

## Heimische Kultivierung der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* zur Entwicklung eines Arzneimittels zur Migränephylaxe

Untersuchungen zum Wasser- und Nährstoffbedarf der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* (L.) Schulz Bip.

Katrin Jakob<sup>1,2</sup>, Andreas Bramm<sup>1</sup> und Gerhard Rühl<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Aus einem Feldversuch wurden Daten zur Stickstoffaufnahme von Mutterkraut gewonnen. Der Wasserbedarf und der Einfluss von steigender Kalium- und Natriumversorgung wurden in Gefäßversuchen ermittelt. Obwohl *Tanacetum parthenium* ursprünglich von kargen Böden stammt, ist für den Aufbau eines leistungsfähigen Feldbestandes eine zusätzliche N-Düngung notwendig. Nach vorliegenden Ergebnissen sollte die Düngung zum ersten Aufwuchs ca. 100 kg N/ha abzüglich des  $N_{\min}$  Bodenvorrates betragen. Die Nährstoffversorgung ist dem zu erwartenden Ertragspotential anzupassen. Zum zweiten Aufwuchs kann die Stickstoffdüngung um ca. 1/3 reduziert werden, da der Ertrag im Vergleich zum 1. Aufwuchs um etwa diesen Betrag geringer ausfällt.

Ausreichende Wasser- und Stickstoffverfügbarkeit bis zur Blüte führten zu einem Anstieg der Gesamttrockenmasse, förderten aber primär das Stängel- und Blütenwachstum, während die Blattbildung nahezu unbeeinflusst blieb. Der Stängel ist wirkstofffrei, somit verringerte sich der Harvest-Index mit zunehmender Stickstoff- und Wasserversorgung. Trotz eines mit zunehmender Stickstoffdüngung abnehmenden Parthenolidgehaltes stieg letztlich der Parthenolidertrag aufgrund des Anstiegs des Biomasseertrages.

Mit steigender Kaliumzufuhr stieg der Trockenmassee-ertrag bis zum Optimum von 2,5 g/Gefäß an, höhere Kaliumgaben führten zur Ertragsabnahme. Bei der Düngung mit Natrium zeigte sich bereits bei Mengen von > 1 g NaCl ein Rückgang der Trockenmassebildung. Daraus lässt sich schließen, dass *T. parthenium* nicht salztolerant ist, sondern dass für einen hohen TM-Ertrag und Parthenolidgehalt eine ausgewogene Kalium- und Natriumernährung erforderlich ist. Auf den Parthenolidertrag der *Tanacetum parthenium* Pflanzen zeigte die Kalium- und Natriumdüngung keinen Einfluss.

*Schlüsselwörter:* Arzneipflanze, Kalium, Mutterkraut, Natrium, Nährstoffbedarf, Stickstoffentzug, Wasserbedarf

### Abstract

**Domestic cultivation of the medicinal plant *Tanacetum parthenium* for the development of a migraine pharmaceutical**

**Water and nutrient requirement of the medicinal plant *Tanacetum parthenium* (L.) Schulz Bip.**

Information on nitrogen uptake of feverfew was obtained from a field experiment. Water requirement and the influence of increasing potassium and sodium supply were investigated in pot experiments. Although feverfew grows on poor soils in the wild, it requires supplemental nitrogen fertilization to produce high biomass yield when cultivated in the field. Analysis of nitrogen uptake in the field shows that feverfew plants require about 100 kgN/ha for the first growth reduced by the amount of  $N_{\min}$  in the soil. Nitrogen fertilization should be adjusted to the expected yield level and can be reduced by about one third for the second application after the first cut according to the lower yield expected for the second harvest.

Adequate water and nitrogen supply until the beginning of flowering increased overall biomass primarily promoting stem and flower growth whereas leaf biomass did not further increase at higher nitrogen levels. Parthenolide, the active compound associated with the medicinal benefits of the plant, is only produced in the leaves and flowers but not in the stems. Thus, the harvest index decreased with increasing nitrogen and water supply. The parthenolide content tends to decrease with higher nitrogen supply. However, the significant increase in biomass yield compensated the reduced parthenolide content resulting in higher parthenolide yield at higher nitrogen fertilization.

Potassium promoted biomass yield up to an optimum of 2.5 g K/plant. Higher potassium supply decreased plant yield. Sodium fertilization of more than 1g NaCl/plant negatively influenced plant growth providing no evidence of salt tolerance of feverfew. Potassium and sodium fertilization did not affect parthenolide content. A balanced potassium and sodium fertilization is required for optimal biomass yield.

*Keywords:* feverfew, medicinal plant, nitrogen uptake, nutrient demand, parthenolide, potassium, sodium, water demand

<sup>1</sup> Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig/Deutschland

<sup>2</sup> Mendel Biotechnology, Inc., 21375 Cabot Boulevard, Hayward, CA 94545/USA; Email: Kjakob@MendelBio.com

## 1 Einleitung

Mutterkraut (*Tanacetum parthenium*) enthält Parthenolid in den Blüten und Blättern, welches als aktiver Wirkstoff zur Migränebekämpfung eingesetzt wird (Diener et al., 2005). Um eine ausreichende Menge an homogenem qualitativ hochwertigem Pflanzenmaterial für die Arzneimittelproduktion bereitstellen zu können, ist ein großflächiger Feldanbau anzustreben. Für die Inkulturnahme einer Pflanzenart ist neben den produktionstechnischen Aspekten auch die Ermittlung des Nährstoff- und Wasserbedarfes von großer Bedeutung. Nur bei abgestimmtem harmonischem Nährstoffangebot ist eine hohe Produktivität der Pflanzenbestände zu erwarten.

Die Nährstoffansprüche für Arzneipflanzen variieren stark. Während manche Pflanzen in ihrem Nährstoffbedarf als anspruchslos gelten, wie z.B. die Echte Kamille (Zoephel et al., 2001), bestehen für andere Pflanzen oftmals spezifische, teilweise sehr hohe Nährstoffansprüche in Abhängigkeit vom Wirkstoff, dem Ernteorgan und der Nutzungsdauer. Demzufolge muss der optimale Nährstoffbedarf im Prinzip für jede Arzneipflanze, die von Interesse ist, individuell bestimmt werden.

Für das Mutterkraut (*Tanacetum parthenium*) gibt es in der vorliegenden Literatur kaum Angaben über die Ansprüche an die Nährstoff- und Wasserversorgung. Die Pflanze toleriert fast alle Bodenarten, bevorzugt jedoch trockenere Standorte (Porter, 2006). Reduzierte Wasserverfügbarkeit in Gefäßversuchen führte zu einem höheren Parthenolidgehalt in der Mutterkrautpflanze (Fonseca et al., 2005). Ein leichter Rückgang des Parthenolidgehaltes wurde bei Stickstoff- und Phosphordüngung beobachtet (Porter, 2006).

Nach allgemeinen Empfehlungen soll sich die Düngungshöhe am Nährstoffentzug der Pflanzenart orientieren, um gute Erträge bei gleichzeitig hoher Qualität erzielen zu können, und um Nährstoffausträge zu vermeiden (Bomme et al., 1993). Der Stickstoffentzug von Mutterkraut wurde in einem Feldversuch ermittelt, zum Wasserbedarf sowie zum Einfluss steigender Kalium- und Natriumversorgung wurden Gefäßversuche durchgeführt.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Feldversuch

Im Gewächshaus vorgezogene Mutterkrautpflanzen wurden im Frühjahr 1996 und 1997 mit einer Bestandesdichte von 40 bzw. 20 Pfl./m<sup>2</sup> in je 3 Wiederholungen in 6 m<sup>2</sup> große Parzellen in das Versuchsfeld des Institutes für Pflanzenbau gepflanzt (Jakob et al., 2007b). Die Bestandesdichte der 1996 gepflanzten Herkünfte 3, 4, 7, 9 und 12 wurde 1997 auf 20 Pfl./m reduziert. Die Pflanzung im Frühjahr 1997 umfasste die Herkünfte 14, 38, 42, 43 und

45. Die Mutterkrauternte erfolgte in zwei Schnitten, wobei der erste Schnitt vor der Blüte oder zur Vollblüte und der zweite Schnitt grundsätzlich zur Vollblüte durchgeführt wurde. Alle Pflanzungen erhielten 50 kg N/ha zum ersten und zweiten Aufwuchs.

Das 1997 geerntete Pflanzenmaterial wurde auf den Gesamtstickstoff nach Kjeldahl analysiert. Aus dem Stickstoffgehalt des Pflanzenmaterials und der geernteten Pflanzenmasse wurde der Stickstoffentzug pro Hektar errechnet.

### 2.2 Gefäßversuch zur Wasser- und Stickstoffversorgung

Der Einfluss von Wasser- und Stickstoffversorgung auf Ertrag und Parthenolidgehalt von *T. parthenium* wurde in einem zweifaktoriellen Gefäßversuch im Phytosolarium des Institutes untersucht. Für die Gefäßversuche wurde Herkunft 4 ausgewählt, die bei der Evaluierung einen hohen TM-Ertrag in Kombination mit einem hohen Parthenolidgehalt erzielt hatte (Jakob et al., 2007a). Die verwendeten Mitscherlichgefäße wurden kontinuierlich mit Wasser versorgt, die Wasserverfügbarkeit wurde über keramische Kerzen, die in jedes der Gefäße (V = 5 l) senkrecht eingesetzt wurden und mit einer Unterdruck erzeugenden Anlage verbunden waren, gesteuert (Sommer, 1978). Die Wasserversorgung erfolgte auf der Grundlage des Bodenwasserpotenzials in 4 Varianten, trocken  $\cong$  -600 hPa, feucht  $\cong$  -60 hPa, trocken-feucht, und feucht-trocken. Die Umstellung der Wechselvarianten erfolgte bei Blühbeginn. Der Wasserverbrauch pro Gefäß wurde wöchentlich abgelesen. Die N-Düngung wurde in 4 Stufen (0, 1, 2 und 3 g/Gefäß) in Form von KAS (27 % N) variiert. Jede Variante umfasste sechs Gefäße. Der erste und zweite Schnitt erfolgte im Stadium der Vollblüte. Nach dem 1. Schnitt wurde eine zweite N-Düngung in Form von Ammoniumnitratlösung in gleicher Höhe wie zu Versuchsbeginn in die Gefäße eingebracht. Der Parthenolidgehalt wurde von einer Mischprobe aller sechs Gefäße einer Variante ohne Wiederholung bestimmt. Der Versuch wurde 1997 durchgeführt und 1999 wiederholt.

