,0005
12:20:00	244	23,50	58,50	16,82	0,98	1,37	4,96	10,87	-0,09	0,0005
12:30:00	272	23,60	57,40	17,50	0,98	1,44	4,90	11,09	-0,09	0,0006
12:40:00	330	23,90	58,10	18,14	0,97	1,49	4,92	11,83	-0,09	0,0006
12:50:00	316	24,10	55,70	18,67	0,97	1,71	4,55	11,78	-0,10	0,0006
13:00:00	648	25,00	56,70	21,95	0,93	2,05	4,19	13,21	-0,12	0,0007
13:10:00	564	25,90	57,30	23,01	0,94	2,01	4,59	13,83	-0,11	0,0007
13:20:00	319	25,80	53,90	21,38	0,98	1,84	4,64	12,56	-0,10	0,0006
13:30:00	393	25,90	52,90	21,60	0,98	2,07	4,10	13,06	-0,12	0,0007
13:40:00	659	26,50	54,80	23,83	0,94	3,13	3,51	14,21	-0,15	0,0007

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2 \text{ sec}$ ]	[sec/m]	[ $\mu\text{mol}/$ $m^2 \text{ sec}$ ]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
13:50:00	1171	28,70	56,70	35,28	0,81	4,07	2,92	17,13	-0,20	0,0009
14:00:00	951	29,70	55,90	31,30	0,93	3,73	3,36	17,08	-0,18	0,0009
14:10:00	691	29,10	52,00	28,35	0,96	3,47	3,36	15,97	-0,17	0,0008
14:20:00	1321	29,50	52,50	31,77	0,90	3,37	3,79	16,70	-0,15	0,0008
14:30:00	832	29,40	50,60	29,96	0,95	3,10	3,66	14,87	-0,15	0,0007
14:40:00	886	29,20	49,50	29,36	0,95	3,06	3,70	15,14	-0,14	0,0008
14:50:00	450	29,40	49,70	28,49	0,99	3,20	3,32	14,12	-0,16	0,0007
15:00:00	617	29,90	50,90	29,23	0,99	3,13	4,01	14,86	-0,14	0,0007
15:10:00	797	29,60	48,20	29,54	0,97	3,58	3,16	13,97	-0,17	0,0007
15:20:00	1507	31,00	51,80	34,98	0,92	3,85	3,38	17,48	-0,18	0,0009
15:30:00	592	30,40	50,80	29,87	1,00	3,07	3,93	15,34	-0,15	0,0008
15:40:00	404	29,70	50,00	27,84	1,01	2,54	4,44	13,51	-0,12	0,0007
15:50:00	353	29,10	48,30	26,74	1,01	2,22	4,75	12,93	-0,11	0,0006
16:00:00	333	28,70	47,90	25,76	1,01	2,03	4,97	12,39	-0,10	0,0006
16:10:00	319	28,20	45,20	24,87	1,01	1,84	5,37	12,15	-0,09	0,0006
16:20:00	244	27,60	45,50	23,86	1,01	1,64	5,79	10,99	-0,08	0,0006
16:30:00	237	27,00	44,50	22,78	1,01	1,31	7,84	10,41	-0,05	0,0005
16:40:00	141	26,40	46,20	21,72	1,00	1,04	8,15	7,34	-0,05	0,0004
16:50:00	127	25,80	48,70	20,56	1,01	1,07	6,55	6,73	-0,07	0,0003
17:00:00	139	25,50	49,20	19,15	1,02	1,22	5,61	6,92	-0,08	0,0003
17:10:00	179	25,10	50,20	18,29	1,02	1,29	5,62	8,24	-0,08	0,0004
17:20:00	226	25,00	51,30	18,38	1,01	1,28	5,84	9,31	-0,08	0,0005
17:30:00	207	24,90	51,60	18,55	1,01	1,09	7,96	9,36	-0,06	0,0005
17:40:00	144	24,60	49,80	18,46	1,00	0,96	7,20	7,34	-0,06	0,0004
17:50:00	156	24,40	49,90	18,01	1,01	1,11	5,70	7,51	-0,07	0,0004
18:00:00	213	24,40	51,30	17,67	1,01	1,14	6,71	8,76	-0,06	0,0004
18:10:00	174	24,30	48,40	17,85	1,00	1,03	6,90	7,94	-0,06	0,0004
18:20:00	152	24,10	48,80	17,55	1,00	1,02	6,68	7,45	-0,06	0,0004
18:30:00	146	24,10	53,40	17,25	1,01	0,95	7,83	7,34	-0,06	0,0004
18:40:00	100	23,80	53,40	17,04	1,01	0,81	8,89	5,86	-0,05	0,0003
18:50:00	79	23,60	52,40	16,86	1,01	0,76	8,42	4,93	-0,05	0,0002
19:00:00	59	23,40	52,40	16,14	1,01	0,80	7,48	4,15	-0,05	0,0002
19:10:00	53	23,20	50,90	15,64	1,02	0,79	7,92	3,83	-0,05	0,0002
19:20:00	42	22,90	52,00	14,93	1,02	0,77	7,39	3,30	-0,05	0,0002
19:30:00	38	22,70	54,20	14,51	1,03	0,84	6,39	3,16	-0,06	0,0002
19:40:00	34	22,50	55,10	14,14	1,03	0,88	6,36	2,99	-0,06	0,0001
19:50:00	33	22,20	55,80	13,75	1,03	0,85	6,45	2,93	-0,06	0,0001
20:00:00	25	22,00	54,50	13,43	1,03	0,81	6,67	2,61	-0,06	0,0001
20:10:00	21	21,80	53,30	13,09	1,03	0,76	6,94	2,49	-0,05	0,0001
20:20:00	18	21,50	53,40	12,78	1,03	0,74	6,77	2,32	-0,06	0,0001
20:30:00	17	21,40	54,40	12,60	1,03	0,77	6,21	2,26	-0,06	0,0001
20:40:00	15	21,20	55,90	12,31	1,03	0,78	6,36	2,12	-0,06	0,0001
20:50:00	12	21,10	56,20	12,13	1,03	0,74	6,93	2,06	-0,06	0,0001
21:00:00	8	21,20	55,80	12,11	1,03	0,65	7,98	1,91	-0,05	0,0001
21:10:00	6	20,90	55,40	11,86	1,03	0,55	9,60	1,83	-0,04	0,0001
21:20:00	4	20,80	56,50	11,77	1,02	0,53	8,27	1,68	-0,05	0,0001
21:30:00	3	20,70	56,60	11,70	1,02	0,50	11,09	1,62	-0,03	0,0001
21:40:00	3	20,60	57,10	11,53	1,02	0,38	13,51	1,57	-0,03	0,0001
21:50:00	3	20,50	57,00	11,53	1,02	0,32	15,67	1,60	-0,02	0,0001
22:00:00	2	20,60	55,90	11,51	1,02	0,30	14,87	1,59	-0,02	0,0001
22:10:00	2	20,20	50,10	11,29	1,01	0,31	14,39	1,57	-0,02	0,0001
22:20:00	2	20,00	49,60	11,02	1,01	0,32	13,38	1,62	-0,02	0,0001
22:30:00	2	19,80	49,40	10,86	1,01	0,31	15,02	1,71	-0,02	0,0001
22:40:00	2	19,60	49,30	10,70	1,01	0,29	15,17	1,62	-0,02	0,0001
22:50:00	2	19,40	49,60	10,61	1,00	0,27	16,43	1,65	-0,02	0,0001
23:00:00	2	19,30	54,00	10,43	0,99	0,24	18,21	1,62	-0,02	0,0001
23:10:00	2	19,20	57,80	10,26	0,99	0,21	21,43	1,62	-0,02	0,0001
23:20:00	2	19,10	59,70	10,17	1,00	0,19	22,59	1,62	-0,02	0,0001
23:30:00	3	19,10	59,80	10,11	0,99	0,18	23,48	1,62	-0,02	0,0001
23:40:00	2	19,10	60,00	10,10	0,99	0,17	26,14	1,60	-0,01	0,0001
23:50:00	3	19,20	60,60	10,02	1,00	0,17	23,33	1,60	-0,02	0,0001
00:00:00	2	19,40	59,70	10,04	1,00	0,17	26,17	1,62	-0,01	0,0001
00:10:00	2	19,40	59,20	10,11	1,00	0,14	33,51	1,62	-0,01	0,0001