### 2.3 Gefäßversuch zur Natrium- und Kaliumversorgung

In einem weiteren Gefäßversuch wurde der Einfluss steigender Na- und K-Düngung auf den Ertrag und den Parthenolidgehalt der Mutterkraut-Herkunft 4 geprüft. In 100 Gefäßen wurden je 4 kg Unterboden und 3,4 kg Kies eingewogen und mit folgender Grunddüngermenge vermischt:

19,17 g CaCO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub> x 7 H<sub>2</sub>O, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>  
 10 ml Eisenlösung (FeCl<sub>2</sub>, Na - EDTA)  
 5 ml Mikronährstofflösung (B, Mo, Mn, Zn, Cu)

Die Düngung war wie folgt abgestuft:

	g K <sub>2</sub> O/Gefäß		g NaCl/Gefäß	
K <sub>0</sub>	ohne	Na <sub>0</sub>	ohne	
K <sub>1</sub>	0,5	Na <sub>1</sub>	0,5	
K <sub>2</sub>	1,0	Na <sub>2</sub>	1,0	
K <sub>3</sub>	1,5	Na <sub>3</sub>	1,5	
K <sub>4</sub>	2,0	Na <sub>4</sub>	2,0	
K <sub>5</sub>	2,5	Na <sub>5</sub>	2,5	
K <sub>6</sub>	3,0	Na <sub>6</sub>	3,0	
K <sub>7</sub>	3,5	Na <sub>7</sub>	3,5	
K <sub>8</sub>	4,0	Na <sub>8</sub>	4,0	
K <sub>9</sub>	4,5	Na <sub>9</sub>	4,5	

Pro Düngungsvariante standen 5 Gefäße zur Verfügung. Alle Gefäße des NaCl-Versuches erhielten zusätzlich 1,6 g KCl (entsprechend 1,0 g K<sub>2</sub>O). Nach Anzucht in Saatschalen wurden die Pflanzen am 25.03.97 in die Gefäße (1 Pfl./Gefäß) pikiert. Die Wasserzufuhr erfolgte täglich durch Ausgleich des Gewichtsverlustes. Der 1. und 2. Schnitt erfolgte jeweils zur Vollblüte. Nach dem ersten Schnitt fand eine N-Düngung von 1 g N/Gefäß statt. Um den Probenaufwand für die Parthenolidanalyse zu reduzieren, wurde der Parthenolidgehalt nur von den Düngungsstufen 0 g, 1 g, 2 g, 3 g und 4,5 g des jeweiligen Versuches bestimmt. Die Analyse erfolgte im Labor der Firma Schaper & Brümmer GmbH & Co. KG, Salzgitter-Ringelheim auf Basis eines umweltfreundlichen CO<sub>2</sub>-Extraktionsverfahrens (Brunner, 1981).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Stickstoffgehalte und Stickstoffentzüge von Mutterkraut im Feldanbau

Der N-Gehalt von *Tanacetum parthenium*-Ganzpflanzen der Ernte 1997 aus dem 1996 gepflanzten Feldversuch variierte beim ersten Aufwuchs zwischen 0,81 % und 1,96 %. Die Herkünfte mit einem hohen TM-Ertrag wiesen geringere N-Gehalte im Pflanzenmaterial auf als die Herkünfte mit geringerem TM-Ertrag. Der 2. Aufwuchs mit wesentlich niedrigeren TM-Erträgen enthielt N-Gehalte, die annähernd doppelt so hoch waren wie die des ersten Aufwuchses (1,64 % - 3,92 %, Tabelle 1 und Tabelle 2). Die Gesamtstickstoffaufnahme lag beim ersten Aufwuchs zwischen knapp 60 und gut 100 kg N/ha und beim 2. Aufwuchs zwischen 20 und 56 kg N/ha (Abbildung 1 und Abbildung 2). Pro 100 kg gebildete Trockenmasse nahmen die geprüften Herkünfte bis zum ersten Schnitt zwischen 0,8 kg N bei hoher Gesamttrockenmassebildung und 2,0 kg N bei geringem Trockenmasseertrag auf. Zum zweiten Schnitt, der eine wesentlich geringere Produktivität aufwies, lag der Stickstoffentzug pro 100 kg Trockenmasse zwischen 1,6 und 3,1 kg N. Daraus ist abzuleiten, dass die Stickstoffdüngung zu Mutterkraut für den ersten Aufwuchs bei hochproduktiven Herkünften bei etwa 100 kg N/ha abzüglich des mineralischen Bodenstickstoffvorrates (N<sub>min</sub>) liegen sollte. Für den zweiten Aufwuchs werden noch einmal bis zu 50 kg N/ha benötigt.

Tabelle 1:

N-Gehalt (% i.d. TM) 1996 gepflanzter *Tanacetum parthenium*-Herkünfte im Feldversuch 1997 in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des 1. Schnittes

Ernte \ Herkunft	3	4	7	9	12	GD <sub>0,05</sub>
1. Aufwuchs Vollblüte	1,13 b <sup>1)</sup>	0,84 b	1,54 a	1,02 b	0,93 b	0,37
2. Aufwuchs Vollblüte	2,16 ab	1,64 b	2,40 a	1,95 ab	1,76 b	0,58
1. Aufwuchs Blühende	0,97 bc	0,81 c	1,59 a	1,30 ab	1,13 bc	0,34
2. Aufwuchs Vollblüte	2,66 a	2,11 b	2,61 a	2,06 b	2,66 a	0,49

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Tabelle 2:

N-Gehalt (% i.d. TM) 1997 gepflanzter *Tanacetum parthenium*-Herkünfte im Feldversuch 1997 in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des 1. Schnittes

Ernte \ Herkunft	14	38	42	43	45	GD <sub>0,05</sub>
1. Aufwuchs Vollblüte	1,46 ab	1,96 a	1,67 ab	1,28 b	1,39 ab	0,62
2. Aufwuchs Vollblüte	2,16 b <sup>1)</sup>	3,11 a	2,37 b	2,44 b	2,39 b	0,64
1. Aufwuchs Blühende	1,33 ab	1,71 a	1,61 ab	1,15 b	1,12	0,53
2. Aufwuchs Vollblüte	2,66 b	3,92 a	2,94 ab	2,99 ab	2,98 ab	1,18

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

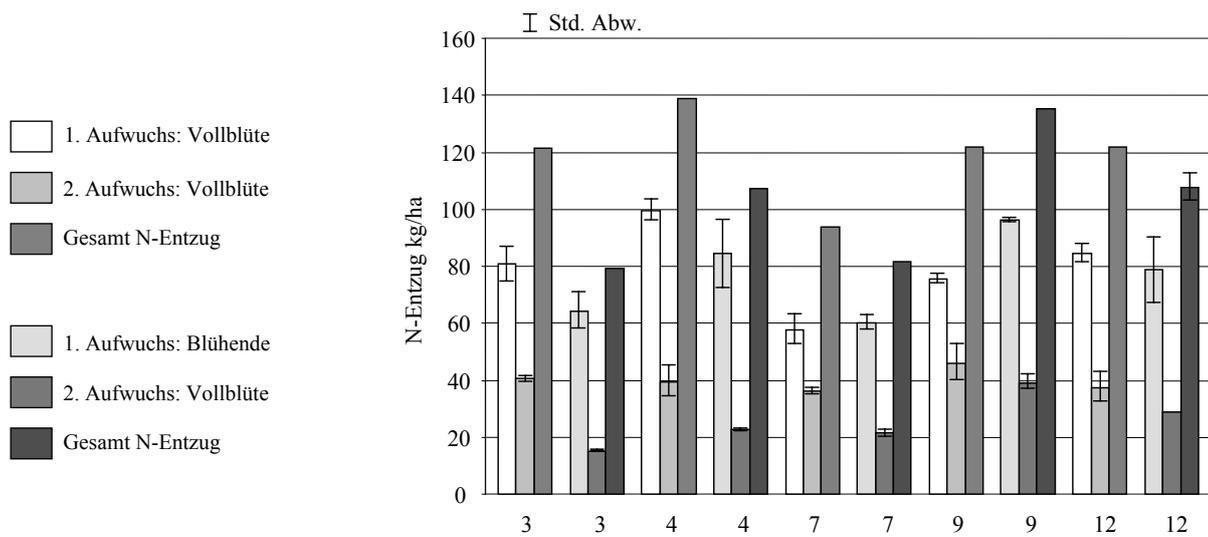


Abbildung 1:

Stickstoffentzüge (kg/ha) 1996 gepfanter *Tanacetum parthenium*-Herkünfte im Feldversuch 1997 in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des 1. Schnittes