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2$ sec]	[sec/m]	[ $\mu$ mol/ $m^2$ sec]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
00:20:00	2	19,30	61,50	9,98	0,99	0,13	29,59	1,62	-0,01	0,0001
00:30:00	2	19,20	61,70	9,90	0,99	0,14	26,85	1,62	-0,01	0,0001
00:40:00	2	19,20	62,20	9,77	1,00	0,15	26,59	1,62	-0,01	0,0001
00:50:00	2	19,20	62,40	9,74	0,99	0,12	39,94	1,65	-0,01	0,0001
01:00:00	2	19,10	62,50	9,62	1,00	0,09	48,88	1,65	-0,01	0,0001
01:10:00	2	18,90	62,90	9,37	1,00	0,09	39,69	1,59	-0,01	0,0001
01:20:00	2	18,70	63,30	9,16	0,99	0,09	38,49	1,57	-0,01	0,0001
01:30:00	2	18,60	63,70	8,97	1,00	0,09	47,85	1,57	-0,01	0,0001
01:40:00	2	18,50	64,10	8,80	1,00	0,07	52,98	1,57	-0,01	0,0001
01:50:00	2	18,30	64,70	8,57	1,00	0,04	154,46	1,51	-0,00	0,0001
02:00:00	2	18,00	64,60	8,32	1,00	0,02	171,91	1,39	-0,00	0,0001
02:10:00	2	17,80	64,60	7,99	0,99	0,05	36,30	1,48	-0,01	0,0001
02:20:00	2	17,50	65,10	7,71	1,00	0,08	40,14	1,51	-0,01	0,0001
02:30:00	2	17,30	65,40	7,54	1,00	0,06	74,48	1,48	-0,00	0,0001
02:40:00	2	17,10	66,30	7,26	1,00	0,03	170,08	1,45	-0,00	0,0001
02:50:00	2	16,90	67,10	7,04	1,00	0,01	404,64	1,54	-0,00	0,0001
03:00:00	3	16,80	67,80	6,89	1,00	0,01	197,71	1,48	-0,00	0,0001
03:10:00	2	16,70	68,30	6,73	1,00	0,01	226,32	1,39	-0,00	0,0001
03:20:00	2	16,60	68,70	6,60	1,00	0,04	37,75	1,33	-0,01	0,0001
03:30:00	2	16,50	68,80	6,51	1,00	0,05	82,37	1,39	-0,00	0,0001
03:40:00	2	16,40	69,20	6,40	1,00	0,03	86,12	1,42	-0,00	0,0001
03:50:00	3	16,30	69,70	6,27	1,00	0,05	34,96	1,36	-0,01	0,0001
04:00:00	2	16,40	68,30	6,36	1,00	0,06	63,56	1,42	-0,01	0,0001
04:10:00	2	16,20	67,30	6,17	0,99	0,04	82,77	1,39	-0,00	0,0001
04:20:00	2	16,10	67,50	6,02	1,00	0,02	807,41	1,33	-0,00	0,0001
04:30:00	2	16,00	68,30	5,87	1,00	0,05	25,34	1,39	-0,01	0,0001
04:40:00	2	15,80	70,70	5,83	0,99	0,09	25,01	1,60	-0,01	0,0001
04:50:00	2	15,60	71,20	5,69	0,99	0,07	47,14	1,57	-0,01	0,0001
05:00:00	2	15,40	71,80	5,47	1,00	0,04	68,18	1,62	-0,01	0,0001
05:10:00	2	15,20	72,20	5,27	1,00	0,02	351,55	1,65	-0,00	0,0001
05:20:00	3	15,00	72,60	5,09	0,99	0,01	294,05	1,74	-0,00	0,0001
05:30:00	3	14,70	72,80	4,96	1,00	0,01	250,27	1,74	-0,00	0,0001
05:40:00	4	14,50	73,10	4,82	1,00	0,01	241,67	1,77	-0,00	0,0001
05:50:00	8	14,30	73,60	4,65	1,00	0,10	11,59	1,88	-0,03	0,0001
06:00:00	13	14,80	74,70	5,07	1,01	0,18	10,79	2,20	-0,03	0,0001
06:10:00	18	14,00	71,10	4,68	0,99	0,25	6,20	2,99	-0,05	0,0002
06:20:00	26	13,80	73,30	4,85	0,98	0,56	2,49	-2,64	-0,13	-0,0001
06:30:00	33	13,70	75,40	4,71	0,98	0,87	2,02	-6,64	-0,16	-0,0003
06:40:00	41	13,60	76,30	4,59	0,99	0,86	2,45	-11,66	-0,14	-0,0006
06:50:00	52	13,50	76,90	4,49	0,98	0,59	4,55	-15,38	-0,07	-0,0008
07:00:00	64	13,50	77,50	4,43	0,98	0,24	27,60	-19,20	-0,01	-0,0010
07:10:00	75	13,50	78,00	4,36	0,98	0,04	177,96	-17,12	-0,00	-0,0009
07:20:00	88	13,60	78,70	4,26	0,98	0,06	18,00	-18,74	-0,02	-0,0009
07:30:00	104	13,80	79,10	4,31	0,98	0,10	18,52	-21,10	-0,02	-0,0011
07:40:00	124	14,10	79,90	4,44	0,98	0,06	185,79	-14,84	-0,00	-0,0007
07:50:00	137	14,30	80,00	4,46	0,99	0,01	192,27	-0,23	-0,00	-0,0000
08:00:00	149	14,60	80,40	4,62	0,98	0,01	195,32	10,88	-0,00	0,0005

Tab. 14: Teil 2 - Analysenergebnisse und Modellwerte für Versuch 5.3.1

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
03:50:00	148			1,21	1,59	1,71	0,21	0,00	0,27
04:00:00	448			3,83	6,35	5,84	0,21	0,00	0,27
04:10:00	749			10,08	14,31	14,59	0,21	0,00	0,27
04:20:00	1049			16,08	25,46	23,90	0,21	0,00	0,27
04:30:00	1343			26,38	39,78	38,47	0,21	0,01	0,27
04:40:00	1649			36,55	57,26	53,90	0,21	0,01	0,27
04:50:00	1684			48,12	74,83	70,64	0,21	0,02	0,27
05:00:00	1712			66,61	92,70	94,05	0,21	0,03	0,27
05:10:00	1740			79,16	110,64	111,80	0,21	0,03	0,27
05:20:00	1766			91,76	128,61	129,70	0,21	0,05	0,27
05:30:00	1808			106,86	146,37	152,24	0,21	0,06	0,27
05:40:00	1893			133,29	164,41	186,39	0,21	0,08	0,27
05:50:00	1906	59,88		158,55	182,48	216,58	0,21	0,10	0,27
06:00:00	1924			189,60	200,66	253,01	0,21	0,13	0,27
06:10:00	1994			224,09	219,46	291,68	0,21	0,17	0,27
06:20:00	2080			253,63	239,52	323,09	0,21	0,22	0,27
06:30:00	1924			285,24	258,74	350,18	0,21	0,27	0,27
06:40:00	1899			337,10	277,47	405,92	0,21	0,35	0,27
06:50:00	1881	221,82		376,04	295,90	446,47	0,21	0,43	0,27
07:00:00	2045			408,55	315,06	491,73	0,21	0,53	0,27
07:10:00	2176			432,50	335,44	519,71	0,21	0,64	0,27
07:20:00	2261			483,79	357,52	566,38	0,21	0,78	0,27
07:30:00	1964		2,15	526,74	376,18	606,87	0,21	0,93	0,27
07:40:00	1728			558,73	392,12	634,80	0,21	1,12	0,27
07:50:00	1452	597,41		579,22	404,54	655,27	0,21	1,32	0,27
08:00:00	1287			611,60	414,66	689,56	0,21	1,54	0,27
08:10:00	1198			639,56	423,19	728,85	0,21	1,78	0,27
08:20:00	1124			654,97	429,89	748,69	0,20	2,08	0,27
08:30:00	999		4,30	665,80	434,83	766,25	0,21	2,41	0,27
08:40:00	927			669,34	438,76	784,30	0,21	2,74	0,27
08:50:00	844	667,83		666,11	441,39	793,23	0,21	3,09	0,27
09:00:00	759			658,93	443,05	790,07	0,21	3,45	0,27
09:10:00	570			640,23	442,61	772,13	0,21	3,83	0,27
09:20:00	626			626,25	442,85	756,01	0,20	4,21	0,27
09:30:00	581		12,11	609,65	442,65	742,00	0,21	4,58	0,27
09:40:00	572			593,39	442,19	735,78	0,21	4,94	0,27
09:50:00	562	1000,70		578,18	441,61	723,91	0,21	5,29	0,27
10:00:00	536		9,13	562,17	440,77	707,62	0,20	5,65	0,27
10:10:00	520			545,74	439,71	694,36	0,20	6,01	0,27
10:20:00	491			528,35	438,36	674,32	0,20	6,38	0,27
10:30:00	481		14,62	510,58	436,84	660,86	0,20	6,75	0,27
10:40:00	493			494,31	435,35	654,08	0,20	7,10	0,27
10:50:00	508	990,80		480,82	433,94	650,49	0,21	7,40	0,27
11:00:00	550		14,93	471,59	432,75	649,45	0,21	7,67	0,27
11:10:00	575			463,30	431,81	641,64	0,20	7,97	0,27
11:20:00	593			456,67	431,15	628,70	0,20	8,29	0,27
11:30:00	569		12,12	449,40	430,33	615,94	0,20	8,62	0,27
11:40:00	568			442,24	429,46	612,74	0,20	8,95	0,27
11:50:00	577	800,55		435,81	428,57	611,96	0,21	9,28	0,27
12:00:00	568		14,93	429,79	427,52	611,91	0,21	9,57	0,27
12:10:00	659			428,30	427,29	609,04	0,20	9,89	0,27
12:20:00	529			420,32	425,97	597,10	0,20	10,22	0,27
12:30:00	530		17,71	412,10	424,56	592,96	0,20	10,55	0,27
12:40:00	504			403,39	422,97	580,61	0,20	10,89	0,27
12:50:00	516	1032,05		394,77	421,33	581,42	0,20	11,24	0,27
13:00:00	454		19,09	382,27	419,07	563,72	0,20	11,61	0,26
13:10:00	388			365,74	416,38	543,53	0,20	11,99	0,26
13:20:00	392			351,10	413,69	541,80	0,20	12,33	0,26
13:30:00	379		18,40	337,74	410,86	531,25	0,20	12,68	0,26
13:40:00	334			321,54	407,70	505,82	0,20	13,04	0,26
13:50:00	278	772,63		296,99	403,87	471,86	0,19	13,45	0,26