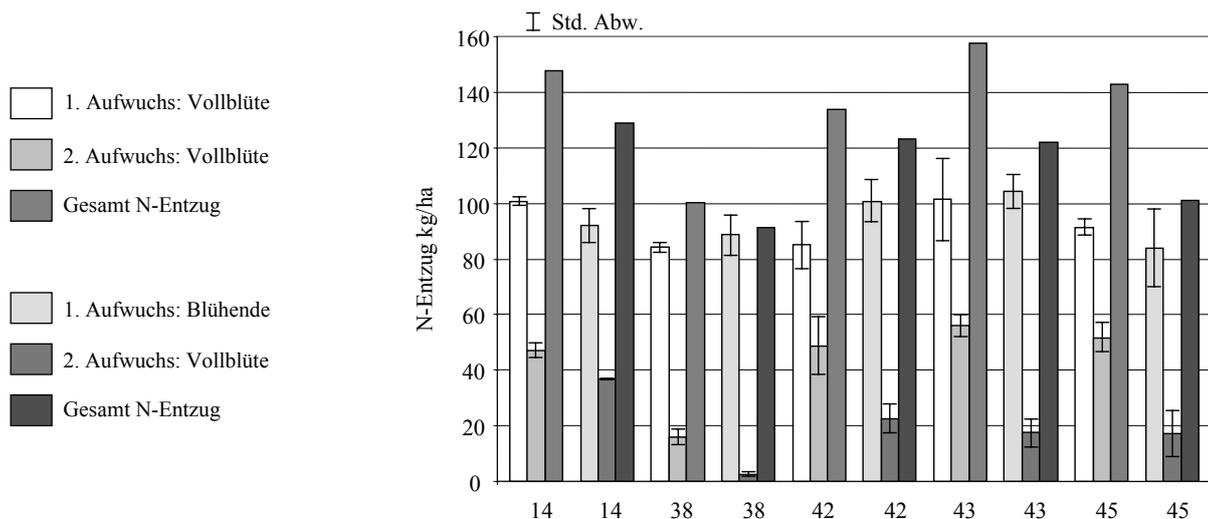


Abbildung 2:

Stickstoffentzüge (kg/ha) 1997 gepfanter *Tanacetum parthenium*-Herkünfte im Feldversuch 1997 in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des 1. Schnittes

### 3.2 Gefäßversuche zum Nährstoffbedarf

#### 3.2.1 Wasser- und Stickstoffbedarf

Die Dauer der Gefäßversuche betrug in beiden Jahren 168 Tage. 1997 begann der Versuch am 9. April und endete mit dem 2. Schnitt am 1. Oktober. 1999 wurde sechs Wochen später, am 21. Mai, mit dem Versuch begonnen, beendet wurde der Versuch am 15. November.

In der Abbildung 3 ist der wöchentliche Wasserverbrauch für alle Varianten der Wasserversorgung und die vier Stickstoffstufen für die Versuchsdurchführungen 1997 und 1999

dargestellt. Der Wasserverbrauch der Feuchtvariante und der Variante feucht-trocken stieg mit fortschreitendem Aufbau der Biomasse (Stängel und Blätter). Zur Blüte, zum Zeitpunkt des ersten Schnittes, war der Wasserverbrauch nur noch gering, da kaum noch neue Biomasse produziert wurde. Nach dem Schnitt und nach erneuter Düngung begann das Pflanzenwachstum wieder und der Wasserverbrauch stieg in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit an. Mit steigender Stickstoffversorgung nahm bei ausreichender Wasserversorgung in der Regel auch die Biomasseproduktion zu und damit zwangsläufig auch der Wasserbedarf, so dass der Wasserverbrauch innerhalb der Wasserversor-

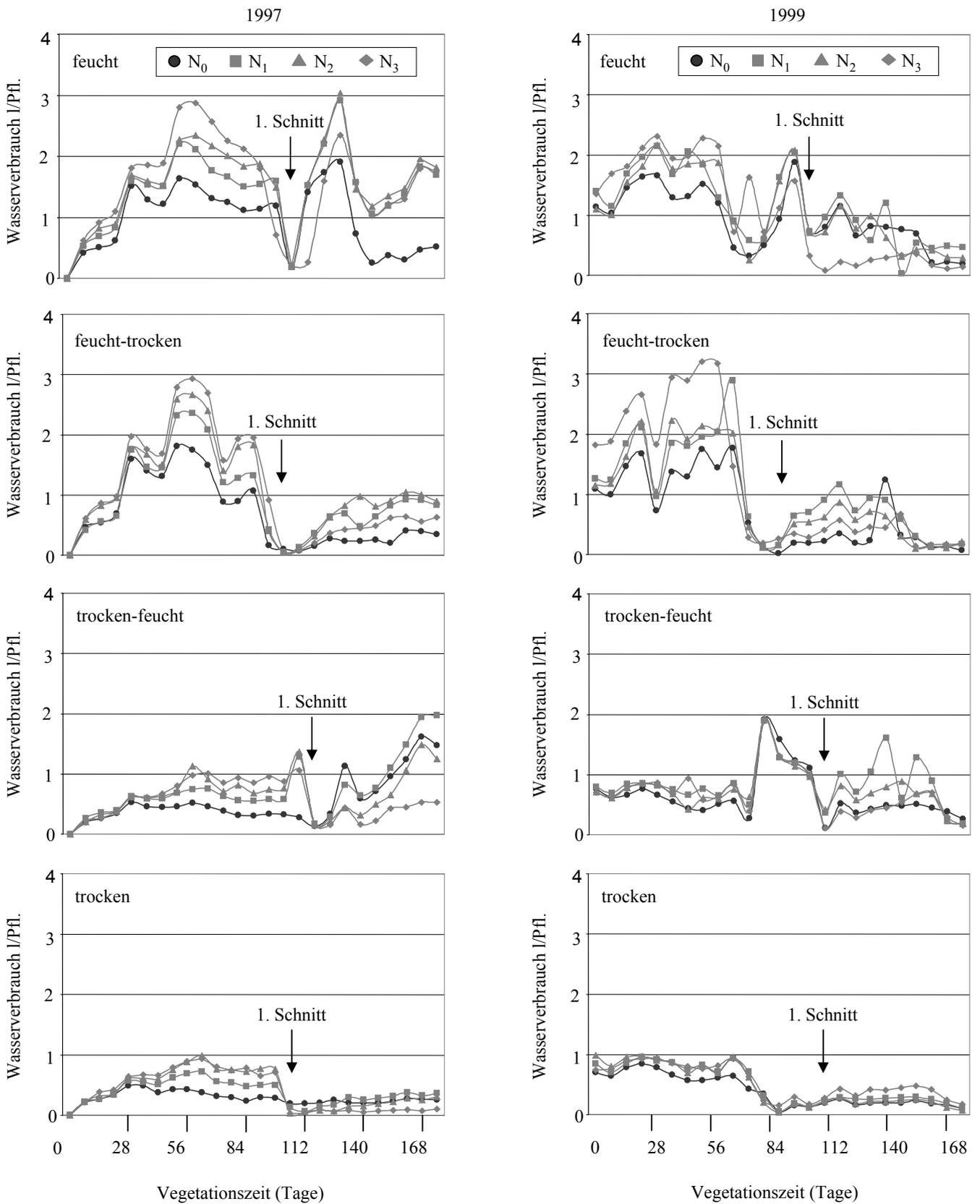


Abbildung 3:  
Wöchentlicher Wasserverbrauch (l/Pfl.) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung, Gefäßversuche 1997 und 1999

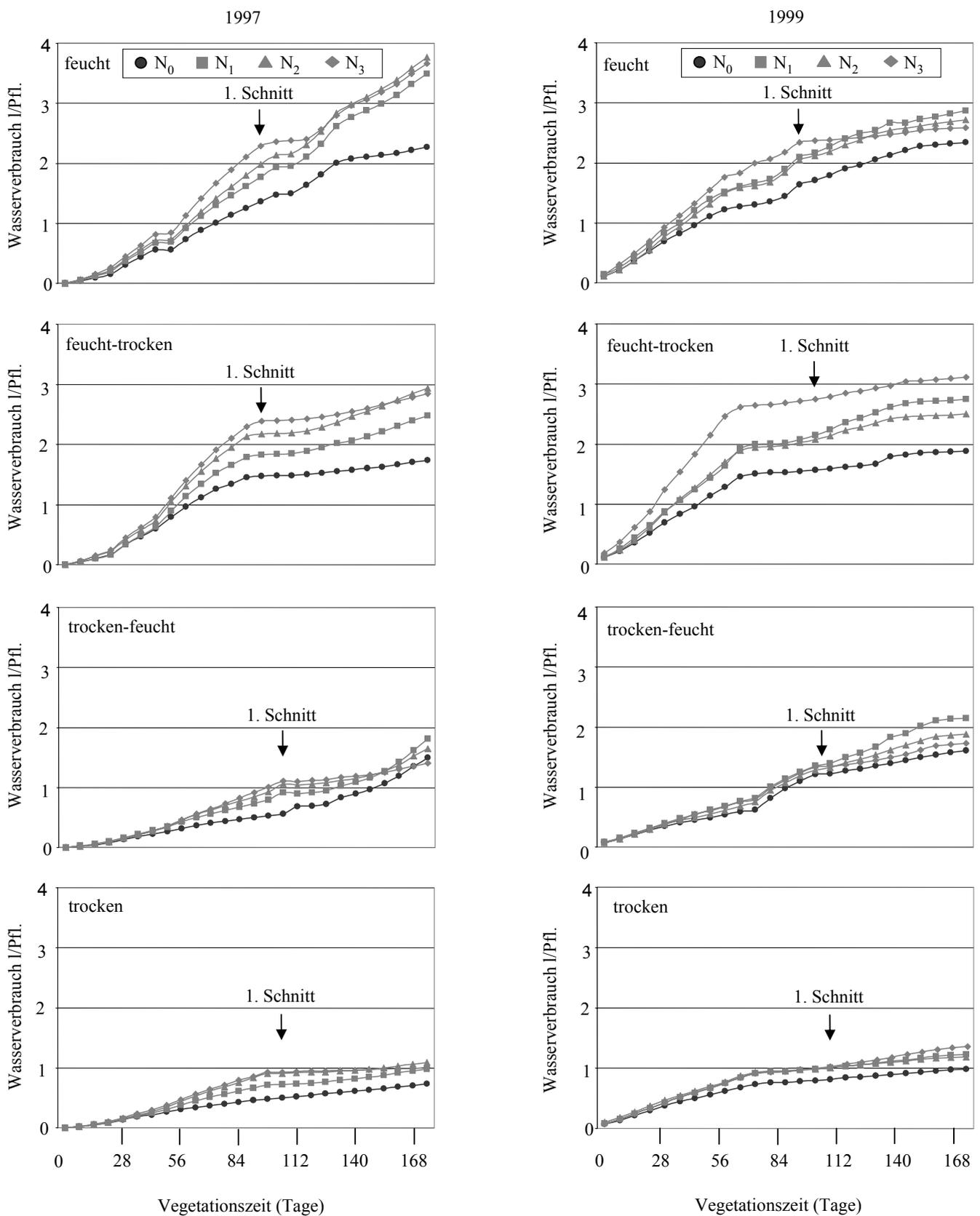


Abbildung 4:

Kumulativer Wasserverbrauch (l/Pfl.) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung; Gefäßversuche 1997 und 1999

gungsstufen nach Höhe der Stickstoffversorgung differenziert. Während in den Trockenvarianten als Spitzenwerte etwa 1 l Wasser pro Woche und Pflanze verbraucht wurden, waren es in den Feuchtvarianten bis zu 3 l.