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
14:00:00	266		19,10	270,15	400,27	446,67	0,20	13,83	0,26
14:10:00	294			251,96	396,87	442,46	0,20	14,18	0,26
14:20:00	285			236,18	393,32	423,01	0,20	14,54	0,26
14:30:00	281			223,79	389,83	416,37	0,20	14,85	0,26
14:40:00	262			211,53	386,20	406,56	0,20	15,16	0,26
14:50:00	253			201,60	382,65	394,07	0,20	15,44	0,26
15:00:00	235			190,98	379,06	377,09	0,20	15,72	0,26
15:10:00	244			182,35	375,44	376,83	0,20	15,99	0,26
15:20:00	204			170,67	371,61	349,79	0,20	16,29	0,26
15:30:00	222	702,10	36,69	162,96	368,08	344,05	0,20	16,56	0,26
15:40:00	244			159,16	364,76	341,54	0,20	16,79	0,26
15:50:00	269			157,41	361,61	344,36	0,20	17,01	0,26
16:00:00	289			157,02	358,64	343,87	0,20	17,23	0,27
16:10:00	325			157,63	355,85	352,64	0,21	17,44	0,27
16:20:00	350			159,22	353,30	351,77	0,21	17,64	0,27
16:30:00	388			161,59	350,98	356,38	0,21	17,82	0,27
16:40:00	410			164,06	348,94	351,79	0,21	17,95	0,27
16:50:00	425			167,43	347,24	345,56	0,21	18,07	0,27
17:00:00	440		34,01	172,21	345,74	347,85	0,21	18,19	0,27
17:10:00	464			178,84	344,54	350,42	0,21	18,33	0,27
17:20:00	468			185,22	343,41	352,46	0,21	18,50	0,27
17:30:00	479	568,43		191,59	342,41	357,31	0,21	18,67	0,27
17:40:00	517			196,49	341,56	367,95	0,21	18,80	0,27
17:50:00	534			201,99	340,89	372,78	0,21	18,94	0,27
18:00:00	521			208,65	340,27	374,36	0,21	19,11	0,27
18:10:00	558			214,08	339,65	389,34	0,21	19,26	0,27
18:20:00	563			219,00	339,12	392,63	0,21	19,41	0,27
18:30:00	516		29,46	223,95	338,63	381,75	0,21	19,55	0,27
18:40:00	527			228,64	338,23	386,25	0,21	19,66	0,27
18:50:00	543			232,66	337,89	393,49	0,21	19,76	0,27
19:00:00	550			236,85	337,64	397,57	0,21	19,84	0,27
19:10:00	579			241,88	337,55	407,62	0,21	19,92	0,27
19:20:00	589			246,84	337,65	408,92	0,21	19,99	0,27
19:30:00	589	1008,10		252,77	337,98	407,56	0,21	20,06	0,27
19:40:00	600			260,19	338,49	412,17	0,21	20,12	0,27
19:50:00	627			268,60	339,30	418,57	0,21	20,18	0,27
20:00:00	662		20,93	277,10	340,28	431,93	0,21	20,24	0,27
20:10:00	698			285,30	341,42	444,74	0,21	20,29	0,27
20:20:00	723			293,30	342,77	453,04	0,21	20,34	0,27
20:30:00	740			302,10	344,41	459,15	0,21	20,40	0,27
20:40:00	748			312,16	346,23	464,85	0,21	20,45	0,27
20:50:00	768			322,43	348,25	474,96	0,21	20,49	0,27
21:00:00	795			332,07	350,43	486,96	0,21	20,54	0,27
21:10:00	854		28,74	341,55	353,06	499,01	0,21	20,59	0,27
21:20:00	856			349,28	355,78	504,04	0,21	20,63	0,27
21:30:00	886	657,98		358,89	358,74	514,58	0,21	20,67	0,27
21:40:00	910			366,32	361,91	521,58	0,21	20,71	0,27
21:50:00	943			372,82	365,33	529,91	0,21	20,76	0,27
22:00:00	983	523,64	23,82	378,55	368,88	541,23	0,21	20,80	0,27
22:10:00	1154			384,97	372,74	570,97	0,21	20,84	0,27
22:20:00	1211			391,20	376,90	581,16	0,21	20,89	0,27
22:30:00	1262			398,20	381,36	591,18	0,21	20,94	0,27
22:40:00	1312			404,74	386,13	600,51	0,21	20,99	0,27
22:50:00	1368			411,62	391,27	608,83	0,21	21,04	0,27
23:00:00	1343			418,69	397,01	601,31	0,21	21,09	0,27
23:10:00	1202			424,86	402,20	594,58	0,21	21,14	0,27
23:20:00	1157			430,33	407,30	594,48	0,21	21,19	0,27
23:30:00	1127			435,23	412,02	600,86	0,21	21,24	0,27
23:40:00	959			438,22	415,13	604,27	0,21	21,28	0,27
23:50:00	931			440,74	418,06	605,46	0,21	21,33	0,27
00:00:00	920		13,81	443,32	420,71	612,87	0,21	21,38	0,27
00:10:00	914			445,45	423,21	618,12	0,21	21,43	0,27
00:20:00	885			447,08	425,67	610,96	0,21	21,48	0,27