Der kumulative Wasserverbrauch, der während der Gesamtzeit des Experimentes gemessene Wasserverbrauch, ist in der Abbildung 4 dargestellt. Der Gesamtwasserver-

brauch erreichte in der Feuchtvariante Werte bis zu 37,6 l pro Pflanze (N<sub>2</sub>, 1997), in der Trockenvariante wurden dagegen mit 7,2 l (N<sub>0</sub>, 1997) die geringsten Werte ermittelt. Die Transpirationskoeffizienten (l Wasser/kg TM) verringerten sich in beiden Jahren von feucht (311/322) über feucht-trocken (302/310), trocken-feucht (292/308) zu trocken (280/253). 1999 wurde zur Bildung von 1 kg

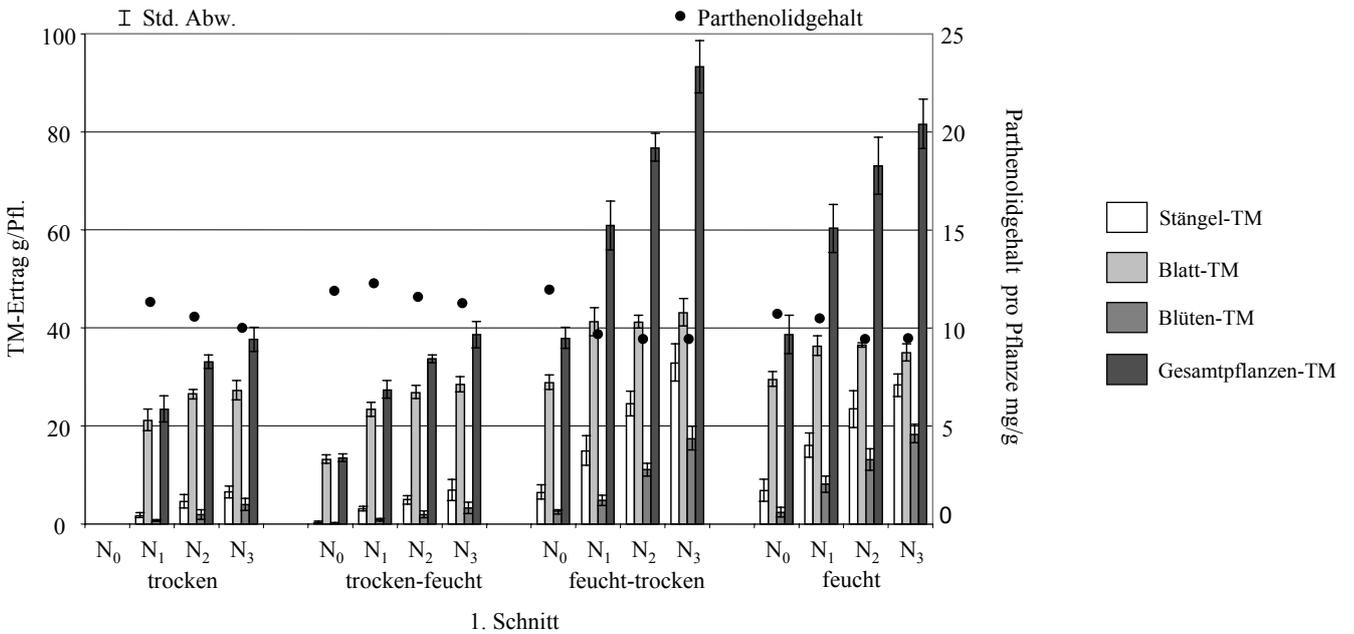


Abbildung 5a:

Trockenmasseertrag (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) des 1. Aufwuchses von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung; Gefäßversuch 1997

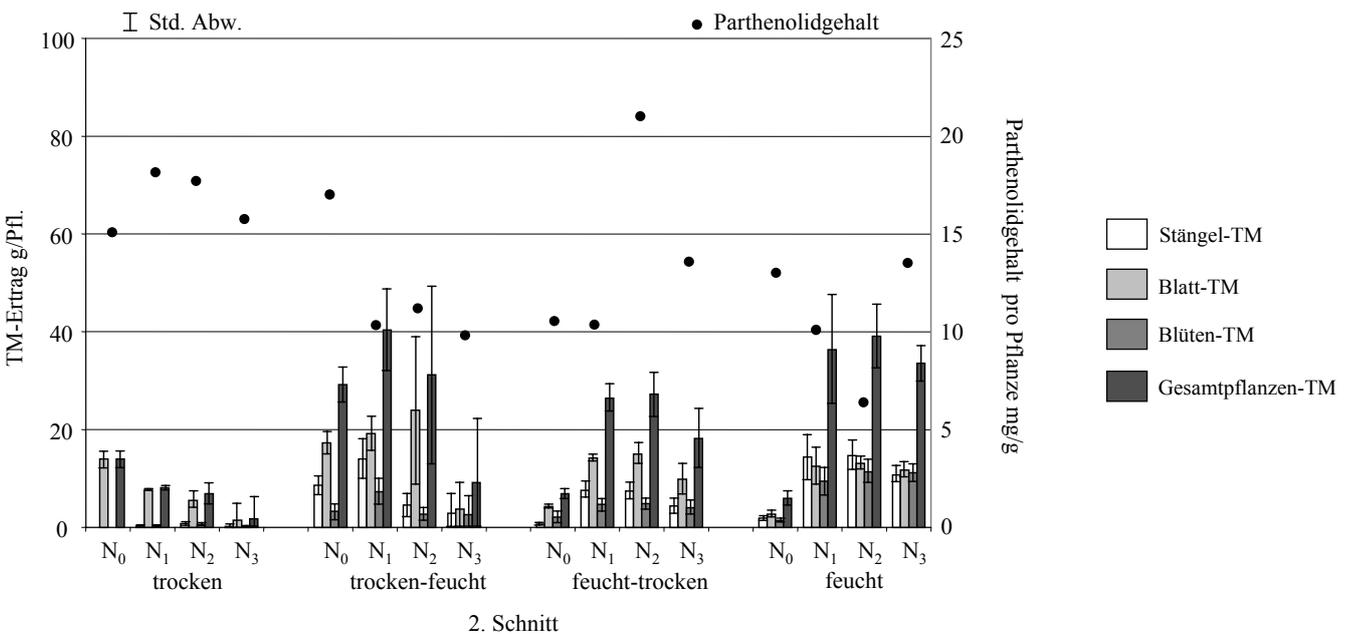


Abbildung 5b:

Trockenmasseertrag (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) des 2. Aufwuchses von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung; Gefäßversuch 1997

TM außer bei der Trockenvariante mehr Wasser benötigt, als im Versuch 1997, ein Hinweis auf den Einfluss von Tageslänge und Strahlung bei sonst gleichen Temperaturbedingungen und gleicher Methodik.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Einfluss der Stickstoff- und Wasserversorgung auf die Trockenmassebildung.

Der TM-Ertrag des ersten Aufwuchses fiel bis zum Blühbeginn in beiden Versuchsdurchgängen in den Wasserstufen feucht und feucht-trocken annähernd doppelt so hoch aus wie in den Varianten mit trockenen Bedingungen (Abbildung 5a und Abbildung 6a). Die Umstellung zu Blühbeginn in der Variante trocken-feucht führte bis zum ersten