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
00:30:00	901			449,13	428,27	613,16	0,21	21,53	0,27
00:40:00	880			451,27	430,76	614,09	0,21	21,58	0,27
00:50:00	864			453,24	433,04	616,06	0,21	21,63	0,27
01:00:00	881	730,20		454,69	435,50	618,00	0,21	21,69	0,27
01:10:00	899			455,98	438,16	618,54	0,21	21,74	0,27
01:20:00	917			457,68	440,97	619,52	0,21	21,78	0,27
01:30:00	930			459,56	443,98	620,73	0,21	21,83	0,27
01:40:00	943			461,17	447,14	621,69	0,21	21,88	0,27
01:50:00	959			462,73	450,49	621,76	0,21	21,93	0,27
02:00:00	991		15,67	463,32	454,12	624,08	0,21	21,97	0,27
02:10:00	1017			463,87	457,89	625,96	0,21	22,02	0,27
02:20:00	1041			466,67	462,00	627,91	0,21	22,07	0,27
02:30:00	1063			469,33	466,32	630,68	0,21	22,11	0,27
02:40:00	1075			470,83	470,85	629,51	0,21	22,16	0,27
02:50:00	1089			471,53	475,60	628,01	0,21	22,21	0,27
03:00:00	1065			471,82	480,15	626,43	0,21	22,25	0,27
03:10:00	1085			472,44	484,93	626,17	0,21	22,30	0,27
03:20:00	1106			473,02	489,94	626,37	0,21	22,34	0,27
03:30:00	1132			476,66	495,17	631,15	0,21	22,38	0,27
03:40:00	1153			478,40	500,63	632,59	0,21	22,43	0,27
03:50:00	1172			480,14	506,31	633,55	0,21	22,47	0,27
04:00:00	1210		11,79	484,52	512,07	646,85	0,21	22,52	0,27
04:10:00	1265			487,00	518,06	656,41	0,21	22,56	0,27
04:20:00	1291			488,96	524,34	659,37	0,21	22,61	0,27
04:30:00	1305			489,17	530,86	657,45	0,21	22,65	0,27
04:40:00	1286			496,01	537,48	653,49	0,21	22,71	0,27
04:50:00	1295			503,19	544,21	659,93	0,21	22,76	0,27
05:00:00	1301	791,20		507,09	551,12	662,50	0,21	22,81	0,27
05:10:00	1582			510,92	561,19	666,93	0,21	22,87	0,27
05:20:00	1882			511,89	574,52	669,31	0,21	22,93	0,27
05:30:00	2206			513,37	591,54	674,26	0,21	22,99	0,27
05:40:00	2520			515,42	612,02	680,05	0,21	23,05	0,27
05:50:00	2805			517,87	635,70	685,69	0,21	23,11	0,27
06:00:00	2749		24,51	568,19	659,22	734,98	0,21	23,19	0,27
06:10:00	3096		9,15	627,08	684,20	824,81	0,21	23,32	0,27
06:20:00	3118			719,43	709,76	908,94	0,20	23,20	0,26
06:30:00	3019			932,21	734,80	1112,97	0,20	22,82	0,26
06:40:00	2702			1130,17	756,34	1309,43	0,20	22,06	0,26
06:50:00	2098			1208,45	770,48	1386,43	0,21	20,99	0,27
07:00:00	1784			1228,84	780,85	1404,53	0,21	19,63	0,27
07:10:00	1477			1229,07	787,51	1402,32	0,21	18,43	0,27
07:20:00	1019			1228,38	788,65	1396,36	0,21	17,11	0,27
07:30:00	429			1212,10	782,64	1375,67	0,21	15,65	0,27
07:40:00	139			1191,69	773,18	1347,10	0,21	14,65	0,27
07:50:00				1189,38	762,14	1341,81	0,21	14,63	0,27
08:00:00				1187,13	751,26	1334,38	0,21	15,36	0,27

### 8.4.5 Meßdaten und errechnete Modellwerte von Versuch 5.3.2

Tab. 15: Teil 1 - Klimatische Parameter für Versuch 5.3.2

Zeit	Qext	Text	Ch12	$\beta$	ALVPD	TRANS	r	NETFOT	$k_B$	$w_B$
	[ $\mu E$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[%]		[mbar/ bar]	[mmol/ $m^2 \text{ sec}$ ]	[sec/m]	[ $\mu\text{mol}/$ $m^2 \text{ sec}$ ]	[1/ 10min]	[1/ 10min]
03:50:00	2	17,50	65,60	1,00	8,11	0,01	254,16	-0,13	0,00	-0,0005
04:00:00	2	17,30	66,30	1,01	7,83	0,00	1441,24	-0,12	0,00	-0,0005
04:10:00	2	17,00	67,20	1,01	7,51	0,00	30889,47	-0,13	0,00	-0,0005
04:20:00	2	16,80	68,00	1,01	7,25	0,00	29848,05	-0,14	0,00	-0,0006
04:30:00	2	16,60	68,80	1,01	6,96	0,00	28667,58	-0,14	0,00	-0,0006
04:40:00	2	16,40	69,70	1,01	6,76	0,00	27856,88	-0,16	0,00	-0,0007
04:50:00	2	16,30	70,50	1,01	6,57	0,00	27086,65	-0,14	0,00	-0,0006
05:00:00	2	16,20	70,90	1,01	6,49	0,02	121,19	-0,20	0,00	-0,0008
05:10:00	2	16,10	71,20	1,01	6,44	0,04	64,69	-0,18	0,01	-0,0008
05:20:00	2	16,00	71,70	1,00	6,28	0,04	68,05	-0,17	0,01	-0,0007
05:30:00	2	15,80	72,20	1,00	6,13	0,04	61,58	-0,17	0,01	-0,0007
05:40:00	2	15,80	71,10	1,01	6,05	0,05	54,26	-0,16	0,01	-0,0007
05:50:00	4	15,80	65,20	1,00	6,13	0,04	62,37	-0,13	0,01	-0,0005
06:00:00	6	15,50	64,00	1,00	5,89	0,05	53,43	-0,10	0,01	-0,0004
06:10:00	9	15,70	68,40	1,01	5,93	0,05	53,26	0,00	0,01	0,0000
06:20:00	14	15,40	73,70	1,00	5,74	0,04	56,40	0,34	0,01	0,0014
06:30:00	19	15,20	74,00	0,99	5,51	0,07	34,25	0,73	0,01	0,0031
06:40:00	26	15,40	75,00	1,00	5,50	0,08	28,99	1,10	0,01	0,0047
06:50:00	33	15,20	74,80	0,99	5,33	0,09	25,61	1,44	0,02	0,0061
07:00:00	41	15,10	75,80	0,99	5,22	0,12	18,06	1,87	0,02	0,0079
07:10:00	50	15,40	75,70	0,99	5,37	0,14	16,19	2,27	0,02	0,0096
07:20:00	59	15,30	75,50	0,98	5,34	0,15	14,58	2,74	0,03	0,0116
07:30:00	70	15,60	77,90	0,98	5,59	0,18	12,51	3,27	0,03	0,0138
07:40:00	75	16,00	77,00	0,98	6,01	0,20	12,24	3,61	0,03	0,0153
07:50:00	82	16,20	72,90	0,98	6,27	0,21	12,35	3,96	0,03	0,0168
08:00:00	89	16,40	71,30	0,98	6,44	0,23	11,37	4,18	0,04	0,0177
08:10:00	119	16,90	70,70	0,97	7,00	0,31	9,28	4,70	0,05	0,0199
08:20:00	220	17,40	73,10	0,96	7,72	0,38	8,17	6,25	0,05	0,0264
08:30:00	234	18,10	75,90	0,96	8,32	0,44	7,75	6,46	0,06	0,0273
08:40:00	263	18,90	73,80	0,97	9,25	0,49	7,59	7,03	0,06	0,0297
08:50:00	260	19,50	70,20	0,96	10,17	0,64	6,37	7,78	0,08	0,0329
09:00:00	360	20,50	70,40	0,95	11,55	0,84	5,50	9,33	0,10	0,0395
09:10:00	411	21,30	68,10	0,95	12,66	0,98	5,19	10,11	0,11	0,0428
09:20:00	460	21,90	65,20	0,94	13,67	1,06	5,16	10,74	0,11	0,0454
09:30:00	322	22,40	63,90	0,95	14,18	1,07	5,26	10,63	0,11	0,0449
09:40:00	442	23,10	63,00	0,97	14,73	1,09	5,39	10,22	0,11	0,0432
09:50:00	337	23,60	64,10	0,96	15,83	1,28	4,90	10,49	0,13	0,0444
10:00:00	593	24,20	65,60	0,93	17,52	1,57	4,41	12,56	0,15	0,0531
10:10:00	639	24,80	64,90	0,91	18,63	1,77	4,15	13,53	0,16	0,0572
10:20:00	679	25,20	64,40	0,91	19,57	1,93	4,00	14,09	0,17	0,0596
10:30:00	714	25,60	63,30	0,90	20,41	2,08	3,85	14,53	0,18	0,0615
10:40:00	740	26,30	61,90	0,90	21,58	2,24	3,77	14,96	0,20	0,0632
10:50:00	756	26,80	62,00	0,90	22,49	2,44	3,61	15,35	0,21	0,0649
11:00:00	779	27,30	62,10	0,90	23,63	2,30	4,00	15,67	0,19	0,0663
11:10:00	727	27,90	61,20	0,87	27,33	2,41	4,41	8,38	0,18	0,0355
11:20:00	798	28,50	60,00	0,91	26,72	2,80	3,70	13,81	0,22	0,0584
11:30:00	719	29,10	61,60	0,89	29,09	2,79	4,04	10,97	0,21	0,0464
11:40:00	310	29,50	58,30	0,94	28,64	2,98	3,71	12,47	0,24	0,0527
11:50:00	291	29,90	55,40	0,88	31,97	3,47	3,55	13,70	0,25	0,0580
12:00:00	408	30,40	54,60	0,85	35,01	3,76	3,58	14,18	0,26	0,0600
12:10:00	850	30,90	51,90	0,88	34,54	3,73	3,56	13,99	0,27	0,0592
12:20:00	720	31,30	50,80	0,88	36,00	3,67	3,76	13,97	0,26	0,0591
12:30:00	582	31,60	50,40	0,87	37,59	3,67	3,92	14,05	0,25	0,0594
12:40:00	720	32,00	49,90	0,86	39,16	3,59	4,17	14,01	0,24	0,0592
12:50:00	833	32,30	50,50	0,89	38,75	3,48	4,26	13,73	0,24	0,0581
13:00:00	750	32,60	50,40	0,90	38,82	3,53	4,19	13,63	0,25	0,0576
13:10:00	746	32,90	48,00	0,92	39,14	3,83	3,90	13,77	0,27	0,0582
13:20:00	977	33,20	47,70	0,92	40,49	4,03	3,82	14,46	0,28	0,0612
13:30:00	953	33,50	47,70	0,89	43,18	4,04	4,06	14,90	0,27	0,0630
13:40:00	572	33,70	47,20	0,89	44,08	4,46	3,75	13,73	0,29	0,0581