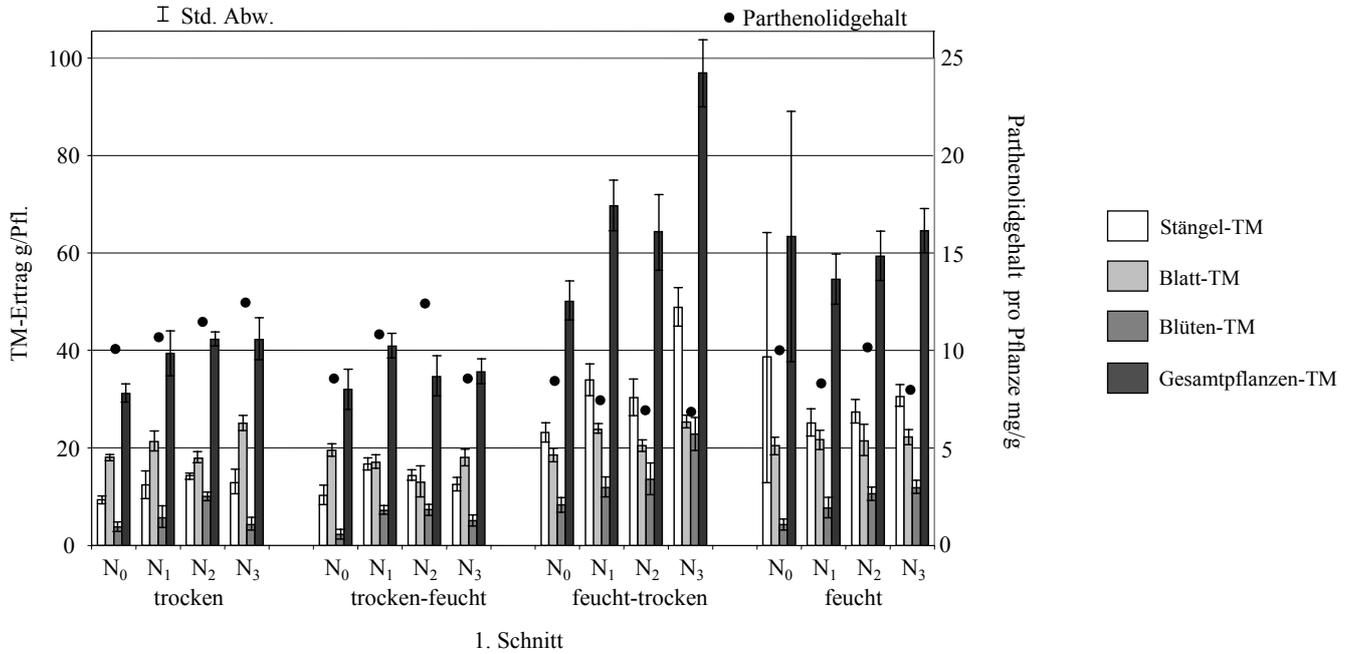


Abbildung 6a: Trockenmasseertrag (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) von Mutterkraut des 1. Aufwuchses in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung; Gefäßversuch 1999

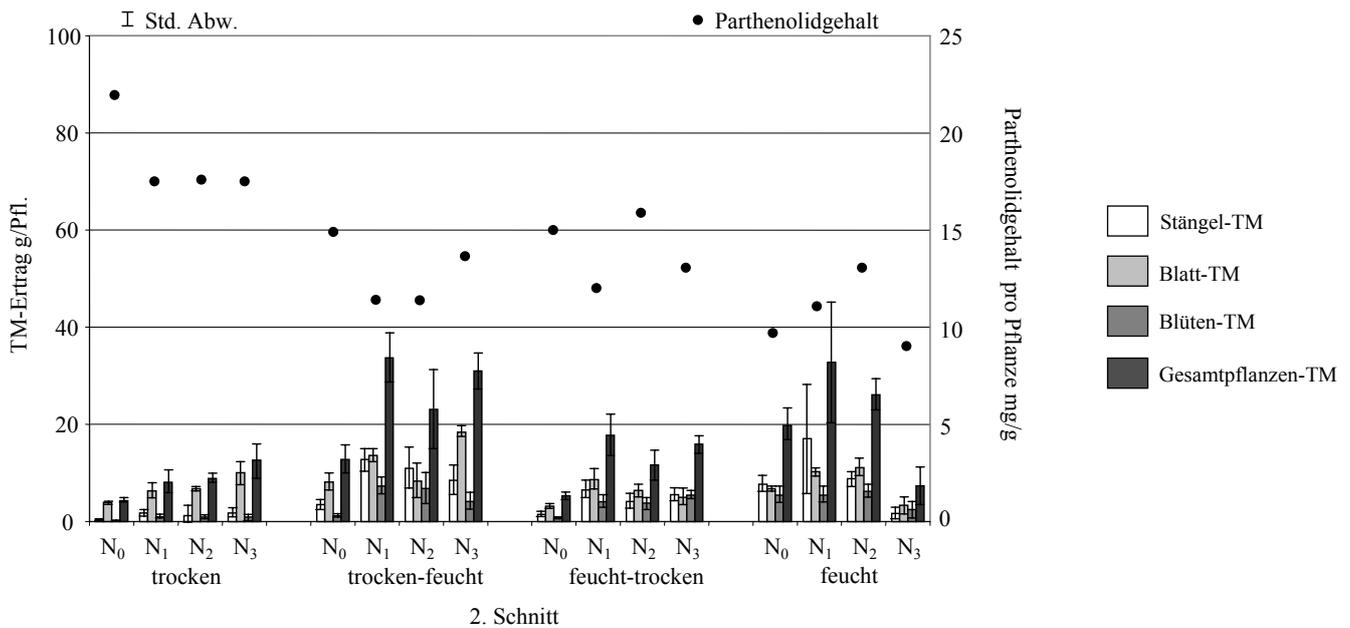


Abbildung 6b: Trockenmasseertrag (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) des 2. Aufwuchses von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung; Gefäßversuch 1999

Schnitt zu keinem Ertragszuwachs gegenüber trocken. Hohe Wasserverfügbarkeit fördert insbesondere Stängel- und Blütenwachstum. Dies war im Jahre 1999 stärker ausgeprägt als 1997 (Abbildung 5a und Abbildung 6a). Der zweite Aufwuchs reagierte deutlich auf den Umstellungstermin von trocken auf feucht, bzw. von feucht auf trocken zum Zeitpunkt des Blühbeginns, der etwa 3 Wochen vor dem Erntetermin lag. In beiden Versuchsdurchgängen erzielte die Variante trocken-feucht höhere Trockenmassen, als die Variante feucht-trocken (Abbildung 5b und Abbildung 6b). Das galt für den 1. Aufwuchs nicht. In der Stufe „trocken“ wurden zum 2. Aufwuchs sehr geringe Erträge erzielt.

Steigende N-Düngung bewirkte zum ersten Schnitt steigende TM-Erträge, zum zweiten Schnitt jedoch von N<sub>1</sub> nach N<sub>3</sub> abnehmende TM-Erträge. Ausreichende Wasserverfügbarkeit erzielte bereits in der N<sub>0</sub> einen gleich hohen (1997) bzw. einen höheren Ertrag (1999) als in der höchsten Düngungsstufe der trockenen Varianten. Die Variante trocken N<sub>0</sub> ermöglichte 1997 nur einen Schnitt zum Versuchsende, da die Pflanzen dieser Variante über die ge-

samte Vegetationsperiode nicht zur Blüte kamen.

Die Blattbildung des 1. Aufwuchses wurde von der Wasserversorgung nicht in gleichem Maß gefördert, so dass der Harvest-Index HI, das Verhältnis der parthenolidhaltigen TM (Blüten und Blätter) zur Gesamttrockenmasse, bei ausreichender Wasserversorgung geringer war als unter trockenen Bedingungen (Tabelle 3). Ebenso wurde der HI in beiden Versuchsjahren von der N-Düngung negativ beeinflusst (Tabelle 3). In den Wasserstufen trocken und trocken-feucht war die Blatt- und Blüten-TM im Verhältnis zur Gesamttrockenmasse größer als in den Wasserstufen mit ausreichender Wasserversorgung. In der Wasserstufe feucht war der Harvest-Index am geringsten, da ein verhältnismäßig hoher Stängelanteil gebildet wurde.

Die Parthenolidgehalte des 1. Aufwuchses erreichten 1997 durchschnittlich 10,7 mg/g TM und 1999 9,5 mg/g TM, die des 2. Aufwuchses lagen in beiden Versuchsjahren mit 13,4 mg/g TM bzw. 14,9 mg/g TM über denen des 1. Schnittes. Tendenziell nahm der Parthenolidgehalt mit der N-Düngung (Tabelle 4) und steigendem Biomassertrag ab. Jedoch erwies sich die Differenz nur im ersten Schnitt

Tabelle 3:

Harvest-Index der Einzelpflanze im Gefäßversuch in Abhängigkeit von der Wasser- und N-Versorgung des 1. und 2. Aufwuchses (n = 6, 1997 und 1999)

Versuchsjahr		1997	1997	1999	1999
Wasserstufe	N-Stufe	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs
trocken	N <sub>0</sub>	*)	1,00	0,70	0,95
	N <sub>1</sub>	0,93	0,97	0,69	0,90
	N <sub>2</sub>	0,87	0,92	0,66	0,88
	N <sub>3</sub>	0,83	0,95	0,70	0,89
Mittel		0,88 a <sup>1)</sup>	0,96 a	0,69 a	0,90 a
trocken-feucht	N <sub>0</sub>	0,99	0,72	0,69	0,74
	N <sub>1</sub>	0,89	0,68	0,59	0,63
	N <sub>2</sub>	0,86	0,87	0,56	0,70
	N <sub>3</sub>	0,83	0,69	0,65	0,75
Mittel		0,89 a	0,75 b	0,62 b	0,70 b
feucht-trocken	N <sub>0</sub>	0,83	0,90	0,54	0,74
	N <sub>1</sub>	0,76	0,73	0,52	0,65
	N <sub>2</sub>	0,69	0,75	0,53	0,80
	N <sub>3</sub>	0,65	0,78	0,50	0,66
Mittel		0,73 b	0,78 b	0,52 c	0,72 b
feucht	N <sub>0</sub>	0,84	0,68	0,51	0,63
	N <sub>1</sub>	0,74	0,61	0,54	0,60
	N <sub>2</sub>	0,69	0,64	0,54	0,67
	N <sub>3</sub>	0,65	0,69	0,53	0,85
Mittel		0,73 b	0,66 c	0,53 c	0,67 b

\*) nur ein Schnitt zur Ernte

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Hauptwirkung Wasserversorgung.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

des Jahres 1997 als signifikant. Im 2. Aufwuchs lag der Parthenolidgehalt generell deutlich über dem des ersten Aufwuchses, er unterlag jedoch größeren Schwankungen, die nicht immer negativ mit dem Biomasseertrag gekoppelt waren.

Tabelle 4:

Einfluss der Stickstoffversorgung auf den Parthenolidgehalt von Mutterkraut

	1997	1997	1999	1999
	1. Schnitt	2. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt
N <sub>0</sub>	11,6 a <sup>1)</sup>	14,0 a	9,4 a	15,4 a
N <sub>1</sub>	11,0 ab	12,3 a	9,4 a	13,1 a
N <sub>2</sub>	10,4 ab	14,2 a	10,1 a	14,5 a
N <sub>3</sub>	10,3 b	13,3 a	9,1 a	13,4 a
GD <sub>0,05</sub>	1,3	8,7	2,7	3,9

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Hauptwirkung Wasserversorgung.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Der Einfluss der Wasserversorgung auf den Parthenolidgehalt lässt keine eindeutige Tendenz erkennen. Der Vergleich zwischen Trockenvariante (t) und Feuchtvariante (f) zeigt nur für den 2. Schnitt im Jahr 1999 einen signifikant höheren Parthenolidgehalt für die Pflanzen der Trockenvariante (Tabelle 5), während für die drei anderen Schnitte keine Differenzen ermittelt wurden.

Tabelle 5:

Einfluss der Wasserversorgung auf den Parthenolidgehalt von Mutterkraut

	1997	1997	1999	1999
	1. Schnitt	2. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt
t	10,7 ab	16,8 a	11,3 a	18,7 a
f-t	10,2 b	14,0 a	10,0 ab	14,0 b
f	10,2 b	12,2 a	9,2 ab	12,9 b
t-f	11,9 a <sup>1)</sup>	10,8 a	7,6 b	10,8 b
GD <sub>0,05</sub>	1,3	8,7	2,7	3,9

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Hauptwirkung Wasserversorgung.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Für den ersten Schnitt 1997 wurde der Parthenolidgehalt getrennt nach Blättern und Blüten analysiert. Der Parthenolidgehalt der Blüten lag durchschnittlich um 3 mg höher als derjenige der Blätter (Abbildung 7). Zwischen der Blatt- bzw. Blüten-TM und dem jeweiligen Parthenolidgehalt konnte kein Zusammenhang ermittelt werden.

Statistisch ließ sich weder der Einfluss der Wasser- noch

der Stickstoffversorgung auf die Parthenolidgehalte von Blättern und Blüten absichern (Tabelle 6 und 7).

Tabelle 6:

Beeinflussung des Parthenolidgehaltes (mg/g) von Blättern und Blüten durch unterschiedliche Wasserversorgung. 1. Aufwuchs, 1997

	Parthenolidgehalt Blätter (mg/g)	Parthenolidgehalt Blüten (mg/g)
t	12,1 a <sup>1)</sup>	13,6 a
f-t	13,3 a	17,2 a
f	13,3 a	16,8 a
t-f	13,4 a	11,9 a
GD <sub>0,05</sub>	6,7	10,3

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Hauptwirkung Wasserversorgung.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Tabelle 7:

Beeinflussung des Parthenolidgehaltes (mg/g) von Blättern und Blüten durch unterschiedliche Stickstoffversorgung. 1. Aufwuchs, 1997

	Parthenolidgehalt Blätter (mg/g)	Parthenolidgehalt Blüten (mg/g)
N <sub>0</sub>	13,1 a <sup>1)</sup>	17,7 a
N <sub>1</sub>	13,1 a	15,4 a
N <sub>2</sub>	13,1 a	15,2 a
N <sub>3</sub>	13,1 a	16,6 a
GD <sub>0,05</sub>	6,7	10,3

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Hauptwirkung Wasserversorgung.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Zusammenfassend haben diese Experimente ergeben, dass eine gute Wasserversorgung vor der Blüte zu einem hohen Biomasseertrag führt. Geringeres Wasserangebot nach der Blüte beeinflusste den Ertrag nicht. Hohe Wasserverfügbarkeit führte jedoch zu einem unerwünschten höheren Stängelanteil an der Gesamtpflanze. Hohe Stickstoffversorgung steigerte die Blüten- und Stängel-TM stärker als die Blatt-TM. Zum 2. Schnitt kann die N-Düngung in Anpassung an den geringeren Biomasseertrag gegenüber der ersten Gabe deutlich reduziert werden.

### 3.2.2 Kalium- und Natriumbedarf

Für den ersten Aufwuchs bewirkte die Kaliumzufuhr bis zur mittleren Düngungsstufe eine Zunahme des Stängel-, Blüten- und mit Abstrichen auch des Blatttrockenmasseertrages und zeigte damit die Ertragswirksamkeit des Nährstoffes Kalium beim Mutterkraut in eindeutiger Weise (Tabelle 8). Weitere Kaliumzufuhr über 2,5 g/Gefäß hin-

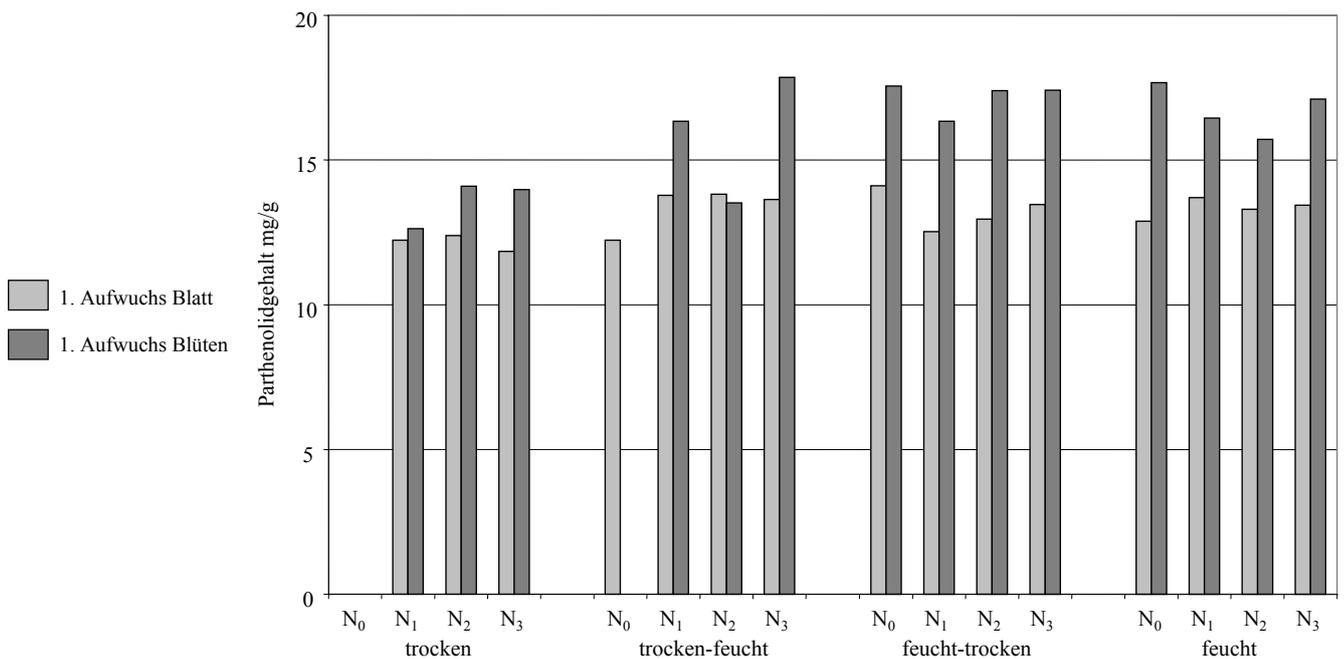


Abbildung 7:

Parthenolidgehalt (mg/g) der Blätter und Blüten von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Bodenwasser- und Stickstoffversorgung. 1. Aufwuchs, 1997

aus führte hingegen zu einem Ertragsabfall. Der maximale Stängel- und Blütenenertrag wurde bei einer Kaliumdüngung von 2,5 g erreicht, während die maximale Blattmasse bereits bei einer Kaliumdüngung von 1,5 g gebildet wurde. Der Harvest-Index zeigte in der Tendenz eine Abnahme bis zur mittleren Düngungsstufe und stieg bei weiterer Düngungszufuhr wieder an. Der Parthenolidgehalt zeigte keine eindeutige Reaktion auf die K-Düngung. In den Varianten mit geringem TM-Ertrag war der Parthenolidgehalt höher als in den Varianten mittlerer K-Düngung mit hohen TM-Erträgen. Der höchste Parthenolidertrag in den 5 analysierten K-Düngungsstufen wurde mit 2,0 g K<sub>2</sub>O erreicht, der Variante mit hohem TM-Ertrag.

Der Parthenolidgehalt des 2. Aufwuchses lag deutlich höher als im 1. Aufwuchs, zeigte jedoch die gleiche Abhängigkeit von der K-Düngung wie im 1. Aufwuchs (Tabelle 9).

Der TM-Ertrag wurde im 2. Schnitt weniger von der K-Düngung beeinflusst als im 1. Schnitt, stieg aber tendenziell mit steigender K-Düngung an. Ein einheitlicher Trend wie zum 1. Schnitt ließ sich jedoch nicht feststellen. Der Blütenenertrag stieg von K<sub>0</sub> bis zu 2 g Kalium und fiel anschließend wieder ab. Die Blatt-TM stieg bis zur höchsten Düngungsstufe an, die Stängel-TM variierte uneinheitlich in Abhängigkeit von der K-Düngung. Der HI zeigte im 2. Schnitt keine sichtbare Reaktion auf die K-Düngung, war jedoch generell höher als zum 1. Schnitt.

Mit steigender Natriumversorgung stieg im ersten Aufwuchs die Gesamt-TM bis zur Düngungshöhe von 1,0 g NaCl an. Bei höheren NaCl-Gaben nahm die Gesamt-TM ab (Tabelle 10).