Zeit	Qext [ $\mu\text{E}$ ]	Text [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Ch12 [%]	$\beta$	ALVPD [mbar/ bar]	TRANS [mmol/ $\text{m}^2 \text{ sec}$ ]	r [sec/m]	NETFOT [ $\mu\text{mol}/$ $\text{m}^2 \text{ sec}$ ]	$k_B$ [1/ 10min]	$w_B$ [1/ 10min]
13:50:00	888	34,10	46,90	0,96	40,84	4,96	3,13	13,68	0,36	0,0579
14:00:00	894	34,30	46,40	0,98	41,00	5,09	3,06	14,40	0,37	0,0609
14:10:00	882	34,50	45,40	0,98	40,94	4,82	3,22	15,03	0,36	0,0636
14:20:00	880	34,70	45,00	0,95	45,43	4,53	3,80	11,32	0,30	0,0479
14:40:00	804	35,10	43,60	0,90	49,65	4,78	3,93	11,52	0,30	0,0487
14:50:00	717	35,30	40,90	0,92	49,47	4,80	3,89	11,70	0,31	0,0495
15:00:00	606	35,50	40,50	0,91	50,51	4,78	4,72	11,68	0,26	0,0494
15:10:00	796	35,60	34,40	0,92	51,14	2,40	9,49	12,30	0,13	0,0520