Dabei nahm die Stängel-TM von der Kontrollvariante ohne NaCl-Düngung bis zur höchsten Düngungsstufe ab,

Tabelle 8:

Trockenmasse (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung. 1. Aufwuchs, Gefäßversuch 1997

	Kontrolle	0,5 g KCl	1,0 g KCl	1,5 g KCl	2,0 g KCl	2,5 g KCl	3,0 g KCl	3,5 g KCl	4,0 g KCl	4,5 g KCl	GD <sub>0,05</sub>
Stängel	6,9 b <sup>1)</sup>	9,6 ab	13,3 ab	12,9 ab	13,3 ab	15,9 a	13,4 ab	11,4 ab	11,2 ab	8,4 b	6,7
Blatt	22,3 b	26,9 ab	27,3 ab	30,5 a	29,6 a	27,8 ab	26,5 ab	25,9 ab	26,2 ab	23,9 ab	7,1
Blüten	6,1 b	7,3 ab	9,3 ab	8,7 ab	8,7 ab	10,9 a	9,2 ab	8,5 ab	8,1 ab	8,3 ab	4,1
Gesamtertrag	35,3	43,8	49,9	52,1	51,6	54,6	49,1	45,8	45,5	40,6	
Parthenolidgehalt	12,07		8,36		9,80		9,38			11,96	

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen. α = 0,05 Tukey-Test

Tabelle 9:

Trockenmasse (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung. 2. Aufwuchs, Gefäßversuch 1997

	Kontrolle	0,5 g KCl	1,0 g KCl	1,5 g KCl	2,0 g KCl	2,5 g KCl	3,0 g KCl	3,5 g KCl	4,0 g KCl	4,5 g KCl	GD <sub>0,05</sub>
Stängel	1,4 a <sup>1)</sup>	2,6 a	2,7 a	2,3 a	3,0 a	2,0 a	2,0 a	2,6 a	1,5 a	2,4 a	3,0
Blatt	8,1 a	8,1 a	12,1 a	11,2 a	9,8 a	10,4 a	10,3 a	14,5 a	14,1 a	14,8 a	7,9
Blüten	1,9 a	2,9 a	2,7 a	2,1 a	3,1 a	2,2 a	1,7 a	2,1 a	1,1 a	1,6 a	3,1
Gesamtertrag	11,4	13,6	17,5	15,6	15,9	14,6	14,0	19,2	16,7	18,8	
Partheno- lidgehalt	17,76		12,82		14,81		13,55			16,49	

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Tabelle 10:

Trockenmasse (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Natriumversorgung. 1. Aufwuchs, Gefäßversuch 1997

	Kontrolle	0,5 g NaCl	1,0 g NaCl	1,5 g NaCl	2,0 g NaCl	2,5 g NaCl	3,0 g NaCl	3,5 g NaCl	4,0 g NaCl	4,5 g NaCl	GD <sub>0,05</sub>
Stängel	17,0 a <sup>1)</sup>	16,2 ab	12,4 abcd	13,9 abc	14,6 abc	12,7 abcd	10,5 cd	11,7 bcd	8,2 d	8,2 d	5,2
Blatt	25,6 a	28,0 a	34,4 a	27,9 a	29,3 a	29,5 a	26,8 a	27,8 a	28,6 a	26,0 a	12,6
Blüten	9,6 a	9,8 a	9,2 ab	8,4 ab	9,7 a	9,6 a	8,7 ab	9,4 a	7,0 ab	6,2 b	3,1
Gesamtertrag	52,2	54,0	56,0	50,2	53,6	51,8	46,0	48,9	43,8	40,4	
Parthenolid	7,97		9,71		9,21		9,37			11,64	

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

Tabelle 11:

Trockenmasse (g/Pfl.) und Parthenolidgehalt (mg/g) von Mutterkraut in Abhängigkeit von der Natriumversorgung. 2. Aufwuchs, Gefäßversuch 1997

	Kontrolle	0,5 g NaCl	1,0 g NaCl	1,5 g NaCl	2,0 g NaCl	2,5 g NaCl	3,0 g NaCl	3,5 g NaCl	4,0 g NaCl	4,5 g NaCl	GD <sub>0,05</sub>
Stängel	1,8 a <sup>1)</sup>	1,0 a	2,8 a	1,3 a	1,2 a	2,4 a	1,6 a	1,7 a	1,9 a	2,2 a	2,6
Blatt	19,0 a	12,2 a	9,9 a	11,0 a	7,6 a	10,7 a	8,1 a	8,7 a	10,0 a	10,4 a	12,1
Blüten	1,2 a	0,9 a	2,5 a	1,2 a	1,3 a	2,4 a	1,8 a	2,0 a	2,0 a	2,2 a	3,1
Gesamtertrag	22,0	14,1	15,2	13,5	10,1	15,5	11,5	12,4	13,9	14,8	
Parthenolid	11,99		11,56		13,05		12,82			16,64	

<sup>1)</sup> Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen.  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test

während Blatt- und Blütenertrag keine eindeutige Reaktion auf die Düngung erkennen lassen. Resultierend aus der Abnahme des Stängelertrages erhöhte sich der HI mit steigender NaCl-Zufuhr im 1. Aufwuchs. Der Parthenolidgehalt erhöhte sich ebenfalls mit steigender Düngungszufuhr. Da die Gesamt-TM mit steigender Düngung abnahm, kann auch diese Reaktion auf einen Verdünnungseffekt zurückgeführt werden.

Der TM-Ertrag des 2. Aufwuchses war ähnlich gering wie in den K-Düngungsvarianten bei erhöhten Nährstoff- und Parthenolidgehalten im Vergleich zum 1. Aufwuchs (Tabelle 11). Der TM-Ertrag verringerte sich in der Tendenz mit steigender NaCl-Düngung. Die N- und Na-Gehalte blieben

nahezu konstant, die P-Werte verringerten sich und die K-Werte stiegen mit zunehmender Na-Düngung leicht an.

In beiden Nährstoffsteigerungsversuchen waren die Parthenolidgehalte der Blätter des 2. Aufwuchses höher als im 1. Aufwuchs. Die doppelt so hohen N-Werte im 2. Aufwuchs deuten darauf hin, dass nach einem ersten Schnitt der N-Bedarf aufgrund des geringeren Biomassertrages deutlich geringer ist als zum 1. Aufwuchs.

Im Prinzip wurde die Abnahme des TM-Ertrages durch einen höheren Parthenolidgehalt kompensiert, so dass Parthenolidertrag und TM-Ertrag von der K- und Na-Düngung kaum beeinflusst wurden.

#### 4 Diskussion

Nährstoff- und Wasserversorgung sind entscheidende Faktoren bei der Produktion von Kulturpflanzen, denn sowohl Unter- als auch Überversorgung beeinflussen Ertrags- und Inhaltsstoffbildung. Egal, wann ein Kulturpflanzenbestand während der Vegetationszeit von Perioden des Wassermangels getroffen wird, er wird den maximalen Biomasseertrag nicht erreichen, der ohne Wasserstress erreicht worden wäre (Ehlers, 1996 S. 171). In der Feuchtvariante des Gefäßversuches zum Wasser- und Stickstoffbedarf war das Wasser unbegrenzt für die Pflanzen verfügbar. Jedoch zeigte sich in beiden Versuchsdurchgängen, dass in der Variante feucht-trocken zum 1. Schnitt mit Ausnahme von N<sub>0</sub> 1999 höhere Gesamttrockenmassen erzielt wurden, als in der Variante feucht. Im Gegensatz dazu produzierte die Variante trocken-feucht zum 2. Schnitt in beiden Versuchsdurchgängen die höchsten Gesamttrockenmassen.

Welche Erklärung gibt es für diese Resultate? Die Umstellung der Wasserversorgung erfolgte jeweils zum Zeitpunkt Blühbeginn, der 1. und 2. Schnitt wurde zur Vollblüte geerntet. Es ist davon auszugehen, dass die Pflanzen der Varianten feucht-trocken und feucht bis zum Blühbeginn bei gleicher N-Düngung und Wasserversorgung gleiche Biomasse produziert haben. Demnach müssen die Pflanzen vom Blühbeginn bis zur Vollblüte (eine Spanne zwischen 12 und 30 Tagen 1997 bzw. 14 und 36 Tagen 1999) unter trockenen Bedingungen während der Blüte produktiver gewesen sein, als unter feuchten. Jedoch ist keine eindeutige Tendenz feststellbar, welches Pflanzenorgan bevorzugt auf die trockenen Bedingungen nach Blühbeginn reagierte. Im ersten Versuchsjahr bildeten die Pflanzen in der Variante feucht-trocken etwas höhere Blatttrockenmassen im Vergleich zur Variante feucht. Im 2. Versuchsjahr ist es überwiegend die Stängel- und etwas höhere Blütentrockenmasse, die zu einem höheren Gesamtertrag führt. Die Analyse des Wasserverbrauches zeigt deutlich, dass der Hauptwasserverbrauch während der vegetativen Entwicklung von Mutterkraut erfolgt.

Der tägliche Wasserverbrauch verringerte sich mit dem Blühbeginn und war zur Vollblüte, dem Zeitpunkt des ersten Schnittes, stark zurückgegangen. Während der generativen Entwicklungsphase ist die Wasseraufnahme gering, trockene Bedingungen werden zu diesem Zeitpunkt offensichtlich von den Mutterkrautpflanzen bevorzugt. Direkt nach dem 1. Schnitt sind die Umstellungsvarianten für den 2. Aufwuchs neu eingestellt worden, während die Wasserversorgung bei den Varianten feucht und trocken nicht geändert wurde. Der Ertrag des 2. Aufwuchses war wesentlich geringer als der des ersten Aufwuchses. Die Biomassebildung verlief in der vegetativen Phase aufgrund der geringeren Einstrahlung und Tageslänge langsamer. Der Blühbeginn lag 1997 etwa zwischen Ende August und Mitte

September, 1999 zwischen Mitte September und Ende Oktober, geerntet wurde der 2. Aufwuchs Anfang Oktober 1997 bzw. Anfang November 1999.

Für den Einfluss der Wasser- und Stickstoffversorgung auf den Parthenolidgehalt ergab sich keine eindeutige Tendenz. Der Parthenolidgehalt in der Gesamtpflanze stieg tendenziell mit abnehmender Wasserverfügbarkeit. Die Analyse des Parthenolidgehaltes getrennt in Blättern und Blüten lässt diese Tendenz nicht erkennen, jedoch wurde diese Analyse nur einmal ohne Wiederholung durchgeführt.

Höhere Parthenolidgehalte unter Trocken- oder Wasserstressbedingungen im Vergleich zu regelmäßig mit Wasser versorgten Pflanzen wurden in Gefäßversuchen beobachtet (Fonseca et al., 2005,). Eine erhöhte Anzahl der Trichome, die möglicherweise das Parthenolid enthalten, sowie veränderter Metabolitengehalt in den Trichomen werden als Ursache für den erhöhten Parthenolidgehalt bei Wasserstress vermutet (Fonseca et al., 2005). Weitere Umweltfaktoren wie Lichtstärke, Einstrahlungsdauer und Temperatur können den Wirkstoffgehalt ebenfalls signifikant beeinflussen, sind aber praktisch nur bei kontrolliertem Anbau im Gewächshaus steuerbar (Fonseca et al., 2006).

Nährstoffe werden mit dem Bodenwasser an die Pflanzenwurzeln herangeführt und von diesen aufgenommen. Ist zu wenig Wasser im Boden vorhanden, werden auch nur geringe Nährstoffmengen - selbst wenn sie im Boden in ausreichender Menge zur Verfügung stehen - an die Pflanzenwurzeln transportiert mit der Folge einer geringen Trockenmassebildung (Varianten t und t-f). Bei feuchten Bedingungen während der vegetativen Entwicklung bewirkt steigende Stickstoffversorgung zunehmende Stängel- und Blütentrockenmasse, während der Stickstoffeinfluss auf die Bildung von Blatttrockenmasse nur gering ist.

Das Parthenolid wird nur in den Blättern und Blüten gebildet, nicht aber in den Stängeln von Mutterkraut (Hendriks et al., 1997). Die Analyse des Parthenolidgehaltes in Abhängigkeit von der Wasser- und Stickstoffversorgung getrennt nach Blättern und Blüten lässt zudem erkennen, dass der Parthenolidgehalt in den Blättern nahezu unverändert ist während er in den Blüten eine größere Variation sowie höhere Werte aufweist. Folglich sollten für die Erhöhung des Parthenolidgehaltes- und Ertrages alle Anbaumaßnahmen einschließlich Düngung und Wasserversorgung so gestaltet werden, dass bei optimaler Ausbildung des Blattapparates primär die Anzahl der Blüten maximiert werden kann. Eine mittlere Stickstoffversorgung würde bei ausreichender Wasserversorgung mindestens bis zum Blühbeginn zu diesem Ziel führen. In Feldversuchen zur N-Düngung und Beregnung zeigte die N-Düngung eine unterschiedliche Wirkung auf den Mutterkrautertrag (CSIDC, 2000). Während im ersten Jahr bei einer Stickstoffdüngung ein Ertragsrückgang in der beregneten und unberegneten

Variante gegenüber der ungedüngten Variante auftrat, produzierten die Pflanzen im 2. Jahr höhere Erträge in der gedüngten im Vergleich zur ungedüngten Variante.

Die in der Regel geringeren Parthenolidgehalte in den Pflanzen mit höherem Trockenmasseertrag (feucht versus trocken,  $N_3$  versus  $N_0$ , optimal K/NaCl-Düngung versus hohe/keine K/NaCl-Düngung, 1. Schnitt versus 2. Schnitt) deuten auch auf einen Verdünnungseffekt, jedoch ist höherer Biomasseertrag nicht immer mit geringerem Parthenolidgehalt verknüpft. Ein Verdünnungseffekt für zwei von vier eingesetzten verschiedenen N-Düngungsformen wurde für den Wirkstoff in der Artischocke beobachtet, während für die beiden anderen Düngungsformen pflanzenphysiologische Vorgänge für die Änderung des Wirkstoffgehaltes vermutet werden (Matthes & Honermeier, 2005). Weitere Untersuchungen zur Produktion, dem Produktionsort in der Pflanze sowie zum Transport des Parthenolids sind notwendig, um Aussagen über die Ursachen der Variation des Parthenolidgehaltes treffen zu können.

Die Kaliumernährung spielt beim Mutterkraut eine bedeutende Rolle. Im Vergleich zur Kontrolle wurden beim 1. Aufwuchs bis zu einer  $K_2O$ -Zufuhr von 2,5 g/Gefäß signifikante Ertragssteigerungen der Blatt-, Blüten- und Stängel-trockenmasse erzielt. Beim 2. Aufwuchs ergaben sich mit steigender  $K_2O$ -Zufuhr keine signifikanten Ertragsunterschiede. Für *Solidago virgaurea* L. (Echte Goldrute), die wie das Mutterkraut zum Stadium der Vollblüte geerntet wird, wurde ein relativ hoher Kaliumgehalt in der Pflanze ermittelt, der vermutlich auf den hohen Kaliumbedarf von jungem, stoffwechselaktivem Gewebe, in diesem Fall Knospen und Blüten, zurückzuführen ist (Lück, 2001). Die positive Wirkung der Kaliumdüngung auf den Mutterkrautertrag könnte darauf zurückzuführen sein. Steigende Versorgung mit NaCl führte beim 1. Aufwuchs zur Abnahme der Stängel- und Blüten-TM, sowie einer Zunahme der Blatt-TM. Beim 2. Aufwuchs ergaben sich nicht signifikante Tendenzen: Mit steigender Natriumversorgung nahmen die Blatt-TM ab, Stängel- und Blüten-TM veränderten sich kaum. Sollten sich die Ergebnisse des 1. Aufwuchses bestätigen, bestünde unter Umständen die Chance, das Verhältnis Blatt- und Blüten- zu Stängel-TM durch eine Natriumgabe zu Gunsten von Blatt- und Blüten-TM zu verbessern.

### Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projektes.

Herrn Dierk-Dieter Strauß vom Informations- und Datenzentrum der FAL danken die Autoren für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

### Literatur:

- Bomme U, Nast D, Rinder R, Voit K (1993) Untersuchungen über Nährstoffentzug und umweltgerechte Düngung von Heil- und Gewürzpflanzen im feldmäßigen Anbau. Gartenbauwiss 58(1):25-31
- Brunner P (1981) Zum Stand der Extraktion mit komprimierten Gasen. Chemie-Ingenieur-Technik (53):529-542
- CSIDC (Canada-Saskatchewan Irrigation Diversification Centre) (2000) Production practices for feverfew [online]. Zu finden in <[http://www.agr.gc.ca/pfra/csidd/feverfew\\_e.pdf](http://www.agr.gc.ca/pfra/csidd/feverfew_e.pdf)> [zitiert am 11.07.2007]
- Diener HC, Pfaffenrath V, Schnitker J, Friede M, Henneicke-von Zepelin H-H (2005) Efficacy and safety of 6.25mg t.i.d. feverfew  $CO_2$ -extract (MIG-99) in migraine prevention – randomized double-blind, multi-centre, placebo-controlled study. Cephalalgia 25:1031-1041
- Fonseca JM, Rushing JW, Rajapakse NC, Thomas RL, Riley MB (2005) Parthenolide and abscisic acid synthesis in feverfew are associated but environmental factors affect them dissimilarly. J Plant Physiol 162:485-494
- Fonseca JM, Rushing JW, Rajapakse NC, Thomas RL, Riley MB (2006) Potential implications of medicinal plant production in controlled environments: the case of feverfew (*Tanacetum parthenium*). HortScience 41:531-535
- Ehlers W (1996) Wasser in Boden und Pflanze: Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Stuttgart: Ulmer
- Hendriks H, Anderson-Wildeboer Y, Engels G, Bos R, Woerdenbag HJ (1997) The content of parthenolide and its yield per plant during the growth of *Tanacetum parthenium*. Planta Med 63:356-359
- Jakob K, Bramm A, Rühl G (2007a) Heimische Kultivierung der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* zur Entwicklung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe: Sammlung und Evaluierung der genetischen Ressourcen der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. Landbauforsch Völknerode 57(1):33-41
- Jakob K, Bramm A, Rühl G (2007b) Heimische Kultivierung der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* zur Entwicklung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe: Untersuchungen zur Produktionstechnik der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. Landbauforsch Völknerode 57(2):141-156
- Lück L (2001) Intraspezifische Variabilität und Einflüsse von Anbaumaßnahmen auf den Inhaltsstoffgehalt und Ertrag von *Solidago virgaurea* L. Berlin: Humboldt-Univ
- Matthes C, Honermeier B (2005) Wirkung differenzierter N-Düngung auf Inhaltsstoffgehalt und Morphologie der Artischocke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Wikl.) in einem Gefäßversuch. Mitt Ges Pflanzenbauwiss 17:156-157
- Porter B (2006) Feverfew in Saskatchewan [online]. Zu finden in <<http://www.agr.gov.sk.ca/docs/production/feverfew.asp>> [zitiert am 11.07.2007]
- Sommer C (1978) Eine Methode zur kontinuierlichen Wasserversorgung von Vegetationsgefäßen nach dem Bodenwasserpotential. Landbauforsch Völknerode 28(1):17-20
- Zöphel B, Kreuter T, Mänicke S, Schulz J (2001) Nachwachsende Rohstoffe (Hanf, Flachs, Salbei und Kamille) – Anbau und Bedeutung für den Lebensraum Acker in Sachsen. Dresden: Sächs Dr- und Verlags-Haus