Tab. 16: Teil 2 - Analyseergebnisse und Modellwerte von Versuch 5.3.2

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
03:50:00	136			0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,28
04:00:00	308			0,00	123,16	41,51	0,23	-0,00	0,28
04:10:00	513			0,01	172,36	56,54	0,23	-0,00	0,28
04:20:00	753			0,02	256,20	82,00	0,23	-0,00	0,28
04:30:00	926			0,03	307,15	95,86	0,23	-0,00	0,28
04:40:00	1037			0,04	342,33	103,77	0,23	-0,00	0,28
04:50:00	1061			2,83	346,66	105,10	0,23	-0,00	0,28
05:00:00	1085			8,16	357,38	112,16	0,23	-0,00	0,28
05:10:00	1095			13,23	360,65	117,10	0,23	-0,00	0,28
05:20:00	1111			18,83	367,06	122,71	0,23	-0,00	0,28
05:30:00	1144	139,60		25,37	382,64	131,75	0,23	-0,01	0,28
05:40:00	1280			31,65	431,24	156,28	0,23	-0,01	0,28
05:50:00	1340			38,46	392,91	175,20	0,23	-0,01	0,28
06:00:00	1238	38,86		44,67	354,04	172,12	0,23	-0,01	0,28
06:10:00	1157			50,41	367,56	166,56	0,23	-0,01	0,28
06:20:00	1167			60,44	402,93	166,42	0,23	-0,01	0,28
06:30:00	1144	71,37		72,04	382,34	171,45	0,23	-0,00	0,28
06:40:00	1168			85,39	407,42	187,24	0,23	0,01	0,28
06:50:00	1167			103,67	396,22	203,52	0,23	0,02	0,28
07:00:00	1154	98,53		123,91	397,03	219,99	0,23	0,03	0,28
07:10:00	1175			146,12	406,02	244,78	0,23	0,05	0,28
07:20:00	1128			170,27	378,53	263,01	0,24	0,07	0,28
07:30:00	1124	177,07		195,58	399,58	283,89	0,24	0,10	0,28
07:40:00	1181			221,20	411,70	315,89	0,24	0,14	0,29
07:50:00	1199			247,02	387,33	351,99	0,24	0,19	0,29
08:00:00	1175	291,84	0,88	276,54	372,40	383,42	0,24	0,24	0,29
08:10:00	1100			305,75	339,47	405,22	0,24	0,31	0,29
08:20:00	1019			333,60	325,44	421,14	0,24	0,40	0,29
08:30:00	1010	354,44	1,06	363,02	342,30	445,51	0,24	0,50	0,29
08:40:00	1048			397,76	344,60	488,04	0,24	0,61	0,29
08:50:00	1006			429,53	300,25	519,00	0,24	0,75	0,29
09:00:00	1008	484,35	2,04	461,40	312,24	553,83	0,25	0,92	0,29
09:10:00	1026			489,55	301,69	585,78	0,25	1,12	0,29
09:20:00	1026			510,88	283,56	609,56	0,25	1,34	0,29
09:30:00	1015	514,00	2,41	528,74	281,31	630,30	0,25	1,57	0,29
09:40:00	987			544,91	274,72	646,56	0,25	1,79	0,30
09:50:00	945			557,78	263,50	652,37	0,25	2,03	0,30
10:00:00	927	791,65	8,78	567,27	257,37	655,81	0,25	2,30	0,30
10:10:00	911			571,42	244,43	657,22	0,26	2,61	0,30
10:20:00	898			572,46	239,59	657,75	0,26	2,92	0,30
10:30:00	874	397,78	8,00	567,92	224,61	650,35	0,26	3,24	0,30
10:40:00	840			558,13	212,25	638,99	0,26	3,56	0,31
10:50:00	803			546,41	202,84	623,49	0,26	3,89	0,31
11:00:00	770	486,18	12,92	534,11	195,27	608,12	0,26	4,21	0,31
11:10:00	742			514,53	178,16	583,66	0,26	4,37	0,30
11:20:00	692			495,41	171,07	563,84	0,26	4,64	0,31
11:30:00	720	526,10	9,16	482,29	183,40	552,72	0,26	4,84	0,31
11:40:00	751			475,45	190,20	554,76	0,27	5,08	0,31
11:50:00	746			458,19	159,82	529,47	0,27	5,32	0,31
12:00:00	756	592,39	10,46	440,90	159,69	513,40	0,27	5,57	0,31
12:10:00	734			424,38	151,74	497,37	0,27	5,80	0,32
12:20:00	708			407,36	142,82	477,63	0,27	6,03	0,31
12:30:00	686	483,52	10,96	390,97	136,30	458,57	0,27	6,25	0,31
12:40:00	663			374,69	129,55	439,60	0,27	6,46	0,31
12:50:00	646			362,45	133,85	428,71	0,27	6,65	0,31
13:00:00	658	609,70	10,03	354,19	137,58	422,43	0,27	6,85	0,31
13:10:00	641			343,57	127,32	409,78	0,27	7,04	0,32
13:20:00	620			332,98	123,40	397,52	0,27	7,23	0,32
13:30:00	605	161,90	11,93	320,40	116,58	381,37	0,27	7,43	0,32
13:40:00	578			304,13	109,36	361,88	0,28	7,60	0,32
13:50:00	570			297,22	119,83	360,85	0,29	7,76	0,33

Zeit	Akt. Box [Bq/g]	TFWT gem. [Bq/g]	OBT gem. [Bq/g]	TFWT <sub>A</sub> mod. [Bq/g]	TFWT <sub>X</sub> mod. [Bq/g]	TFWT mod. [Bq/g]	Fehler TFWT abs.	OBT mod. [Bq/g]	Fehler OBT abs.
14:00:00	588	442,20		296,69	124,51	363,42	0,29	7,94	0,33
14:10:00	613			297,88	126,12	366,75	0,29	8,13	0,33
14:20:00	627			296,95	121,74	363,91	0,28	8,27	0,32
14:30:00	683	430,10	15,01	299,94	130,63	370,87	0,28	8,41	0,32
14:40:00	775			308,93	142,13	389,09	0,28	8,56	0,32
14:50:00	536		11,12	289,16	77,78	335,13	0,28	8,69	0,32
15:00:00	331	493,50		270,57	47,79	299,00	0,27	8,81	0,31

## 8.5 Daten zum tageszeitlichen Vergleich einstündiger Tritiumemission

Tab.17: Störfallfolgen einer einstündigen Tritiumemission im tageszeitlichen Vergleich:

Beginn der Emission	max. TFWT in [0/0]	max. OBT nx in [0/000]	Zeitpunkt der max. OBT nx Konzentration
6:00	50,12	4,79	11:10
7:00	52,08	10,63	11:20
8:00	50,45	15,30	11:50
9:00	54,95	23,39	12:10
10:00	51,55	24,90	13:50
11:00	48,52	32,07	14:00
12:00	46,93	24,84	15:20
13:00	39,17	23,31	16:20
14:00	34,32	19,41	16:30
15:00	33,51	18,10	18:30
16:00	33,61	17,84	20:50
17:00	31,51	15,60	21:10
18:00	30,03	11,80	21:10
19:00	20,87	2,654	21:10
20:00	23,71	2,29	21:10
21:00	14,36	0,023	21:10
22:00	9,97		
23:00	11,72		
24:00	7,52		
01:00	14,04		
02:00	24,30		
03:00	27,35	0,71	10:40
04:00	30,35	1,76	11:10
05:00	37,90	3,54	11:10

An dieser Stelle möchten wir uns bei all denjenigen bedanken, die bei der Erstellung dieser Arbeit behilflich waren.

Wir danken Herrn W. Raskob vom Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik für die Anregungen und hilfreichen Diskussionen und W. Bohn für die Pflege der Versuchspflanzen.

Unser Dank gilt Frau J. Müller, Frau S. Kahmann und Frau D. Perinic für die hilfreiche Mitarbeit bei der Durchführung der Experimente und deren Auswertung.